



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

“REDISEÑO DEL CHASIS Y LA CARROCERÍA DE UN PROTOTIPO PARA LA COMPETENCIA ECO SHELL MARATHON”

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**AUTORES: PAOLO CÉSAR CHINCHILIMA DUCHI
HÉCTOR ISRAEL RODRÍGUEZ SÁNCHEZ**

DIRECTOR: Ing. VICENTE ROMERO HIDALGO

Riobamba-Ecuador

2019

@2019, Paolo Cesar Chinchilima Duchi y Héctor Israel Rodríguez Sánchez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Paolo Cesar Chinchilima Duchi y Héctor Israel Rodríguez Sánchez, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra auditoria y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que proviene de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de noviembre del 2019



Chinchilima Duchi Paolo César

Cédula de Identidad:

140069270-1



Rodríguez Sánchez Héctor Israel

Cédula de Identidad:

180434805-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El trabajo de titulación: Tipo: propuesta tecnológica, “**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS Y LA CARROCERÍA DE UN PROTOTIPO PARA LA COMPETENCIA ECO SHELL MARATHON**”, realizado por los señores: **PAOLO CESAR CHINCHILIMA DUCHI y HÉCTOR ISRAEL RODRÍGUEZ SÁNCHEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos Castelo PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2019-11-28
Ing. Vicente Romero Hidalgo DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2019-11-28
Ing. José Pérez Fiallos MIEMBRO DE TRIBUNAL DE TITULACIÓN		2019-11-28

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Jehová Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, a mis padres, Luis Chinchilima y Tarcila Duchi por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, a mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me han brindado a lo largo de esta etapa.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Paolo Cesar Chinchilima Duchi

Este trabajo de titulación lo dedico a Dios por haberme guiado y llenado de bendiciones en este duro camino en mi vida académica y personal, a mis padres, Héctor Rodríguez Peña y Elvia Sánchez Jordán, gracias por su apoyo, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí los valores del respeto, responsabilidad y perseverancia las cuales me han llevado al éxito.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Héctor Israel Rodríguez Sánchez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme salud y la vida para poder seguirme superando y cosechando grandes logros a nivel personal y académicos. A mis padres, Luis Chinchilima y Tarcila Duchi, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida académica por darme la fuerza y fortaleza para seguir adelante siempre con sus consejos. A mis hermanos que siempre han sido un apoyo incondicional en mi vida personal.

Agradezco a mi tutor Ing. Vicente Romero y asesor Ing. José Pérez gracias a sus experiencias, conocimientos, motivaciones y amistad nos orientaron a culminar este trabajo de titulación.

Paolo Cesar Chinchilima Duchi

Agradecer a Dios por darme salud y la vida para poder seguirme superando y cosechando grandes logros a nivel personal y académicos. A mis padres Héctor Rodríguez Peña y Elvia Sánchez Jordán, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida académica por darme la fuerza y fortaleza para seguir adelante siempre con sus consejos. A mis hermanos que siempre han sido un apoyo en mi vida personal y profesional. Agradecer a toda mi familia y amigos quienes con sus consejos me ayudaron a seguir adelante para obtener esta profesión y así dar un aporte a la sociedad.

Agradezco a mi tutor Ing. Vicente Romero y asesor Ing. José Pérez gracias a sus experiencias, conocimientos, motivaciones y amistad nos orientaron a culminar este trabajo de titulación.

Héctor Israel Rodríguez Sánchez

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	
1 MARCO REFERENCIAL	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del Problema	4
1.3 Metodología	4
1.4 Consideraciones Técnicas y Tecnológicas	4
1.5 Justificación	6
1.5.1 <i>Justificación Teórica</i>	6
1.5.2 <i>Justificación Práctica</i>	6
1.6 Objetivos	6
1.6.1 <i>Objetivo General</i>	6
1.6.2 <i>Objetivos Específicos</i>	7
CAPITULO II	
2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 Chasis o Bastidor	8
2.1.1 <i>Estructura y elementos</i>	8
2.1.2 <i>Características generales</i>	9
2.1.3 <i>Tipos de chasis</i>	10
2.1.4 <i>Principios para diseñar el chasis</i>	12
2.2 Carrocería	12
2.2.1 <i>Tipos de carrocerías</i>	12
2.2.2 <i>Exigencias en el diseño y construcción de carrocerías</i>	13
2.3 Sistema de Dirección	20
2.3.1 <i>Tipos de Sistemas de Dirección</i>	20
2.3.2 <i>Condición de Ackerman</i>	22
2.4 Sistema de Frenado	23
2.4.1 <i>Instalaciones</i>	23
2.4.2 <i>Clasificación</i>	25
2.5 Neumáticos y Ruedas	27

2.5.1	<i>La Rueda</i>	28
2.5.2	<i>Neumático</i>	28
2.6	Metodología para el diseño de la estructura.....	28
2.6.1	<i>Software específico para el diseño</i>	30
CAPITULO III		
3	DISEÑO, MODELADO Y ANALISIS	32
3.1	Consideraciones para el diseño.....	32
3.2	Diseño de la estructura.....	33
3.2.1	<i>Parámetros de la geometría</i>	33
3.2.2	<i>Definición de las medidas</i>	35
3.2.3	<i>Propuesta del prototipo</i>	36
3.2.4	<i>Modelado del prototipo en CAD</i>	36
3.3	Selección de material del chasis.....	39
3.3.1	<i>Características del Aluminio</i>	40
3.3.2	<i>Ventajas del aluminio</i>	40
3.3.3	<i>Propiedades físicas y mecánicas del aluminio estructural 6063 T5</i>	41
3.4	Selección del material de la carrocería.....	41
3.4.1	<i>Fibra de vidrio</i>	41
3.4.2	<i>Fibra de carbono</i>	42
3.4.3	<i>Aluminio</i>	43
3.4.4	<i>Matriz de decisión</i>	44
3.5	Aplicación de las cargas.....	45
3.5.1	<i>Cargas muertas</i>	45
3.5.2	<i>Cargas vivas</i>	45
3.5.3	<i>Cargas estáticas</i>	45
3.5.4	<i>Cargas dinámicas</i>	46
3.6	Análisis por medio de herramientas CAE.....	46
3.6.1	<i>Análisis estático</i>	46
3.6.2	<i>Análisis Aerodinámico</i>	52
3.7	Análisis de Resultados.....	55
CAPITULO IV		
4	MANUFACTURA DEL CHASIS Y CARROCERÍA	56
4.1	Especificación de materiales del chasis.....	56
4.2	Preparación de los materiales.....	56
4.2.1	<i>Cortes</i>	57
4.2.2	<i>Proceso de doblar los tubos</i>	58
4.2.3	<i>Preparación de los bordes de soldadura</i>	59

4.3	Proceso de soldadura.....	62
4.4	Fabricación de la carrocería.....	64
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES.....	71
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2. Chasis de un automovil.	8
Figura 2-2. Puntos clave de un bastidor.	9
Figura 3-2. Bastidor de tipo escalera.	10
Figura 4-2. Chasis autoportante.	11
Figura 5-2. Bastidor tubular.	11
Figura 6-2. Chasis monocasco.	12
Figura 7-2. Prototipo en túnel aerodinámico.	14
Figura 8-2. Fuerzas aerodinámicas.	15
Figura 9-2. Componentes de la Fuerza Neta de presión.	15
Figura 10-2. Fuerza de arrastre en dirección opuesta al vehículo.	16
Figura 11-2. Separación del flujo en diferentes superficies.	17
Figura 12-2. Coeficientes de arrastre para varios superficies y vehículos.	18
Figura 13-2. Viento relativo visto desde el motor del vehículo en el camino.	19
Figura 14-2. Principio de Bernoulli, conservación de la energía.	19
Figura 15-2. Teorema de Bernoulli.	20
Figura 16-2. Dirección piñón cremallera.	21
Figura 17-2. Geometría de la dirección.	22
Figura 18-2. Freno de tambor.	25
Figura 19-2. Freno de disco de mordaza fija.	26
Figura 20-2. Freno de disco de mordaza flotante.	27
Figura 21-2. Algoritmo de la metodología a seguir.	29
Figura 22-2. Entorno Solidworks.	30
Figura 23-2. Entorno de ANSYS.	31
Figura 1-3. Prototipo de BYU SMV, SEM Américas 2018	34
Figura 2-3. Prototipo de Microjoule-La Joliverie, SEM Europa 2018.	34
Figura 3-3. Prototipo de Panjavidhya 1, SEM Asia 2018.	35
Figura 4-3. Coeficientes Cx para algunos sólidos.	35
Figura 5-3. Estructura del chasis en Solidworks.	37
Figura 6-3. Vista superior del modelo.	37
Figura 7-3. Vista frontal del modelo en Solidworks.	38
Figura 8-3. Vista lateral del modelo en Solidworks.	38
Figura 9-3. Vista isométrica del modelo en Solidworks	39

Figura 1-4. Largueros superiores e inferiores de la estructura.....	57
Figura 2-4. Segmentos básicos de la estructura del mamparo.....	57
Figura 3-4. Corte de los segmentos que unen los largueros.....	58
Figura 4-4. Doblando los largueros.....	59
Figura 5-4. Doblando la sección del casco del piloto.....	59
Figura 6-4. Trazo para encontrar la profundidad.	60
Figura 7-4. Trazo del perímetro de la circunferencia dividiendo en cuadrantes.	60
Figura 8-4. Dibujar sobre el tubo la plantilla.	61
Figura 9-4. Corte de la boca de pescado.	61
Figura 10-4. Piezas encajando.....	61
Figura 11-4. Cortando el tubo según el ángulo de inclinación.....	62
Figura 12-4. Proceso de soldadura de los tubos.	62
Figura 13-4. Proceso de soldadura del mamparo.	63
Figura 14-4. Chasis terminado, vista frontal	63
Figura 15-4. Chasis terminado, vista isométrica.	64
Figura 16-4. Chasis terminado, vista lateral.....	64
Figura 17-4. La mezcla de fibra de vidrio sobre el molde.....	65
Figura 18-4. Ubicación del piso del vehículo.....	66
Figura 19-4. Piso ajustado con los tornillos.	66
Figura 20-4. Ajuste con tornillos de la carrocería.....	67
Figura 21-3. Chasis cubierto completamente con la fibra de vidrio.....	67
Figura 22-4. Carrocería pintada.	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2. Ventajas y desventajas del sistema piñón cremallera.	21
Tabla 2-2. Distribución de las fuerzas de frenado según su sistema.	24
Tabla 1-3. Descripción de los diferentes componentes del vehículo.	39
Tabla 2-3. Propiedades físicas y mecánicas del aluminio 6063 T5.....	41
Tabla 3-3. Propiedades de fibras de vidrio seleccionadas.....	42
Tabla 4-3. Especificaciones técnicas de la fibra de vidrio.	42
Tabla 5-3. Valores de propiedades para fibra de carbono.	43
Tabla 6-3. Propiedades del Aluminio.....	44
Tabla 7-3. Matriz de decisión.....	44
Tabla 8-3. Resumen de resultados obtenidos de los estudios.....	54
Tabla 1-4. Descripción de los materiales para el chasis.	56
Tabla 2-4. Cantidad de cortes y medidas para el mamparo del vehículo.	58
Tabla 3-4. Materiales para fabricación de la carrocería.	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Distribución de cargas en tres zonas.....	47
Gráfico 2-3. Distribución de cargas en el asiento del piloto.....	47
Gráfico 3-3. Distribución de cargas en la parte superior del casco del vehículo.....	48
Gráfico 4-3. Distribución de cargas en la parte frontal del vehículo.....	48
Gráfico 5-3. Distribución de cargas en la parte lateral.	49
Gráfico 6-3. Distribución de cargas en la parte posterior del vehículo.	49
Gráfico 7-3. Prueba de elongación.	50
Gráfico 8-3. Factor de seguridad.....	50
Gráfico 9-3. Aplicación de fuerzas en los apoyos de las ruedas delanteras.	51
Gráfico 10-3. Aplicación de fuerza en el apoyo de la rueda trasera.....	51
Gráfico 11-3. Prueba de elongación en el apoyo de las ruedas.	51
Gráfico 12-3. Análisis aerodinámico en la entrada del volumen rectangular.....	52
Gráfico 13-3. Análisis aerodinámico en el volumen rectangular.	53
Gráfico 14-3. Análisis aerodinámico en la salida del volumen rectangular.	53
Gráfico 15-3. Análisis de la velocidad del aire y flujo laminar.....	54
Gráfico 16-3. Análisis de la velocidad del flujo, vista isométrica.....	54

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue diseñar el chasis y la carrocería de un prototipo de vehículo mediante el análisis CAE para la competencia Shell Eco-Marathon el mismo que debe ser ligero y a la vez resistente y permita una mayor velocidad mejorando su rendimiento en la competencia. Refiriéndose al diseño se tomó en cuenta el reglamento vigente de la competencia que especifica las medidas mínimas y máximas para el vehículo, también se utilizó un software de modelado asistido por computadora para la elaboración de los planos y el modelo del prototipo, luego se seleccionó el material mediante una matriz de decisión estableciendo aleación de aluminio perfil tubular redondo para el chasis y fibra de vidrio para la carrocería, con la ayuda de herramientas CAE se efectuó una simulación ingresando como datos de entrada el material con sus características y una velocidad de 60m/s. Realizado el análisis estático y dinámico se determinó que el prototipo tiene una elongación de 0.0043 y un factor de seguridad de 2.02 indicando una buena resistencia de la estructura y seguridad para el piloto; además, su forma posee un coeficiente de rozamiento de 0.34 lo que reduce la resistencia aerodinámica, la presión es baja de 211.11 Pa. porque la zona frontal es muy pequeña y hace que el flujo del aire se desvíe paulatinamente. Se concluye que los materiales utilizados permiten que el prototipo sea liviano y resistente debido a que el perfil redondo tiene un menor peso por pulgada que uno cuadrado y soporta mejor las cargas laterales; el material de la carrocería ofrece más ligereza con un peso total de 40 Kg. y mayor velocidad por la geometría planteada. Se recomienda la continuidad del proyecto que complementen este propósito como el sistema eléctrico, de freno y dirección y la potenciación del motor.

Palabras clave: <PROTOTIPO DE VEHÍCULO>, < CAE (SOFTWARE)>, <RESISTENCIA AERODINÁMICA>, <COEFICIENTE DE ROZAMIENTO>, <FIBRA DE VIDRIO>.



ABSTRACT

The objective of the present study was to design the chassis and the bodywork of a prototype vehicle through the CAE analysis for the Shell Eco-Marathon competition, which must be light and at the same time resistant and allow greater speed, improving its performance in the competition. Referring to the design, the current competition regulations that specify the minimum and maximum measures for the vehicle were taken into account, a computer-aided model software was also used for the elaboration of the plans and the prototype model, then the material using a decision matrix establishing aluminum alloy round tubular profile for the chassis and fiberglass for the bodywork, with the help of CAE tools a simulation was made entering as input data the material with its characteristics and a speed of 60ms. Performed the static and dynamic analysis, it was determined that the prototype has an elongation of 0.0043 and a safety factor of 2.02 indicating a good structure and safety resistance for the pilot; Besides, its shape has a coefficient of friction of 0.34 which reduces aerodynamic drag, the pressure is low of 211.11 Pa Because the frontal area is very small and causes the air flow to gradually deviate. It is concluded that the materials used allow the prototype to be light and resistant because the round profile has a lower weight per inch than a square one and better supports lateral loads; The body material offers lighter weight with a total weight of 40 kg and greater speed due to the raised geometry. The continuity of the project that complements this purpose is recommended, such as the electric, brake and steering system and the engine powering.

KEYWORDS: VEHICLE PROTOTYPE, CAE (SOFTWARE), RESISTANCE, AERODYNAMICS, REASONING COEFFICIENT, GLASS FIBER.



INTRODUCCIÓN

Shell Eco-marathon es uno de los principales programas de competencia de eficiencia energética para estudiantes del mundo. Su objetivo es ampliar los límites de lo que es técnicamente posible e inspirar a los jóvenes a convertirse en científicos e ingenieros líderes del futuro. Específicamente, Shell Eco-marathon Americas es la competencia anual que se lleva a cabo para equipos de América del Norte, Central y del Sur. (Shell Eco-Marathon;)

La prueba consiste en recorrer la mayor cantidad de kilómetros en una pista determinada con la menor cantidad de combustible o energía eléctrica posible, los competidores durante cuatro días ajustan sus vehículos hechos a medida para cumplir con las normativas técnicas antes de probar sus vehículos en el circuito y asegurarse de que están listos para competir. Existen dos categorías, la primera: prototipos de vehículos de aspecto futurístico, con líneas estilizadas donde su principal objetivo es disminuir considerablemente el consumo de combustible, la segunda categoría: Urban Concept, vehículos de aspecto convencional.

El concurso se desea impulsar el desarrollo de tecnologías que aminoren el impacto sobre el medio ambiente. Funcionarios gubernamentales, empresas, empresarios, estudiantes y comunidades se reúnen anualmente para encontrar las mejores soluciones a través de vehículos experimentales. Más de 1,200 estudiantes de Argentina, Brasil, Canadá, Colombia, Estados Unidos, Guatemala, México, Perú y Puerto Rico, incluido Ecuador desean implantar sus conocimientos y creatividad en la evolución de vehículos altamente eficientes.

En los últimos años, el equipo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Eco Kuntur, ha trabajado en un prototipo que ha tenido varias mejoras desde su creación, su parte externa está constituido por una carrocería hecho 100% en fibra de carbono y parabrisas de acrílico, ambos materiales son sumamente ligeros y con muy buenas prestaciones mecánicas. El habitáculo, que es la parte donde se encuentra el piloto, está hecho a la medida y reforzada con un roll bar (esqueleto de protección de aluminio) para salvaguardar la seguridad del piloto. (ESPOCH, 2018)

El reto está en encontrar el balance entre lo rígido y a la vez que sea liviano, marcando así la pauta para un rediseño del chasis y la carrocería con materiales que influirán en la calidad, fiabilidad y ergonomía del vehículo a participar.

CAPÍTULO I

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La competencia Shell Eco Marathon tiene sus inicios en el año 1939 en los Estados Unidos, los obreros de Shell Oil Company realizaron una apuesta para ver quién podía alcanzar una mayor distancia de recorrido utilizando la misma cantidad de combustible. Actualmente, el concurso tiene por objetivo que los estudiantes diseñen, construyan y prueben autos energéticamente eficientes y que recorran la mayor cantidad de Kilómetros utilizando la menor cantidad de combustible o energía posible y para ello Shell Eco-Marathon realiza tres eventos anuales en Asia, Europa y América. Los equipos ganadores son aquellos que logran reunir la mejor eficiencia energética en sus prototipos en cuanto al diseño del motor y la estructura, la elección de materiales y la destreza de su conductor.

Es el diseño del motor el que realmente impresiona al momento de las inspecciones técnicas, pero la estructura física, es decir, el chasis y la carrocería juegan un papel importante, para mayor rapidez el vehículo debe estar construido con un material liviano, pero a la vez resistente. La mayoría de competidores han utilizado materiales como fibra de carbono por sus prestaciones similares al acero, pero con un peso mucho menor, que optimiza el consumo de combustible del vehículo, debido a que estas magnitudes son directamente proporcionales.

Ecuador cuenta con dos participaciones (2106, 2018) a cargo del equipo E-Team de la Universidad del Azuay, en ambas ocasiones han participado en la categoría prototipos, vehículos eléctricos, siendo el 2018 donde obtuvieron el quinceavo lugar de la competición en su categoría, el material con el que se fabricó el vehículo fue aluminio y fibra de vidrio.

El prototipo desarrollado por el grupo Eco Kuntur de la ESPOCH que participó en el Shell Eco Marathon Brasil 2018, se fabricó con Aluminio 6063-T5 recubierto con fibra de carbono, con un peso de 52 kg incluido extintor y arnés de seguridad y una eficiencia de 360 km/l. Encontrándose dentro de los 12 grupos que obtuvieron Safety and Technical Inspection requisito para participar en las pruebas en pista. La velocidad máxima alcanzada en pruebas de funcionamiento fue de 60 km/h. (Grandes y Totoy. 2018)

Hoy el trabajo se enfoca en rediseñar la carrocería y el chasis del prototipo y mejorar el nivel competitivo.

1.2 Planteamiento del Problema

Los casos mencionados en el apartado anterior permiten establecer que la problemática en los vehículos concursantes es la selección del material para la construcción del automóvil esto se debe al peso del chasis y el diseño de la carrocería que afectan el desempeño del vehículo en el momento de la competición.

De esta manera, se requiere diseñar y construir el chasis y la carrocería de tal manera que se aligere el peso aumentando la velocidad y así ganar mayor efectividad, además de utilizar materiales nuevos e innovadores que sea livianos y resistentes.

Por lo tanto, se plantea ¿Es posible rediseñar el chasis y la carrocería del vehículo prototipo para la competencia Shell Eco Marathon?

1.3 Metodología

Para desarrollar este proyecto, se pretende revisar la investigación precedente a ésta, realizada por los alumnos de la escuela de ingeniería automotriz e integrantes del grupo Eco Kuntur para determinar cuáles son los inconvenientes en dicha tesis.

Se procedería a elaborar un bosquejo del nuevo prototipo del chasis considerando tanto los aspectos de la tesis anterior como las normas técnicas del concurso, con ayuda del software Solidworks se plasmará el nuevo modelo y se realizaría las pruebas y análisis correspondientes luego se establecería que material es el adecuado de tal forma que optimice su propio peso y logre ser desarmable para transportarlo a la competencia Shell eco maratón.

Finalmente se buscará los métodos de fabricación locales, así como la disponibilidad de materiales para el chasis y carrocería en el medio y sin ningún contratiempo se procedería a construirlo.

