

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO AERONÁUTICO.
2. **TITULO:** DISEÑO DEL CHASIS PARA UN VEHÍCULO CATEGORÍA CONCEPTO URBANO, APLICADO A LA COMPETENCIA SHELL ECO MARATHON.
3. **AUTORES:** Diana Milena Forero Moreno, Angela Julieth Pinzon Florez
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C.
5. **FECHA:** Noviembre de 2014
6. **PALABRAS CLAVE:** Shell Eco Marathon, Concepto Urbano, Chasis, Von Mises, CAD, Esfuerzos, rigidez, factor de seguridad
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** En este proyecto se expondrá el diseño conceptual del chasis para un vehículo que cumpla con los requisitos para participar en la competencia *Shell Eco-Marathon* en la categoría *Concepto Urbano*.
8. **LINEAS DE INVESTIGACIÓN:** Línea de Investigación de la USB: Tecnologías e innovación. Sub línea de Facultad de Ingeniería: Energía y vehículos. Campo Temático del Programa: Diseño de vehículos.
9. **METODOLOGÍA:** Buscando iniciar con un procedimiento lógico de los pasos requeridos para la elaboración más eficaz de este proyecto, se entabla el uso de una metodología empírico-analítica.
10. **CONCLUSIONES:** Cuando se realiza el diseño de una estructura a partir de un diseño base se debe tener en cuenta diferentes factores que pueden influir en el cambio de esta; factores como la selección del material, la distribución de esfuerzos y deformaciones, podrían conllevar al cambio drástico de dicho modelo, ya que no es seguro que este cumpla con los requerimientos. Por tal motivo es indispensable no ceñirse simplemente a este diseño, sino considerar otras posibles soluciones del problema planteado.

**DISEÑO DEL CHASIS PARA UN VEHÍCULO CATEGORÍA CONCEPTO
URBANO, APLICADO A LA COMPETENCIA SHELL ECO MARATHON**

**DIANA MILENA FORERO MORENO
ÁNGELA JULIETH PINZÓN FLOREZ**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERILES
PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA
BOGOTÁ
2014**

**DISEÑO DEL CHASIS PARA UN VEHÍCULO CATEGORÍA CONCEPTO
URBANO, APLICADO A LA COMPETENCIA SHELL ECO MARATHON**

**DIANA MILENA FORERO MORENO
ÁNGELA JULIETH PINZÓN FLOREZ**

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero aeronáutico

**Ing. Esp. Jorge Eliécer Gaitán
Asesor de proyecto**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERILES
PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA
BOGOTÁ
2014**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C (06, 10, 2014)

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 ANTECEDENTES	13
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	18
2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	20
3.1 ALCANCES	20
3.2 LIMITACIONES.....	20
4. MARCO DE REFERENCIA.....	21
4.1 MARCO NORMATIVO.....	21
4.2 MARCO TEÓRICO.....	24
4.2.1 Conceptos de la competencia	24
4.2.2 Tipos de chasis.....	24
4.2.3 Comportamientos del vehículo.....	27
4.2.4 Propiedades de los materiales.....	28
4.2.5 Tipos de diseño	29
4.2.6 Tipos de soldadura.....	30
5. METODOLOGÍA	30
5.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	31
5.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	32
5.3 VARIABLES.....	32
5.3.1 Variables independientes.....	32

5.3.2 Variables dependientes.....	32
6. DESARROLLO INGENIERIL	32
6.1 DISEÑO BASE.....	32
6.2 MODELO Y MEDIDAS GENERALES DEL VEHÍCULO.....	34
6.3 MATERIALES.....	40
6.4 ANÁLISIS POR SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS (FEA).....	50
6.4.1 Análisis en Ansys Diseño 1	52
6.4.2 Análisis en Ansys Diseño 2	58
6.4.3 Análisis en Ansys Diseño 3	62
6.5 ANALISIS DE COMPORTAMIENTO.....	67
6.5.1 Aceleración máxima.....	73
6.5.2 Frenado.....	76
6.5.3 Giro	79
6.5.4 Volcado	81
7. SOLDADURAS	84
8. CONCLUSIONES.....	88
9. RECOMEDACIONES	89
10. BIBLIOGRAFÍA.....	90
10.1. FUENTES PRIMARIAS.....	90
10.2. FUENTES SECUNDARIAS	91
10.3. CIBERGRAFÍA	91

LISTA DE TABLAS

pág.

<i>Tabla 1. Características de vehículos participantes</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 2. Tipos de chasis</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3. Reglamentación aplicable al proyecto.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4. Regulación general.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5. Componentes seleccionados por el grupo de planta motriz.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6. Propiedades de los materiales</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 7. Rango evaluación, Resistencia a la tracción.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8. Rango evaluación, Elongación.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 9. Rango evaluación, Densidad.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 10. Rango evaluación, Costos.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 11. Rango evaluación, Manufactura</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 12. Cuadro índice de mérito de materiales</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 13. Información materiales Acero A36 y Aluminio 6061-T6</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 14. Características del Diseño 1 para acero y aluminio.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 15. Análisis de deformaciones y esfuerzos en Ansys APDL del Diseño 1</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 16. Comparación aluminio y acero del Diseño 1.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 17. Magnitud de las reacciones en los apoyos del Diseño 1</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 18. Pesos y centro de masa del diseño 2</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 19. Análisis de deformaciones y esfuerzos en Ansys APDL del Diseño 2.</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 20. Comparación aluminio y acero del Diseño 2.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 21. Magnitud de las reacciones en los apoyos del Diseño 2</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 22. Masa y centro de masa del diseño 3.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 23. Análisis de esfuerzo y deformaciones en Ansys APDL del Diseño 3</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 24. Comparación aluminio y acero del diseño 3.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 25. Magnitud de las reacciones en los apoyos del Diseño 3.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 26. Tipos de soldadura por fusión</i>	<i>85</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
<i>Ilustración 1. Mater Dei Supermileage.....</i>	14
<i>Ilustración 2. Ulises.....</i>	14
<i>Ilustración 3. Argo.....</i>	15
<i>Ilustración 4. Argo V2.....</i>	15
<i>Ilustración 5. DTU Roadrunners.....</i>	15
<i>Ilustración 6. The Hydrocruisers.....</i>	15
<i>Ilustración 7. Chasis Tipo Escalera.....</i>	25
<i>Ilustración 8. Chasis Multi-Tubular.....</i>	26
<i>Ilustración 9. Chasis tipo Cercha.....</i>	27
<i>Ilustración 10. Chasis tipo Monocasco.....</i>	27
<i>Ilustración 11. Dimensiones del vehículo: a) vista de techo, b) vista lateral c) vista frontal [mm].....</i>	34
<i>Ilustración 12. Isométrico del Diseño preliminar.....</i>	35
<i>Ilustración 13. Estimación de masa de la carrocería.....</i>	35
<i>Ilustración 14. Volumen de Control Planta Motriz [cm].....</i>	36
<i>Ilustración 15. Representación esquemática de la distribución de los componentes sobre el chasis.....</i>	36
<i>Ilustración 16. Motor Turnigy Rotomax 80 CC.....</i>	37
<i>Ilustración 17. 16 Volt Large Module.....</i>	38
<i>Ilustración 18. Alternador Bosch (242-13882).....</i>	38
<i>Ilustración 19. Motor 4T Chongqing Royway 125F.....</i>	38
<i>Ilustración 20. Eje tractor.....</i>	38
<i>Ilustración 21. Diseño 1 con representación esquemática de dimensiones y distribución de componentes y piloto.....</i>	39
<i>Ilustración 22. Esfuerzo de Von Mises Diseño 1.....</i>	40
<i>Ilustración 23. Diagrama para el análisis de selección de materiales.....</i>	42
<i>Ilustración 24. Diagrama esfuerzo-deformación acero A36.....</i>	49
<i>Ilustración 25. Diagrama Esfuerzo- Deformación Aluminio 6061-T6.....</i>	50
<i>Ilustración 26. Chasis isométrico con cargas correspondientes.....</i>	51
<i>Ilustración 27. Diseño 1 del chasis.....</i>	52
<i>Ilustración 28. Ubicación del centro de masa del Diseño 1.....</i>	53
<i>Ilustración 29. Deformación en Diseño 1 en acero.....</i>	54
<i>Ilustración 30. Deformación en Diseño 1 en aluminio.....</i>	54
<i>Ilustración 31. Esfuerzo de Von Mises en Diseño 1 en acero.....</i>	55

<i>Ilustración 32. Esfuerzo de Von Mises en Diseño 1 en aluminio.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 33. Nodos de posición de apoyos</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 34. Segundo boceto del diseño del chasis</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 35. Ubicación del centro de masa del Diseño 2.....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 36. Deformación en Diseño 2 en acero.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 37. Deformación en Diseño 2 en aluminio.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 38. Esfuerzo de Von Mises Diseño 2 en Acero.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 39. Esfuerzo de Von Mises Diseño 2 en aluminio</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 40. Tercer boceto del diseño del chasis.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 41. Ubicación del centro de masa del Diseño 3.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 42. Deformación en Diseño 3 en acero.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 43. Deformación en Diseño 3 en aluminio.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 44. Von Mises en Diseño 3 en acero.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 45. Von Mises en Diseño 3 en aluminio.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 46. Representación de apoyos en el chasis.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 47. Representación de puntos de masa en Workbench.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 48. Deformación del diseño final en reposo</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 49. Esfuerzo de Von Mises diseño final en reposo</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 50. Factor de seguridad del diseño final en reposo.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 51. Deformación con carga de 700N sobre la barra estabilizadora.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 52. Esfuerzo de Von Mises con carga de 700N sobre la barra estabilizadora .</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 53. Factor de seguridad con carga de 700N sobre la barra antivuelco</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 54. Factor de seguridad en condiciones de aceleración.</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 55. Deformación del chasis en condiciones de aceleración</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 56. Esfuerzo de Von Mises en condiciones de aceleración.....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 57. Factor de seguridad en condición de frenado</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 58. Deformación del chasis en condición de frenado.</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 59. Esfuerzo de Von Mises en condición de frenado.....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 60. Factor de seguridad en condición de giro.</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 61. Deformación del chasis en condiciones de frenado</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 62. Esfuerzo de Von Mises en condición de giro.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 63. Factor de seguridad del chasis volcado</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 64. Deformación del chasis volcado</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 65. Esfuerzo de Von Mises chasis del chasis volcado</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 66. Estructura final vista lateral, ubicación de componentes y dimensiones [mm]</i> <i>.....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 67. Estructura final vista superior, ubicación de componentes y dimensiones</i> <i>[mm].....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 68. Equipo de soldadura por arco metálico con gas protector</i>	<i>87</i>

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ACTAS

ANEXO B. FICHA TECNICA ACERO A36

ANEXO C. FICHA TECNICA ALUMINIO 6061-T6

ANEXO D. PERFILES DE ALUMINIO ESTANDARIZADOS

ANEXO E. PROCEDIMIENTOS EN ANSYS DEL ANALISIS DE LA ESTRUCTURA

ANEXO F. COMPARACIÓN BEAM VS PIPE

ANEXO G. ELEMENT REFERENCE ANSYS 14.0

ANEXO H. ILUSTRACIONES DE ANSYS

ANEXO I. SOLDADURAS

NOMENCLATURA

Simbología

Mpg(US) = Milla por galón americano
Mi = Milla
Gl = Galón
cc = Centímetros cúbicos
lb = Libra
km = Kilómetros
KWh = Kilowatts hora
kg = kilogramo
cm = Centímetro
 σ = Esfuerzo
 S_y = Esfuerzo de fluencia
T = Tensión cortante máxima
 σ_y = Limite elástico
 k_c = Tenacidad de fractura
y = Parámetro dependiente de la geometría
N = Newton
mm = Milímetros
m = Metros
s = Segundos
kV = Kilovoltios
g = gramos
A = área
V = Voltios
W = Watts
US\$ = Dólar americano
F = Fuerza
ARMS = Corriente máxima
Ah = Amperios hora
kW = Kilowatts
 cm^3 = Centímetros cúbicos
Ta = Torque en el eje tractor
 σ_{real} = Esfuerzo real
FS = Factor de seguridad
E = Módulo de elasticidad
 ρ = Densidad
 ν = Coeficiente de Poisson
 m^2 = Metro cuadrado
 ϵ = Deformación unitaria
E = Modulo de elasticidad
MPa = Mega pascales
Pa = Pascales

P = Potencia
r = Radio
 ω = Velocidad Angular
rad = Radianes
 V_t = Velocidad tangencial
 a_c = Aceleración centrífuga
M = Masa
 $X_{frenado}$ = Distancia de Frenado
 V_f = Velocidad Final
 V_o = Velocidad Inicial
X = Distancia
 X_o = Distancia Inicial
a = Aceleración
t = Tiempo
 a_t = Aceleración Tangencial
Y = Peso específico
T = Torque
v = Velocidad
w = Peso

Abreviaturas

LED: Light Emitting Diode
SAE: Society Automotive Engineering
CAD: Computer Aided Design
3D: Tres dimensiones
APDL: Ansys Parametric Design Language
RPM: Revoluciones por minuto
AISI: American Iron and Steel Institute
DMX: Deformación máxima
FEA: Finite Element Analysis
SMN: Esfuerzo mínimo
SMX: Esfuerzo máximo
SAW: Submerged Arc Welding
GMAW: Gas metal-arc welding
MIG: Metal inert gas
GTAW: Gas tungsten arc welding
TIG: Tungsten inserts gas
MAG: Metal Active Gas
FCAW: Flux Cored Arc Welding
ESW: Electro Slag welding
AHW: Atomic Hydrogen Welding
EXN: Explosion Welding
ZAT: Zona afectada térmicamente

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de grado hace parte del proyecto de investigación institucional titulado “*Diseño de un vehículo concepto urbano aplicado a la competencia Shell Eco-Marathon*”, el cual hace parte de la convocatoria 008 de la dirección de investigación de la Universidad de San Buenaventura. Dicho proyecto está integrado por diferentes ramas conformadas por: la planta motriz con “*Diseño y selección del sistema de propulsión de un vehículo urbano aplicado a la competencia Eco Shell Marathon*” y “*Diseño de un motor a pistón para un vehículo urbano aplicado a la competencia Shell Eco Marathon*”, en aerodinámica con “*Análisis aerodinámico de un vehículo urbano mediante dinámica de fluidos computacionales aplicado a la competencia de Shell Eco Marathon*”, sistemas eléctricos con “*Selección y diseño de sistemas para un vehículo urbano aplicado a la competencia de Shell Eco Marathon*” y estructuras con “*Diseño del chasis para un vehículo categoría concepto urbano aplicado a la competencia Shell Eco Marathon*”.