1.4 Consideraciones Técnicas y Tecnológicas

Para el desarrollo del chasis y carrocería, se va a considerar principalmente como guía el reglamento vigente de la competencia.

Como lo indica el reglamento en el artículo 25 DISEÑO DE VEHICULO, que se debe prestar mucha atención en todos los aspectos de seguridad, incluye conductor, participantes, voluntarios y público, por lo que propone lo siguiente:

- Los vehículos deben tener tres o cuatro ruedas que este en contacto con el suelo.
- Los prototipos deben tener una zona mínima de deformación de 100 mm entre los pies del piloto y la parte delantera del vehículo.

En el punto B de este mismo artículo dice que los apéndices aerodinámicos que cambien la forma del viento no son permitidos.

También incluye que, no deben incluir apéndices externos que comprometan la seguridad de los participantes, las puntas afiladas deben tener un radio de 50 mm o cubiertas con un material deformable.

En el literal D de mismo artículo, aclara que los paneles y ventanas de la carrocería deben ser rígidos.

Literal E, manifiesta que es permitida las películas de seguridad en las ventanas, pero no debe distorsionar la visibilidad del vehículo, por seguridad del conductor.

En el capítulo 6 hace referencia al chasis o la estructura monoscasco que debe proteger de forma segura al conductor de una colisión, poniendo énfasis en la resistencia que debe brindar la barra antivuelco, como:

- Debe colocarse a 50 mm del casco del piloto.
- Debe ser al menos igual al ancho de los hombros con conductor.
- Debe soportar una carga estática de 700N aplicada en dirección vertical, horizontal y perpendicular sin que afecte su estado original.

En el artículo 28, hace referencia a la visibilidad que debe tener el conductor donde debe tener un acceso a un arco directo de una visibilidad hacia adelante y a 90 ° a cada lado del eje longitudinal del vehículo.

Del mismo artículo, el punto B especifica que el vehículo debe estar equipado con un espejo retrovisor a cada lado, cada uno con un área mínima de 2500 mm².

El artículo 39 manifiesta las dimensiones que debe tener el prototipo, siendo estas:

- La altura máxima del vehículo debe ser de 1000mm.
- El ancho de pista del prototipo debe ser de al menos 500 mm.
- La relación entre la altura y el ancho de pista debe ser menos de 1,25.
- La distancia entre ejes de ser de al menos 1000 mm.
- El ancho máximo del prototipo no debe sobrepasar los 1300 mm.
- La longitud total máxima del vehículo no debe superar los 3500 mm.
- El peso máximo del prototipo sin piloto debe ser de 140 kg.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación Teórica

Esta investigación se realiza con el propósito de aportar al conocimiento existente sobre la aerodinámica como ciencia del manejo de corrientes de aire aplicada a los vehículos de carreras y la aplicación del teorema de Bernoulli. Gracias a la iniciativa que ofrece el concurso de Shell Eco Marathon Américas que incentiva a los estudiantes a diseñar y construir prototipos de vehículos eficientes y menos contaminantes, se puede sistematizar una propuesta, para ser incorporado a dicho concurso y se demostraría la capacidad de la energía alterna para mejorar el desempeño de los automóviles junto con un modelo más aerodinámico.

1.5.2 Justificación Práctica

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de mejorar el nivel de desempeño en la competencia internacional de Shell Eco Marathon, Americas, con la selección precisa de los materiales para la construcción del chasis y carrocería del vehículo a competir.

La carrocería debe ser rígida para una mayor seguridad, confort y durabilidad que ayude a disminuir el ruido en el interior del vehículo y resistente para que en el caso de colisión la deformación no llegue hasta el tripulante, es decir una carrocería apta a las exigentes pruebas del concurso.

El material con que se fabrique el chasis afectara a la velocidad del automóvil por eso es preciso seleccionar un material liviano que disminuya el peso y permita ir mucho más rápido que en competencias anteriores.

Finalmente, al ser un prototipo innovador tanto en eficiencia como sostenibilidad, se trabajará con una tecnología que permita alcanzar el objetivo planteado y que además quede como una referencia para futuros proyectos o investigaciones a nivel nacional e internacional en el campo automotriz.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Diseñar y construir un chasis y carrocería de un prototipo mediante el análisis CAE para la competencia Shell Eco-Marathon.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Analizar los precedentes de la competición de Shell Eco-Marathon para regirse al reglamento y así cumplir con los requerimientos establecidos.
- Diseñar y construir un bastidor mediante el uso de software Solidworks para cumplir con los requisitos de la competencia.
- Diseñar y construir una carrocería mediante el uso de software Solidworks de modo que cumplan con los requisitos de la competencia.
- Evaluar el desempeño del vehículo mediante el uso de software ANSYS.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Chasis o Bastidor

El chasis o bastidor, consiste en una estructura interna que actúa como soporte, aporta rigidez y da forma a un vehículo. Es análogo al esqueleto de un animal. Para el caso de un vehículo, consta de un armazón que integra entre sí y sujeta tanto los componentes mecánicos, como el grupo motor propulsor y la suspensión de las ruedas, motor incluyendo la carrocería.

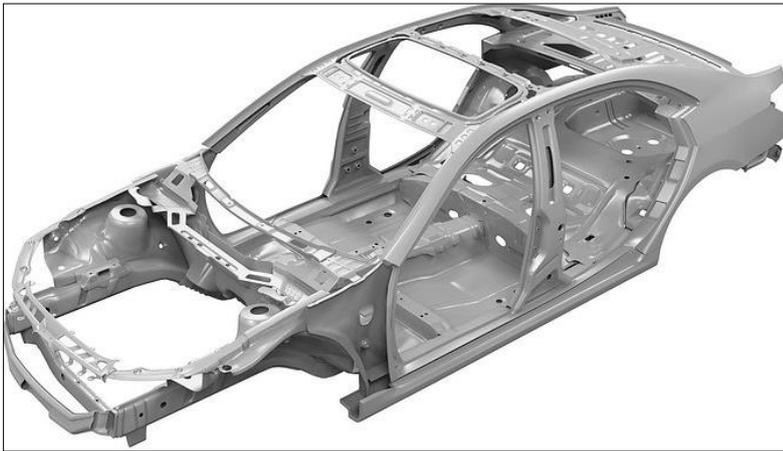


Figura 1-2. Chasis de un automóvil.

Fuente: (LocTite TerosOn, 2018)

2.1.1 Estructura y elementos

El chasis es una estructura en la que se montan y ajustan todos los componentes, resistiendo el peso del motor, caja de velocidades, etc. y otros sujetados de él (la suspensión y las ruedas). La figura 2-2 muestra los elementos del bastidor de un vehículo todo terreno y son: dos *largueros* (3 y 8) de acero estampado y sección en U, curvados en los puntos 1 y 9 donde reciben al *eje delantero* y de la misma forma 4 y 5 para el *eje trasero*, lo que permite las oscilaciones verticales. Los largueros se aproximan por la parte delantera debido a que las ruedas necesitan más espacio de movimiento para orientarse.

Los largueros están vinculados por diversos *travesaños* 2, 6 y 7, colocados en distancias apropiadas para soportar la carrocería y los demás elementos. Estos travesaños también poseen

una zona adecuada a los esfuerzos al igual que los largueros, que están sometidos mientras esté en marcha. (Alonso, 2010)

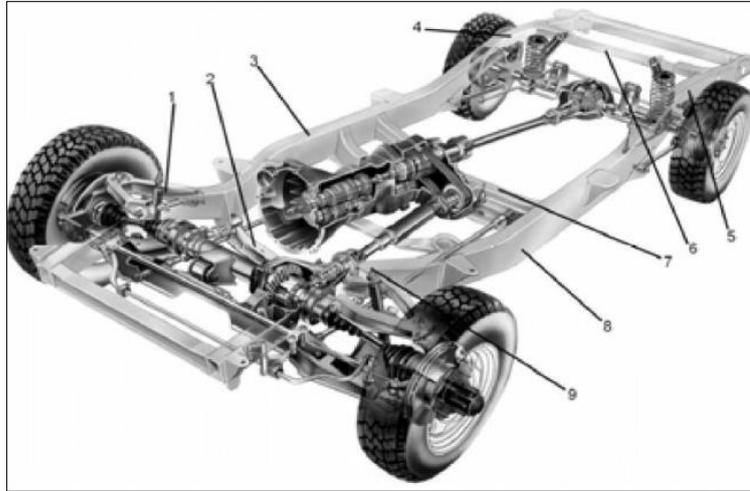


Figura 2-2. Puntos clave de un bastidor.
Fuente: (Alonso, 2010)

Las dos normas clave a seguir en la construcción de los bastidores es: ligereza e indeformabilidad. Por ello, algunos bastidores se construyen de manera que los largueros se cruzan en su mitad, formando una equis a la que se unen en distintos puntos los travesaños. (Alonso, 2010)

La distancia entre los ejes delantero y trasero se llama *batalla* y la separación entre las dos ruedas de un mismo eje se denomina *vía*. (Alonso, 2010)

2.1.2 Características generales

Los largueros deben soportar el peso de todos los mecanismos internos del vehículo sea directamente o a través de los travesaños, por lo que están sometidos a esfuerzos constantes de flexión que aumentan con los golpes del sistema de suspensión, por esta razón deberán tener una gran rigidez para así resistir estos esfuerzos. De la misma manera, están sometidos a esfuerzos torsionales cuando el vehículo circula en carreteras irregulares razón por la cual sus secciones deben ser rectangulares o en forma de U, esto le otorga gran rigidez, una fácil unión de los travesaños y una sencilla construcción de bastidor. (Alonso, 2010)

El bastidor o chasis se une a la carrocería, generalmente por medio de la soldadura de los puntos de resistencia o laser en otros, los largueros y travesaños deben tener formas adecuadas para que el piso del vehículo quede lo más bajo posible beneficiando una marcha estable. En ocasiones el chasis puede estar conformado de una plataforma hecha de perfiles y chapas unidas entre sí por

soldadura o pegamentos especiales, unidas a esta también se encuentra la carrocería, consiguiendo una rigidez grande, tanto longitudinal, como torsional. (Alonso, 2010)

2.1.3 Tipos de chasis

2.1.3.1 Escalera

Es el bastidor más antiguo y respectivamente sencillo a otros diseños, en la época colonial era utilizado en la elaboración de carrozas jaladas por caballos. (Garzon, 2012)

Su constitución es de dos largueros metálicos, colocados de manera paralela a lo largo del vehículo, los cuales serán unidos entre sí mediante algunos travesaños (Garzon, 2012).

A través del tiempo, la forma de largueros rectos ha ido modificando, agregándose elementos curvos, refuerzos en forma de “X”, ensanchamientos en algunas secciones, en sí, modificaciones que mejoran las prestaciones vehiculares (Garzon, 2012).

Hoy en día es utilizado para vehículos todo terreno, buses, camiones, camionetas, entre otros (Garzon, 2012).



Figura 3-2. Bastidor de tipo escalera.

Fuente: Jerónimo Garzon; 2012

2.1.3.2 Autoportante

Actualmente son los más utilizados, se constituyen por uniones entre chapas mediante soldadura o remaches, unir materiales distintos permite ganar la rigidez necesaria, optimiza el diseño reduciendo el peso y los costos de producción (Garzon, 2012).



Figura 4-2. Chasis autoportante.

Fuente: Jerónimo Garzon; 2012

2.1.3.3 Tubular

Es una estructura conformada en su totalidad por tuberías huecas, su compleja estructura es similar a un tejido de araña, por lo que es muy utilizada para vehículos del tipo para competencia, también deportivos o motocicletas porque prometen la mejor relación de resistencia-peso, como principal desventaja se tiene su alto costo de producción, además de la dificultad para poder instalar o acceder a los componentes del vehículos (Garzon, 2012).



Figura 5-2. Bastidor tubular.

Fuente: Jerónimo Garzon; 2012

2.1.3.4 Monocasco

El chasis monocasco es un tipo de bastidor tiene un doble propósito, ser chasis y a la vez la carrocería del vehículo, son mucho más eficientes en prestaciones en comparación con los demás tipos, también son livianos y con una gran resistencia estructural, no obstante, el costo para fabricarlos es excesivo, razón por la que son más usados en vehículos deportivos.



Figura 6-2. Chasis monocasco.

Fuente: Jerónimo Garzon; 2012

2.1.4 Principios para diseñar el chasis

De manera general dos aspectos a tener en cuenta al diseñar un chasis son: la rigidez-flexión y la rigidez-torsión. El primero se representa la flexión del chasis con respecto al peso de los demás elementos en el vehículo; el segundo en cambio trata de la deformación del chasis causado por una carga asimétrica, el ejemplo más práctico que se puede dar es encontrarse en la situación de que una de las ruedas delanteras pase por un bache y las demás no, dependería del tipo de competencia para decidir el límite máximo de grados que requerirá que se deforme cuando se genere el par de torsión. (Pauta, 2016)

2.2 Carrocería

Se puede imaginar a la carrocería como una caja exclusiva destinada a transportar personas o mercancías durante la circulación del automóvil. La función principal de la carrocería es alojar y proteger a los pasajeros del vehículo. (CEDE, 2010)

Además, es un elemento muy importante dentro de la estética del vehículo, ya que dependiendo del tipo de carrocería podemos estar hablando de un vehículo u otro.

2.2.1 Tipos de carrocerías

2.2.1.1 Chasis con carrocería separada:

Vehículo en este tipo de carrocerías el propio chasis es el que soporta todas las piezas mecánicas, inclusive podría marchar sin ninguna clase de carrocería, la cual se establece como un conjunto independiente con su propio piso, está ensamblada al chasis, pero puede separarse para alguna

reparación. Es común que se monte en vehículo todoterreno, furgonetas, camiones y vehículos especiales como grúas.

2.2.1.2 Plataforma con carrocería separada:

El chasis es la plataforma donde todos sus elementos se encuentran soldados entre sí, tiene la capacidad de soportar los componentes mecánicos y el piso del vehículo, mediante tornillos la carrocería se acopla a la plataforma. Este tipo de carrocerías se pueden encontrar en vehículos como el Citroen Mehari o el 2CV.

2.2.1.3 Carrocería monocasco:

Son estructuras realizadas en un solo pieza, cuenta con elementos desmontables como capós, puertas o parachoques, el primer automóvil en llevar una carrocería de este tipo fue en el año 1923 modelo Lancia Lambda

2.2.1.4 Carrocería autoportante

Es una carrocería frecuentemente utilizada por la mayoría de automóviles actuales. Se presenta constituida por varias piezas unidas por medio de soldaduras, esta característica permite que la reparación sea fácil de realizar simplemente con la sustitución de la pieza averiada. Entre sus componentes externos están: parachoques las aletas, capó, etc. (LocTite TerosOn, 2018)

2.2.2 Exigencias en el diseño y construcción de carrocerías

En el diseño de la carrocería además de los aspectos de la estética y funcionalidad existen otros factores de gran importancia, como necesidades estructurales, ligereza, aerodinámica y seguridad. Encaminados a mejorar las prestaciones, economizar energía y proteger a los ocupantes.

2.2.2.1 Aerodinámica

“Rama de la mecánica de fluidos que estudia el movimiento del aire y otros gases, y su interacción con los cuerpos que se mueven en ellos” (Real Academia Española, 2018).

2.2.2.1.1 Importancia en el sector automovilístico

Hoy en día, el diseño de las carrocerías de los automóviles ha ido adquiriendo gran relevancia debido a que no solo se trata de conseguir un vehículo de apariencia moderna y de una estética impecable, sino también, o más importante que eso, una buena aerodinámica. Es decir, que la resistencia a vencer durante su movimiento sea la menor posible, consecuentemente la potencia del motor mejora, el consumo de combustible se reduce y sus prestaciones son mejores. (Alonso, 2010)

Garantizar un diseño correctamente aerodinámico depende de los fabricantes quienes antes que poner en el mercado cualquier modelo primero lo someten a estrictas pruebas una de ellas es el conocido túnel aerodinámico, dicha prueba permite comprobar el efecto y la resistencia que se presentan en las diferentes formas del vehículo en movimiento (Figura 7-2) y sobre todo bajo a la exposición del viento lateral, visualizando además los flujos de aire en circulación con la ayuda de la pulverización de ciertos líquidos especiales. La aerodinámica de una carrocería posee un coeficiente de penetración (C_x) que dependiendo de su valor establece una evaluación de la capacidad de penetrar un vehículo en el aire. (Alonso, 2010)



Figura 7-2. Prototipo en túnel aerodinámico.

Fuente: Manual Chasis

Visto desde un el punto de vista de la aerodinámica, el diseño y construcción de las carrocerías se orientan hacia un modelo que posea la mínima resistencia al avance, siendo así la geometría idónea la forma de “gota”; lo que resulta antiestético para muchos fabricantes por lo que se tiende a introducir ciertas características agradables a la vista de los conductores como: reducir la altura del vehículo, inclinar los parabrisas lo que también mejora la aerodinámica, evitar las superficies salientes como los faros, estos se pueden incrustar en la carrocería y a la vez redondear la zona de los espejos retrovisores y paragolpes. (Alonso, 2010)

2.2.2.1.2 Principios básicos.

Las fuerzas aerodinámicas producidas en el vehículo tienen dos fuentes de origen, la primera de ellas relacionada a la forma del vehículo, y la segunda a la fricción viscosa. (Gillespie , 1992 pág. 79).

La magnitud de las fuerzas aerodinámicas que se generan cuando un vehículo se desplaza por la carretera, va a depender de las características del aire (viscosidad y densidad) y del sólido, considerando su forma, rugosidad superficial, el área de contacto con el aire y, sobre todo, la velocidad relativa entre éste y el aire. Es decir, sobre cada punto de la superficie del automóvil, estarán presentes un par de fuerzas, una *Fuerza de Presión*, normal a la superficie del cuerpo, debido a la velocidad relativa entre ambos, y una *Fuerza de Rozamiento*, tangente a la superficie del cuerpo, debida a la viscosidad del aire. (Rodríguez, 2014)

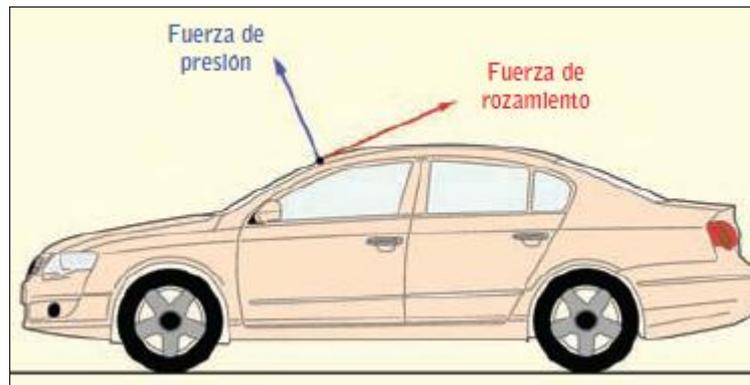


Figura 8-2. Fuerzas aerodinámicas.
Fuente: (Rodríguez, 2014)

La sumatoria de todas las fuerzas de presión da como resultante, una *fuerza neta total*, aplicada en un punto imaginario (Centro de presiones). Al descomponer esa fuerza neta en dos componentes, en la dirección de movimiento y en su perpendicular, se tiene la primera componente, llamada *fuerza de arrastre* (arrastre inducido) se opone al avance del vehículo y la segunda, llamada *fuerza de adherencia o sustentación*, hace que el vehículo se adhiera o tenga tendencia a separarse del suelo. (Rodríguez, 2014)

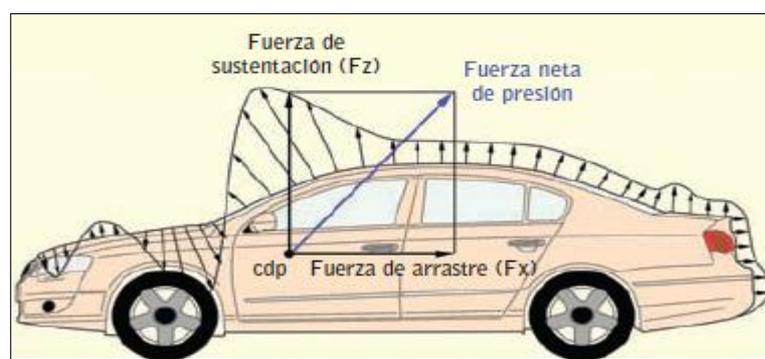


Figura 9-2. Componentes de la Fuerza Neta de presión.
Fuente: (Rodríguez, 2014)

Si sumamos todas las fuerzas de rozamiento se obtiene una resultante Fuerza Neta de Rozamiento aplicada en el Centro de Presiones. Descomponiendo en las dos direcciones anteriores, se obtiene en la dirección de movimiento del fluido una *fuerza de arrastre* que se opone al desplazamiento del vehículo. (Rodríguez, 2014)

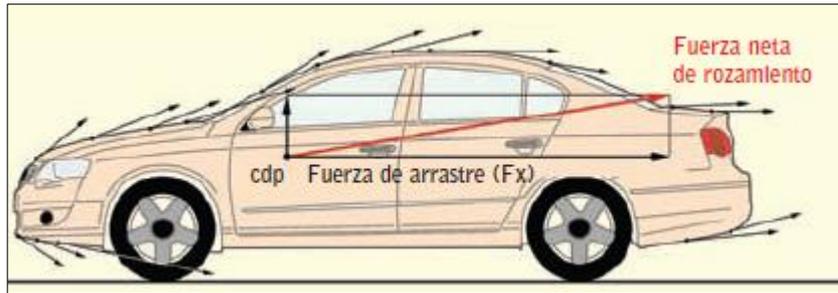


Figura 10-2. Fuerza de arrastre en dirección opuesta al vehículo.
Fuente: (Rodríguez, 2014).

Dada la complejidad de los efectos del aire sobre el vehículo la relación entre ambos dependerá de una única variable, los llamados *Coefficientes*. Los cuales permitirán predecir los efectos aerodinámicos sobre un cuerpo determinado (prototipo) a partir de las mediciones obtenidas sobre el modelo conocido.

Los coeficientes más utilizados son el coeficiente de arrastre o coeficiente de penetración (C_x) y coeficiente de sustentación (C_z)

$$C_x = \frac{\text{fuerza de arrastre } (F_x)}{\text{Presion dinamica} * \text{Superficie de Referencia}}$$

$$C_z = \frac{\text{fuerza de sustentación } (F_z)}{\text{Presion dinamica} * \text{Superficie de Referencia}}$$

Se llama coeficiente de penetración C_x porque la x indica una dirección en un eje de tres coordenadas; al coeficiente vertical o de elevación se le denomina C_z por la misma causa.

El coeficiente aerodinámico C_x es la expresión de la resistencia que ofrece un cuerpo a moverse dentro de un fluido por razón de su forma. Se toma como un coeficiente adimensional, a partir de la resistencia que hace una plancha cuadrada de metal, de 1 m de lado. Al coeficiente de la plancha se le atribuye el valor 1, y a otros cuerpos se les atribuye un valor como referencia a ese.

2.2.2.1.3 Resistencia Aerodinámica.

El C_x en la mayoría de los autos de producción está entre 0,25 y 0,40; algunos prototipos bajan de 0,20. El C_x es uno de los datos necesarios para calcular la resistencia aerodinámica R_x . El otro dato es un área de referencia (superficie frontal). La razón por la que se escoge la superficie frontal es que se supone que por detrás del plano de mayor área es donde se produce la separación del flujo aerodinámico de la carrocería; que es la principal causa de resistencia aerodinámica en el vehículo.

La separación de flujo puede ser turbulento o laminar según la superficie como indica la Figura 11-2, el flujo turbulento es un fluido que se da en forma caótica, las partículas se mueven en desordenadamente y las trayectorias de las partículas forman remolinos aperiódicos.

El fluido laminar es cuando el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y es típico de los fluidos a velocidades bajas.

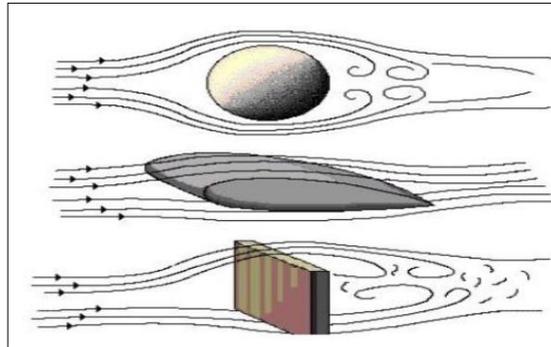


Figura 11-2. Separación del flujo en diferentes superficies.
Fuente: (Díaz, 2012)

Al multiplicar el coeficiente de penetración C_x , tomado como número adimensional, por la superficie frontal (m^2), da un valor de resistencia aerodinámica SC_x , (m^2).

Por tanto, la resistencia aerodinámica R_x depende fundamentalmente de cuatro factores: la densidad del aire, la velocidad al cuadrado, la superficie frontal y el coeficiente de resistencia aerodinámica del vehículo, todo ello multiplicándose y por tanto influyendo en la misma medida. Si se divide el resultado de esa multiplicación entre dos, se tiene la fórmula completa, pero lo que importa aquí es lo que son y cómo actúan cada uno de esos factores. (Rodríguez, 2014)

$$R_x = \frac{1}{2} d * v^2 * A * C$$

Donde:

R_x = Resistencia aerodinámica (N)

d = Densidad del aire (kg/m^3),

v^2 = velocidad al cuadrado (m^2/s^2),

A = Superficie frontal (m^2),

C_x = Coeficiente de resistencia aerodinámica.

2.2.2.1.4 Factores adicionales que influyen en la Resistencia Aerodinámica

Se debe tomar en cuenta que la densidad del aire es variable, puesto que factores como la temperatura, presión e inclusive la humedad pueden causar variaciones en esta (densidad del aire). En condiciones de laboratorio se tiene que a $15\text{ }^\circ\text{C}$ y 760 mmHG la densidad del aire es de 0.076

lb/ft³, es decir, 1.217 kg/m³. (Gillespie , 1992 pág. 97.98) Sin embargo, cuando estas condiciones varían se puede obtener la densidad del aire utilizando lo siguiente:

$$\rho = 0.00236 \cdot \frac{P_r}{29.92} \cdot \frac{519}{460 + T_r}$$

Donde:

P_r =Presión atmosférica en pulgadas de mercurio

T_r =Temperatura del aire en grados Fahrenheit

Mientras que para el sistema métrico:

$$\rho = 1.225 \cdot \frac{P_r}{101.325} \cdot \frac{288.16}{273.16 + T_r}$$

Donde:

P_r =Presión atmosférica en kiloPascales

T_r =Temperatura del aire en grados Celsius

El coeficiente de arrastre es tan amplio como figuras existentes hay, esquematizándolos de la siguiente manera en cuanto a figuras más comunes, y tomando en cuenta que no existen componentes laterales en cuanto al aire que está en contacto con la carrocería (Gillespie , 1992 pág. 98):

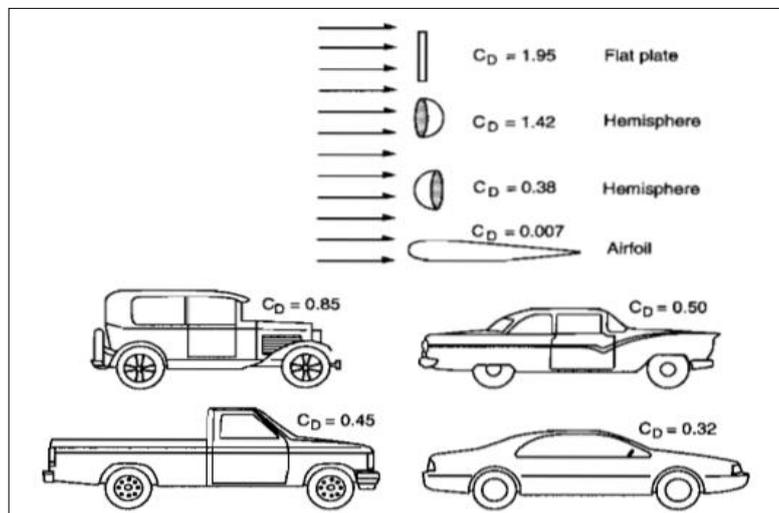


Figura 12-2. Coeficientes de arrastre para varias superficies y vehículos.

Fuente: Thomas Gillespie, 1992

Finalmente se debe tener en cuenta que, para considerar la velocidad del viento, la dirección de este será aleatoria y estará determinada por la trayectoria del coche. Y se lo puede caracterizar de la siguiente manera:

$$V = V_V + V_W$$

Donde:

V_V =Velocidad del Vehículo

V_W =Velocidad del viento

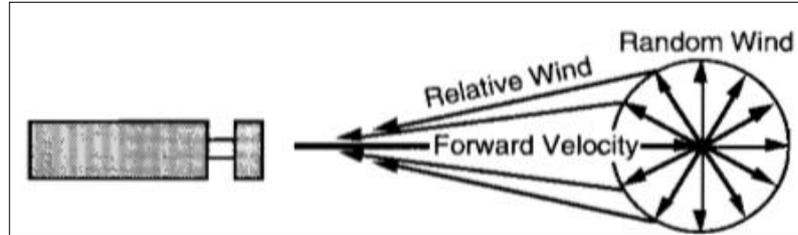


Figura 13-2. Viento relativo visto desde el motor del vehículo en el camino.

Fuente: Thomas Gillespie, 1992

Cuando el viento atmosférico sopla hacia el vehículo, es considerado un “viento en contra”, entonces en la ecuación 2-4, se suma la magnitud del viento, pero cuando el viento sopla en la misma dirección que la trayectoria del vehículo, se considera como “viento de cola”, se procede a restar la velocidad del viento en la ecuación 2-4 (Gillespie , 1992 pág. 99).

2.2.2.2 Principio de Bernoulli

El principio de Bernoulli puede derivarse del principio de conservación de la energía. Esto indica que, en un flujo constante, la suma de todas las formas de energía en un fluido a lo largo de una línea de flujo es la misma en todos los puntos de esa línea. Esto requiere que la suma de la energía cinética, energía potencial y energía interna permanezca constante. Por lo tanto, un aumento en la velocidad del fluido, que implica un aumento en su energía cinética, es decir, de la presión dinámica, conlleva una disminución simultánea en la suma de su energía potencial (incluida la presión estática) y energía interna (Wikipedia, 2019)

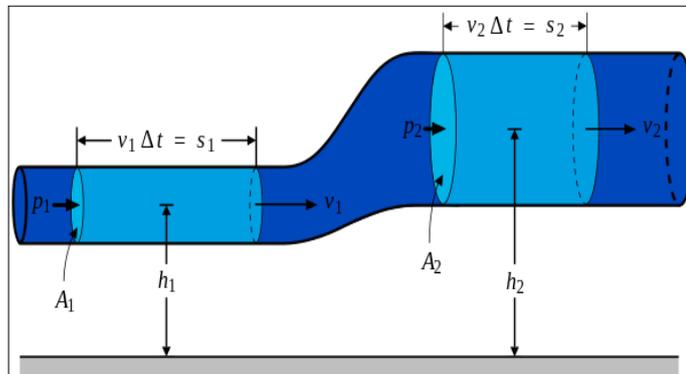


Figura 14-2. Principio de Bernoulli, conservación de la energía.

Fuente: (Wikipedia, 2019)

Daniel Bernoulli, científico suizo, comprobó experimentalmente que "la presión interna de un fluido (líquido o gas) decrece en la medida que la velocidad del fluido se incrementa", o dicho de otra forma "en un fluido en movimiento, la suma de la presión y la velocidad en un punto cualquiera permanece constante", es decir que

$$p + v = k.$$

Para que se mantenga esta constante k, si una partícula aumenta su velocidad v será a costa de disminuir su presión p, y a la inversa (Suarez, et al., 2015)

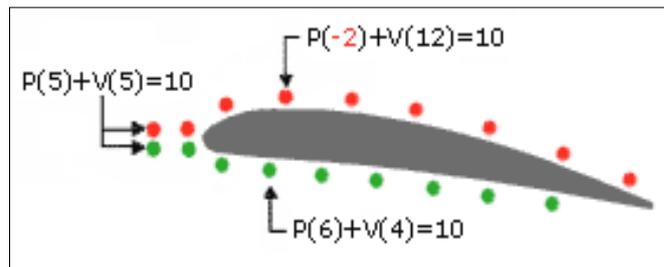


Figura 15-2. Teorema de Bernoulli.

Fuente: (Suarez, et al., 2015)

2.3 Sistema de Dirección

Es considerado como el sistema de dirección de un vehículo a el conjunto de mecanismos cuyo objetivo no es otro que el de orientar las ruedas directrices, a voluntad del conductor con el fin de alterar la trayectoria vehicular. (Luque, y otros, 2012 pág. 237).

Sin embargo, el sistema de la dirección no solo se limita a la maniobrabilidad precisa y fiable del coche, también está enfocado en el aislamiento de perturbaciones procedentes de la calzada, busca un contacto constante entre los neumáticos y el piso, y presente un esfuerzo mínimo para el conductor cuando el vehículo se desplace a bajas velocidades, y una gran estabilidad cuando el coche se desplace velozmente. (Luque, y otros, 2012 pág. 237)

2.3.1 Tipos de Sistemas de Dirección

A pesar de que existen dos grupos en la clasificación de los sistemas de dirección, en cada uno de ellos se puede apreciar la siguiente subdivisión:

- Dirección manual, donde la fuerza necesaria para modificar la trayectoria del vehículo proviene exclusivamente del conductor. (Luque, y otros, 2012 pág. 252)
- Dirección asistida, donde la fuerza necesaria para modificar la trayectoria del vehículo proviene del conductor y de alguna fuente externa. (Luque, y otros, 2012 pág. 252)

- Servodirección, donde la fuerza necesaria para modificar la trayectoria del vehículo proviene de varias fuentes externas. (Luque, y otros, 2012 pág. 252)
- Autodirección, se define como la modificación de la trayectoria está dada por la aplicación de fuerzas o momentos debido al contacto entre las llantas y la calzada. (Luque, y otros, 2012 pág. 252)

2.3.1.1 Sistema Piñón-Cremallera

Es un sistema relativamente sencillo, donde un piñón gira por acción del volante, moviendo una cremallera que se encuentra ubicada transversalmente, esta a su vez está unida por medio de rótulas a las bieletas de la dirección.

Actualmente es uno de los sistemas más aceptados y brinda las siguientes ventajas y desventajas:

Tabla 1-2. Ventajas y desventajas del sistema piñón cremallera.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Construcción sencilla. Fácil y económica de fabricar. Buena eficiencia. Contacto libre entre piñón y cremallera. La bieleta puede unirse directamente a la cremallera. Baja elasticidad de la dirección. Fácil de limitar el movimiento máximo de la cremallera	Alta sensibilidad a impactos. Tensiones importantes debido a fuerzas angulares en la bieleta. Sensibilidad importante en el volante ante perturbaciones externas. La longitud de la bieleta es algunas veces demasiado corta cuando se conecta directamente a la cremallera. El ángulo de giro depende del movimiento de la cremallera. No puede usarse en un eje rígido. Con brazos demasiado cortos resultan fuerzas elevadas en el sistema.

Fuente: Pablo Luque, 2012

Realizado por: (Grandes & Totoy, 2019)

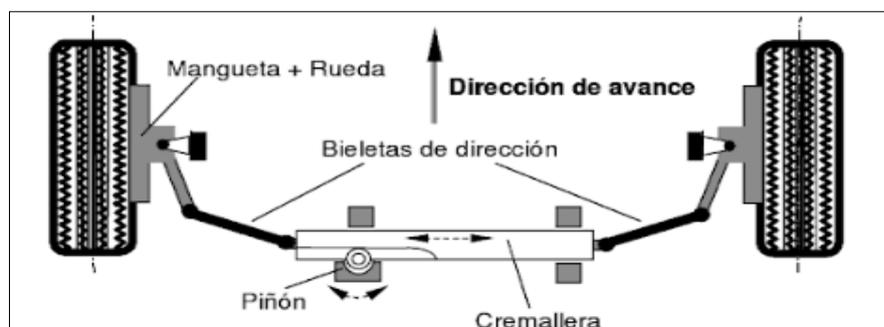


Figura 16-2. Dirección piñón cremallera.

Fuente: Pablo Luque, 2012

2.3.1.2 Sistema de Bolas Recirculantes

Consiste en un mecanismo que alberga un tornillo roscado, donde en uno de sus extremos se encuentra el extremo de la columna de dirección, este tornillo al ser accionado por el volante y columna de dirección gira alrededor de 4 vueltas alrededor de sí mismo, causando el movimiento de una serie de engranajes, los mismos que disminuirán considerablemente el esfuerzo realizado por el conductor. Debe su nombre a que utiliza una serie de esferas que facilitan su desplazamiento. Su aplicación más común es en vehículos de trabajo pesados. (Luque, y otros, 2012 págs. 256, 257)

Es un sistema cuya principal característica es que puede montarse sobre un eje rígido, y además puede transmitir fuerzas elevadas. (Luque, y otros, 2012 pág. 257)

2.3.2 Condición de Ackerman

Al revisar la figura 14-2, se puede decir sin lugar a duda que mientras el vehículo está tomando una curva de radio constante, se constata que las ruedas exteriores presentarán una trayectoria circular con un radio mayor al presentado por las interiores, para asegurar un comportamiento dinámico y óptimo, las ruedas interiores y exteriores deberán tener un ángulo de guiado diferente. Además, esta condición permitirá que se corten en un punto O, lo que asegurará un radio de curvatura constante para todas las ruedas.

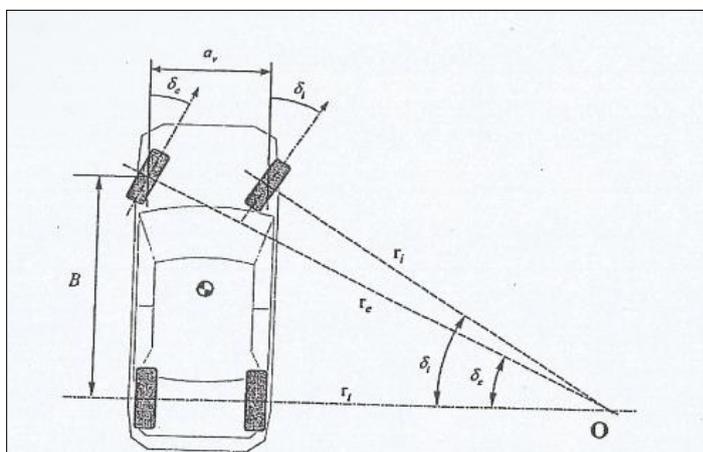


Figura 17-2. Geometría de la dirección.

Fuente: Pablo Luque, 2012

Por lo que se lo puede representar con la siguiente expresión:

$$\cotg(\delta_e) - \cotg(\delta_i) = \frac{a_v}{B}$$

Donde:

δ_e = ángulo de guiado externo

δ_i = ángulo de guiado interno

α_v = ancho de vía anterior

B = Batalla o distancia entre ejes

Esta expresión, se la representa como la condición de Ackerman, siendo utilizada por primera vez en 1878 por Jeantaud. (Luque, y otros, 2012 pág. 241)

2.4 Sistema de Frenado

Se considera sistema de frenado, al conjunto de mecanismos que permiten disminuir la velocidad del vehículo, o inclusive detenerlo por completo. Se considera uno de los sistemas de seguridad imprescindibles que debe existir en un vehículo. Debe presentar características de precisión y principalmente fiabilidad. (Luque, y otros, 2012 pág. 393)

2.4.1 Instalaciones

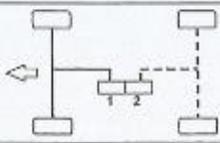
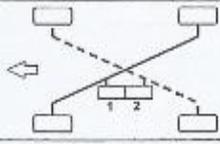
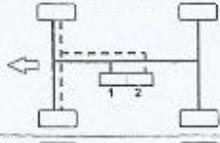
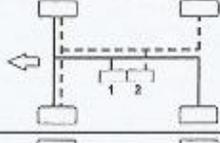
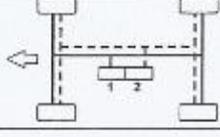
2.4.1.1 Freno de Servicio

Es aquel freno que se utiliza a voluntad y criterio del conductor permitiéndole desacelerar el coche de manera progresiva, o para poder detenerlo. Este es accionado por el pedal, y su principal característica es la precisión. (Luque, y otros, 2012 pág. 394).

Del mismo modo para poder frenar el auto, utilizan circuitos hidráulicos de uno o dos circuitos. Siendo el de un único circuito empleado en vehículos antiguos o pequeños, transmite una sola fuerza a todas las ruedas, la gran desventaja es que si existe algún desperfecto en el sistema el sistema se ve críticamente mermado. Por su lado el de circuito dual, donde se maneja de a dos ruedas cada circuito, convirtiéndolo en el más fiable. (Luque, y otros, 2012 pág. 395)

Las variantes pueden ser:

Tabla 2-2: Distribución de las fuerzas de frenado según su sistema.

	<p>Sistema II Distribución eje delantero, eje trasero. Cada circuito frena un eje</p>
	<p>Sistema X Distribución diagonal</p>
	<p>Sistema HI Distribución eje delantero-eje trasero, eje delantero</p>
	<p>Sistema LL Distribución eje delantero y rueda trasera, eje delantero y rueda trasera</p>
	<p>Sistema HH Distribución eje delantero-eje trasero, eje delantero-eje trasero</p>

Fuente: Pablo Luque, 2012

2.4.1.2 Freno de Socorro

Sistema de frenado, creado con el fin de poder sustituir al sistema de servicio cuando esté presente alguna falla, normalmente no es tan eficiente y utiliza componentes del sistema de servicio y del sistema de estacionamiento. (Luque, y otros, 2012 pág. 396)

2.4.1.3 Freno de estacionamiento

También conocido como freno de mano, cuya función principal es la de mantener estático al coche sin importar las condiciones, es decir, bajo cualquier pendiente en cualquier tipo de clima. Por motivos de seguridad este tipo de freno debe ser operativo inclusive si existe alguna falla en el sistema hidráulico o neumático. (Luque, y otros, 2012 pág. 397)

2.4.2 Clasificación

2.4.2.1 Freno de Tambor

Se considera como freno de tambor al que por medio de zapatas en fricción con un tambor pueden detener un cuerpo en movimiento. Es uno de los mecanismos más utilizados tanto por autos, camionetas y automotores de gran tamaño. (Luque, y otros, 2012 pág. 448)

Utilizan varios tipos de accionamiento:

- Accionamiento hidráulico, utiliza un sistema hidráulico quien será el encargado de transmitir la fuerza a las zapatas por medio de cilindros. (Luque, y otros, 2012 pág. 448)
- Accionamiento por aire comprimido, formado principalmente por un compresor, un calderín y una válvula reguladora de caudal la cual será accionada de acuerdo con el uso del pedal. El aire es el medio utilizado para accionar los cilindros de frenado. (Luque, y otros, 2012 pág. 449)
- Accionamiento mixto, utilizan un servofreno accionado por un compresor a través de un calderín (en contraste a la mayoría de los servofrenos donde se toma un vacío provocado por el colector de admisión). El pedal regula el paso de aire hacia el servofreno y acciona un circuito hidráulico que procederán a frenar el automotor. (Luque, y otros, 2012 pág. 449)

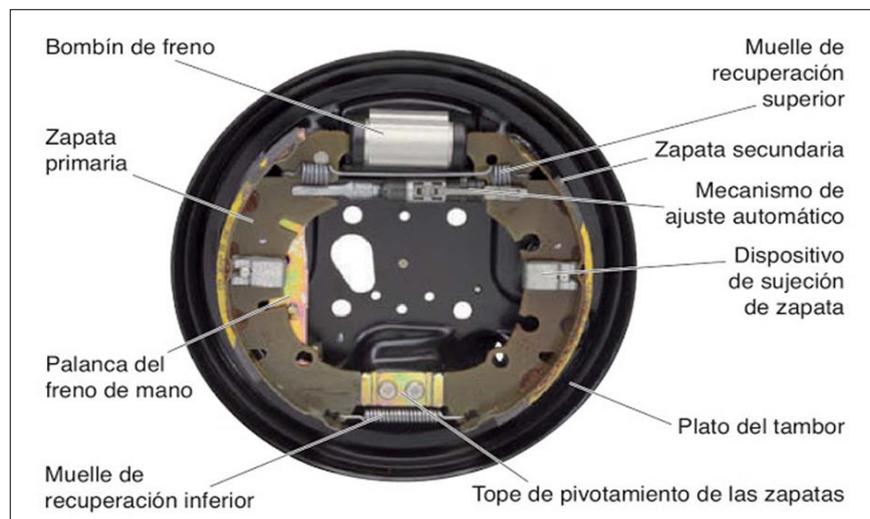


Figura 18-2. Freno de tambor.