Shell Eco Marathon, es una competencia organizada por la compañía *Shell*, cuya finalidad es desafiar estudiantes de ingeniería a construir el vehículo más eficiente en términos de consumo de combustible; tal razón, motivó la realización de este proyecto, donde se diseñó un vehículo que tiene como objetivo recorrer la mayor distancia posible con una determinada cantidad de combustible, cumpliendo factores de seguridad, innovación técnica, diseño y trabajo en equipo, delimitado por un reglamento (*Shell Eco Marathon*, 2014). Esta competencia se realiza anualmente en diferentes lugares como América, Asia y Europa.

A partir del reglamento de la competencia *Shell Eco Marathon* versión Américas se elaboró este proyecto. Debido a estos parámetros, la investigación se enfocó en seleccionar la configuración estructural adecuada del chasis y definir el material que cumpliera con las características requeridas de costos y resistencia a determinados tipos de esfuerzos.

El chasis o bastidor se considera el componente de mayor importancia en un vehículo, ya que aporta rigidez, además de soportar componentes integrales como: la planta motriz, suspensión, carrocería, equipamiento interno, entre otros. Para definir la configuración del chasis, inicialmente fue necesario considerar los diferentes tipos de chasis que existen en la industria, teniendo en cuenta los materiales, configuración, ventajas, desventajas y uso, junto con una investigación de los vehículos ganadores de las competencias de años anteriores de la *Shell Eco Marathon*.

Seguido a esto se planteó un diseño base (Diseño 1) del chasis (Ilustración 21) de acuerdo a la forma geométrica de la carrocería y la distribución de los componentes principales, determinada a partir de la investigación de los vehículos

ganadores en las competencias pasadas y a los límites dimensionales reglamentados (Shell Eco Marathon, 2014, artículo 45).

A partir de ciertos criterios estructurales, se obtuvieron los esfuerzos a los que se sometería el chasis y su distribución, información indispensable para determinar el comportamiento del material, siendo uno de los factores de mayor importancia en el diseño de cualquier mecanismo. Es necesario seleccionar un material idóneo y eficiente en términos de rigidez, resistencia y costos, ya que de esta selección dependerá el funcionamiento adecuado del chasis.

A través de simulaciones en software de elementos finitos (FEA software) se analizó el comportamiento de la estructura sometida a las cargas correspondientes por diseño (Peso de los componentes), por lo que se determinó la necesidad de mejorar el diseño base, con el fin de obtener mayor rigidez estructural y de esta forma mayor seguridad al piloto. Con lo anterior, se seleccionó un diseño final (Ilustración 40) el cual fue evaluado con el mismo procedimiento y luego se analizó con las cargas producidas por la operación de funcionamiento del vehículo (Aceleración, frenado, giro y volcado), verificando el cumplimiento del factor de seguridad.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Shell consiste en un grupo íntegro de compañías de energía petroquímica, que por medio de lo último en tecnología y una perspectiva transformadora ayudan a construir un futuro energético sostenible (Shell Eco Marathon, 2014). Esta compañía, buscando diferentes alternativas para mejorar el futuro del transporte y acrecentar la eficiencia del combustible, crea la competencia *Shell Eco-Marathon*, donde además de buscar soluciones a este tema, incentiva a estudiantes de ingeniería a crear vehículos de bajo consumo.



Existen dos categorías de vehículos en la competencia: la categoría *Concepto Urbano* y la categoría *Prototipo*, las cuales se diferencian una de la otra en que la primera, es un diseño convencional que circula sobre cuatro (4) ruedas y el segundo es un diseño futurista que considera principalmente la reducción de la resistencia y maximización de la eficiencia (Shell Eco Marathon, 2014). Este proyecto se enfocará en el diseño de un vehículo categoría concepto urbano.





El vehículo de *Concepto Urbano* que resultó victorioso en la última edición del certamen de *Shell Eco Marathon* fue el *Mater Dei Supermileage* (Ver Ilustración 1) en el año 2013, su chasis en aluminio de categoría aeronáutica 6061-T6 y

carrocería en fibra de vidrio fue un factor determinante en su victoria del 2012 y 2013 (Mater Dei Supermileage, 2014); el segundo lugar fue ocupado por el *UBC Supermileage* (Ver Ilustración 2), que utilizó un chasis en panel de aluminio y carrocería en fibra de vidrio (UBC Supermileage, 2014).

Algunos vehículos destacados de las competencias en años anteriores se relacionan a continuación, para dar una idea de su rendimiento.

Tabla 1. Características de vehículos participantes

NOMBRE	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
<p>Mater Dei Supermileage</p>	<p>Mater Dei Supermileage.</p>  <p>Ilustración 1. Mater Dei Supermileage. Fuente: (Shell Eco Marathon, 2014)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Origen: Estados Unidos, Mater Dei Supermileage • Rendimiento: 849,2 Mpg (US)/ 611 Mi/Gl de gasolina estándar • Motor: Scooter Yamaha 50cc de gasolina • Materiales: Parte frontal en fibra de vidrio y láminas de aluminio para el resto del cuerpo • Puesto: Primero (2013)
<p>UBC Supermileage</p>	<p>The Odysseus</p>  <p>Ilustración 2. Ulises, Fuente: (Shell Eco Marathon, 2014)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Origen: Canadá; Universidad de Columbia Británica • Diseño: Cuerpo más aerodinámico y un peso menor a la versión anterior • Peso: Menos de 200 lb • Pared anti fuego: Fibra de carbono • Chasis: Panel de aluminio • Motor: A gasolina de 50cc con sistema de inyección de combustible dos veces más eficiente que su predecesor • Dos veces más eficiente que la versión anterior • Puesto: Segundo (2013)

NOMBRE	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
	<p style="text-align: center;">Argo</p>  <p style="text-align: center;"><i>Ilustración 3. Argo, Fuente: (Shell Eco Marathon, 2014)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Motor: De gasolina de 50cc, con sistema de inyección electrónica de combustible • Luces LED • Instaló un limpiaparabrisas • Puesto: Tercero (2012)
	<p style="text-align: center;">Argo V2</p>  <p style="text-align: center;"><i>Ilustración 4. Argo V2. Fuente: (Shell Eco Marathon, 2014)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comparado con la versión anterior tiene un sistema más rígido de dirección, mejoraron la interfaz del conductor en el vehículo con mecanismos en la puerta disminuyendo el tiempo de salida en caso de emergencia • Llantas: Aleación ligera de radios personalizado • Motor: De gasolina de 50 cc • Peso total: 225 lb • Puesto: tercero (2011)
De Haagse Hogeschool	<p style="text-align: center;">DTU Roadrunners</p>  <p style="text-align: center;"><i>Ilustración 5. DTU Roadrunners. Fuente: (Shell Eco Marathon, 2014)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Origen: Netherlands - Europa • Kilometraje de 104km/KWh • Fuente de energía: célula de combustible de hidrógeno. • Material: espuma compacta laminados con carbono.
	<p style="text-align: center;">The Hydrocruisers</p>  <p style="text-align: center;"><i>Ilustración 6. The Hydrocruisers. Fuente: (Shell Eco Marathon, 2014)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Origen: Netherlands – Europa • Kilometraje de 104 km/KWh. • Fuente de energía: célula de combustible de hidrogeno. • Material: espuma compacta laminados con carbono.

Para establecer una metodología de diseño del chasis, se recurrió a proyectos realizados en universidades y equipos de investigación que han desarrollado chasis para diversas competencias. El método empleado por Arturo Calvo

Rodríguez (Calvo, 2014), miembro de la Universidad Pontificia de Comillas para el desarrollo de un chasis de un vehículo de competencia de la Fórmula SAE¹, se ha considerado apropiado como punto de partida para desarrollar un procedimiento análogo. También se encuentra una guía en el proyecto realizado por un grupo de estudiantes de la Universidad Politécnica de Catalunya (Velásquez, 2013) donde se detalla el diseño de un chasis en material compuesto para la competencia *Shell Eco-Marathon* del año 2005.

El diseño del chasis requiere de cálculos y dimensionamiento de los componentes principales que harán parte del vehículo, en este caso están dados por las tesis que complementan el proyecto de investigación institucional titulado *Diseño de un vehículo Concepto Urbano aplicado a la competencia Shell Eco Marathon* las cuales estarán descritas más adelante y tienen como objetivo:

- Diseño y selección del sistema de propulsión de un vehículo urbano aplicado a la competencia Shell Eco Marathon y diseño de un motor a pistón para un vehículo urbano aplicado a la competencia Shell Eco Marathon: Diseñar el sistema de propulsión de un vehículo urbano para la competencia Eco Shell Marathon. (Cortés, 2014)
- Diseño preliminar de un motor de combustión interna que cumpla con los requerimientos necesarios por un vehículo para la competencia (Mesa, 2014): Realizar el diseño preliminar de un motor de combustión interna que cumpla con los requerimientos necesarios por un vehículo para la competencia Shell Eco Maratón.
- Análisis aerodinámico de un vehículo urbano mediante dinámica de fluidos computacionales aplicado a la competencia de Shell Eco Marathon: Tiene como objetivo diseñar aerodinámicamente la carrocería exterior del vehículo urbano para la competencia Shell Eco Marathon mediante simulación computacional. (Maldonado, 2014).

Para el acople entre todos los trabajos de grado se acordó un lineamiento inicial del proyecto institucional para la selección del diseño y dimensionamiento preliminar (Ver Anexo A), de tal forma que cada uno se pudiera desarrollar de forma independiente. Los lineamientos mencionados se basan en las dimensiones y volúmenes de control de algunos componentes (Ver Ilustración 21).

El chasis es una estructura que soporta la totalidad de los componentes que integran el vehículo tales como motor, transmisión, suspensión y carrocería, además, aporta rigidez al ensamblaje de los mismos. Con el tiempo, los chasis han progresado reduciendo su peso pero manteniendo la rigidez de la estructura. Según su funcionalidad hay diferentes tipos de chasis como escalera, multi-tubular, cercha y monocasco. Caracterizados por:

¹ Formula SAE: es una competencia de diseñadores estudiantiles, desarrollada por SAE International, originalmente llamada SAE Mini Indy.

Tabla 2. Tipos de chasis

TIPOS DE CHASIS		
	Ventajas	Desventajas
Chasis tipo escalera	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil fabricación • Resistente a impactos • Fácil acceso a componentes • Durable 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de rigidez torsional • Peso considerable, debido al tipo de acero requerido para su construcción • Usa mamparos para soportar timón y dirección
Chasis multi-tubular	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor rigidez estructural que el chasis en escalera 	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro significativo en tubos para construcción • Acceso difícil a los componentes • Área del piloto crítica para la rigidez del chasis por falta de diagonales
Chasis tipo cercha	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiente estructuralmente • Rigidez superior a torsión y flexión • Resistente a impactos • Bajo peso 	<ul style="list-style-type: none"> • El acceso a los componentes es crítico • Vulnerable a fallar por corrosión interna de los tubos
Chasis monocasco	<ul style="list-style-type: none"> • Absorbe cargas por piel de la estructura • Unión de láminas delgadas con mamparos de soporte • Eficiencia estructural mayor • Fácil acceso a los componentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación compleja

De acuerdo al informe de la SAE *Computational Analysis and Optimization of Torsional Stiffness of a Formula-SAE Chassis*, las estructuras más usadas en vehículos de carreras son las de tipo cercha tubular (Jain, 2014), información de utilidad para la selección del tipo de chasis, siendo la SAE *Society of Automotive Engineering* una entidad técnica constituida por especialistas del sector automotriz (SAE, 2014).

A partir de la información encontrada acerca de tipos de chasis y teniendo en cuenta el tipo de estructuras más utilizadas en vehículos de carreras con características similares al vehículo *Concepto Urbano* en cuanto a tamaño, se destaca que el tipo de chasis más conveniente para el proyecto es el chasis tipo cercha, ya que tiene una excelente resistencia estructural, es fácil de fabricar y su peso es bajo, ya que usualmente los perfiles usados son de dimensiones mínimas debido a las vigas diagonales que permiten una mejor distribución de esfuerzos. Cabe resaltar que debido a la misión del vehículo, el grupo de sistemas no consideró el uso de suspensión.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El chasis es la estructura interna de un vehículo que tiene como función soportar un conjunto de sistemas que lo conforman, debe tener la capacidad de resistir los esfuerzos a los que estará sometido como: aceleración, fuerzas laterales, interacción con la superficie de rodadura, peso de los componentes integrales del vehículo, entre otros. Para diseñar un chasis que cumpla con los requerimientos establecidos por la *Shell* en la categoría *Concepto Urbano*, debe tener un peso máximo de 205kg, una altura de 100cm a 130cm, longitud total de 220cm a 350cm, un ancho de 120cm a 130cm, trocha máxima de 100cm delantera y 80cm trasera y distancia mínima entre ejes de 120cm, en cumplimiento con el artículo 45 del reglamento de la *Shell Eco Marathon* (Ver Tabla 3).

En función de los requerimientos mencionados es necesario diseñar una estructura, cuyas características de peso, rigidez y resistencia aporten a la competitividad más allá de garantizar el correcto funcionamiento del conjunto, por tanto es necesario saber ¿Cuáles son los parámetros de diseño adecuados para desarrollar el chasis de un vehículo aplicado a la competencia *Shell Eco-Marathon* categoría *Concepto Urbano*, cumpliendo con el artículo 45 de la reglamentación de la competencia, que permita el acople satisfactorio con los demás elementos que equipará el vehículo, que son objeto de desarrollo de los diversos grupos de investigación involucrados?

1.3 JUSTIFICACIÓN

En este proyecto se expondrá el diseño conceptual del chasis para un vehículo que cumpla con los requisitos para participar en la competencia *Shell Eco-Marathon* en la categoría *Concepto Urbano*. Este proyecto permitirá la integración de la Universidad de San Buenaventura a eventos de este tipo, a través de los estudiantes que por medio de este proyecto tendrán las herramientas necesarias para construir y seguido a esto competir con un vehículo *Concepto Urbano* en la competencia *Shell Eco Marathon*.

Siendo el chasis la columna vertebral del vehículo, es indispensable llevar a cabo este proyecto, ya que los demás componentes estarán ubicados sobre el chasis y de esta forma existirá buen funcionamiento del conjunto de los componentes.

Es de esperarse que tanto este proyecto particular como la integración de los proyectos relacionados en el diseño final del vehículo, dada su innovación dentro de la Universidad de San Buenaventura, generen interés en campos como el diseño y la mecánica automotriz, que no son ajenos al estudio de la ingeniería aeronáutica. De igual manera, se pueden constituir en una fuente importante de información concerniente al diseño de plantas motrices amigables con el medio

ambiente, siendo objetivo principal de la competencia para la que se diseña el vehículo.