Fuente: (Dominguez, y otros, 2012)

2.4.2.2 Freno de Disco

Debido al calor que se produce debido a la fricción en el momento de frenar, los frenos de tambor tienden a perder eficacia, por lo que se empezó a sustituir este tipo de frenos con los de discos, los mismo que presentan una buena absorción y disipación de calor. La forma de frenar es aplicar

una fuerza axial sobre el disco utilizando pastillas, las cuales mantienen sus propiedades en un amplio rango de temperaturas. (Luque, y otros, 2012 pág. 458)

Se los puede clasificar en:

- Mordaza o pinza fija, es una mordaza donde esta permanece sujeta a la pieza de sustentación de freno de una manera rígida, como característica principal es la presencia de dos émbolos que presionaran la pastilla hacia cada una de las caras del disco de frenado. Son pesadas, pero más eficaces, lo que las hace idóneas para vehículos grandes o de altas prestaciones. (Luque, y otros, 2012 pág. 460)

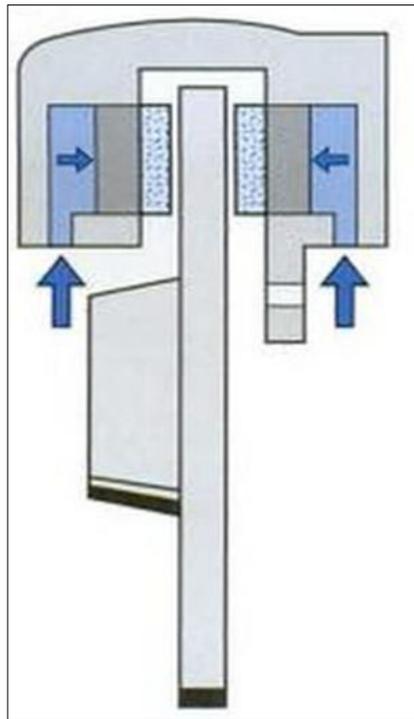


Figura 19-2. Freno de disco de mordaza fija.

Fuente: (Bosch, 2003)

- Mordaza o pinza flotante, en contraste con el de pinza móvil, la pinza presenta un movimiento axial, mismo que brinda cierto desplazamiento. Posee únicamente un embolo el mismo que desplazara una pastilla hacia el disco. Son de menor tamaño y normalmente son utilizados en coches donde se tiene poco espacio.

vital importancia un correcto funcionamiento pues incide de manera directa en la dinámica del automóvil. (Luque, y otros, 2012 pág. 15)

2.5.1 La Rueda

Se puede definir a la rueda como el elemento giratorio que soporta las diferentes cargas y está situado entre el neumático y el eje (Luque, y otros, 2012 pág. 16).

La rueda está compuesta por:

- Llanta
- El disco

Ambos componentes pueden formar una sola pieza, o pueden estar unidos e inclusive ser desmontables. Se considera a llanta a la parte de la rueda donde se apoya el neumático, mientras que disco es la parte que une la llanta con el cubo de la rueda (Luque, y otros, 2012 pág. 16).

2.5.2 Neumático

Se considera como neumático a la cubierta montada sobre la rueda, además de la cámara que forma entre la cubierta y la rueda, que normalmente suele estar llena con aire a presión (Luque, y otros, 2012 pág. 20).

El Neumático, al ser el elemento que se encuentra en contacto directo con la calzada todo el tiempo, influye de manera sustancial en el comportamiento dinámico del vehículo, cumpliendo con ciertas características mínimas para su correcto funcionamiento (Luque, y otros, 2012 pág. 21).

Una de esas características es la de poseer un elevado coeficiente de adherencia para la mayor cantidad de condiciones operativas, capacidad para poder soportar distintos esfuerzos, respuesta inmediata a los movimientos generados por la dirección, poseer ciertas propiedades de suspensión y amortiguamiento de como que sea capaz de absorber las irregularidades generadas por la calzada, entre otras (Luque, y otros, 2012 págs. 21, 22).

2.6 Metodología para el diseño de la estructura

No existe una única forma para diseñar un chasis, siempre dependerá del tipo de competencia, velocidad, tipo de terreno, etc. Se plantea a continuación el siguiente algoritmo

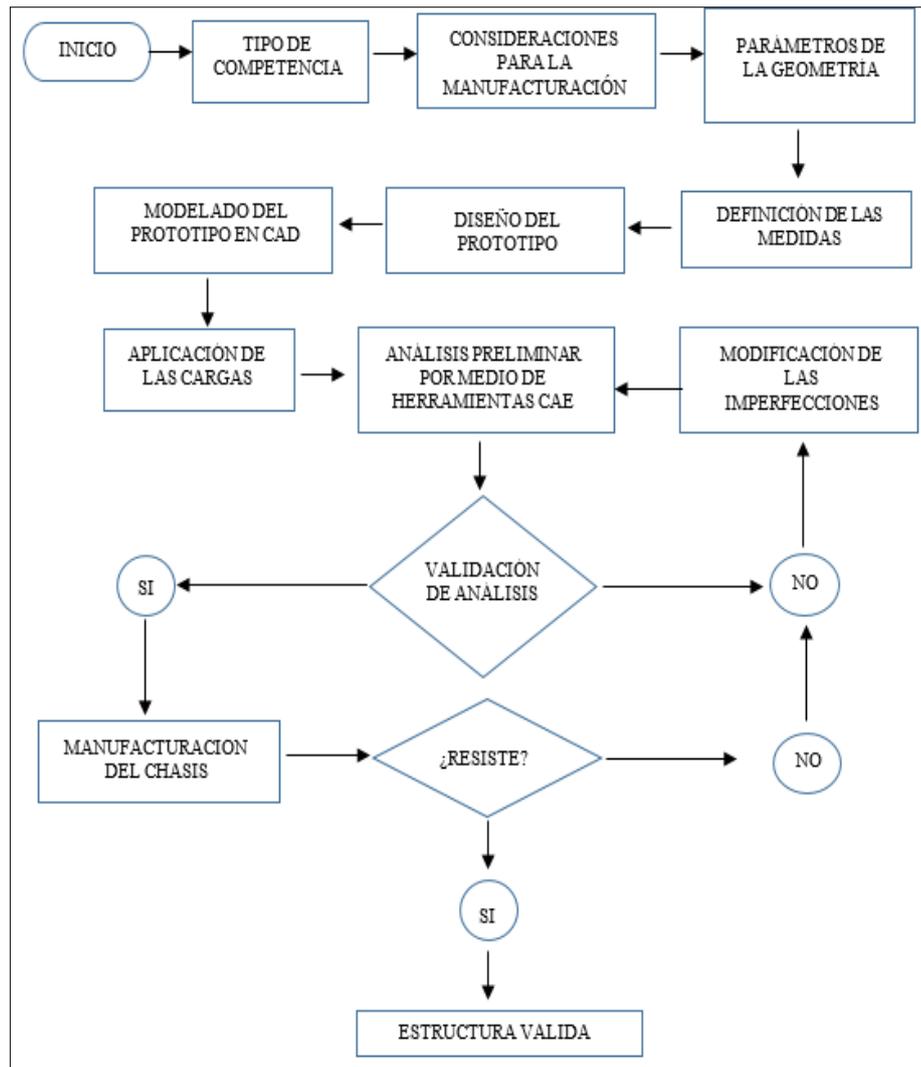


Figura 21-2. Algoritmo de la metodología a seguir.

Fuente: Los Autores basado en (Unzueta, 2002)

Para el proceso del diseño del chasis existen herramientas que facilitan esta labor, estas herramientas se denominan técnicas CAE (Ingeniería Asistida por computador), su utilización otorga un mayor grado de confiabilidad en el diseño, debido a que el programa se basa en modelos matemáticos previamente establecidos evitando errores por parte del diseñador. Además, con estas herramientas es factible plantear varias condiciones de uso de un chasis y analizar cada una de estas condiciones en un tiempo mucho menor de lo que anteriormente requería un análisis estructural.

2.6.1 Software específico para el diseño

Para el modelado del prototipo del vehículo se utiliza el programa de dibujo asistido por computador Solidworks y para las pruebas en diferentes escenarios el programa ANSYS, los cuales se describen a continuación.

2.6.1.1 SolidWorks

Es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

SolidWorks, proporciona un software de diseño de fácil uso y poderosas herramientas para los ingenieros y diseñadores, permitiéndoles cubrir todo el proceso (crear, validar, comunicar y gestionar) de desarrollo de producto, asegurándose de que este es correcto antes de fabricarlo. De esta manera es posible conseguir costes de fabricación más bajos y acelerar la introducción de productos en el mercado debido a la mejora en el flujo de información y comunicación del diseño de estos en toda la empresa, además de entre sus proveedores y clientes.

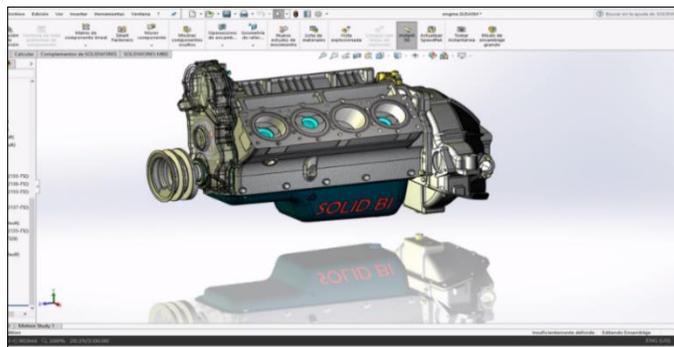


Figura 22-2. Entorno Solidworks.

Fuente: (Rodríguez, 2014)

2.6.1.2 ANSYS

ANSYS desarrolla, comercializa y presta soporte a la ingeniería a través de software de simulación para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real.

Ansys es un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, incluye las fases de preparación de meshing ó malleo, ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico, puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas.

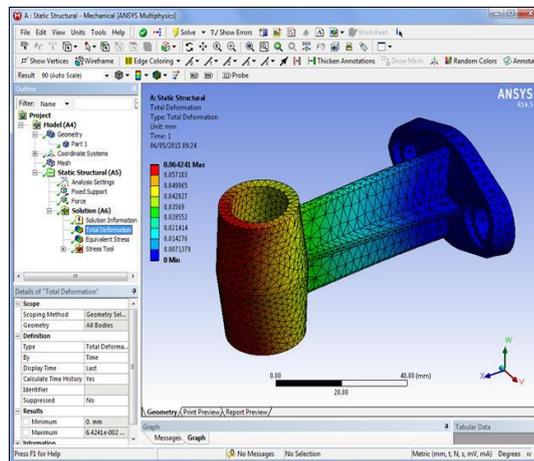


Figura 23-2. Entorno de ANSYS.
Fuente: (Rodríguez, 2014)

CAPÍTULO III

3 DISEÑO, MODELADO Y ANALISIS

3.1 Consideraciones para el diseño

En este apartado se toma en cuenta el reglamento vigente del presente año de la competencia. En resumen, se obtiene las siguientes consideraciones antes de diseñar el vehículo.

Los vehículos prototipo debe tener, de acuerdo al artículo 25 del reglamento: (Anexo A)

- 3 o 4 ruedas que estén en constante contacto con la carretera
- Una mínima zona de deformación de 100 mm entre el frente del cuerpo del vehículo y los pies del conductor.
- No debe tener ningún tipo de apéndice que cambien de acuerdo a la dirección del viento o que podría ser peligroso para los participantes. Esto incluye partes puntiagudas del cuerpo.
- Las puntas afiladas deben tener un radio de 50 mm o mayor o cubierto con espuma o un material deformable.
- Los paneles de la carrocería del vehículo y ventanas deben ser rígidos y que no cambien de forma debido al viento.
- Todos los vehículos debes estar cubiertos completamente.

El artículo 26 (Anexo A) establece las características del chasis y el roll bar (en caso de tener uno).

- El chasis o monocasco de los vehículos deben ser tan seguros que protejan el cuerpo del conductor, incluida la zona de deformación en el caso de una colisión frontal, deslizante o voltereta.
- El chasis del vehículo debe estar equipado con un efectivo roll bar que se extiende 50 mm alrededor del casco del conductor cuando está sentando en la posición normal de conducir con los cinturones de seguridad abrochados. No debe perjudicar la visibilidad del conductor.
- El roll bar no deberá extenderse en anchura más allá de los hombros del conductor.
- El roll bar debe soportar una carga de 700 N (70 Kg) aplicada en dirección vertical, horizontal y/o perpendicular, sin deformarse en ninguna dirección.

El Artículo 28 (Anexo A) del reglamento cual debe ser el campo de visión del conductor.

- el conductor debe tener acceso directo a un arco de visibilidad adelante y a 90 grados a cada lado del eje de longitudinal del vehículo. El campo de visión del conductor debe lograrse sin la ayuda de ningún dispositivo óptico o electrónico. Se permite el movimiento de la cabeza

del conductor dentro de los límites de la carrocería del vehículo para lograr un arco de visión completo, pero el casco del conductor debe estar a 50 mm siempre debajo del roll bar.

- El vehículo debe estar equipado con un espejo retrovisor en cada lado del vehículo. Cada uno con una superficie mínima de 2500 mm² (ejemplo 50 x 50 mm). Un dispositivo electrónico que no reemplace un espejo retrovisor.

Adicionalmente el artículo 43, expresa las particularidades sobre el sistema de frenado del prototipo, tales como que el freno para las ruedas delanteras debe ser independiente a las ruedas posteriores y que cada uno de estos deben ser capaces de inmovilizar al vehículo.

3.2 Diseño de la estructura

El chasis es la columna vertebral del vehículo por lo que debe complementarse con todos los mecanismos del mismo, además de brindar seguridad y comodidad al conductor.

Tomando como base los conceptos básicos en cuanto al diseño de un chasis y conociendo las normativas vigentes en el marco de la competencia, se prevé el éxito esperado en el diseño de la estructura, de no ser el caso y si fallara, tanto el conductor y el vehículo sufrirían severos daños.

3.2.1 Parámetros de la geometría

Inicialmente se conoce para que tipo de competencia tiene que ser desarrollado el chasis, por lo cual se tiene conocimiento de algunos factores externos que afectan el chasis como es la velocidad promedio, pendientes, desniveles de la pista, entre otros factores que son necesarios para modelar el chasis adecuado. Además, es indispensable modelar el chasis en función de las medidas de un piloto específico, que cumpla la normativa de la competencia, en la que indica que el piloto debe de tener un peso no menor de 50 kg. Incluyendo el equipo, como casco, overol, guantes, zapatos, etc.

La selección de la geometría de la carrocería es el aspecto más importante en este proyecto, porque no solo define la silueta exterior, sino que también, afecta directamente en el diseño del bastidor que el prototipo posea.

La decisión radica en un parámetro, la disposición de las ruedas con respecto a la carrocería. Por lo tanto, es imperativo analizar a los vehículos ganadores de competencias de años anteriores.

En la categoría prototipos con motores de combustión interna, en las 3 grandes competiciones. En la competencia SEM 2018 Americas, el equipo BYU SMV, University of Toronto Supermileage y Mater Dei Supermileage, equipos que terminaron en primer, segundo y tercer lugar respectivamente (Anexo B).



Figura 1-3. Prototipo de BYU SMV,
SEM Américas 2018

Fuente: (Royal Dutch Shell, 2018)

Mientras que los favorecidos en la SEM 2018 Europa fueron, Microjoule-La Joliverie, TED y PV3E, datos más completos como el tiempo que lograron se encuentran en el Anexo B.



Figura 2-3. Prototipo de Microjoule-La Joliverie, SEM
Europa 2018.

Fuente: Royal Dutch Shell, 2018

Finalmente, en la SEM 2018 Asia, los equipos que compartieron podio fueron, Panjavidhya1, ZEAL ECO-POWER PROTO, y Clean Diesel Team. (Anexo B)



Figura 3-3. Prototipo de Panjavidhya 1, SEM Asia 2018.
Fuente: Royal Dutch Shell

Finalizando en el breve repaso de los equipos ganadores en el diseño de sus vehículos, se concluye que la disposición de las ruedas está en la parte interior de la carrocería, la forma alargada se basa en el estudio aerodinámico visto en el capítulo anterior donde la geometría ideal es la forma de gota acostada y alargada, como se ve en la figura 4-3 con coeficiente de 0.34.

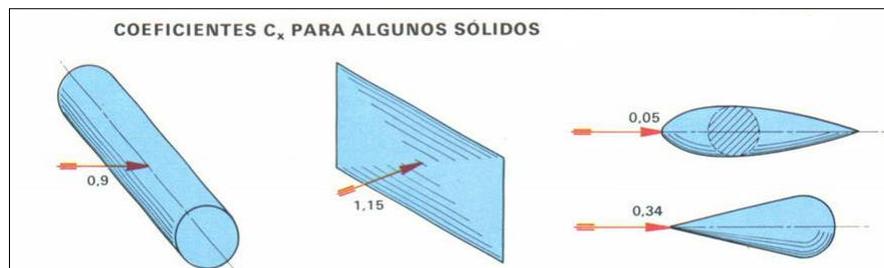


Figura 4-3. Coeficientes C_x para algunos sólidos.
Fuente: (Rodríguez, 2014)

Por lo tanto, se trata de imitar esta figura lo más parecido posible, pero por motivos estéticos no son exactamente idénticos, la altura es la máxima permitida y el parabrisas siempre está inclinado, los detalles como las salientes le dan un aspecto más futurista y al redondearlas evita que se altere bruscamente el coeficiente de arrastre.

3.2.2 Definición de las medidas

El artículo 39 del reglamento 2019, hace referencia a las dimensiones que debe presentar el prototipo (ver Anexo A), siendo estas:

- La altura máxima debe ser 1000 mm

- El ancho de vía mínimo debe ser de al menos 500 mm.
- La relación entre la altura y el ancho de vía debe ser menos de 1.25
- La distancia entre ejes debe ser de al menos 1000 mm.
- El ancho máximo del vehículo no debe exceder los 1300 mm.
- La longitud total máxima del coche no debe ser más de 3500 mm.
- El peso máximo sin piloto debe ser de 140 kg.

El artículo 42 (ver Anexo A), dice que la dirección debe ser precisa y sin ningún tipo de juego, y que además el radio de giro mínimo debe ser de 8 m.

3.2.3 Propuesta del prototipo

La propuesta que se plantea es la de un prototipo donde el piloto se ubique en la parte frontal en una posición casi acostada, compartiendo espacio con el timón de dirección y los mandos del vehículo, el resto de componentes se ubican en la parte de atrás.

Este modelo tiene la ventaja de que al mantener una figura alargada de la carrocería conserva las prestaciones aerodinámicas adecuadas, sin descuidar la seguridad mínima del conductor.

3.2.4 Modelado del prototipo en CAD

Para el modelado se hace uso del software de diseño asistido por computadora SolidWorks. Una vez aclaradas la geometría y medidas del prototipo se procede a trazar el modelo utilizando las diferentes herramientas que ofrece el programa. Se puede observar en la figura --, que el resultado final es una estructura tubular con T1 y T2 como los travesaños principales, adicionalmente se incorpora 3 travesaños auxiliares (T aux). L1 y L2 como los largueros que se entienden desde T2 hasta llegar al espacio reservado para el eje posterior donde se ubica una única llanta, T2 también corresponde al eje delantero, en cambio en este eje estarán 2 llantas, es decir que en total el vehículo tendrá 3 llantas.

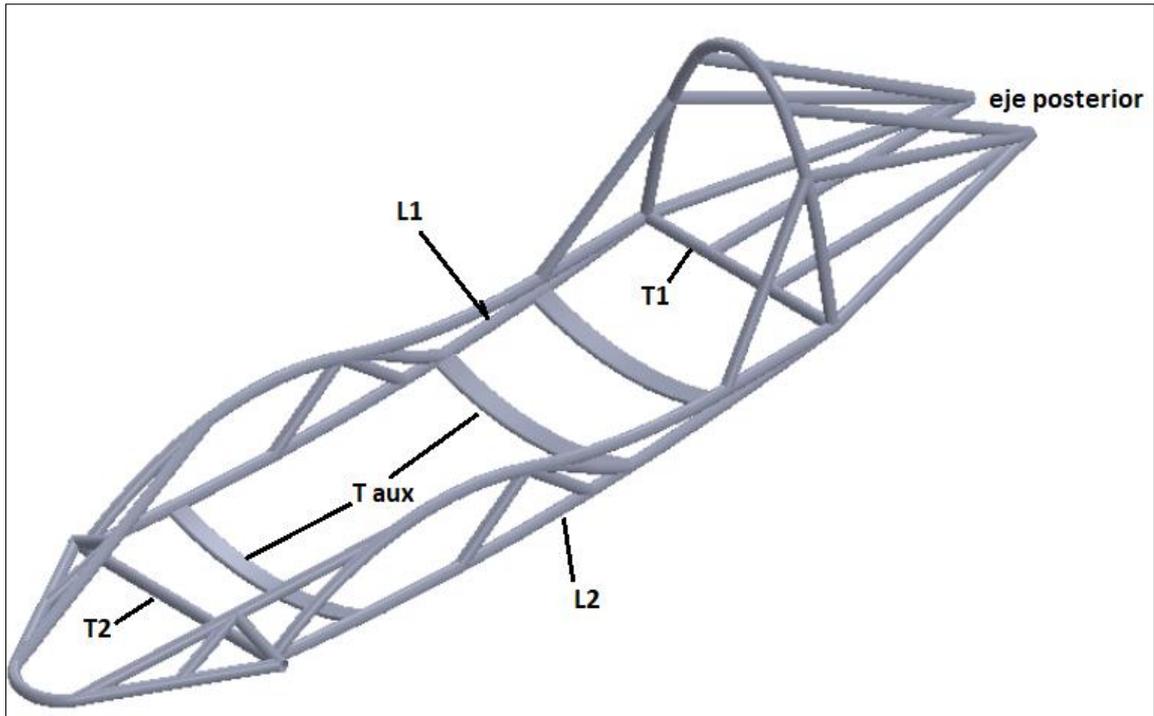


Figura 5-3. Estructura del chasis en Solidworks.

Fuente: Los Autores

Para obtener las medidas exactas del modelo se lo traslada a un plano 2D en las vistas superior, frontal y lateral. En la figura 6-3 se puede observar el modelo en 2D desde la vista superior, las medidas se encuentran en la magnitud de milímetros. Para resumir, su largo total es de 2.5 m y su ancho total 55.3 cm, así se cumple la normativa revisada al inicio de este capítulo.

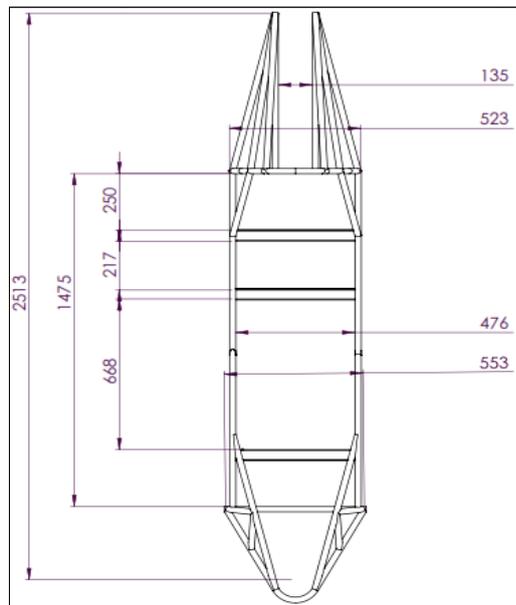


Figura 6-3. Vista superior del modelo.

Fuente: Los Autores.

La altura sin las llantas es de 61.3 cm como se indica en la figura 7-3.

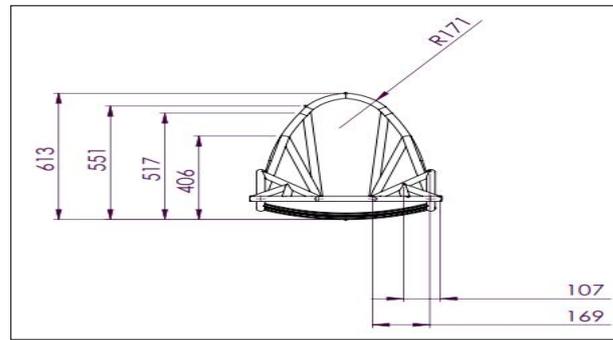


Figura 7-3. Vista frontal del modelo en Solidworks.
Fuente: Los Autores.

Desde la vista lateral como lo muestra la figura 8-3, se puede apreciar mejor la forma alargada del chasis y su segmentación, la línea vertical divide la parte derecha que es la cabina donde se coloca el piloto mientras que el lado izquierdo es el mamparo donde se instala el sistema electromecánico.

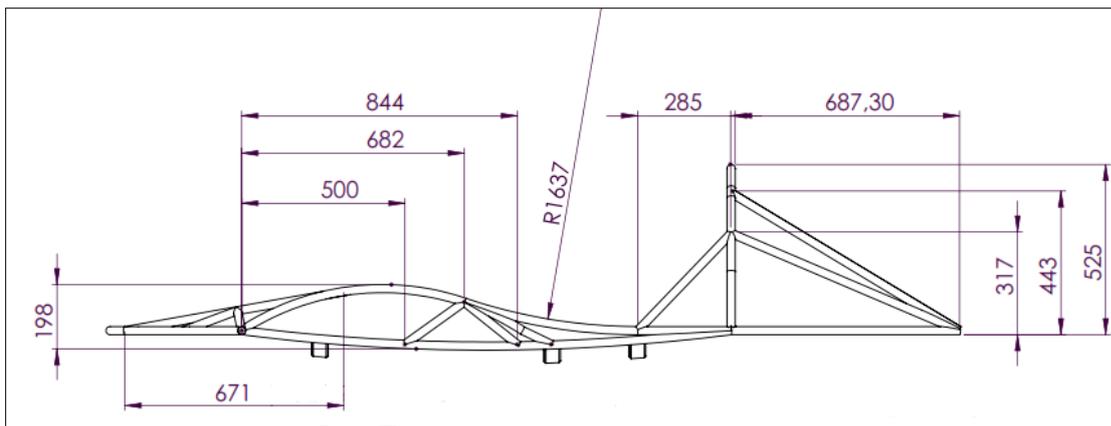


Figura 8-3. Vista lateral del modelo en Solidworks.
Fuente: Los Autores.

La figura 9-3, representa la vista isométrica del modelo, también se puede apreciar el recubrimiento del chasis, es decir la carrocería y además las llantas y las diferentes piezas que complementan el prototipo. En la Tabla 1-3, se encuentran detallados los componentes, incluso el material seleccionado con lo que se construirá.

Para una mejor visualización de los planos ver Anexo C

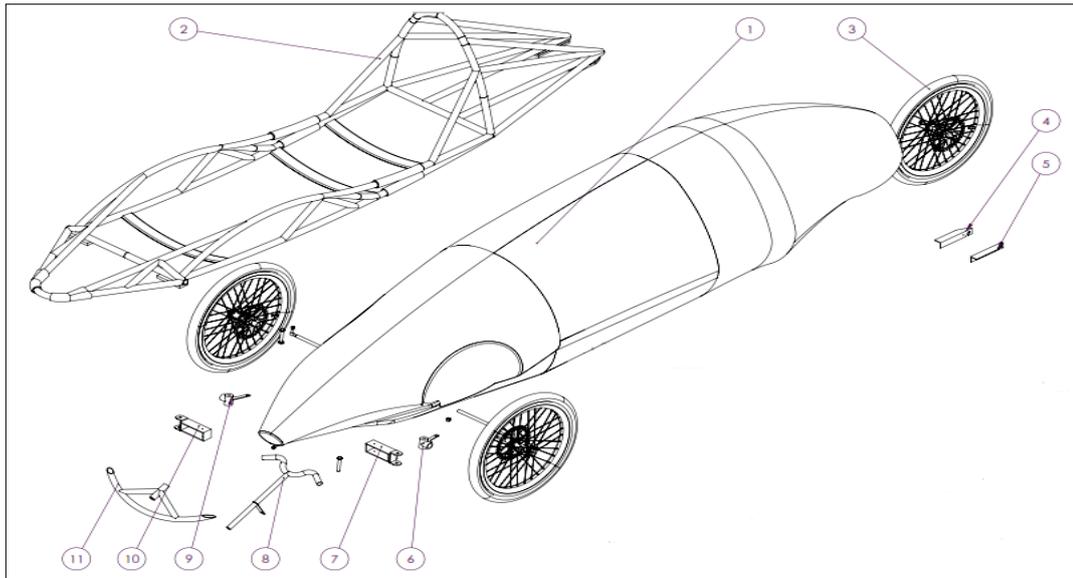


Figura 9-3. Vista isométrica del modelo en Solidworks
Fuente: Los Autores. Anexo C

Tabla 1-3. Descripción de los diferentes componentes del vehículo.

Número de Orden	Denominación	Material	Cantidad de piezas	Peso pieza	Kg/	Observación
1	Carrocería	Fibra de Vidrio	1		2.5	Según diseño
2	Chasis	Aluminio	1	2.391		Corte, soldado, perforado
3	Llantas		3	3.21		
4	Soporte trasero izquierdo	ASTM A-36	1	0.022		Corte, perforado
5	Soporte trasero derecho	ASTM A-36	1	0.022		Corte, perforado
6	Acople punta izquierda	ASTM A-36	1	0.031		Corte, soldado, perforado
7	Soporte punta izquierdo	ASTM A-36	1	0.056		Corte, soldado, perforado
8	Volante	ASTM A-36	20	0.046		Corte, soldado
9	Acople punta derecho	ASTM A-36	1	0.031		Corte, soldado, perforado
10	Soporte punta derecho	ASTM A-36	1	0.056		Corte, soldado, perforado
11	Soporte dirección	ASTM A-36	1	0.088		Corte, soldado

Fuente: Los Autores. (Anexo C)

3.3 Selección de material del chasis

Las normativas restringen bastante el diseño del chasis, por razones obvias de seguridad, por lo que la clave es elegir el material adecuado. Hay tres factores básicos para determinar el material

a utilizar en la construcción de chasis: fuerza, peso y costo. Se pretende encontrar un material con una alta relación resistencia-peso.

Entre los materiales más habituales en este tipo de competencias está el acero, fibra de carbono, titanio y aluminio, siendo los tres primeros los mejores para este fin, pero inaccesibles en cuanto a precio y disponibilidad de mercado, el ganador resultará ser el Aluminio.

3.3.1 Características del Aluminio

- ✓ Es el metal más abundante en el mundo.
- ✓ Su peso específico es de 2.7 kg/dm^3 , es decir, 3 veces más liviano que el acero (7.87 kg/dm^3).
- ✓ Conductividad eléctrica de un 60% frente al cobre.
- ✓ Punto de fusión es de $660 \text{ }^\circ\text{C}$ y su punto de ebullición es $2540 \text{ }^\circ\text{C}$, la combinación de estos dos puntos es lo que facilita la fusión y el moldeo de este material.

3.3.2 Ventajas del aluminio

- ✓ Mantenimiento bajo o nulo, debido a su alta resistencia a la corrosión su durabilidad es superior a la de otros metales.
- ✓ Bajo peso, en relación al acero (1/3 al peso del acero) y alta relación resistencia/peso hace que sea utilizado en diferentes aplicaciones en donde el peso es un factor importante como en la aeronáutica, automovilismo, etc.
- ✓ Facilidad de mecanizado, ayuda a reducir los tiempos de fabricación y optimización de las herramientas de corte.
- ✓ Facilidad para el ensamblaje.
- ✓ Alta reciclabilidad.
- ✓ Propiedades anti-chispas, ideal para ambientes inflamables o explosivos por eso el aluminio es comúnmente utilizado para cajas protectoras de baterías de litio.
- ✓ Baja emisividad, tiene la capacidad de reflejar la luz solar, en el interior de una estructura de aluminio el ambiente es más fresco.

3.3.3 Propiedades físicas y mecánicas del aluminio estructural 6063 T5

Tabla 2-3. Propiedades físicas y mecánicas del aluminio 6063 T5.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Peso específico	2.7	g/cm ³
Módulo de elasticidad	69	GPa
Conductividad Térmica	170	w/m °C
Carga de Rotura	220	N/mm ²
Porcentaje de elongación	8	%
Limite elástico	170	N/ mm ²

Fuente: (R.Andrade, 2018)

Después de estudiar detalladamente este material se selecciona el Aluminio 6063 T5 recubierto con fibra de carbono como el más idóneo para construir la estructura del vehículo, debido a que presenta mejores características en relación a otros materiales según el estudio realizado en la tesis antecesora a esta, en este caso la variante es la forma del tubo de aluminio que será circular.

3.4 Selección del material de la carrocería.

Para la selección del material adecuado se realiza una matriz de decisión considerando las características de los materiales opcionales, tales como: disponibilidad en el mercado, exigencias estructurales físicas de los componentes, el costo en relación al presupuesto del proyecto.

Los materiales más utilizados en vehículos para la competencia Eco Shell Marathon son la fibra de carbono, fibra de vidrio y el aluminio.

3.4.1 Fibra de vidrio

Es uno de los materiales que actualmente se utiliza mucho en el campo automotriz, debido a su fácil manejo, buena resistencia mecánica y menor peso, además de no necesitar una infraestructura especializada para su proceso de manufactura. Es frecuentemente utilizado por varios equipos participantes de la competencia principalmente por su bajo costo. Existen algunas clases de fibra de vidrio utilizadas en la industria automotriz, descritas a continuación en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Propiedades de fibras de vidrio seleccionadas.

Propiedades	Vidrio E	Vidrio R	Vidrio ECR	Advantex	Vidrio S
Densidad (Kg/m ²)	2620	2550	2670	2626	2480
Coefficiente de Dilatación (K)	5.4 x 10 ⁻⁶	5.1 x 10 ⁻⁶	5.9 x 10 ⁻⁶	5.4 x 10 ⁻⁶	6.0 x 10 ⁻⁶
Resistencia de Tracción (MPa)	3450	3400	3450	3500	4890
Módulo de Elasticidad (GPa)	72.0	85.0	72.0	81.0	87.0
Viscosidad: Punto de reblandecimiento (°C)	850	950	880	915	1050

Fuente: (Richter, 2010)

Para agregar, los diferentes tipos de fibras de vidrio se los describe de la siguiente manera.

Tipo E: es elaborada a partir de sílice, cal, alumina y magnesio. Utilizado frecuentemente en la industria automotriz por su alta densidad, buenas cualidades de rigidez, resistencia y desgaste.

Tipo S: Caracterizado por tener una alta resistencia de tracción, está compuesto por vidrio de aluminio y magnesio, es de costo muy elevado.

Tipo ECR: Posee propiedades eléctricas con resistencia química.

Tipo Advatex: es una modificación del vidrio ECR con una porción muy baja de óxidos alcalinos y propiedades físico-químicas mejoradas.

Tipo R: Es muy utilizado en la industria de manufacturación y aviación principalmente por sus buenas prestaciones mecánicas.

Generalizando, las especificaciones técnicas de la fibra de vidrio en sí se las describe en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Especificaciones técnicas de la fibra de vidrio.

Especificación	Valor
Tenacidad (N/Tex)	1.30
Fuerza a la tracción (MPa)	3400
Elongación hasta ruptura (%)	4.5
Módulo de Young (GPa)	70-73

Fuente: (Espinoza & Hidalgo, 2016).

3.4.2 Fibra de carbono

Es un material que cada vez se encuentra integrado al sector automovilístico, también se lo conoce como Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP), desde hace unos años se lo ve en autos deportivos.

Se trata de un material compuesto por átomos de carbono que forman fibras muy delgadas (de 5 a 10 micrones). Trenzando las fibras entre sí se crean hilos de gran resistencia. Uniendo cientos de estos hilos se crean las telas de fibra de carbono que serán la base para crear luego las piezas que se quiera. (Nogales, 2017)

Aunque fue primero utilizado en el mundo de la aviación, lo cierto es que la fibra de carbono o CFRP se hizo muy popular en la competición de Fórmula 1 debido a sus propiedades, es más fuerte que el acero y más resistente que el aluminio, además de que no presenta la corrosión de los metales y por lo tanto su durabilidad es mayor. (Nogales, 2017)

Tabla 5-3. Valores de propiedades para fibra de carbono.

Propiedades	Fibra SM^a	Fibra SM^b	Fibra IM^b	Fibra HM^b
Contenido en carbono (%)	95	95	95	> 99
Diámetro de la fibra (µm)	6-8	6-8	5-6	5-8
Densidad (gtm)	1.8	1.8	1.8	1.9
Módulo de Young (GPa)	228	220-241	290-297	345-448
Resistencia a la tracción (MPa)	3800	3450-4830	3450-6200	3450-5520
Alargamiento a la rotura (%)	1.6	1.5-2.2	1.3-2.0	0.7-1.0
Resistividad eléctrica (µ _{cm})	1650	1650	1450	900
Conductividad térmica (W/m.K)	20	20	20	50-80

Fuente: (Ritcher, 2010)

Otra de sus principales ventajas es la ligereza. Con una resistencia tan alta permite utilizar menor cantidad del material para conseguir la misma resistencia que una pieza metálica. El resultado será un ahorro de peso bastante significativo, además de una elasticidad superior a la de los metales.

La parte negativa será la complejidad de su proceso de elaboración, esto hace que su precio se dispare y es el principal motivo de que la fibra de carbono esté más orientada en vehículos deportivos de alta gama. Al utilizar resinas termoestables también se complica su reciclaje. (Nogales, 2017)

3.4.3 Aluminio

El aluminio tiene varias ventajas y propiedades que se describen en el apartado anterior para la construcción del chasis, sin embargo, la elección de los materiales para la carrocería es un poco más compleja. Si bien es uno de los materiales más abundantes y más utilizados en la industria automotriz debido a sus características mecánicas, bajo costo, reutilización, ligereza y

accesibilidad; para el proceso de manufactura de carrocería presenta dificultades como su manipulación necesitando maquinaria especializada para dar forma a las geometrías del modelo a construir.

Tabla 6-3. Propiedades del Aluminio.

Propiedades	Valor
Punto de fusión (°C)	660
Densidad (g/cm ³)	2.7
Coefficiente de Poission	0.345
Limite Elástico (MPa)	Duro ≥ 1-35 Blando ≥ 110-170
Módulo de Elasticidad (GPa)	70.6

Fuente: (Fernández, 2015)

3.4.4 Matriz de decisión

En la siguiente matriz de decisión se evalúa las características principales a tomar en cuenta de cada material, con la finalidad de determinar la factibilidad de construcción, los parámetros que se consideran en el proceso de manufactura son: métodos de construcción, disponibilidad y costos en función del presupuesto. Los valores de calificación son en base a lo analizado y a la experiencia de personas que trabajan con estos materiales.

Tabla 7-3. Matriz de decisión.

Características	Fibra de Vidrio	Fibra de Carbono	Aluminio
	Calificación (1-5)	Calificación (1-5)	Calificación (1-5)
Costo	5	3	1
Resistencia Mecánica	3	5	5
Rugosidad	4	4	4
Manufactura	5	1	1
Corrosión	4	4	5
Total	21	17	16

Fuente: Los autores.

Las características son factores que se asignan de acuerdo a su importancia relativa para la decisión. El valor más alto de acuerdo a la Tabla 7-3 lo tiene la fibra de vidrio con 21, por lo que este material será el seleccionado para fabricar la carrocería.

3.5 Aplicación de las cargas

Un factor importante al momento de diseñar un chasis es determinar las cargas gravitacionales que actúan sobre la estructura durante su vida útil, esto para poder realizar un análisis y un diseño estructural conociendo los aspectos importantes como la utilidad del vehículo (competencia, turismo, carga o transporte), tipo de terreno, velocidad máxima, centro de gravedad entre otros. Una vez determinadas las cargas es posible estudiar las combinaciones más desfavorables del chasis en un escenario específico. Las cargas gravitacionales debido a la acción de la gravedad sobre la estructura también son denominadas cargas muertas y cargas vivas.

3.5.1 Cargas muertas

Son cargas permanentes, es decir, mantienen una magnitud constante en un tiempo de aplicación prolongado y que no son causadas al uso de la estructura. Corresponden al peso propio y al peso de los materiales que soporta la estructura. Las cargas muertas se pueden determinar con cierto grado de exactitud conociendo la densidad de los materiales. Correspondiente al chasis, las cargas muertas son el peso propio del chasis y el peso de cada uno de los componentes que conforman el vehículo, incluyendo todos sus accesorios como la carrocería, el motor, baterías, transmisión, sistema de dirección etc.

3.5.2 Cargas vivas

Son cargas gravitacionales que se deben a la ocupación en dirección normal de la estructura y están distribuidas uniformemente, son todo lo contrario a las cargas muertas, porque estas cargas pueden variar de lugar y magnitud con el paso del tiempo, en el caso del chasis, las posibles cargas vivas serían las cargas que se generan por la ocupación del chasis durante su vida útil, tales como: el peso ejercido por los pasajeros y el equipaje, se puede llegar a considerar como carga viva a la carga aerodinámica.

Otra clasificación de las cargas por la manera de aplicación es: estáticas y dinámicas.

3.5.3 Cargas estáticas

Se refiere a algo que está fijo y se mantiene sin cambios, es decir, son las cargas que no varían su magnitud durante el transcurso del tiempo.

3.5.4 Cargas dinámicas

Son cargas que actúan sobre la estructura en forma repentina, variando su magnitud y ubicación durante el transcurso del tiempo.

En el análisis con herramientas CAE se utiliza la fuerza para simular la carga.