Es posible llegar hasta este proceso gracias a que se tienen diversos recursos disponibles de carácter humano, físico e institucionales; tales como, los profesores que pueden guiar este proceso de forma correcta con sus experiencias y conocimientos, al igual que la disponibilidad de literatura suministrada por la biblioteca de la Universidad de San Buenaventura que contienen material esencial para llevar a cabo este estudio de manera adecuada y finalmente se tienen programas para las simulaciones y diseños requeridos en este proyecto tales como Ansys y Catia.

De esta forma, es posible resaltar la viabilidad de este proyecto y los beneficios que traerá para los estudiantes de la Universidad de San Buenaventura que decidan continuar con lo llevado a cabo en este proyecto en cuanto a la construcción y de esta forma puedan participar en la competencia organizada por *Shell*, ampliando además los campos de investigación.

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño conceptual de un chasis cuya estructura cumpla con los requerimientos para un vehículo que participe en la competencia de *Shell Eco Marathon* en la categoría *Concepto Urbano*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los parámetros de diseño estructural para un vehículo de concepto urbano basándose en la reglamentación de la competencia.
- Definir la geometría del chasis con base en la distribución mecánica de los componentes, teniendo en cuenta el peso y la reglamentación de la competencia.
- Definir el material o los materiales para el chasis del vehículo, que cumpla con los requisitos de peso, rigidez y resistencia a las cargas a las que se someterá la estructura.

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

3.1 ALCANCES

- En este proyecto se hará el diseño conceptual, evitando el estudio de los demás componentes del vehículo, tales como el motor y la carrocería, ya que otros grupos se enfocarán en estos mecanismos, teniendo en cuenta los parámetros dados por la reglamentación de la competencia y estableciendo el uso de un motor híbrido, que se ubicará en la parte trasera del vehículo.
- El acople con los demás proyectos de *Shell Eco Marathon* se hará de forma general, es decir, con datos precisos de peso, dimensiones y potencia, generados como lineamientos iniciales de dichos proyectos, para realizar un chasis adecuado que soporte las cargas correspondientes.
- Entregar planos acotados del diseño propuesto, en medio magnético.
- Realización del diseño del chasis en CAD.

3.2 LIMITACIONES

- No se construirá el chasis.
- El proyecto estará circunscrito por la reglamentación de la *Shell Eco-Marathon*.
- No se realizará pruebas de materiales; su selección estará dada principalmente por la reglamentación y por las características del material por medio de un análisis teórico.
- No se harán análisis de soldaduras, fijaciones de los componentes al chasis ni métodos de sujeción de los mismos; tampoco se propondrá ninguno de los anteriores.
- En caso dado que los grupos encargados de los demás enfoques no suministren la información necesaria para el desarrollo de este proyecto, se omitirá el análisis de datos dados por estos grupos y se estimarán los datos por estadística de la información recogida en los antecedentes (Pesos, potencia, dimensiones, esfuerzos, posición, etc).

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO NORMATIVO

Bajo el nombre de *Concepto Urbano*, Shell ofrece una oportunidad para diseñar y construir vehículos con bajo consumo de combustible, estos se acercan al concepto de producción de hoy en día. El *Concepto Urbano* de vehículos debe cumplir con la regla específica de la *Shell Eco-Marathon* para este grupo (Shell Eco Marathon, 2014, artículo 44).

A continuación, se citan los artículos del reglamento de la competencia que se consideran de mayor influencia en el desarrollo del chasis.

Tabla 3. Reglamentación aplicable al proyecto

REGLAMENTACIÓN APLICABLE AL PROYECTO
Artículo 25 y 26 - DISEÑO DEL VEHÍCULO
Los vehículos Concepto Urbano deben tener exactamente cuatro ruedas, que en condiciones normales de funcionamiento deben estar en continuo contacto con la carretera. Una quinta rueda para cualquier propósito está prohibida.
Están prohibidos elementos aerodinámicos que pueden modificar su forma debido al viento.
La carrocería no debe tener una forma muy sensible al comportamiento del viento.
Los puntos afilados deben tener un radio de 5 cm o mayor, alternativo a esto, pueden ser de espuma o materiales similares deformables.
Las ventanas no deben estar hechas de un material que pueda romperse en fragmentos afilados. Se recomienda usar policarbonato.
El interior del vehículo no debe contener objetos que puedan lesionar al conductor durante una colisión.
Cualquier tapa del compartimento de la energía (motor/transmisión/batería, etc) deben ser fáciles de abrir para acceder a una rápida inspección.
Todos los componentes de potencia, incluyendo el depósito de combustible, componentes del sistema de hidrógeno, etc. deben estar dentro del cuerpo de vehículo.
Todos los objetos en el vehículo deberán montarse con seguridad, las cuerdas elásticas y otros materiales elásticos no están permitidos para sujetar objetos pesados como baterías.
El chasis del vehículo o monocasco es sólido. Un monocasco es una construcción que soporta carga estructural mediante el uso de la piel externa de un objeto en lugar de utilizar un marco.
El chasis del vehículo debe estar equipado con una barra estabilizadora efectiva que se extiende 5 cm alrededor del casco del conductor sentado en posición de conducción normal.

REGLAMENTACIÓN APLICABLE AL PROYECTO
La barra antivuelco debe extenderse más allá de la anchura de los hombros del conductor sentado en posición normal de conducción con los cinturones de seguridad abrochados.
La barra antivuelco puede ser de tipo tubular o panel y debe ser una parte integral del chasis del vehículo o integrado en un monocasco.
La barra debe ser capaz de soportar una carga estática de 700 N aplicada en una dirección vertical, horizontal o perpendicular, sin deformarse.
El chasis del vehículo o monocasco deben ser amplia y del largo adecuado para proteger el cuerpo del conductor en caso de una colisión frontal o lateral.
Artículo 27 - AISLAMIENTO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN
Se debe usar una pared para separar por completo la cabina del conductor, del sistema de propulsión del vehículo y los sistemas de almacenamiento de energía.
Los motores, pilas de combustible, tanques de combustible, baterías (tanto de propulsión y auxiliares), los cilindros de hidrógeno, súper-condensadores, etc. deben ser situados fuera de la cabina de conducción detrás de la cabeza.
Esta pared debe ser de material resistente al fuego.
Artículo 45- DIMENSIONES
La altura total del vehículo debe estar entre 100 cm y 130 cm.
El ancho total del cuerpo, sin espejos retrovisores, debe estar entre 120 cm y 130 cm.
La longitud total del vehículo debe estar entre 220 cm y 350 cm
El ancho de vía debe ser por lo menos 100 cm para el eje delantero y 80 cm para la parte trasera, medida entre los puntos medios, donde los neumáticos tocan el suelo.
La distancia entre ejes debe ser de al menos 120 cm.
El puesto del conductor debe tener una altura mínima de 88 cm y un ancho mínimo de 70 cm en los hombros del conductor.
La distancia al suelo debe ser de al menos 10 cm.
El peso máximo del vehículo (excluida el peso del conductor) es de 205 kg.
Artículo 46 - CUERPO DEL VEHICULO
Se requieren dibujos técnicos del vehículo, fotografías y animaciones.
La carrocería debe cubrir todas las partes mecánicas del vehículo.
Las ruedas y la suspensión deben estar plenamente cubiertos por el cuerpo cuando se ve desde arriba y hasta la línea de centro del eje cuando, es visto desde la parte delantera o trasera.
La cubierta de las ruedas y la suspensión debe ser una parte integral rígida de la carrocería del vehículo.
Prohibida la utilización de cualquier parte del cuerpo de vehículos disponibles en el mercado.
El acceso al vehículo por parte del conductor debe ser lo más fácil y práctica posible respecto a la producción de vehículos de pasajeros actual.
La apertura de "puertas" debe tener una dimensión mínima de 500 x 800 mm.

REGLAMENTACIÓN APLICABLE AL PROYECTO
El vehículo debe tener un techo que cubre el compartimiento del conductor.
Se debe tener un parabrisas con limpiaparabrisas efectivo.
Un gancho de remolque o el anillo es obligatorio en la parte delantera del vehículo, bajo el cuerpo y debe ser fácilmente accesible.
Artículo 48 – LLANTAS
Las llantas deben ser entre 13 a 17 pulgadas de diámetro.
Las ruedas situadas en el interior de la carrocería del vehículo deben ser inaccesibles para el controlador por un mamparo.
El radio de giro mínimo es de 6m a 90°

La regulación también expone leyes que aplican en el proyecto de forma general, creando ciertos lineamientos para cada grupo que integra la totalidad del proyecto del diseño del vehículo concepto urbano para la competencia *Shell Eco-Marathon* las cuales serán mencionadas a continuación.

Tabla 4. Regulación general

REGULACIÓN GENERAL
Artículo 9 - REGLAS DE SEGURIDAD EN LA PISTA Y GENERALES
Los conductores deben conducir con suavidad y sus movimientos deben ser predecibles, con el fin de evitar cambios de dirección bruscos.
Está prohibido circular en reversa o conducir en contra de la dirección de carrera.
En ningún momento es permitido que los conductores empujen su vehículo o que este tenga que ser empujado, ya sea para empezar la carrera o para cruzar la línea de meta.
El uso de comunicaciones de mano está prohibido en el vehículo. Sin embargo, el uso de un kit "manos libres" está permitido, siempre y cuando las dos manos del conductor permanezcan en el volante.
Fuera de la pista, los vehículos deben ser movidos sin el uso del motor, hay que empujar o tirar
Queda prohibido llevar a cabo reparaciones en la pista.
Los conductores de vehículos de Concepto Urbano deben pesar al menos 70 kg en la marcha de conducir, incluyendo dispositivos de comunicación y los elementos de equipaje.
Artículo 22 - VESTUARIO PARA LA COMPETENCIA
Los conductores deben llevar un traje de carreras (ignífugo preferiblemente)
Se debe usar un casco que cubra completamente el rostro del conductor o tres cuartos de este.
Deben llevar guantes y zapatos.
Artículo 23 - COMODIDAD DEL CONDUCTOR
Se debe tener una buena ventilación en el interior del vehículo para proporcionar refrigeración al conductor.
Si se proporcionan recipientes de fluido para el conductor, estos contenedores

REGULACIÓN GENERAL
deben ser manos libres.
Artículo 28 – VISIBILIDAD
El conductor deberá tener acceso a un arco de visibilidad directa hasta de un 90 ° en cada lado del eje longitudinal del vehículo sin ayuda de dispositivos ópticos.
El vehículo debe estar equipado con un espejo retrovisor en cada lado del vehículo, cada uno con una superficie mínima de 25 cm ² .
Artículo 30 - ACCESO AL VEHICULO
Los conductores, deben poder abandonar sus vehículos en cualquier tiempo sin asistencia en menos de 10 segundos.
El mecanismo de liberación de apertura debe ser fácil y se debe accionar desde el interior y el exterior del vehículo y no debe necesitar ninguna herramienta.
Está prohibido el uso de cinta adhesiva para cerrar alguna apertura.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Conceptos de la competencia

Shell Eco Marathon: Es una competencia que desafía a los estudiantes a diseñar, construir y conducir un coche eficiente energéticamente. Existen tres certámenes bajo esta competencia alrededor del mundo, donde cientos de equipos compiten, buscando que el vehículo recorra la mayor distancia con una cantidad determinada de combustible. Existen dos categorías de clasificación para los vehículos, la primera clase es *Prototipo* que se caracteriza por tener la máxima eficiencia y la segunda clase es *Concepto Urbano*, son diseños más prácticos.

- **Categoría Concepto Urbano:** Vehículos de combustible eficientes que son similares en apariencia a los tipos de vehículos producidos hoy en día, deben cumplir con las normas específicas de la Shell Eco Marathon. Es obligatorio el uso de cuatro (4) ruedas y tienen prohibido el uso de ruedas de bicicleta. (Shell Eco Marathon, 2014, artículo 44).
- **Categoría Prototipo:** Vehículos diseñados en pro de la reducción de la resistencia aerodinámica con el objetivo de optimizar el rendimiento del motor, se caracteriza por ser un concepto de diseño futurista. (Estévez, 2011)

4.2.2 Tipos de chasis

- **Chasis:** (Bastidor) Es una estructura que soporta la totalidad de los componentes que integran el vehículo tales como motor, transmisión, suspensión y carrocería. Le da rigidez al ensamblaje de los mismos y mantiene

alejado los sistemas eléctricos y piezas móviles del polvo, tierra y humedad. Según su funcionalidad hay diferentes tipos de chasis como multi-tubular, escalera, monocasco y cercha.

Con el paso del tiempo los chasis han evolucionado, aligerando su peso pero manteniendo la rigidez de la estructura. La estabilidad necesaria está determinada por el tipo de vehículo para el que se diseñe el chasis. Dentro de los diversos tipos de chasis, los principales son:

Chasis tipo escalera

Es el tipo de chasis más sencillo de construir, su eficiencia se debe a los perfiles tubulares que brindan una aceptable resistencia a la torsión. Consiste en dos vigas laterales de sección tubular, que se unen por refuerzos transversales o diagonales, en ocasiones tiene ambos tipos de junta en el chasis, aumentando la rigidez torsional del conjunto y permitiendo la fijación de los componentes.

Su construcción inicia ubicando el motor, la caja y el asiento del conductor, para determinar la posición de los tubos. La rigidez torsional depende principalmente de la sección de los tubos, por lo que su ubicación no influye en la misma. Comúnmente, los chasis tipo escalera se construyen en tubería de acero calibre 3" o 3 ½", soldado con electrodo revestido o gas.

El chasis en escalera se caracteriza por la durabilidad, facilidad de fabricación, resistencia en caso de accidentes y fácil acceso a los componentes que en él se fijan. Sus desventajas son la falta de rigidez torsional y el peso considerable, debido al tipo de acero que se requiere para su construcción. Este tipo de chasis requiere de mamparos para soportar el timón y el sistema de dirección del vehículo. (Garzon, 2012)

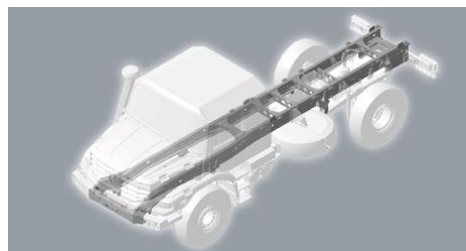


Ilustración 7. Chasis Tipo Escalera. Tomado de: www.mercedes-benz.es

Chasis multi-tubular

Estructura compuesta por cuatro piezas laterales con poca o ninguna sección diagonal. El área alrededor del piloto es crítica para la rigidez del chasis multi-tubular, ya que el uso de diagonales en dicha región es mínima, debido al

obstáculo creado para el ingreso o salida al vehículo. Tiene mejor rigidez estructural que el chasis en escalera, el acceso a los componentes es difícil pero depende en gran medida del diseño. Requiere un diámetro significativo en los tubos empleados para su construcción, y deben calcularse con exactitud las soldaduras que se apliquen en las juntas, se determina su durabilidad de acuerdo al peso, teniendo en cuenta que las cargas de flexión en las juntas soldadas son puntos críticos de resistencia. (Garzón, 2012)



Ilustración 8. Chasis Multi-Tubular. Tomado de: <http://grassrootsmotorsports.com/>

Chasis tipo cercha

Una cercha es una estructura triangular que se compone de barras unidas mediante juntas (nodos), cuya finalidad es soportar las cargas que actúan sobre su plano. Al reemplazar las juntas por rótulas, se pueden eliminar las torsiones en todos los miembros haciendo que las cargas que los afectan sean de tracción o compresión (cargas axiales) solamente.

El chasis tipo cercha, estructuralmente es muy eficiente, con una rigidez superior a la torsión y a la flexión. Idealmente se diseña como una caja rectangular con diagonales en todas sus caras, pero por la dificultad de construcción del diseño, en la práctica se elabora iniciando de tres o más sub-marcos para lograr su construcción. Cuenta con una aceptable resistencia a los impactos, ya que las cargas se absorben progresivamente por cada barra estructural. El acceso a los componentes en un chasis tipo cercha es crítico, siendo un aspecto determinante en su diseño. Por su construcción, se trata de una estructura vulnerable a fallar por corrosión interna de los tubos. (Garzón, 2012)

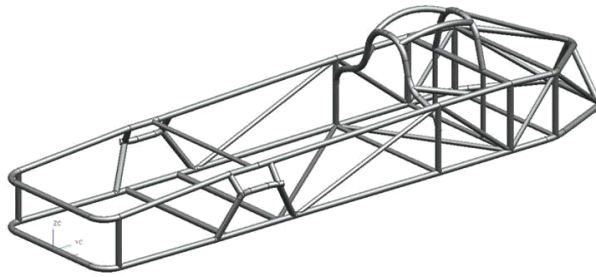


Ilustración 9. Chasis tipo Cercha. Tomado de: <http://www.speedace.info/>

Chasis monocasco

Estructuralmente es más eficiente que el chasis tipo cercha, su principio de funcionamiento consiste en la absorción de cargas por parte de la piel de la estructura. Se trata de un chasis elaborado mediante la unión de láminas delgadas utilizando mamparos de soporte que permiten la transmisión de cargas a la piel. Idealmente (según resistencia torsional) debería elaborarse como un tubo redondo con sus dos caras selladas, en la práctica se diseña basándose en secciones rectangulares amplias (carrocería).

Los factores determinantes para el diseño del chasis se deben a la accesibilidad a los componentes y a la rigidez requerida para el vehículo (Garzón, 2012).



Ilustración 10. Chasis tipo Monocasco. Tomado de: <http://www.carbodydesign.com/>

4.2.3 Comportamientos del vehículo

- **Frenado:** Es necesario destacar en el caso de frenar bruscamente que las deformaciones tengan un valor moderado y que no conlleve a un daño estructural del chasis, es importante considerar este escenario conociendo la tensión máxima de Von Mises y las deformaciones sobre la estructura.

La prueba de frenado en el software se realizará usando apoyos fijos en la ubicación de los ejes de las ruedas, teniendo en cuenta la desaceleración.

- **Aceleración:** Los parámetros que se tienen en cuenta en esta condición al igual que en la condición de frenado son la tensión máxima de Von Mises y la deformación de la estructura; En este caso para la simulación se fijarán los ejes, teniendo el valor máximo de aceleración, el cual depende del torque y la potencia del motor.
- **Giro:** Es muy importante considerar el comportamiento del chasis realizando un giro, ya que experimenta una aceleración centrípeta aplicando mayor tensión en la sección contraria a la que estará girando. En este caso, en la simulación se ubican los apoyos fijos en los ejes de las ruedas, teniendo en cuenta la aceleración centrípeta que depende de la velocidad máxima del vehículo.

4.2.4 Propiedades de los materiales

- **Densidad:** Peso unitario, masa por unidad de volumen (ASTM, 2014). Para este proyecto es importante tener en cuenta este término, ya que es un factor considerado para la selección de los materiales, siendo el del acero de 7.8g/cm³ y para el aluminio de 2.71g/cm³.

$$\rho = \frac{\textit{masa}}{\textit{volumen}} \quad \text{Ecuación [1]}$$

- **Deformación longitudinal lineal:** Deformación causada por carga axial (esfuerzo de tensión), sin cambios permanentes (deformación plástica) en la longitud y sección transversal del elemento. (ASM Handbook, 2001). Con base a las cargas aplicadas al chasis diseñado, se verifica el máximo de deformación y con ello tener un criterio de selección del material.
- **Tenacidad de fractura:** Energía de deformación unitaria del material antes de entrar en una fase de rotura, es decir, la capacidad de resistencia del material bajo la presencia de defectos tipo grieta. Esta cantidad representa el área total bajo la curva del diagrama de esfuerzo- deformación (Hibbeler, 2006, pág. 96).

$$k_c = y\sigma\sqrt{\pi * a} \quad \text{Ecuación [2]}$$

- **Resiliencia:** Relación entre la energía restituida en la recuperación de la deformación, a la entrada de trabajo requerida para producir la deformación; es decir, la capacidad de absorber energía y recuperar su forma original después de ser forzada o distorsionada (ASM Handbook, 2001). Se refiere a la región elástica del diagrama esfuerzo-deformación unitaria, siendo esta el área triangular bajo el diagrama (Hibbeler, 2006, pág. 96).

- **Esfuerzo de fluencia:** Es el esfuerzo máximo de un material antes de tener un alargamiento plástico, es decir, el punto máximo en el que el material no se deforma permanentemente y vuelve a su estado inicial (Instron, 2014).
- **Criterio de Von Mises:** Por medio de este criterio es posible asegurar que la fluencia se da cuando el esfuerzo de Von Mises es mayor o igual al esfuerzo de fluencia del material.

$$\sigma = S_y \quad \text{Ecuación [3]}$$

La teoría de la energía de la distorsión anticipa que la fluencia se producirá siempre que la energía de distorsión en una unidad de volumen sea igual a la energía de distorsión en el mismo volumen cuando se le someta a esfuerzo uniaxial hasta el valor de la resistencia de fluencia (Torrano, 2011).

- **Criterio de Tresca:** Este criterio relaciona la falla de una estructura en un punto específico, al tener una tensión cortante máxima mayor o igual al límite elástico del material de la estructura sobre dos (2) (Torrano, 2011).

$$\tau_{max} \geq \frac{\sigma_y}{2} \quad \text{Ecuación [4]}$$

4.2.5 Tipos de diseño

- **Diseño conceptual:** En esta etapa del diseño, se busca la solución de un problema planteado a partir de conceptos y/o variables. Para esto se analiza el problema proyectado y se trazan posibles soluciones, teniendo en cuenta las limitaciones dadas para el diseño. Aquí, se obtienen principios de solución, aunque no corresponde a una estructura apropiada para concretarla como una solución final al problema (Ingeniería del diseño, 2013, pág.22).
- **Diseño preliminar:** Esta etapa corresponde al paso siguiente del diseño conceptual, en este caso se genera una solución más clara del problema, lo suficiente como para evaluarla y usarla en definitiva. En el diseño preliminar se obtienen formas específicas, se proponen materiales y planos con dimensiones generales, con los cuales se muestra el diseño como un conjunto establecido de componentes y acoples (Ingeniería del diseño, 2013, pág.22).
- **Diseño detallado:** En esta etapa se generan las especificaciones del diseño final requeridas para la producción del producto, es decir, se genera el diseño final. Se brindan los planos detallados, etapas de fabricación y caracterización de proveedores, entre otras; esta etapa es dada usualmente a nivel empresarial, ya que busca la ejecución del producto (Ingeniería del diseño, 2013, pág.22).

4.2.6 Tipos de soldadura

- **Soldadura de arco, metal y gas (GMAW):** Conocida también como soldadura de metal en gas inerte (MIG), entre sus ventajas se encuentra la protección del área de soldadura por medio de una atmosfera inactiva de argón, helio u otros gases, además, puede ser usado sobre piezas de material metálico tanto ferrosos, como no ferrosos en diferentes aleaciones y aplicaciones; Sin embargo, su uso es exclusivo para láminas y secciones delgadas, con espesores inferiores a los 6mm o podría producirse una fusión incompleta, siendo una desventaja para secciones de gran espesor. Para efectuar este proceso de soldadura se mantiene el arco eléctrico con un alambre consumible que funciona como electrodo junto a las piezas a unir, el arco se produce a través de electrodo formado por un hilo continuo que permite mayor productividad a comparación de otro tipo de soldaduras (Jeffus, 2008).
- **Soldadura de arco sumergido (SMAW):** Por medio de un arco eléctrico entre cada pieza a unir y un electrodo se genera el calor para la fusión, en este procedimiento se utiliza un fundente granular (producto químico usado para soldar) el cual recubre la fundición y evita que se produzca chispas y salpicaduras. Este tipo de soldadura es de alta calidad y muy rápida de ejecutar, se utiliza bastante en trabajos de gran longitud y su función se dificulta para trabajos con demandas soldaduras horizontales.

5. METODOLOGÍA

Buscando iniciar con un procedimiento lógico de los pasos requeridos para la elaboración más eficaz de este proyecto, se entabla el uso de una metodología empírico-analítica, siendo este un modelo de investigación científica, que se centra en la lógica experimental.

El resultado obtenido con este método se debe básicamente a la experiencia, permitiendo encontrar las relaciones esenciales y las características fundamentales del objeto de estudio, por medio de procedimientos prácticos e investigaciones. Este tipo de metodología permite la verificación empírica y autocorrección durante el proceso del proyecto.

Para validar el procedimiento de este método se va a utilizar la formulación de Neil J. Salkind, en donde se realiza la formulación del problema, se identifican factores importantes, se formula una hipótesis de investigación, se recopila la información, se prueba la hipótesis y se trabaja a partir de esta, se reconsidera la teoría y finalmente se confirma o se refuta.

Inicialmente se profundizará en el estudio de la teoría existente sobre diseño y construcción de chasis para vehículos de competencia. Partiendo de la comprensión total del reglamento que aplica para la competencia a partir del año 2013, se recurrirá a los demás grupos cuyos proyectos ya hayan sido aprobados para que proporcionen la información técnica pertinente, que sirva como base para desarrollar un primer diseño del chasis, sabiendo que el chasis del vehículo es la columna vertebral del mismo, donde se fijará la totalidad de los componentes.

Teniendo en cuenta la idea de crear un diseño para ganar la competencia *Shell Eco Marathon*, se debe analizar la configuración ideal para el chasis de un vehículo que va a competir bajo el *Concepto Urbano*, para esto se observarán las diferentes estructuras de los vehículos que ganaron en las competencias anteriores y se considerará la mejor posición del conductor, a partir de estos planteamientos es posible tener una idea de lo que se quiere obtener.

Gracias a la información recopilada de los demás grupos como los pesos y las dimensiones de sus componentes, se debe verificar por medio de la reglamentación que los componentes hasta ahora propuestos cumplan con los requerimientos, se calcula un peso tentativo de la totalidad de los componentes que equiparán al vehículo.

Apoyándose en la teoría existente sobre diseño y construcción de chasis para vehículos de competencia, anteriormente estudiada, se selecciona un tipo de chasis que se adecue a las necesidades del proyecto y se realizan diferentes tipos de bocetos, de acuerdo con el análisis de requerimientos tanto reglamentarios como técnicos que sean pertinentes. Con la distribución de pesos y componentes definida, se procederá a investigar materiales adecuados para la misión, conforme a los requerimientos de rigidez, peso, costo, reglamentación, etc. Se desarrollará un primer modelo con la ubicación de componentes sobre el chasis en papel, luego se bosquejará en el programa de CAD para importarse al software de análisis por elementos finitos (Ansys APDL) y de esta manera analizar un primer estado de esfuerzos sobre el chasis. A partir de allí se harán los ajustes necesarios para lograr una distribución de componentes satisfactoria.

Finalmente, con el material escogido y el resultado del análisis del diseño se realizarán las correcciones pertinentes en el boceto, obteniendo el diseño final del chasis.

5.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación se ajustará al modelo empírico analítico, dado la naturaleza ingenieril del trabajo a realizar. La interpretación empírica de los fenómenos observados en el desarrollo de la investigación con base en criterios

físicos, químicos y mecánicos que se ajusten al objetivo de la misión, mediante análisis computacional y aplicación de fórmulas matemáticas.

5.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La etapa inicial consiste en seleccionar una adecuada cantidad de variables que puedan describir el proceso que se debe cumplir para diseñar un chasis correctamente, obteniendo un registro de todos los conceptos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Relacionando la información recopilada, con los avances aportados por los demás grupos involucrados en el desarrollo del vehículo para la competencia *Shell Eco Marathon*, se podrá dar inicio al proceso de elaboración de bocetos, con los cuales se realizará un análisis por medio de Ansys obteniendo cargas y esfuerzos en cada sección de la estructura.

5.3 VARIABLES

5.3.1 Variables independientes

Normatividad técnica concerniente al diseño del vehículo; aspectos tales como: peso mínimo y máximo, diámetro de llantas, dimensiones mínimas y máximas del vehículo y velocidad máxima del circuito.

Dentro de las variables físicas: módulo de elasticidad del material, esfuerzos combinados y deformación.

5.3.2 Variables dependientes

- Material escogido.
- Peso final estimado del diseño.
- Dimensiones finales del chasis.
- Tipo de chasis propuesto.

6. DESARROLLO INGENIERIL

6.1 DISEÑO BASE

Se entiende como diseño base al punto de partida del proyecto, ya que es el modelo de inicio del vehículo, en el cual se establecen los parámetros más

relevantes. Este diseño base muestra el diseño general y acotado del vehículo como: la altura total, la altura respecto al suelo, el ancho y largo máximo, distancia entre ejes, etc (Cortés, 2014, pag.31).

Para este proyecto se va a utilizar un motor híbrido, que según la reglamentación debe usar como fuente de almacenamiento de energía un condensador de alto rendimiento, ya que las baterías están prohibidas (Shell Eco Marathon, 2014). El motor estará ubicado en la parte trasera del vehículo, partiendo de los antecedentes encontrados.