3.6 Análisis por medio de herramientas CAE

La ingeniería asistida por ordenador (CAE) consiste en el uso de software para simular el rendimiento con el objetivo de mejorar los diseños de los productos o de contribuir a la resolución de problemas de ingeniería para sectores muy diversos. Incluye la simulación, la validación y la optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación. (Siemens 2019)

Los programas de ingeniería que se han desarrollado para dar apoyo al diseño industrial son considerados herramientas CAE. Son utilizados, comúnmente, para analizar la solidez y el rendimiento de algún modelo diseñado.

Utilizan la geometría del modelo existente para construir una red nodal a lo largo de él y basado en la introducción de parámetros que la pieza experimentará en el mundo real se podrá comprobar su desempeño. Los siguientes parámetros son usados frecuentemente en la ingeniería mecánica para simulaciones CAE: Temperatura, Presión, Interacción de los componentes y Fuerzas aplicadas.

3.6.1 Análisis estático

Una vez modelado el prototipo se realiza las pruebas pertinentes con la ayuda de herramientas CAE para comprobar si el modelo obtenido y el material seleccionado son fiables para el propósito inicial.

Se realiza un análisis estático estructural, lo primero es definir el material, para esto se elige el elemento *geometría* que es el vehículo modelado, inmediatamente se sigue el siguiente camino de opciones: *Datos de Ingeniería, Material y Materiales Generales*, aquí se busca y se selecciona *Aleación de Aluminio* y en la pestaña de *propiedades* se modifica las propiedades de acuerdo al tipo de aluminio elegido, datos que se describen en la tabla 2-3. Se elige además los resultados que debe revelar para el proyecto como los esfuerzos máximos y mínimos, la deformación y el factor de seguridad.

Se aplica cargas distribuidas de tal manera que simulan el peso del piloto y una colisión; con el fin de conocer la deformación máxima a la que está sujeto y su factor de seguridad estructural del prototipo.

La primera prueba se inicia aplicando tres cargas al mismo tiempo en diferentes puntos, distribuidas en la base del asiento del piloto, la parte frontal y superior del vehículo. Tal como lo indica el gráfico 1-3.

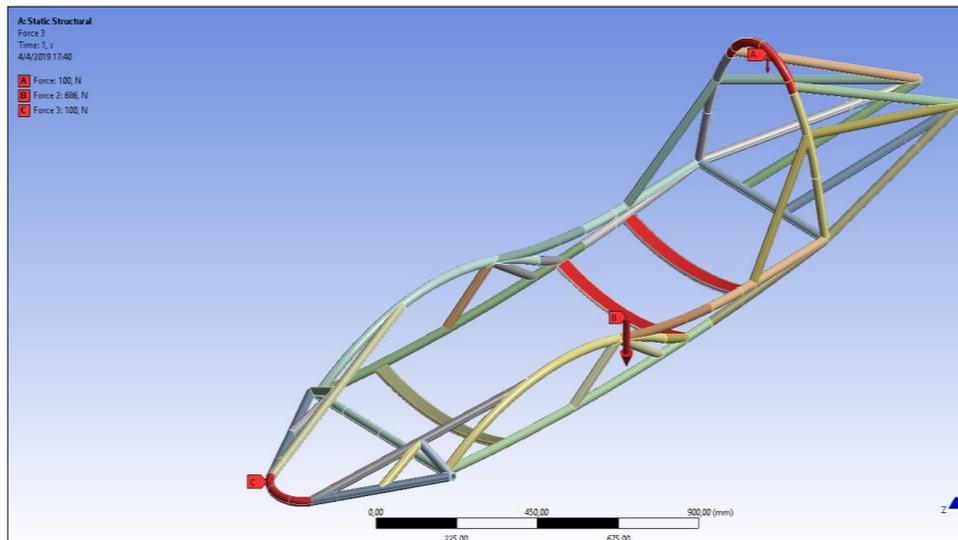


Gráfico 1-3. Distribución de cargas en tres zonas.

Fuente: Los autores.

Seguidamente se realiza varias pruebas en cada uno de los puntos anteriormente establecidos de forma separada. En el gráfico 2-3, se aplica una fuerza de 686,7 N en el sitio del piloto, esto es para comprobar que el peso del piloto es soportado por la estructura. El peso mínimo del piloto es de 50 kg, la fuerza ejercida es equivalente a 70 kg aproximadamente.

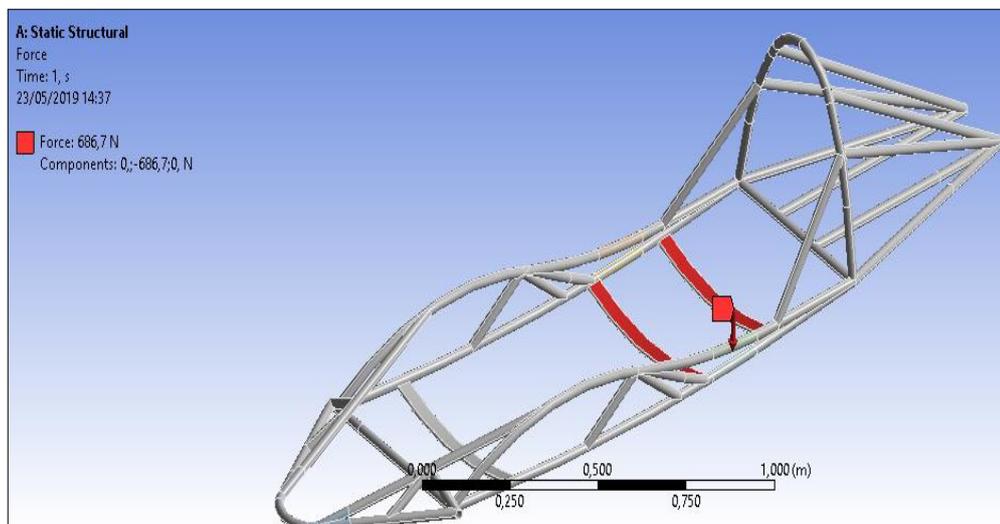


Gráfico 2-3. Distribución de cargas en el asiento del piloto.

Fuente: Los autores.

De acuerdo al reglamento vigente de la competencia el vehículo de debe soportar cargas de 700 N arriba, en los laterales del mismo, rollback y mamparo.

En el gráfico 3-3 se ejerce sobre la zona de casco del piloto la carga de 700 N que equivale a 71.38 kg, para asegurar que esta zona puede soportar colisiones y pueda proteger al piloto.

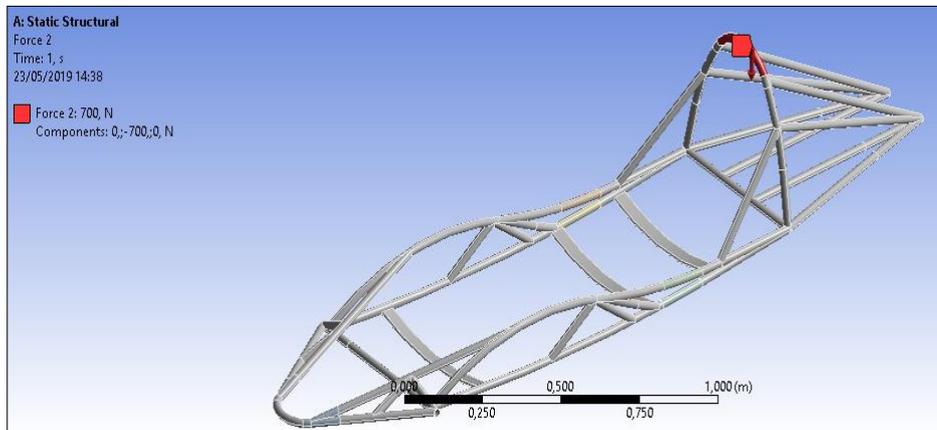


Gráfico 3-3. Distribución de cargas en la parte superior del casco del vehículo.

Fuente: Los autores.

En el gráfico 4-3, la fuerza aplicada de 700 N sirve para comprobar que puede resistir un impacto frontal. Todos los anteriores puntos donde se ha ejercido las fuerzas, son puntos clave y los más propensos a dañar al piloto en caso de una colisión.

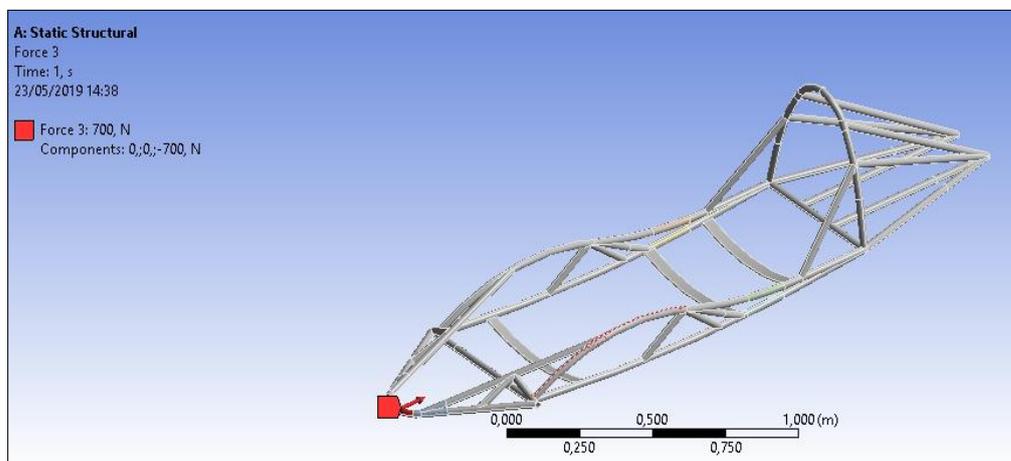


Gráfico 4-3. Distribución de cargas en la parte frontal del vehículo

Fuente: Los autores.

Es necesario aplicar la misma fuerza en los costados del prototipo. En el gráfico 5-3. Se aplica la misma fuerza que en los casos anteriores 700 N.

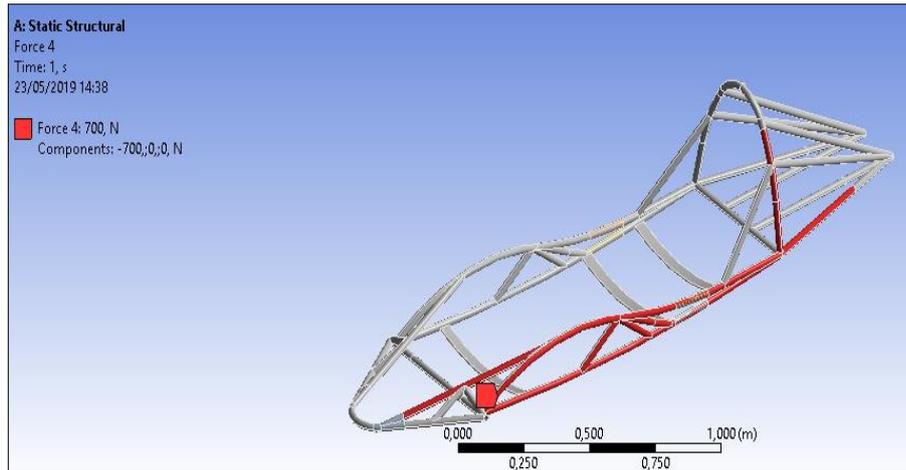


Gráfico 5-3. Distribución de cargas en la parte lateral.
Fuente: Los autores.

Una zona también se toma en cuenta es la carga que se coloca en la parte de atrás, por esto se aplica una fuerza 56.86 N que es el equivalente al total del peso de los componentes que se ubican en la parte posterior del vehículo.

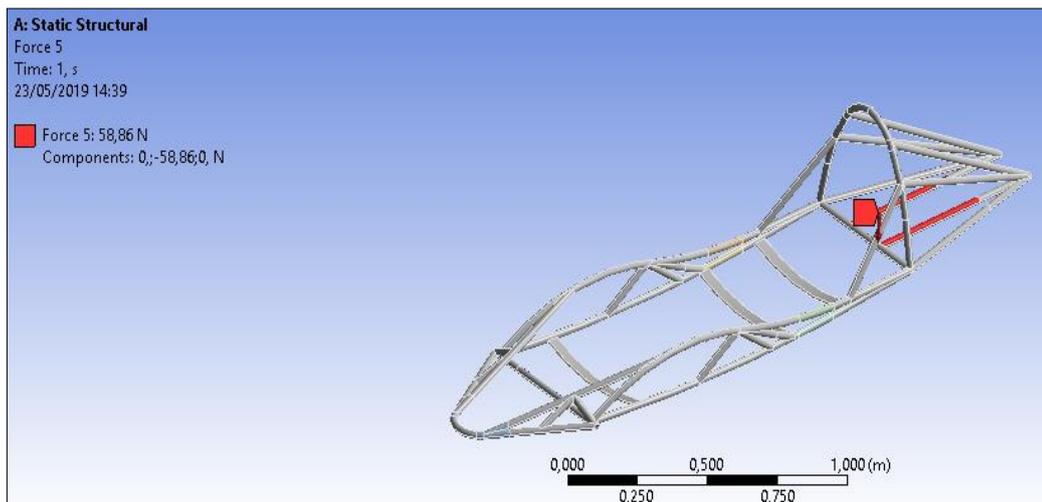


Gráfico 6-3. Distribución de cargas en la parte posterior del vehículo.
Fuente: Los autores.

En cuanto a la deformación se tiene una elongación máxima de 0.0043 mm lo cual es bastante aceptable. Esto quiere decir que el material elegido es lo suficientemente resistente.

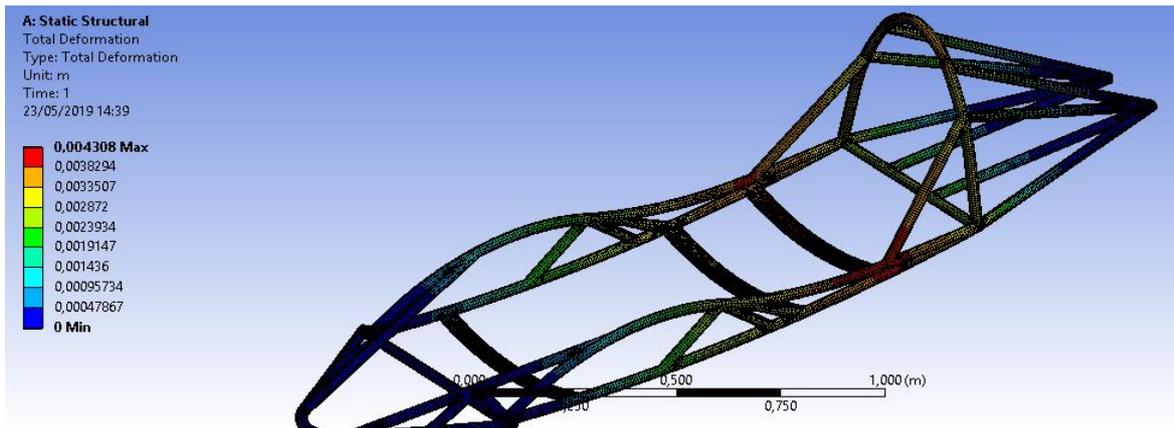


Gráfico 7-3. Prueba de elongación.

Fuente: Los autores.

Otro factor importante es el de seguridad, es una medida relativa en la que se relaciona el esfuerzo máximo que puede soportar un elemento con el esfuerzo al que va a ser sometido. Se considera un factor de seguridad aceptable si este es mayor a 1, con eso se garantiza que no va a presentar fallas. En el gráfico 8-3, se revela que posee un factor de seguridad de 2.02, lo que satisface los requerimientos.

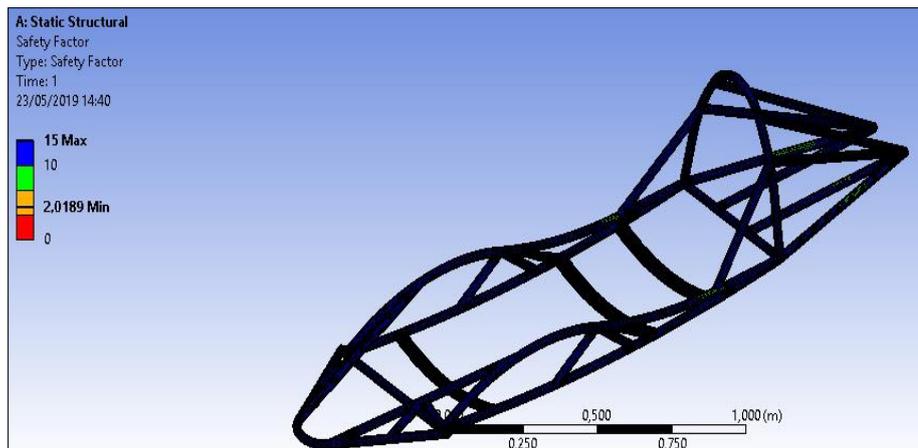


Gráfico 8-3. Factor de seguridad.

Fuente: Los autores.

El gráfico 9-3, muestra el estudio realizado aplicando cargas en los puntos de apoyo de las ruedas delanteras, la fuerza debe ser la misma efectuada en las demás zonas.

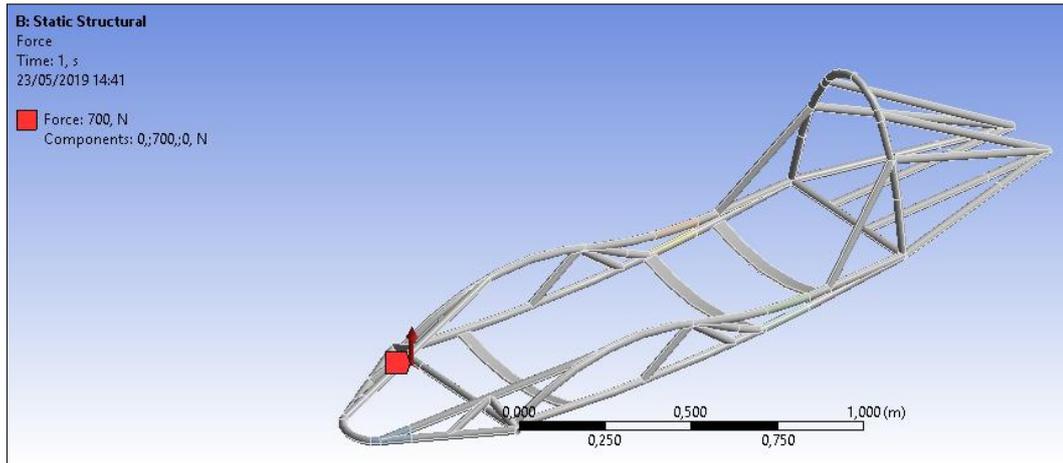


Gráfico 9-3. Aplicación de fuerzas en los apoyos de las ruedas delanteras.
Fuente: Los autores.

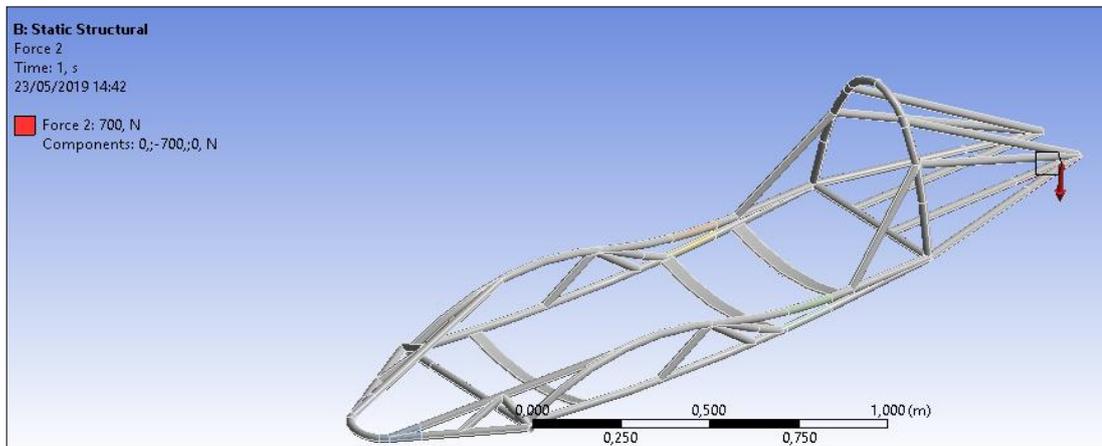


Gráfico 10-3. Aplicación de fuerza en el apoyo de la rueda trasera.
Fuente: Los autores.

Al aplicar las fuerzas en los apoyos de las ruedas se obtiene una elongación de 0.009 lo cual sigue siendo aceptable para cumplir con el objetivo.

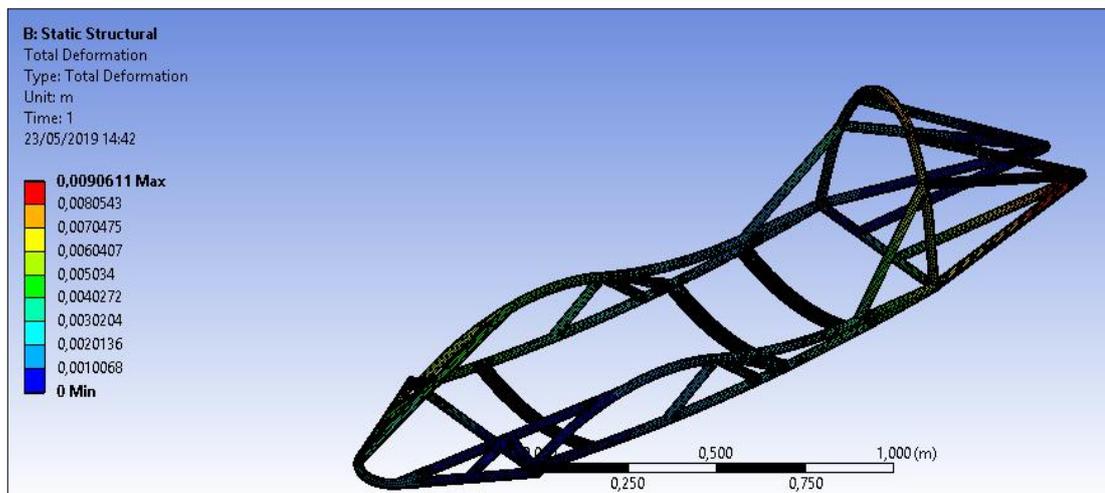


Gráfico 11-3. Prueba de elongación en el apoyo de las ruedas.
Fuente: Los autores.