En cuanto a la carrocería del vehículo se establecen unas dimensiones mínimas y máximas (Ver Ilustración 21), estas son:

- La altura total del vehículo debe estar entre 100 cm y 130 cm
- El ancho total del cuerpo, sin espejos retrovisores, debe estar entre 120 cm y 130 cm.
- La longitud total del vehículo debe estar entre 220 cm y 350 cm
- El ancho de vía debe ser por lo menos 100 cm para el eje delantero y 80 cm para la parte trasera, medida entre los puntos medios, donde los neumáticos tocan el suelo.
- La distancia entre ejes debe ser de al menos 120 cm.
- El puesto del conductor debe tener una altura mínima de 88 cm y un ancho mínimo de 70 cm en los hombros del conductor.
- La distancia al suelo debe ser de al menos 10 cm.
- Las ruedas deben tener entre 13 a 17 pulgadas de diámetro.

En cuanto al chasis del vehículo, debe diseñarse una estructura sólida, la cual debe estar equipada con una barra estabilizadora efectiva que se extiende mínimo 5cm alrededor del casco del conductor sentado (Ver Ilustración 26, pág. 53); La barra antivuelco debe extenderse más allá del ancho de los hombros del conductor y debe soportar una carga estática de 700N aplicada en una dirección vertical sin deformarse (Ver Ilustración 51, pág. 74). El chasis del vehículo o monocasco debe ser amplio y del largo adecuado para proteger el cuerpo del conductor en caso de una colisión frontal o lateral. Además este componente estará basado en las dimensiones mencionadas anteriormente.

Teniendo en cuenta que el peso máximo del vehículo es de 205 kg (excluyendo el peso del conductor), se va a realizar la selección de todos los componentes del vehículo, buscando no sobrepasar este límite.

Partiendo de los lineamientos mencionados se iniciará la elaboración de los cinco proyectos relacionados con la competencia *Shell Eco-Marathon*. Resaltando que dichos proyectos no dependerán del otro a medida que realicen cualquier cambio durante su trabajo o no cumplan con los requerimientos mínimos destacados en el documento.

6.2 MODELO Y MEDIDAS GENERALES DEL VEHÍCULO

Para la toma de decisiones con respecto a las medidas generales, el grupo completo de la competencia *Shell Eco Marathon* de la Universidad de San Buenaventura Bogotá, se reunió y definió cada una de las medidas del vehículo, con el objetivo de cumplir las normas descritas en la reglamentación de la competencia.

De acuerdo a la libertad del diseño propio a realizar, el modelo base del vehículo cumple con las condiciones iniciales otorgadas por la competencia, es decir, una altura entre 100cm y 130cm, longitud entre 220cm y 350cm, ancho entre 120cm y 130cm, una trocha máxima de 100cm delantera y de 80cm trasera, distancia mínima entre ejes de 120cm y la altura con respecto al suelo superior a 10cm, en cumplimiento con el artículo 45 del reglamento de la *Shell Eco Marathon*. La Ilustración 11 permite observar las dimensiones decididas del modelo, por medio del diseño final de la carrocería dado por el grupo *Análisis aerodinámico de un vehículo urbano mediante dinámica de fluidos computacionales aplicado a la competencia de Shell Eco Marathon* (Maldonado, 2014). Dichas dimensiones fueron definidas por todos los grupos en consenso, como se puede verificar en el Anexo A, donde se encuentran los acuerdos pactados entre todos los grupos.

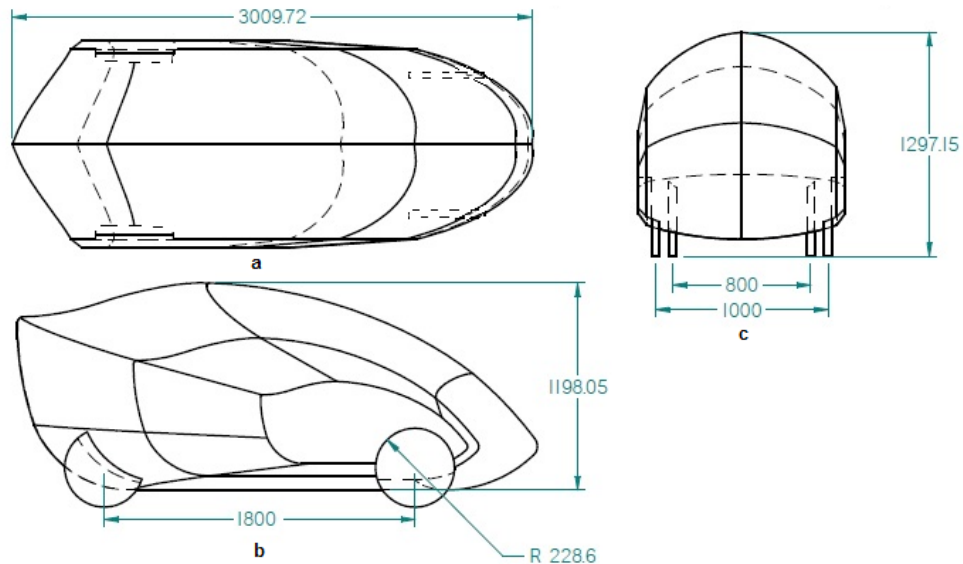


Ilustración 11. Dimensiones del vehículo: a) vista de techo, b) vista lateral c) vista frontal [mm]. (Maldonado, 2014)

En la Ilustración 12 se puede observar el diseño del vehículo en 3D dada por el grupo *Análisis aerodinámico de un vehículo urbano mediante dinámica de fluidos computacionales aplicado a la competencia de Shell Eco Marathon*, el diseño creado por este proyecto (Maldonado, 2014) se enfocó en minimizar el arrastre o resistencia al avance, teniendo en cuenta la sustentación y optimización del consumo de combustible, ya que son parámetros de gran prioridad en el rendimiento de este. A partir de la forma geométrica y las dimensiones dadas por

ellos, se determinaron las dimensiones del chasis buscando que encajara de forma adecuada dentro de la carrocería, cumpliendo igualmente con los requerimientos solicitados por la competencia.

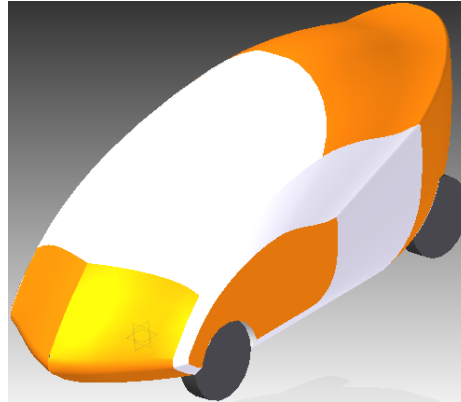


Ilustración 12. Isométrico del Diseño preliminar (Maldonado, 2014)

A partir del diseño preliminar de la carrocería mostrada en la Ilustración 12, se calculó en CAD el peso estimado de este componente en fibra de vidrio, con el fin de evaluar la carga a la que sometería al chasis, de acuerdo a esto se obtuvo una masa inferior a 4kg como se puede observar en la Ilustración 13. Resaltando que esta masa está por encima del valor real, ya que se tomó como una carrocería cerrada cuando realmente esta descubierta en la parte inferior.

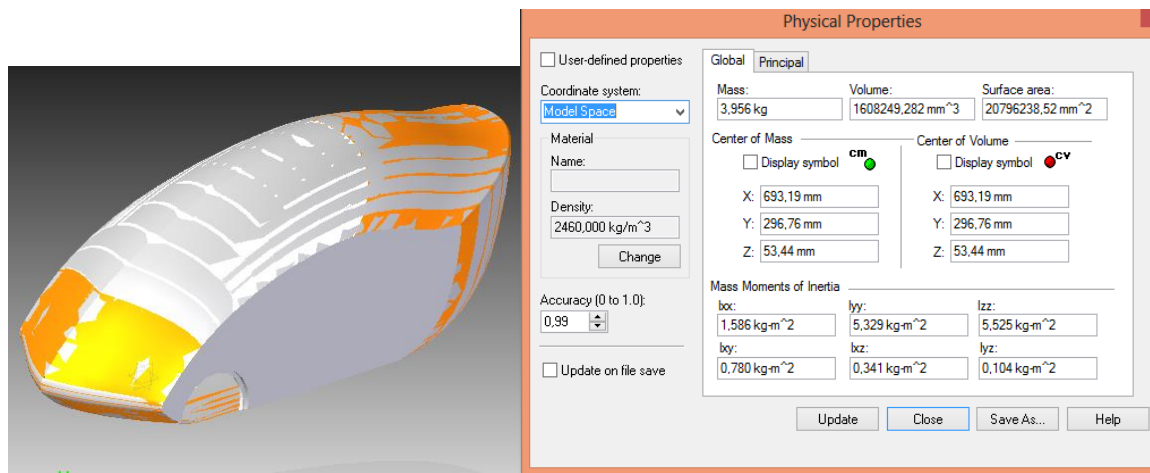


Ilustración 13. Estimación de masa de la carrocería

A continuación se encuentra la Ilustración 14, la cual muestra el volumen de control solicitado por el grupo *Diseño y selección del sistema de propulsión de un vehículo urbano aplicado a la competencia Eco Shell Marathon* para ubicar el sistema de propulsión (Ver Ilustración 26), donde estarán ensamblados los componentes de la planta motriz del vehículo urbano (Ver Anexo A).

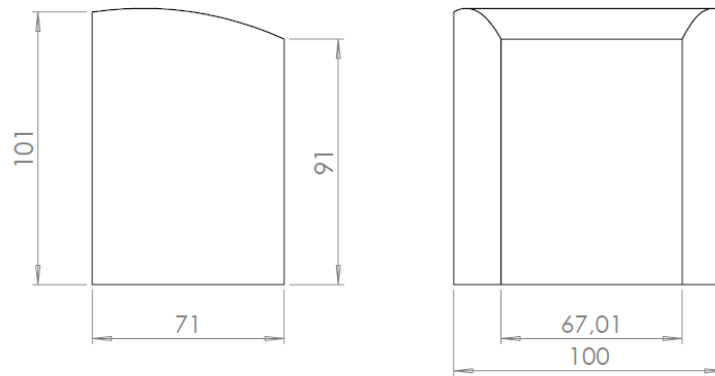


Ilustración 14. Volumen de Control Planta Motriz [cm]

En cuanto al chasis, se acordó que la distribución estructural y la ubicación de las cargas principales (Sistemas eléctricos, piloto y planta motriz) sería como se muestra en la Ilustración 15, teniendo en cuenta que la carga ocasionada por la carrocería es despreciable, ya que representa un porcentaje del 1.4% de la masa total del vehículo y se aplicaría como una carga distribuida sobre toda la estructura, lo que no afectaría los resultados de los análisis. Definiendo que el chasis a realizar sería tipo cercha, debido a los antecedentes y las características descritas por cada tipo de chasis en el marco teórico (Numeral 4.2), donde se destacó que el chasis tipo cercha estructuralmente es muy eficiente, tiene una rigidez superior a la torsión y a la flexión y cuenta con una aceptable resistencia a los impactos, ya que las cargas se absorben progresivamente por cada línea estructural, en comparación con los demás tipos que son más pesados, menos resistentes y/o de mayor dificultad de fabricación (Ver Tabla 2). También se estableció un diámetro de 31.75mm con 3mm de espesor de acuerdo a los antecedentes encontrados acerca de vehículos de competencia con chasis tipo cercha o estructuras tubulares (Kartban, 2012), donde se halló valores cercanos a estos rangos; y a partir, de los diámetros y espesores encontrados en el mercado, se determinó empezar el diseño del chasis a partir de este tipo de tubería.

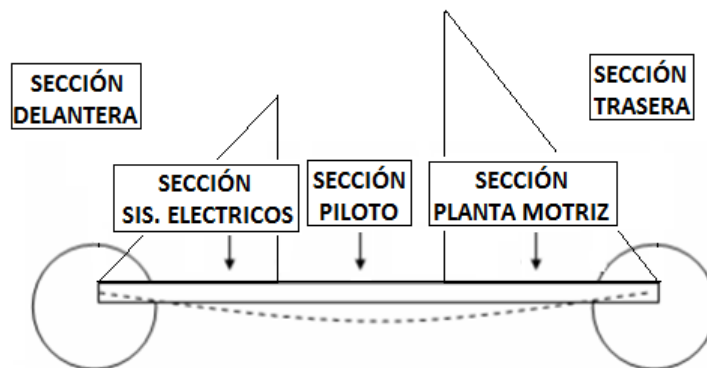


Ilustración 15. Representación esquemática de la distribución de los componentes sobre el chasis

- Estimaciones iniciales:


A partir de la información anterior, se acordó entre todos los grupos que constituyen el proyecto investigativo de *Shell Eco Marathon*, que el diseño del vehículo será llevado con los datos suministrados a continuación, con el fin de que todos los proyectos se evalúen bajo las mismas cargas y se tengan en cuenta los mismos límites tanto de peso máximo (Shell Eco Marathon, 2014) como velocidad máxima (Cortés, 2014):

$$m = 275 \text{ kg}$$

$$v = 6,71 \text{ m/s}$$

Partiendo de este acuerdo se inicia el diseño del chasis, acoplado el diseño a las dimensiones, forma y ubicación de los parámetros citados anteriormente. Igualmente, se busca obtener un peso estimado y un balance de este, se tiene en cuenta la selección de ciertos componentes primordiales, los cuales fueron seleccionados por los grupos complementarios de este proyecto, como lo son: el motor eléctrico, el eje tractor, el alternador, el ultracapacitor y el motor a combustión. Los componentes seleccionados se mencionan en la Tabla 5, donde se destacan características, tales como, el peso y las dimensiones. Estos datos fueron suministrados por el grupo *Diseño y selección del sistema de propulsión de un vehículo urbano aplicado a la competencia Eco Shell Marathon* (Cortés, 2014), según los resultados de investigación realizados para su proyecto.

Tabla 5. Componentes seleccionados por el grupo de planta motriz.

	Componentes	Características
<p>Motor Eléctrico</p>	 <p>Ilustración 16. Motor Turnigy Rotomax 80 CC</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kv (RPM/v): 195 • Peso (g): 1916 • Corriente máxima (A): 150 • Torque max (N*m): 2030 • Máximo voltaje (V): 52 • Potencia max (W): 6600 • Eje A (mm): 10 • Longitud B (mm): 110 • Diámetro C (mm): 108 • Longitud D (mm): 48 • Longitud total E (mm): 142 • Costo (US\$): 265.85

	Componentes	Características
Ultracapacitor	 <p><i>Ilustración 17. 16 Volt Large Module</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitancia (F): 500 • Voltaje (V): 16 • Corriente max (A_{RMS}): 100 • Peso (g): 5510 • Capacidad (Ah): 2.22 • Longitud (mm): 418 • Ancho (mm): 68 • Alto (mm): 179
Alternador	 <p><i>Ilustración 18. Alternador Bosch (242-13882)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Límite de amperaje (A): 98 • Voltaje constante (V): 12 • Aplicación general: Renault Logan-Clío • Peso [kg]: ~4
Motor 4T	 <p><i>Ilustración 19. Motor 4T Chongqing Royway 125F</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Costo [US\$]: 720 • Torque [N*m] a 300 RPM: 3.8 • Potencia [kW] a 3600 RPM: 1.6 • RPM máx.: 3600 • Cilindraje [cm³]: 97.7 • Peso [kg]: 9 • Consumo de combustible [GI/kWh]: 650 • Ancho [mm]: 315 • Largo [mm]: 325 • Alto [mm]: 415
Eje tractor	 <p><i>Ilustración 20. Eje tractor</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Peso [kg]: 7 • Material: Aleación de acero AISI 4140 • Eje macizo • Diámetro: 1 ½"

Teniendo en cuenta los pesos y las dimensiones de los componentes seleccionados como se muestra en la Tabla 5, se inicia la ubicación y dimensionamiento de éstos en el Diseño 1 (Ilustración 21), donde las líneas azules representan la configuración del chasis y la forma en que estará ubicado dentro de la carrocería y las líneas negras corresponden al control de volumen de la planta motriz y los sistemas eléctricos. Estableciendo un peso máximo para todo lo correspondiente a planta motriz de 30kg (Cortes, 2014), para el peso del piloto de 70kg (Shell Eco Marathon, 2014) y para sistemas eléctricos de 15kg (Bosh, 2011).

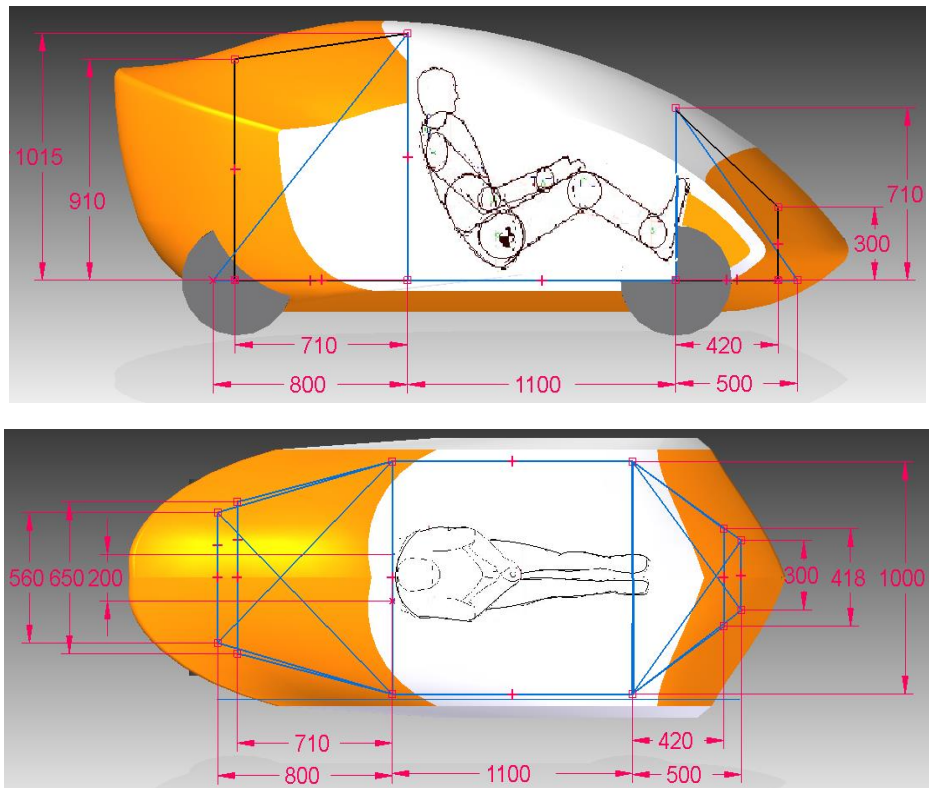


Ilustración 21. Diseño 1 con representación esquemática de dimensiones y distribución de componentes y piloto

El chasis consiste en una serie de perfiles tubulares circulares con un diámetro de 30mm y espesor de 3mm (Kartban, 2014). Está compuesto por cuatro (4) marcos triangulares ubicados verticalmente en los extremos del eje longitudinal, diseñados de esta forma por la configuración de la carrocería y acordada durante las reuniones (Ver Anexo A); separados con barras diagonalizadas situadas horizontalmente en la parte delantera y trasera, aportando rigidez de acuerdo con el chasis tipo cercha, donde estará el sistema eléctrico y la planta motriz, respectivamente. En la parte central uniendo la sección delantera y trasera se adicionaron dos (2) barras ubicadas paralelamente una de la otra, en las cuales estará el piloto. Finalmente, cumpliendo con el requerimiento del artículo 26 de la reglamentación de la *Shell Eco Marathon*, “La barra antivuelco debe ser capaz de soportar un carga estática de 700N aplicada en una dirección vertical, horizontal o perpendicular, sin deformarse” por tal razón, la barra antivuelco se ubicó alrededor del piloto en la parte trasera (Ver Ilustración 26).

En cuanto al análisis del chasis en situación de aceleración máxima, es necesario conocer el valor del máximo torque experimentado por el vehículo, este dato es proporcionado por el grupo de planta motriz (Cortes, 2014, pág. 38), El resultado

es el siguiente y se encuentra en la tesis correspondiente dentro del Anexo C. Cabe resaltar que el eje tractor corresponde al eje trasero del vehículo.

$$T_a = 470.79 \text{ [N*m]} = \text{Torque en el eje tractor (Cortes, 2014)}$$

6.3 MATERIALES

La selección del material es un estudio que debe considerar correctamente los requerimientos y las condiciones que debe soportar el material. Hay muchos factores a tener en cuenta al momento de realizar este estudio, como lo son: los esfuerzos estáticos y dinámicos, las deformaciones, el peso, la disponibilidad en el mercado, la normativa legal, el costo de fabricación y la facilidad de soldadura o unión, entre otras.

Inicialmente, es necesario tener en cuenta el criterio de falla de la estructura para determinar los esfuerzos permisibles sobre ella y relacionarlo con el esfuerzo de fluencia de un material sobre el factor de seguridad, según la siguiente relación (Hibbeler, 2006, pág.49):

$$\sigma_{real} = \frac{S_y}{FS}$$

Ecuación [5]

Donde " σ_{real} " es el esfuerzo real, correspondiente a 51.4MPa el cual se determinó a partir de la simulación en Ansys APDL (Ver Ilustración 22), de la estructura planteada como Diseño 1 (Ver Ilustración 21). Teniendo en cuenta que para esta simulación no es importante indicar el tipo de material, ya que el máximo esfuerzo de Von Mises depende de las cargas a las que se somete la estructura y de la configuración.

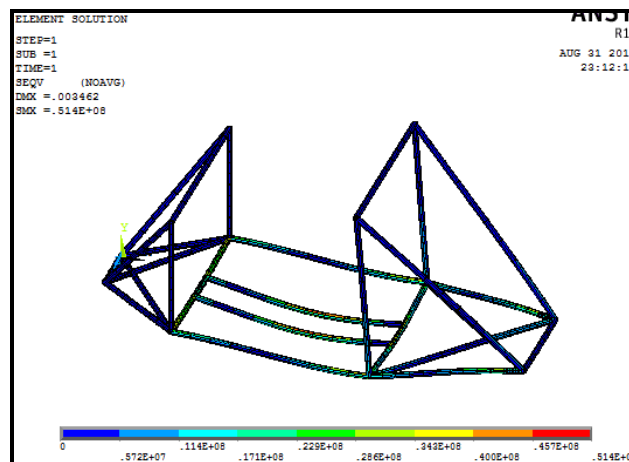


Ilustración 22. Esfuerzo de Von Mises Diseño 1

A partir de esta simulación se obtuvo el esfuerzo de Von Mises, teniendo en cuenta que para este criterio de falla se obtienen esfuerzos más puntuales en comparación al criterio de Tresca, esto se debe a que por medio del criterio de Von Mises se calculan esfuerzos combinados siendo estos a los que está sometido un chasis y por el criterio de Tresca se relaciona la falla de una estructura en un punto específico, al tener una tensión cortante máxima mayor o igual al límite elástico del material de la estructura sobre dos (Torrano, 2011); S_y es el esfuerzo de fluencia, en este caso se hallará para determinar materiales que tengan un límite de fluencia con magnitud superior o igual al valor hallado, con el fin de asegurar que el material va resistir los esfuerzos sin generar falla en la estructura; y FS es el factor de seguridad que en este caso es de 1.5, siendo este el factor estándar para estructuras automotrices como lo indica Julian Happian en el libro *An introduction to modern vehicle design* (Happian, 2001, pág. 135).

A continuación se calcula el esfuerzo de fluencia S_y , que será el valor mínimo que requiere el material a seleccionar para soportar los esfuerzos a los que estará sometida la estructura junto a un factor de seguridad, aplicando la Ecuación [5] para obtener el valor del esfuerzo de fluencia.

$$\begin{aligned} S_y &= \sigma_{\text{real}} * FS && \text{Ecuación [6]} \\ S_y &= 51.4 \text{ MPa} * 1.5 \\ S_y &= 77.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

A partir del valor del esfuerzo de fluencia se buscaron materiales con una magnitud similar o superior a 77.1Mpa, encontrando gran variedad de materiales en las que se encuentran metales ferrosos (hierro fundido, aceros inoxidable, acero inoxidable de la serie T600), metales no ferrosos (aluminios de la serie 1000 a 7000), materiales compuestos (Fibra de vidrio, Fibra de carbono, Kevlar), etc. (Matweb. 2014)

Por medio de este criterio se encuentra gran cantidad de materiales como se puede ver en el párrafo anterior, debido a esto es necesario un modelo metodológico que indique un criterio de selección de materiales más puntual, que será planteado más adelante.

Teniendo en cuenta la información obtenida a partir del esfuerzo de fluencia y los antecedentes mostrados en el numeral 1.1 de este documento, se encuentra que los materiales más usados en un chasis son: aceros bajos en carbono y aluminios aeronáuticos, los aceros son usados en la fabricación de líneas de ferrocarril, columnas metálicas de líneas eléctricas, carrocería de automóviles, tubos de bicicletas, entre otros (Unesid, 2014, pág.41), además se caracteriza por su facilidad de maquinabilidad y soldadura (Castro, 2009, pág.9) y los aluminios debido a su bajo peso, facilidad de maquinabilidad y soldadura (Jimeno, 2004, pág. 1213), de esta forma se seleccionan ciertos materiales con dicha clasificación buscando que sus propiedades sean las requeridas, sin embargo, cabe resaltar que los aspectos tenidos en cuenta para su selección no se centran solo en el

esfuerzo de fluencia sino también en características de maquinabilidad, costos, densidad, entre otras.

Se elaboró el siguiente diagrama Ilustración 23, el cual muestra el análisis superfluo a tener en cuenta cuando se hace una selección de material por medio de un criterio de selección.

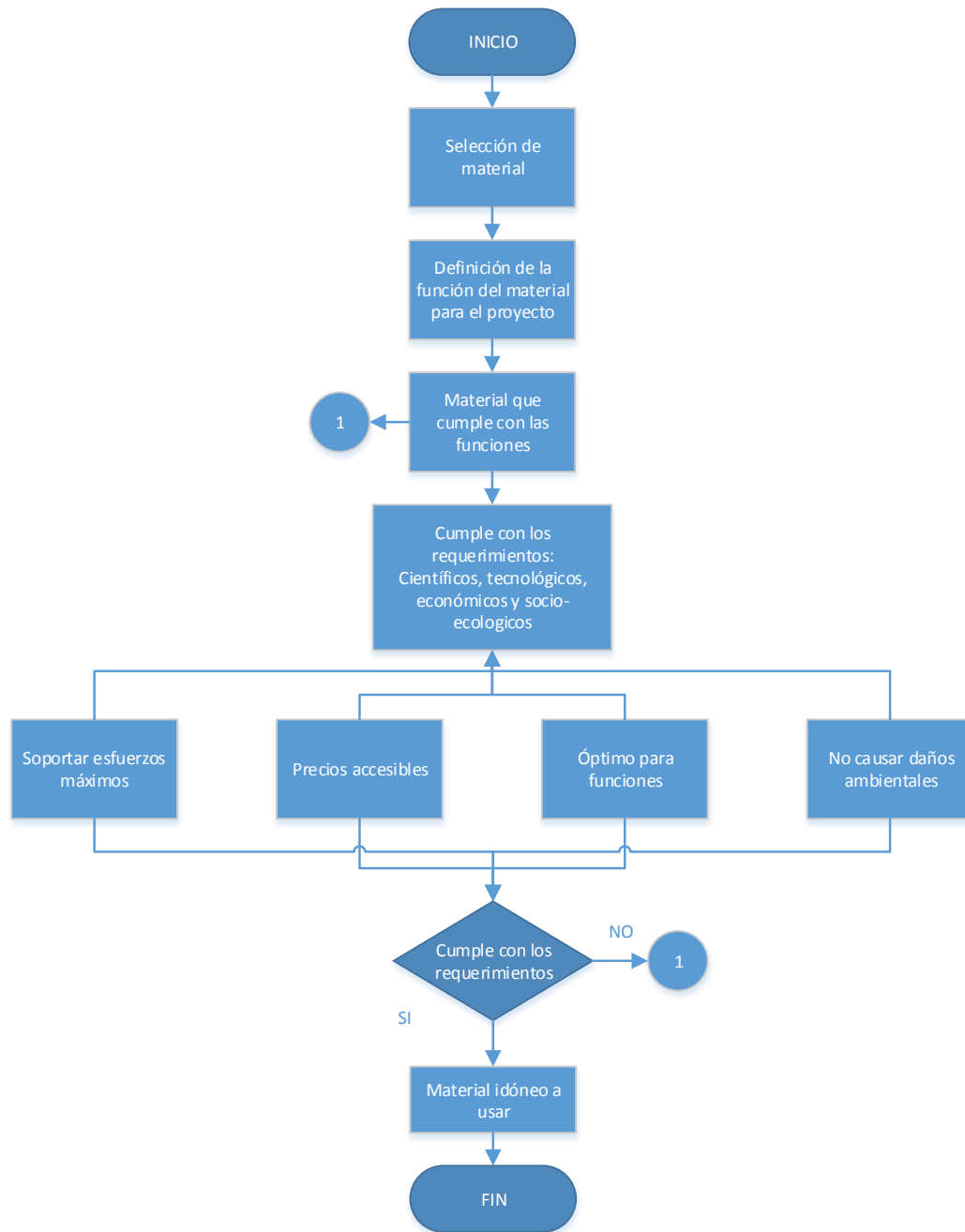


Ilustración 23. Diagrama para el análisis de selección de materiales fuente: (Ashby, 2008)

Para la selección de un material se debe tener un modelo metodológico que involucra gran cantidad de conocimientos técnicos y criterios que se necesitarán para el desarrollo, algunos de los criterios utilizados en la industria son:

1. El criterio de análisis de fallas, el cual consiste en una técnica que asegura la calidad del producto, dentro de este análisis entra la prevención de la falla y modificación del diseño para así llegar al producto final. Esto se hace mediante un proceso de caracterización de las propiedades requeridas en el material a usar, teniendo presente de forma individual propiedades de desgaste, estructurales, resistencia térmica, condiciones de trabajo, entre otras. Este método es utilizado en algunas fábricas de materiales, para recomendar a sus clientes la opción más indicada al momento de escoger un material para cierta pieza (Llano, 2012).
2. El criterio por índice de mérito, es el que indica y da a conocer las propiedades mecánicas de diferentes materiales, es decir, se destacan los materiales que más se acomoden al diseño y se realiza una comparación, el material que tenga más propiedades que se requieran en el diseño será el seleccionado.