3.6.2 Análisis Aerodinámico

Siguiendo los lineamientos de la competencia, uno de los factores clave en el rendimiento del prototipo es la figura aerodinámica por lo que es competente realizar un análisis CAE para determinar los puntos donde se genera mayor resistencia aerodinámica.

La resistencia aerodinámica al avance es la variable más importante en el estudio de la aerodinámica de los vehículos, como se explicó en el capítulo anterior es la fuerza que va en la misma dirección, pero en sentido opuesto a la velocidad del vehículo. Debido a la complejidad de los fenómenos que ocurren y los coeficientes y otros factores incidentes, los cálculos numéricos son realmente extensos, por este motivo es de enorme utilidad los ensayos prácticos como por ejemplo el ensayo en túnel de viento o túnel aerodinámico.

Para simular el túnel de viento en el programa se construye un volumen rectangular y se introduce el modelo del vehículo en el, se define la pared de entrada del fluido y la de salida, aplicando el teorema de Bernoulli, estudiado en el capítulo anterior, la presión y la velocidad son los componentes de este estudio.

En el gráfico 12-3, se presenta el estudio aerodinámico del contorno del modelo solo en la entrada donde inicia el flujo. Se puede observar que la presión máxima identificada por el color rojo, es apenas notable y está presente en la parte frontal del vehículo siendo 211.1 Pa (dato de salida) con una velocidad (dato de entrada) de 60 m/s.

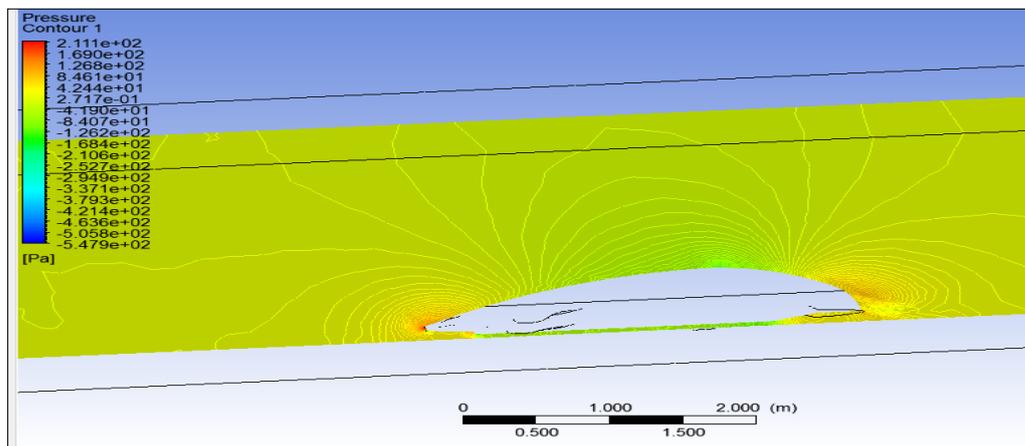


Gráfico 12-3. Análisis aerodinámico en la entrada del volumen rectangular.

Fuente: Los autores.

Avanzando con el estudio en el gráfico 13-3, se verifica la presión ahora junto con la geometría, es decir el vehículo, se obtiene la misma diferencia de presión con la velocidad constante de 60 m/s.

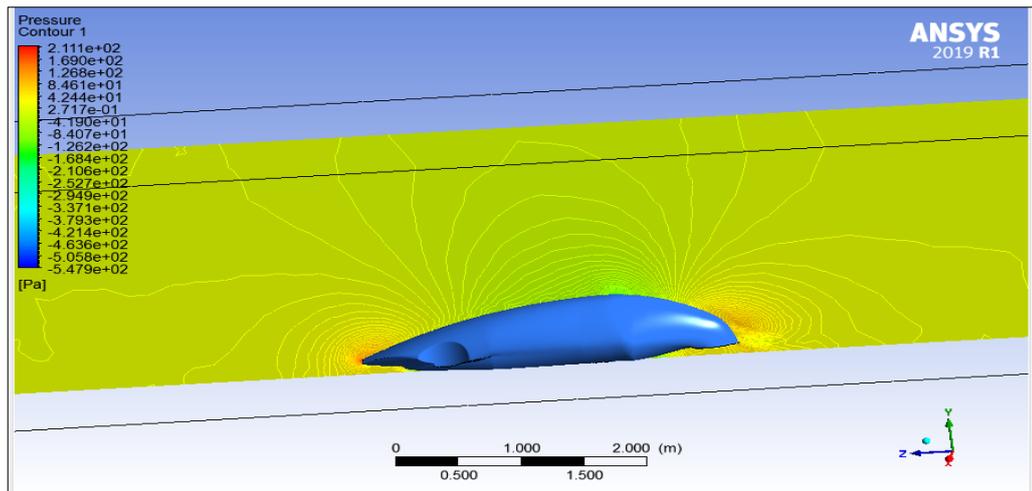


Gráfico 13-3. Análisis aerodinámico en el volumen rectangular.
Fuente: Los autores.

Se finaliza el estudio al incluir la salida que es la parte posterior y se puede constatar que efectivamente es la misma variación de presión desde la entrada hasta la salida.

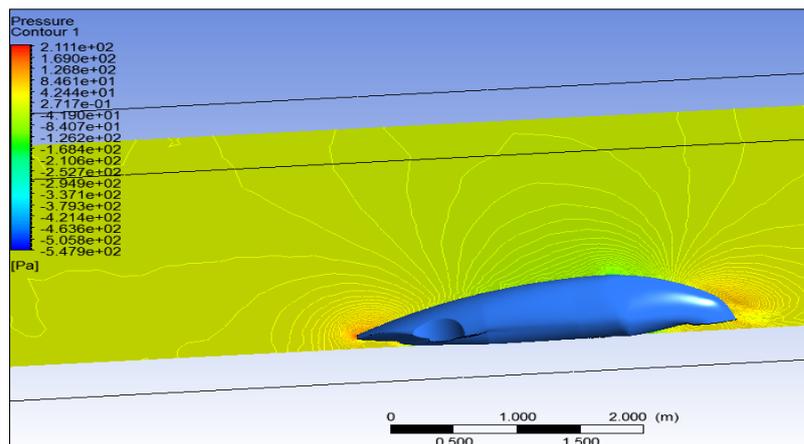


Gráfico 14-3. Análisis aerodinámico en la salida del volumen rectangular.

Fuente: Los autores.

Otro factor incidente para el análisis es la velocidad. En el gráfico 15-3 se observa que las líneas de flujo no presentan ninguna turbulencia, es decir su flujo es laminar.

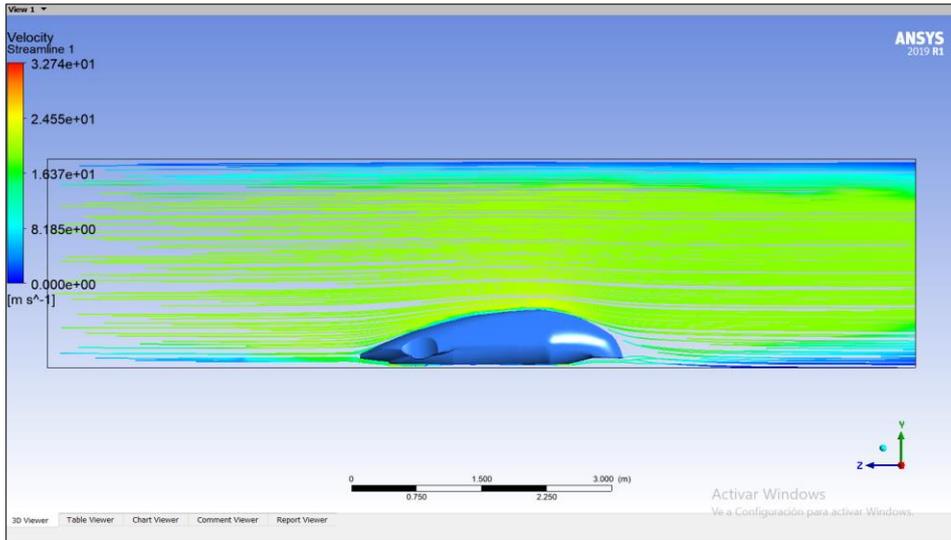


Gráfico 15-3. Análisis de la velocidad del aire y flujo laminar.

Fuente: Los autores.

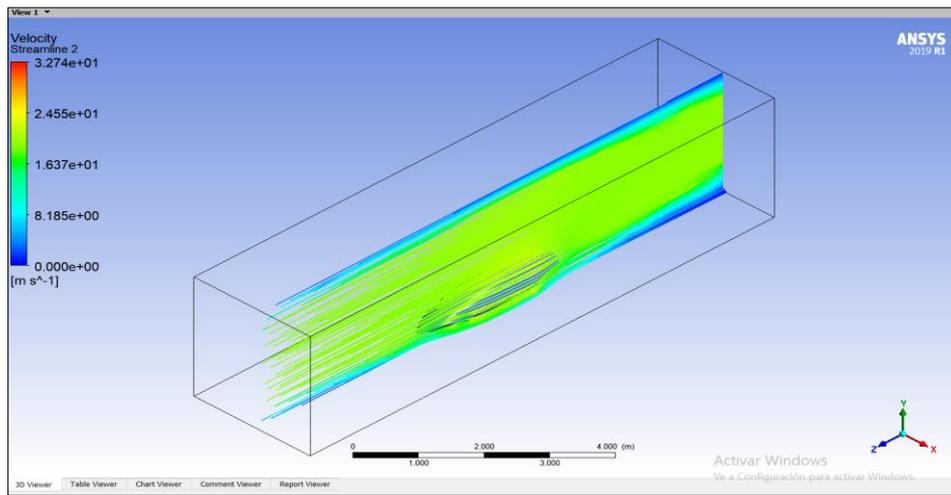


Gráfico 16-3. Análisis de la velocidad del flujo, vista isométrica.

Fuente: Los autores.

En la tabla 8-3 se resume los resultados obtenidos de los estudios Estático y Aerodinámico.

Tabla 8-3. Resumen de resultados obtenidos de los estudios.

Análisis	Datos ingresados		Resultados	
Estático	Material:	Aleación de Aluminio	Factor de Seguridad:	2.02
	Fuerzas:	56.86 N - 700 N	Deformación máx.:	0.0043
Aerodinámico	Geometría:	Modelo del vehículo	Presión máxima:	211.1 Pa
	Simulación:	Túnel de viento	Velocidad final:	16.3 m/s
	Velocidad Inicial:	60 m/s		

Fuente: Los autores.

3.7 Análisis de Resultados

El contorno de presión que se obtiene en el análisis aerodinámico específicamente el factor presión, indica que su valor máximo está en la parte frontal con 211.1 Pa debido a que esta zona es la primera superficie del vehículo con las que interfieren las partículas del fluido y es donde la propia forma de la carrocería, efecto Coanda, provoca un cambio de dirección y una disminución de la velocidad de las partículas como lo indica el gráfico 15-3 donde la velocidad en el misma zona es de 16.3 m/s considerada por el código de colores del simulador una velocidad media baja. Se supone, de acuerdo con las ecuaciones de la aerodinámica en cuanto más velocidad del viento (en contra) se incrementa la resistencia y a su vez la potencia del motor; en el caso de la geometría del modelo provoca una disminución de velocidad del fluido por lo tanto la resistencia aerodinámica disminuye.

El comportamiento del vehículo es bastante bueno pues se observa como las líneas fluyen sin presentar alteraciones notables queriendo decir que la carrocería ofrece muy poca resistencia al desplazamiento del aire.

Finiquitando, el modelo propuesto del chasis y carrocería presentas datos favorables al exponerlos a los estudios realizados con la ayuda de herramientas CAE. Se tiene la seguridad de que el material elegido es el que cumple con las especificaciones y el propósito que quiere alcanzar. La siguiente fase es la construcción del mismo.

CAPÍTULO IV

4 MANUFACTURA DEL CHASIS Y CARROCERÍA

Los resultados obtenidos en la etapa de análisis ofrecen la libertad y confianza para empezar con la manufactura del chasis y la carrocería, con este fin se establece un procedimiento que debe seguirse rigurosamente.

4.1 Especificación de materiales del chasis

El aluminio es el material elegido para la construcción del vehículo, para el caso del chasis se escoge el aluminio estructural de aleación 6005 con tratamiento térmico T5. A continuación, se expresa la cantidad y medidas de los materiales en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4. Descripción de los materiales para el chasis.

MATERIAL	MEDIDAS	CANTIDAD
Tubo de aluminio perfil redondo	Largo: 6 m Espesor: 1 ½ pulgada	6
Llantas de bicicleta	R20	3
Cañería de Freno	7 m	1
Platina	1 m, 1 pulgada	1
Mordazas de freno		1
Bomba de freno		1
Líquido de freno		1
Electrodos de aluminio		100

Fuente: Los Autores.

4.2 Preparación de los materiales

Una vez obtenidos todos los materiales es importante adaptarlos a las medidas y geometría que se especifican en los planos, teniendo que realizar cortes y dobladuras, aquí se utilizan las herramientas un arco de sierra y la dobladora, para luego ser unidos entre sí mediante la solda eléctrica. La fusión de cada segmento se da gracias a que los bordes son preparados con el objetivo de que calcen según al perfil seleccionado.

4.2.1 Cortes

Los cortes que se realizan son precisos, deben ser de la medida establecida en el plano más el diámetro del tubo de manera que se puedan hacer las respectivas adaptaciones a los bordes más adelante.

Se requiere dos largueros inferiores de 147.5 cm, otros dos largueros superiores de 251.3 cm que posteriormente se doblaran, ver figura 1-4.

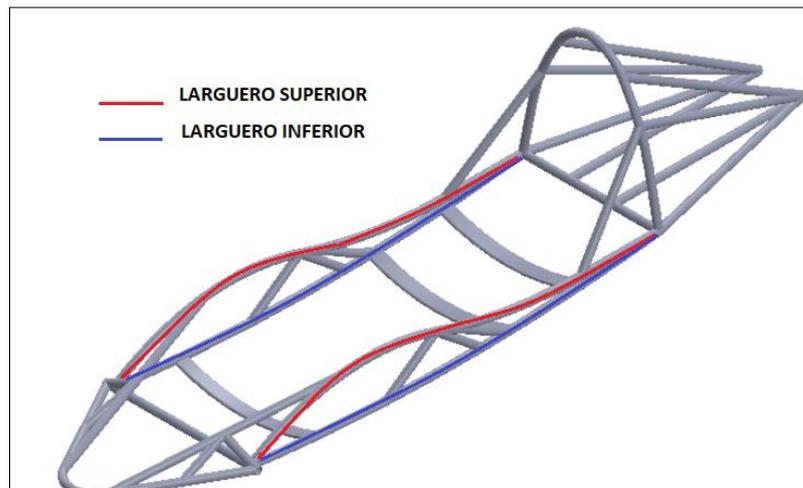


Figura 1-4. Largueros superiores e inferiores de la estructura.

Fuente: Los autores.

Para la estructura que corresponde al mamparo del vehículo (Figura 2-4) que está designado para los elementos eléctricos y mecánicos del mismo, la Tabla 2-4 resume la cantidad y medidas que se demanda.

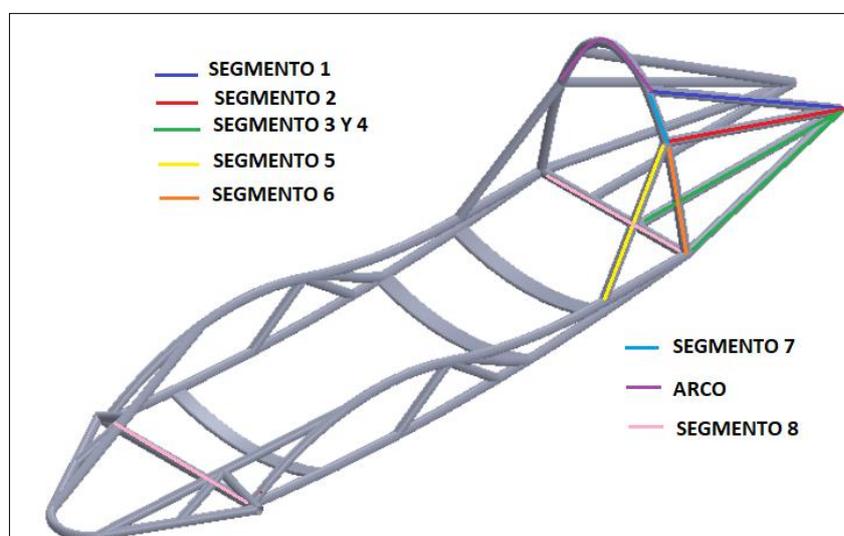


Figura 2-4. Segmentos básicos de la estructura del mamparo.

Fuente: Los autores.

Tabla 2-4. Cantidad de cortes y medidas para el mamparo del vehículo.

CANTIDAD DE SEGMENTOS	MEDIDA	SEGMENTO
4	68.7 cm	3 y 4
2	75.7 cm	2
2	81.7 cm	1
2	31.7 cm	6
2	12.6 cm	7
2	42.6 cm	5
2	55.3 cm	8
1	53.7 cm	ARCO

Fuente: Los autores.

Los segmentos que fusionan los largueros inferiores y superiores son los más pequeños, sus medidas se encuentran entre 10.7 cm, 16.2 cm y 18.2 cm se utiliza un arco de cierra para cortarlos como lo indica la Figura 3-4.



Figura 3-4. Corte de los segmentos que unen los largueros.

Fuente: Los autores

Una vez cortados todos los segmentos, se procede a doblar los tubos siguiendo los planos.

4.2.2 Proceso de doblar los tubos

Como se mencionó anteriormente los largueros superiores, necesitan ser doblados, para darle la forma que indica el plano. Figura 4-4.



Figura 4-4. Doblando los largueros.

Fuente: Los autores.

Otro de los tubos cortados a doblar es el arco que irá en el casco del piloto.



Figura 5-4. Doblando la sección del casco del piloto.

Fuente: Los autores.

4.2.3 Preparación de los bordes de soldadura.

Para el perfil de tipo circular se requiere un borde denominado "boca de pez" o "silla de montar", el mismo que permite a los fragmentos calzar eficazmente entre sí. El procedimiento para realizar el borde "boca de pez" con la pulidora es el siguiente.

Se hace una especie de plantilla con cartulina, requiriendo dos datos: el perímetro de la circunferencia del tubo junto con una profundidad.

La profundidad se encuentra trazando en una cartulina una recta que mide lo mismo que el diámetro del tubo, luego se va trasladando la base del tubo sobre la cartulina hasta que los extremos de la recta trazada estén a punto de sobresalir de la circunferencia del tubo, se calca el arco que forma y se mide la distancia entre la recta y el punto más alto del arco. Ver figura 6-4

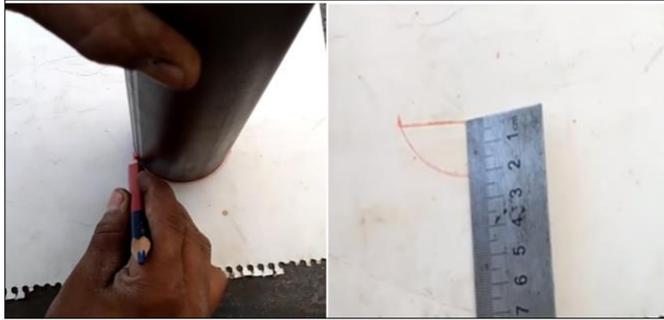


Figura 6-4. Trazo para encontrar la profundidad.
Fuente: (Neri Herreria Tv, 2019)

El perímetro de la circunferencia se halla multiplicando el diámetro del tubo por la constante pi. Al encontrar los datos de profundidad y perímetro se traza un rectángulo en la cartulina con base el perímetro hallado y como altura la profundidad, luego se divide en cuatro partes y se trazan diagonales en cada cuadrante y se corta. Ver figura 7-4

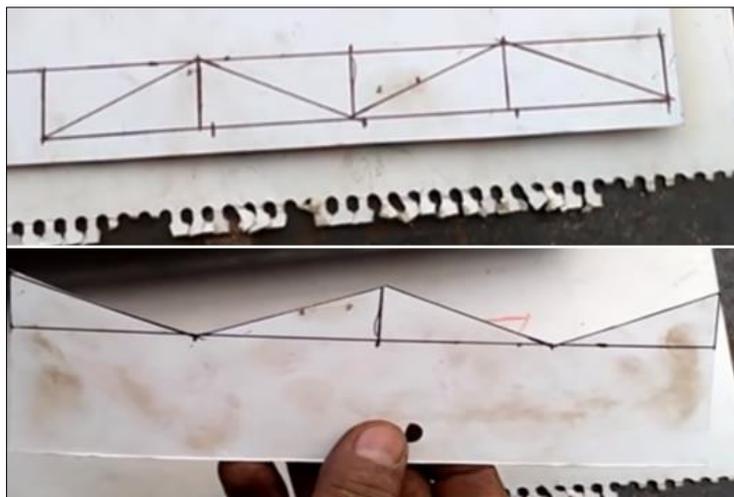


Figura 7-4. Trazo del perímetro de la circunferencia dividiendo en cuadrantes.
Fuente: (Neri Herreria Tv, 2019)

Se coloca la plantilla sobre el borde del tubo y se señala. Ver figura 8-4.