No se puede seleccionar un material teniendo en cuenta solo una propiedad, se necesita de varias para poder realizar la comparación, algunas de estas son:

- Precio y disponibilidad
- Consideraciones físicas
- Consideraciones mecánicas
- Resistencia a la fluencia
- Resistencia a la tensión
- Facilidad de fabricación
- Rigidez

Como se menciona en el libro Materiales de ingeniería 1 (Ashby, 2008, Pág.11).

Para el desarrollo de este proyecto se usó el criterio de selección 2 (Criterio por índice de mérito), considerándolo un modelo idóneo, ya que permite destacar las diferentes características de varios materiales y precisarlas de forma clara.

Sabido esto, se inició la investigación acerca de los materiales más apropiados para la elaboración del chasis. En la Tabla 6 se encontrarán los materiales evaluados, a partir de esta saldrá el material o los materiales que se ajustan al proyecto.

Tabla 6. Propiedades de los materiales

Material		E [MPa]	Resist. a la tracción [MPa]	ρ [g/cm ³]	elongación	ν	Costo [Peso * m ²]
Fibra de vidrio	Vidrio clase E	72300	1500	2.58	3.5%	0.22	99000
	Vidrio clase S-2	73000	3855	2.46			112200
Fibra de carbono	N/A	500000	4450	1.73	1.8	0.25	175000
Kevlar	29	83000	3500	1.44	3.6 %	0.2	142800
	49	120000			2.4 %	0.36	161700
Aluminio	6061-0	69500	125	2.71	25 a 30 %	0.33	28000
	6061-T4	110000	207		16%		29800
	6061-T6	70000	260		15%		30100
	2014 -T6	75000	455	2.8	18%		42000
	6063	68500	131	2.69	18%		27800
Acero	S235	210000	360-510	7.8	15%	0.3	3600
	S275		410-580		15%		4100
	S355		470-630		20%		6500
	A36	250000	470-550		14%		5300
	A500	251000	310		25%		6000

Buscando que la estructura del chasis sea rígida, ligera y resistente a las cargas que va a soportar durante su vida útil, se destacaron principalmente la resistencia a la tracción, la elongación, la densidad, el costo y la facilidad de manufactura, tal como, el ángulo de doblez, la presentación física del material y la facilidad de unión.

A partir de los datos obtenidos se realiza una ponderación de los datos nombrados anteriormente y se preseleccionan los materiales con mayor puntaje. En la Tabla 12 se encuentra dicha ponderación donde existe un rango de 1 a 5 siendo 1 el valor menos conveniente y 5 la mejor calificación.

Los rangos asignados, se establecieron teniendo en cuenta los valores que caracterizaron las propiedades de los materiales mencionados en la Tabla 6, dichos valores se agruparon de tal forma que:

1. Para la Tabla 7 se tuvo en cuenta la desviación de los datos correspondientes a la magnitud de la resistencia a la tracción de cada material, buscando no alterar la calificación de estos. Por lo cual, los intervalos se clasificaron de la siguiente manera.

Tabla 7. Rango evaluación, Resistencia a la tracción

RANGOS EVALUACIÓN					
Calificación	1	2	3	4	5
Resistencia a la tracción [MPa]	1 – 250	251-500	501-1000	1001-2500	2501-5000

2. En la Tabla 8 se clasifico el rango de elongación porcentual con un intervalo de 5 en 5, de manera que este sea equitativo.

Tabla 8. Rango evaluación, Elongación

RANGOS EVALUACIÓN					
Calificación	1	2	3	4	5
Elongación [%]	25-20	19-15	14-10	9-5	4-0

3. En la Tabla 9 se clasificó la densidad de los materiales en intervalos de 2 en 2, siendo uno de los principales factores a evaluar, ya que al disminuir la densidad influye en la masa de la estructura, logrando un consumo inferior de energía para el motor.

Tabla 9. Rango evaluación, Densidad

RANGOS EVALUACIÓN					
Calificación	1	2	3	4	5
DENSIDAD [g/cm ³]	10-8.1	8-6.1	6-4.1	4-2.1	2-0

4. Para la Tabla 10 se clasificó el costo del material cada \$35000, teniendo en cuenta el precio máximo dado en la Tabla 6 de propiedades de los materiales. Proporcionando un factor de importancia alto, puesto que, para el proyecto es necesario disminuir costos mientras sea posible sin sacrificar la calidad del material.

Tabla 10. Rango evaluación, Costos.

RANGOS EVALUACIÓN					
Calificación	1	2	3	4	5
COSTOS [\$ /m ²]	175.000-140.001	140.000-105.001	105.000-70.001	70.000-35.001	35.000-0

5. En la Tabla 11 se tuvo en cuenta la información recopilada durante la investigación, enfocando en este caso, el proceso de manufactura que requiere la estructura en los diferentes materiales. A partir de este factor y conociendo el procedimiento que se debe llevar a cabo para la elaboración de una estructura en material compuesto, el cual requiere el uso de ciertas resinas para mejorar sus propiedades tanto físicas como mecánicas y el cual se encuentra en el mercado en una única presentación de tiras tejidas, a diferencia de los metales los cuales se encuentran en el mercado con diferentes perfiles y aleaciones, que evitan un proceso de elaboración

complejo; lo que resulta en una clasificación inferior para los materiales compuestos con respecto a los metales, complementando lo anterior y haciendo la comparación entre metales y materiales compuestos se llega a la conclusión, que los materiales compuestos demandan mayor tiempo de trabajo para la manufactura de la estructura.

Tabla 11. Rango evaluación, Manufactura

RANGOS EVALUACIÓN – MANUFACTURA				
1	2	3	4	5
Materiales Compuestos		Metales (Aluminios – Aceros)		
<ul style="list-style-type: none"> • Requiere resinas para su manufactura • Requiere un molde para formar la estructura • Se puede construir con el ángulo deseado. • Alto tiempo empleado para su manufactura. • Se encuentra en tiras tejidas 		<ul style="list-style-type: none"> • Viene en diferentes aleaciones de fabrica • Existen diferentes perfiles en el mercado • Según la aleación tiene amplios o bajos ángulos de doblez • El tiempo de manufactura es inferior al empleado en materiales compuestos • Se encuentra en perfiles circulares, rectangulares, laminas, tipo viga • Fácil unión por distintos métodos de soldadura. 		

Finalmente se obtiene la tabla de ponderación de los materiales analizados bajo los rangos establecidos. Por medio de la Tabla 12, donde se dan puntos de evaluación que se refieren a las principales propiedades deseadas en el material disponiendo de un factor de importancia que permite clasificar cada ítem según los requerimientos del proyecto, permitiendo resaltar los materiales idóneos para llevar a cabo el proyecto. Según las propiedades requeridas para el material se asigna un factor de importancia de 5 a la resistencia a la tracción (de esta propiedad depende el comportamiento de la estructura ante las cargas), densidad (buscando reducir el peso del chasis para aportar en la misión de la competencia, reduciendo el consumo energético), costos (reduciendo el valor de producción del vehículo) y facilidad de manufactura (disminuyendo costos, tiempo y puntos críticos de unión), y un factor de importancia de 4 a la elongación (debido a que esta propiedad fue evaluada de cierto modo con el criterio de falla).

ESPACIO INTENCIONALMENTE DEJADO

Tabla 12. Cuadro índice de mérito de materiales

Factor de importancia (fi)	Puntos de Evaluación					Total= $\sum fi*pi$	Coeficiente de selección = P total/P ideal
	Resist. a la tracción	Elongación	Densidad	Costos	Facilidad de manufactura		
	5	4	5	5	5		
Vidrio clase E	4	5	4	3	1	80	66%
Vidrio Clase S-2	5	5	4	2	1	80	66%
Fibra de carbono	5	5	5	1	1	80	66%
Kevlar 29	5	5	5	1	1	80	66%
Kevlar 49	5	5	5	1	1	80	66%
Al 6061-0	1	1	4	5	4	74	61%
Al 6061-T4	1	2	4	5	4	78	65%
Al 6061-T6	2	2	4	5	5	88	73%
Al 2014-T6	2	2	4	4	4	78	65%
Al 6063	1	2	4	5	4	78	65%
A S235	3	2	2	5	4	78	65%
A S275	3	2	2	5	4	78	66%
A S355	3	1	2	5	4	74	61%
A36	3	3	2	5	5	87	72%
A 500	2	1	2	5	4	69	57%
Puntaje ideal	5	5	5	5	5	120	100%

En esta ponderación se buscó que la resistencia a la tracción, tuviera un valor alto y que la elongación, la densidad y el costo tuvieran un valor pequeño lo cual será lo más conveniente para este diseño, finalmente que tenga facilidad de manufactura. Dando como resultado la preselección de dos materiales el acero A36 y el aluminio 6061 T6, obteniendo un coeficiente de selección del 72% y el 73% respectivamente.

En la Tabla 13 se encuentra las propiedades específicas de los materiales seleccionados en la ponderación (Matweb, 2014, Steel A36), (Matweb, 2014, Aluminium 6061 T6).

Tabla 13. Información materiales Acero A36 y Aluminio 6061-T6

MATERIAL	Acero A36	Aluminio 6061-T6
Densidad [g/cm ³]	7.8	2.71
Tenacidad [MPa]	470-550	260
Coefficiente de Poisson	0.3	0.33
Soldabilidad	Alta	Alta
Max. ángulo de dobléz	76°	>90°
Factor de rigidez [MPa]	77000	26000
Módulo de elasticidad [MPa]	200000	68900
Elongación	14%	15%
Costo [\$/m ²]	~5300	~30100

Estos materiales fueron seleccionados por tener alta resistencia a la tracción, buenas características de soldabilidad, baja densidad entre los materiales de su clase y sobre todo por su maquinabilidad, pues el acero A36 puede alcanzar ángulos de doblado hasta de 76° y el aluminio supera los 90°, de esta forma es posible minimizar puntos de unión con soldadura y disminuye los riesgos de rotura, creando una estructura más rígida y con mejor comportamiento mecánico, como es mencionado por Larry Jeffus (Jeffus, 2009, Pág. 8).

El acero A36 se caracteriza por tener medio contenido de carbono (0.26%), lo que le permite ser más resistente y está clasificado según la ASTM por ser un acero estructural al carbono (Aratec, 2011). Se clasifica según su composición química por aceros de bajo (%C<0.25), medio (0.25<%C<0.55) y alto carbono (2>%C>0.55). Se encuentra con espesores inferiores a los 203mm y diversas presentaciones como en láminas, tubos, perfiles estructurales, entre otros; este acero, permite facilitar la unión por medio de varios de los procesos de soldadura. Además de ser estructuralmente fuerte es relativamente económico. Se escogió este tipo de acero ya que tiene facilidad de unión permanente por métodos de soldadura, a diferencia de los otros que tienen ciertas exigencias para este proceso, adicionalmente no todos permiten un ángulo de dobléz tan amplio debido a su cantidad de carbono. Las características del acero A36, se encuentran en el Anexo B de este documento.

Igualmente, el aluminio 6061-T6 se seleccionó debido a su baja densidad y gran resistencia, además de caracterizarse sobre los demás por su maquinabilidad. Este material es muy dúctil, liviano y se identifica por ser fácil de soldar y la

posibilidad que brinda de amplios ángulos de doblez, como se puede verificar en el Anexo C.

Ya hecha la preselección de los materiales, se inicia el análisis estructural del chasis en el software de elementos finitos (FEA), con el acero A36 y el aluminio 6061-T6, con el fin de determinar con cuál de estos se comporta de la forma más idónea y si soporta los esfuerzos a los que estará sometida la estructura, sabiendo que en este software se puede realizar una simulación aplicando las cargas dadas por el peso de los componentes, el piloto y las cargas que establece la reglamentación de la competencia como medida de seguridad (Shell Eco Marathon, 2014, artículo 26). A partir de las deformaciones, los esfuerzos y el peso total de la estructura con cada material, se seleccionará uno de los materiales preseleccionados buscando el cumplimiento de los requerimientos, sin dejar de aplicar los criterios de selección mencionados anteriormente (criterio de falla de la estructura e índice de mérito).

Teniendo en cuenta que para estas simulaciones no se realizarán análisis dinámicos debido a su complejidad, se determina un criterio a partir de los conceptos de tenacidad y resiliencia para sustentar que la estructura podrá soportar choques sin llegar a la rotura con los materiales seleccionados. A continuación se halla el valor de resiliencia del acero A36 y el aluminio 6061-T6, buscando que los esfuerzos máximos que se obtengan en las siguientes unidades en las simulaciones sean inferiores a este valor.

A partir del diagrama esfuerzo-deformación unitaria, se puede determinar la resiliencia refiriéndose al área elástica del material, hallando su valor por medio de la Ecuación [7]

$$A = \frac{b * h}{2} \text{ Resiliencia}$$

Ecuación [7]

En este caso el acero A36 tiene una resiliencia de 133MPa, como se puede observar a continuación, teniendo en cuenta la Ilustración 24.

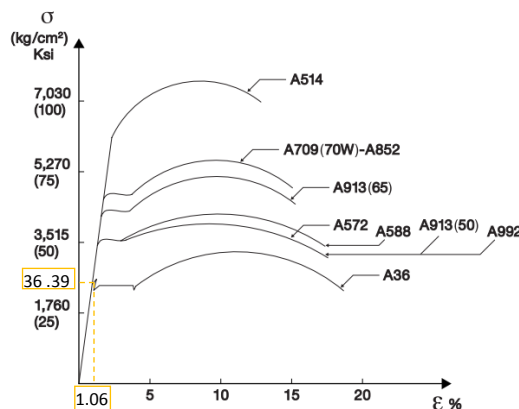


Ilustración 24. Diagrama esfuerzo-deformación acero A36 Fuente: (Manual de diseño para la construcción con acero, 2013)

$$A = \frac{1.06 * 36.39}{2}$$

$$A = 19.28 \text{ksi} = 133 \text{MPa}$$

Y para el aluminio se obtiene una resiliencia de 413MPa, como se puede observar a continuación, teniendo en cuenta la Ilustración 25.

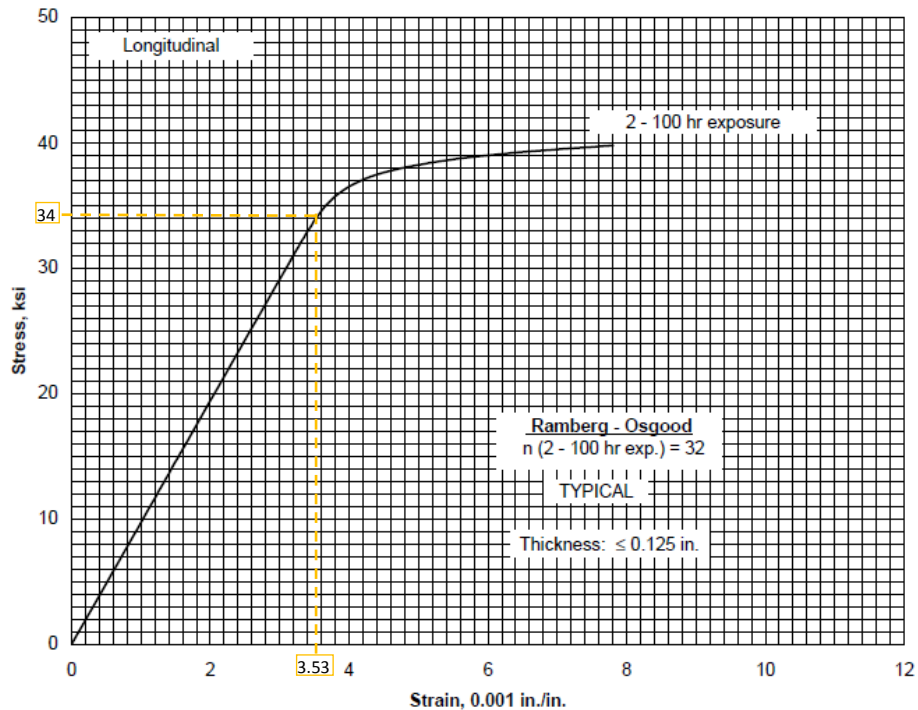


Ilustración 25. Diagrama Esfuerzo- Deformación Aluminio 6061-T6 fuente: (MIL-HDBK-5J, 2003, pág. 581)

$$A = \frac{3.53 * 34}{2}$$

$$A = 60 \text{ksi} = 413.7 \text{MPa}$$

Al final de los análisis para los diferentes comportamientos se verificara que los esfuerzos máximos generados en la estructura no sobrepasen este valor de resiliencia, con el fin de asegurar la integridad del chasis en caso de un choque.

6.4 ANÁLISIS POR SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS (FEA)

A partir de la selección de materiales, la ubicación de los componentes con sus respectivos pesos (Ver Ilustración 26) y la investigación realizada de los diferentes tipos de chasis, el paso a seguir es la realización del diseño base en un software de CAD mostrado en la Ilustración 27, usando una tubería con un diámetro de

31,75mm y espesor de 3mm (Kartban, 2012), teniendo en cuenta medidas comerciales encontradas en el Anexo D. El Diseño 1 fue acordado inicialmente en consenso con todos los grupos constituyentes del proyecto *Shell Eco Marathon* de la Universidad de San Buenaventura Bogotá, conformado por las diferentes divisiones: planta motriz (Cortés, 2014), motor a pistón (Mesa, 2014), aerodinámica (Maldonado, 2014), sistemas eléctricos (España, Esteban) y estructuras (desarrollado en este proyecto), teniendo en cuenta, las dimensiones mínimas y máximas establecidas en la reglamentación de la *Shell Eco Marathon* (Shell Eco Marathon, 2014, artículo 45) y el espacio requerido dado por el volumen de control asignado a cada grupo.

En la Ilustración 26 se encuentran las cargas distribuidas de la planta motriz, piloto y sistemas eléctricos en el lugar asignado, de igual forma se puede visualizar la barra antivuelco ubicada en la parte superior trasera del piloto.

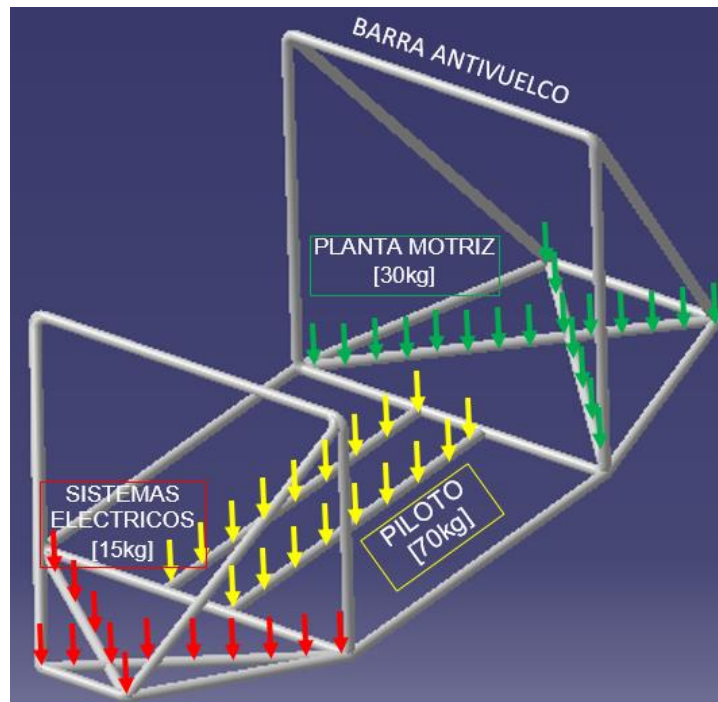


Ilustración 26. Chasis isométrico con cargas correspondientes.

Con los resultados obtenidos en la simulación del Diseño 1 se determinarán ciertos aspectos con relación a la deformación y los esfuerzos, lo que llevará a la modificación del diseño base, dando lugar a otras configuraciones de chasis que serán evaluadas de la misma forma que el Diseño 1, hasta llegar a la configuración deseada.

6.4.1 Análisis en Ansys Diseño 1

Para el Diseño 1 (Ilustración 27), se acordó que la planta motriz estará ubicada en la parte trasera del vehículo, esta sección tiene un volumen de control de 101x100x71mm y una masa de 30kg (Cortes, 2014), en la sección central estará ubicado el piloto con una masa de 70kg (Shell Eco Marathon, 2014) y en la sección delantera estará ubicado todo lo correspondiente a los sistemas eléctricos con una masa de 15kg (Bosh, 2011).

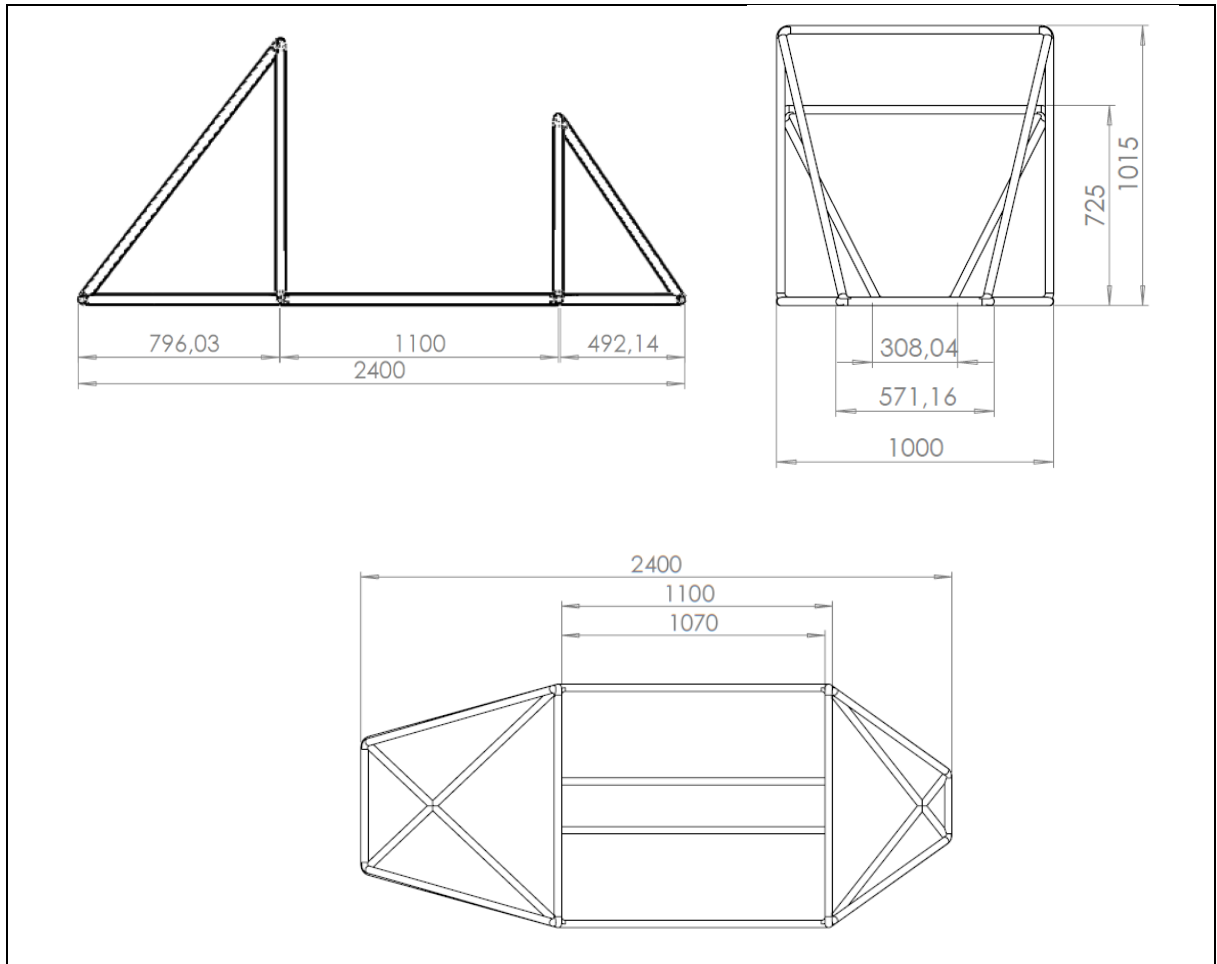


Ilustración 27. Diseño 1 del chasis

Por medio del diseño en CAD, es posible determinar la masa y las coordenadas correspondientes al centro de masa de la estructura, estos datos se encuentran en la Tabla 14 en donde se compara la masa de la misma estructura planteada como Diseño 1 en los materiales preseleccionados, el acero A36 y el aluminio 6061-T6.

Tabla 14. Características del Diseño 1 para acero y aluminio

Material		Acero A36	Aluminio 6061 T6
Masa [g]		2.46×10^4	8.48×10^3
Volumen [m ³]		0.31	0.31
Área de superficie [m ²]		4.15	4.15
Centro de masa [m]	x	1.19	1.19
	y	0.27	0.27
	z	0.50	0.50

La Tabla 14 indica el centro de masa con respecto al punto cero, el cual está dado teniendo en cuenta las cargas que actúan sobre el chasis, el punto de referencia del centro de masa se encuentra en la parte delantera e inferior del chasis, como se muestra en la Ilustración 28.

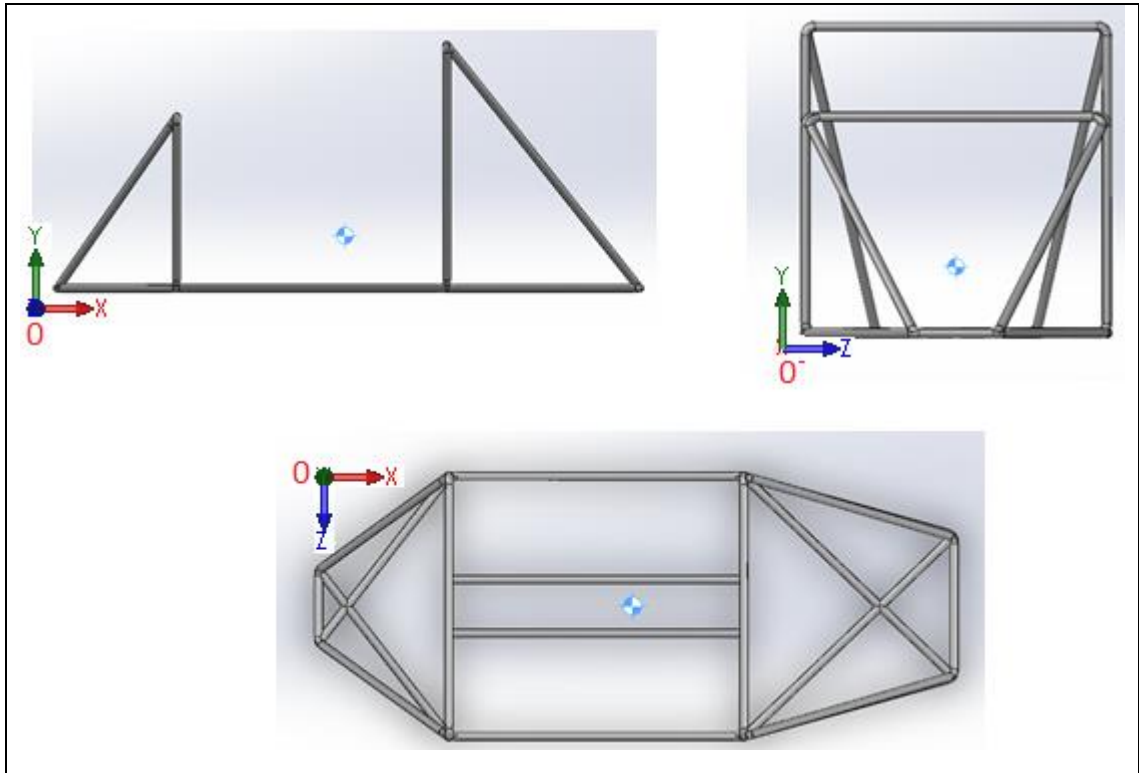


Ilustración 28. Ubicación del centro de masa del Diseño 1

A continuación se realizó un análisis en Ansys APDL, con el fin de visualizar el comportamiento de la estructura, teniendo en cuenta el peso de los componentes.