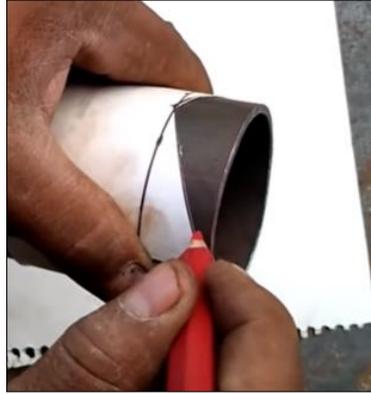


Figura 8-4. Dibujar sobre el tubo la plantilla.

Fuente: (Neri Herrería Tv, 2019)

Se procede a cortar con un esmeril o pulidora sobre las marcas realizadas.



Figura 9-4. Corte de la boca de pescado.

Fuente: (Neri Herrería Tv, 2019)

Se comprueba que encaja totalmente. Figura 10-4.



Figura 10-4. Piezas encajando.

Fuente: (Neri Herrería Tv, 2019)

Cuando los fragmentos deben unirse con cierto ángulo de inclinación se debe realizar primero el corte según el ángulo y luego si el proceso antes descrito.



Figura 11-4. Cortando el tubo según el ángulo de inclinación

Fuente: Los Autores.

4.3 Proceso de soldadura

Como último paso se procede a unir todas las piezas, para esto se utilizó una suelda eléctrica y electrodos de aluminio.



Figura 12-4. Proceso de soldadura de los tubos.

Fuente: Los autores.



Figura 13-4. Proceso de soldadura del mamparo.
Fuente: Los autores.

El producto terminado con todos sus elementos fusionados se muestra en las siguientes figuras.



Figura 14-4. Chasis terminado, vista frontal
Fuente: Los autores.



Figura 15-4. Chasis terminado, vista isométrica.

Fuente: Los autores.



Figura 16-4. Chasis terminado, vista lateral.

Fuente: Los autores.

4.4 Fabricación de la carrocería

La carrocería corresponde la parte externa del vehículo, es decir, la fachada, por lo que es importante que tenga finos acabados. Se fabrica la carrocería con la mezcla de los materiales que se detalla en la Tabla 3-4, luego se construye los moldes para darle forma básica a la mezcla y no se desperdicie material.

Tabla 3-4. Materiales para fabricación de la carrocería.

MATERIAL	CANTIDAD
Resina	8 kilos
Fibra de vidrio	5 Kilos
Cobalto	½ Kilo
Peróxido	½ Kilo
Pigmento	½ Kilo
Tornillos triple plato	Varios

Fuente: Los autores.

Previo a la mezcla, con la ayuda de unas plantillas de papel se traza sobre la tabla el diseño de la carrocería y se corta los moldes, se limpia las superficies dejándolas libres de impurezas y restos de polvo para así colocar el desmoldante, una vez que se tiene la composición se extiende por todo el molde, se la deja reposar 24 horas hasta quede una capa fina y moldeable para trabajar. Figura 17-4. Mientras tanto se coloca las llantas y el sistema de dirección tipo piñón cremallera, descrito en el capítulo dos del proyecto.



Figura 17-4. La mezcla de fibra de vidrio sobre el molde.

Fuente: Los autores.

Se procede a colocar el piso del vehículo utilizando las manos para darle forma, con una brocha se unta la resina para que quede fija y se ajusta con los tornillos.



Figura 18-4. Ubicación del piso del vehículo.
Fuente: Los autores.



Figura 19-4. Piso ajustado con los tornillos.
Fuente: Los autores.

De igual manera para la parte de arriba se cubre todo el chasis con la capa de fibra de vidrio y se da la forma de la estructura con las manos y para que quede fija se unta la resina con una brocha, a medida que se le da forma se ajusta con los tornillos.



Figura 20-4. Ajuste con tornillos de la carrocería.
Fuente: Los autores.

Una vez cubierto todo el chasis se le deja secar otras 24 horas para que la resina haga efecto, luego se procede a pulir preparándole para la capa de pintura.



Figura 21-3. Chasis cubierto completamente con la fibra de vidrio.
Fuente: Los autores.

Con algunas capas de pintura el producto terminado es el que se ve en la figura 22-4, con un peso total de 40 kg.



Figura 22-4. Carrocería pintada.
Fuente: Los autores.

La carrocería cubre totalmente el chasis quedando lista para adaptarse según el proyecto siguiente que será el que le incorpore los elementos restantes como cabina, sistema eléctrico, sistema de frenado y motor quedando listo para competir.

CONCLUSIONES

- El chasis y la carrocería del vehículo prototipo para la competencia Eco Shell Marathon fue diseñado siguiendo estrictamente las normas del concurso, es así como sus medidas son: largo total 251 cm, ancho 55.3 cm y de alto 61.3 cm, convirtiéndose en un diseño aerodinámico y compacto.
- Las pruebas ejecutadas sobre el modelo en el software de simulación ANSYS arrojaron resultados aceptables tanto el análisis estático como en el dinámico, es así como el prototipo fue aprobado y posteriormente construido con un peso total de 40 Kg lo que se considera ligero.
- Todas las normas en cuanto a chasis y carrocería se refieren, se consideraron para el diseño del vehículo prototipo, como las medidas máximas y mínimas que debe tener e inclusive la relación entre altura y anchura que en el prototipo es de 1.10 siendo el límite máximo 1.20; también el diseño no presenta ninguna tecnología que favorezca sobre los demás concursantes.
- Solidworks es una herramienta muy potente para el diseño mecánico, se encuentra totalmente familiarizado con las geometrías, los componentes y materiales que se usa normalmente en este campo, lo que facilitó el modelado del chasis y la carrocería y se pudo establecer alternativas de diseño seleccionando la que brinde mejores prestaciones, siempre con vistas a la competencia.
- ANSYS resulto un software confiable al momento de simular y poner a prueba el modelo diseñado, permitió elegir el material y colocar sus características propias para hacerlo un poco más realista, los resultados que se obtuvieron brindaron una mayor seguridad para la construcción del prototipo.
- Con la ayuda de herramientas CAE se efectuó una simulación teniendo como datos de entrada el material elegido con sus características específicas y una velocidad de 60m/s, realizado el análisis estático y dinámico se determinó que el material tiene una elongación de 0.0043 y un factor de seguridad de 2.02 indicando así que resiste la aplicación de cargas según el reglamento siendo seguro para el piloto.
- La geometría del vehículo tiene un coeficiente de arrastre bajo de 0.34 la inclinación suave que posee hace que el flujo del aire no se desvíe bruscamente, es decir, el ángulo de parabrisas elevado disminuye notoriamente la resistencia aerodinámica y su presión es menor gracias a que su área frontal es más pequeña.

- Al construir el chasis con aleación de aluminio con perfil tubular redondo se obtuvo un prototipo liviano y resistente debido a que tiene menor peso por pulgada que el cuadrado y a que un diseño de cilindro hueco resiste mejor las cargas laterales.
- La fibra de vidrio no es tan resistente como la fibra de carbono, pero se trabajó con ella a raíz de su disponibilidad en el mercado y su bajo costo, su facilidad para fabricación y manufactura la convierte en un material accesible para estudiantes.

RECOMENDACIONES

Para la realización de este proyecto se debe tener presente el reglamento de la competencia, para diseñar un prototipo bajo las normas técnicas y especificaciones que sea aprobado en las pruebas de selección previas a la competencia final.

Utilizar diferentes configuraciones al momento de realizar las simulaciones en el software ANSYS este permitirá obtener resultados más acertados con respecto a la aerodinámica del prototipo.

Antes de realizar cualquier proceso de manufactura se debe tomar en cuenta la seguridad personal, para trabajar con materiales compuestos se utiliza guantes para proteger las manos de las quemaduras que causa la resina y una mascarilla con filtro ya que el catalizador emana humos tóxicos que provocan mareos y dolores de cabeza muy fuertes.

El proceso de corte de los tubos debe realizarse con extremo cuidado, aún más si se trata de tubos de perfil circular los cuales requieren de certeza y precisión para realizar el corte denominado “boca de pez” o “silla de montar”.

Se recomienda la continuidad del proyecto con trabajos de titulación que complementen este propósito como el sistema eléctrico, de freno y dirección y la potenciación del motor.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, J.** *Técnicas del Automovil CHASIS*. 8ª ed. Madrid : Ediciones Paraninfo S.A., 2010 pp 10-13 .
- Alonso, José M. 2010.** *Técnicas del Automovil CHASIS*. Madrid : Ediciones Paraninfo, 2010. 978-84-9732-661-2.
- Bosch, Robert. 2003.** *Sistema de freno convencionales y electrónicos*. Tercera. s.l. : Bosch, Editorial, 2003.
- CEDE. 2010.** *Mantenimiento de Vehículos*. Madris : Centro de Documentación de Estudios y Oposiciones, 2010.
- Díaz, JM. 2012.** Túneles de viento: Lineas de corriente. *Blogger.com*. [En línea] 8 de Diciembre de 2012. <http://angelesenlacabeza.blogspot.com/2012/12/tuneles-de-viento-lineas-de-corriente.html>.
- Dominguez, Esteban y Ferrer, Julián. 2012.** *Sistemas de transmisión y frenado*. s.l. : EDITEX, 2012.
- ESPOCH. 2018.** ECO KUNTUR LISTO PARA SU PARTICIPACIÓN EN LA SHELL ECO - MARATHON BRASIL. *www.espoch.edu.ec*. [En línea] ESPOCH, 2018. [Citado el: 8 de Mayo de 2019.] <https://www.espoch.edu.ec/index.php/component/k2/item/2774-eco-kuntur-listo-para-su-participaci%C3%B3n-en-la-shell-eco-marathon-brasil.html>.
- Garzon, Jerónimo. 2012.** El automovil al desnudo. [En línea] 2012. [Citado el: 22 de 05 de 2018.] <http://jeroitim.blogspot.com/2012/05/v-behaviorurldefaultvmlo.html>.
- Gillespie , Thomas D. 1992.** *Fundamentals of Vehicle Dynamics* . Warrendale : Society of AuromOli,'e Engm''''', Ilic. , 1992.
- LocTite TerosOn. 2018.** Tipos de carrocerías y sus principales características. *LocTite TerosOn*. [En línea] 2018. <https://blog.reparacion-vehiculos.es/tipos-de-carrocerias-principales-caracteristicas>.
- Luque, Pablo, Álvarez, Daniel y Vera, Carlos. 2012.** *Ingeniería del Automóvil*. Primera. Madrid : Ediciones Paraninfo, S.A., 2012.

Nogales, Mario. 2017. Fibra de carbono y su aplicación en el automovil. [En línea] 24 de 10 de 2017. <https://noticias.coches.com/noticias-motor/fibra-de-carbono-aplicacion-en-automovil/267594>.

Real Academia Española. 2018. enclave RAE. [En línea] 2018. [Citado el: 22 de 05 de 2018.] <http://dle.rae.es/?id=0tZAhTX>.

Ritcher, Hans Peter. 2010. Fibras de vidrio termicamente estables. [En línea] 16 de Abril de 2010. <https://patentados.com/2010/fibras-de-vidrio-termicamente-estables>.

Rodríguez, Carlos. 2014. Technical Courses. *Norplan Engineering*. [En línea] NORPLAN ENGINEERING S.L., 4 de Agosto de 2014. http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89.

Royal Dutch Shell. 2018. *SHELL ECO-MARATHON 2018 OFFICIAL RULES CHAPTER I*. 2018.

Shell Eco-Marathon. Shell Eco-Marathon Americas. *Shell Global*. [En línea] Shell. [Citado el: 8 de Mayo de 2019.] <https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/americas.html>.

Shell Oil Company. 2018. Past Results and Awards. [En línea] 22 de 05 de 2018. [Citado el: 21 de 05 de 2018.] <https://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon/americas/results-and-awards.html>.

—. **2018.** Shell Eco-marathon AMERICAS 2018 Final Trophies, Prizes and Awards. [En línea] 21 de 05 de 2018. [Citado el: 21 de 05 de 2018.] https://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon/americas/results-and-awards/_jcr_content/par/tabbedcontent_1402505231/tab/textimage.stream/1524838575190/66e5c662dee058af73fbcab57234b7cc90216e1d23323450ce8acfd16cdc9b77/prototypes-final-on-tra.

Suarez, Katherine y Parra, José. 2015. Ley De Acción y reacción /Tercera Ley De Newton (Principio De Propulsión a reacción). [En línea] 2015. <http://1.exam-10.com/law/2703/index.html>.

Torres, Nacho. 2016. Autocasión. [En línea] 2016. [Citado el: 22 de 05 de 2018.] <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/que-es-un-coche-monovolumen>.

Wikipedia. 2019. Principio de Bernoulli. *Wikipedia*. [En línea] 20 de Octubre de 2019. https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli.

ANEXOS

ANEXO A: REGLAMENTO INTERNACIONAL DE SHELL ECO-MARATHON 2019

SHELL ECO-MARATHON
2019 OFFICIAL RULES. CHAPTER I

3. VEHICLE DESIGN

3A – GENERAL

ARTICLE 25: VEHICLE DESIGN

- a) During vehicle design, construction and competition planning, participating teams must pay attention to all aspects of safety, including the safety of the driver, participants, volunteers and spectators.
 - i. Prototype vehicles must have three or four running wheels that are in constant contact with the road.
 - ii. Prototype vehicles must have a minimum crumple zone of 100 mm between the front of the vehicle body and the driver's feet.
 - iii. UrbanConcept vehicles must have exactly four wheels that are in constant contact with the road.
- b) Aerodynamic appendages, which adjust or are prone to changing shape due to wind, are not allowed.
- c) Vehicle bodies must not include any external appendages that might be dangerous to participants; this includes pointed parts of the vehicle body. Sharp points must have a radius of 50 mm or greater or covered with foam or a deformable material.
- d) Vehicle body panels and windows must be rigid and may not change shape due to wind.
- e) The vehicle interior must not contain any objects that might injure the Driver in the event of a collision. Windows must not shatter into sharp shards. Protective film covering the windows is allowed, but must not distort the driver's visibility.
- f) The energy compartment (engine/motor/transmission/battery, etc.) should be easy to access for quick inspection.
- g) All parts of the drive train, including fuel tank, hydrogen system components, etc. must be within the confines of the body cover.
- h) All objects in the vehicle must be securely mounted. Bungee cords or other elastic material are not permitted for securing heavy objects like batteries.
- i) All vehicles must have a solid floor and frame that prevent any part of the driver's body from contacting the ground.
- j) All vehicles must be fully covered. Open top vehicles are not allowed. Vehicles that look like bicycles, tricycles or wheelchairs are not acceptable.
- k) The Organisers will provide all UrbanConcept vehicles with a telemetry System and require them to install in their vehicle for competition monitoring and result calculation (see Section 5).

ARTICLE 26: CHASSIS/MONOCOQUE SOLIDITY

- a) Teams must ensure that the vehicle chassis or monocoque will safely protect the driver's body, including crumple space in the event of a front, side, or rollover collision.

A monocoque is a construction that supports structural load by using an object's external skin as opposed to using a frame.

- b) The vehicle chassis must be equipped with an effective roll bar that extends 50 mm around the driver's helmet when seated in normal driving position with the safety belts fastened.

If this position impairs the driver visibility it will be deemed that the roll bar is not adequate. The effectiveness of the roll bar and driver's visibility will be validated simultaneously, i.e. the driver must not be in such position that he or she must raise their head or torso above the roll bar to pass the visibility test.

- c) The roll bar must extend in width beyond the driver's shoulders when seated in normal driving position with the safety belts fastened.

Teams may use a tubular or panel roll bar. If a tubular roll bar is used, it must be metal. A panel roll bar is the rigid partition separating the cockpit from the energy compartment, and it must be integrated into the vehicle chassis or monocoque.

- d) The roll bar must be able to withstand a static load of 700 N (~ 70 kg) applied in a vertical, horizontal, and/or perpendicular direction, without deforming in any direction.
- e) If the vehicle must be lifted at a specific place on its body, it should be clearly marked with a rectangular box stating, "LIFT HERE".

ARTICLE 28: VISIBILITY

- a) The Driver must have access to a direct arc of visibility ahead and to 90° on each side of the longitudinal axis of the vehicle. The Driver's field of vision must be achieved without aid of any optical or electronic devices. Movement of the Driver's head within the confines of the vehicle body to achieve a complete arc of vision is allowed, but the driver's helmet must be 50 mm always be below the roll bar.
- b) The vehicle must be equipped with a rear-view mirror on each side of the vehicle, each with a minimum surface area of 2500 mm² (e.g. 50 mm x 50 mm). An electronic device may not replace a rear-view mirror.
- c) For UrbanConcept vehicles wet weather visibility is also mandatory (see Article 52:).

3B – PROTOTYPE CLASS

ARTICLE 39: DIMENSIONS

- a) The vehicle maximum height must be less than 1000 mm.
- b) The vehicle track width must be at least 500 mm, measured between the midpoints where the tyres of the outermost wheels touch the ground.
- c) The ratio of height divided by track width must be less than 1.25.
- d) The vehicle wheelbase must be at least 1000 mm.

- e) The maximum total vehicle width must not exceed 1300 mm.
- f) The maximum total length must not exceed 3500 mm.
- g) The maximum vehicle weight, without the Driver is 140 kg.
- h) None of the body dimensions above must be achieved by design singularities such as 'stuck-on' appendages or cut-outs.

ARTICLE 42: TURNING RADIUS AND STEERING

- a) Only front wheel steering is permitted. If the Organisers are not satisfied with the effectiveness and/or control of a vehicles steering system, this vehicle will be removed from the competition.
- b) The turning radius must be 8 m or less. The turning radius is the distance between the centre of the circle and the external wheel of the vehicle. The external wheel of the vehicle must be able to follow a 90° arc of 8 m radius in both directions. The steering system must be designed to prevent any contact between tyre and body or chassis.
- c) Electrically operated indirect steering systems are permitted providing they are operated by a steering wheel or similar (rotary potentiometer), joystick operation is not permitted. If electronic steering systems are used, in the event of system failure, the vehicle must be equipped with manual steering override.
- d) The Organisers reserve the right to set up a vehicle handling course to verify the following when the vehicle is in motion: driver skills, turning radius and steering precision. For example, the Organisers will verify that steering is precise, with no play.

ANEXO B: CUADRO DE RESULTADOS EN LA COMPETENCIA ECO SHELL MARATHON 2018 AMÉRICAS, EUROPA Y ASIA



Shell Eco-marathon AMERICAS 2018
Final Trophies, Prizes and Awards

Prototype

Internal Combustion Award

Rank	Race number	Team name	Country	School Name	School type	Competition Group	Fuel type	Best attempt (mpg (us))
1	2	BYU SWV	United States	Brighton Young University	University	Prototype	Gasoline	1985.4
2	5	University of Toronto Supermileage	Canada	University of Toronto	University	Prototype	Gasoline	1912.7
3	3	Mater Dei Supermileage 2	United States	Mater Dei High School	School	Prototype	Gasoline	1399.7
4	4	Cal Poly Supermileage	United States	California Polytechnic State University	University	Prototype	Gasoline	1294.8
5	30	Pato a Jato	Brazil	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	University	Prototype	Ethanol	1230.0
6	15	Cedarville Supermileage - Sting	United States	Cedarville University	University	Prototype	Gasoline	1180.7



Shell Eco-marathon Europe 2018

Final Trophies, Prizes and Awards

Prototype

Internal Combustion Award

Rank	Race number	Team name	Country	School Name	School type	Competition Group	Fuel type	Best attempt (km/l)
1	1	Microjoule La Joliverie	France	lycee Saint-Joseph La Joliverie	School	Prototype	Gasoline	2324.2
2	2	TED	France	AIRBUS HELICOPTERS Centre de Formation Technique	University	Prototype	Gasoline	1812.6
3	12	PV3E	France	ESTACA Paris-Saclay	University	Prototype	Gasoline	1502.4
4	6	Team Calisson	France	Universite Aix-Marseille	University	Prototype	Gasoline	1327.7
5	15	Toulouse Ingenierie Multidisciplinaire 2	France	INSA de Toulouse	University	Prototype	Ethanol	1301.0
6	22	Team Callo	France	lycee Marcel Callo	School	Prototype	Gasoline	1163.3



Shell Eco-marathon Asia 2018

Final Trophies, Prizes and Awards

Prototype

Internal Combustion Award

Rank	Boce number	Team name	Country	School Name	School type	Competition Group	Fuel type	Best attempt (km/l)
1	4	Panjandhya1	Thailand	Panjandhya Technological College	University	Prototype	Ethanol	2341.1
2	3	ZEL ECO-POWER PROTO	China	Tongji University	University	Prototype	Gasoline	1893.1
3	2	Clean Diesel Team	Japan	Hyogo Prefectural Tajima Technical Institute	University	Prototype	Diesel	1227.2
4	1	Virgin	Thailand	Sakonlekhen Technical College	University	Prototype	Ethanol	1184.5
5	6	luk joo mee khlong prapa ethanol	Thailand	Dhurakij Pundit University	University	Prototype	Ethanol	757.8
6	32	Fueang Pha	Thailand	Ampawa Industrial and Community Education	School	Prototype	Gasoline	653.4

ANEXO C: PLANOS DEL CHASIS Y LA CARROCERÍA EN SOLIDWORKS

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA

EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 30 / 01 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombre – Apellido: Paolo Cesar Chinchilima Duchi Héctor Israel Rodríguez Sánchez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
f. Documentalista responsable: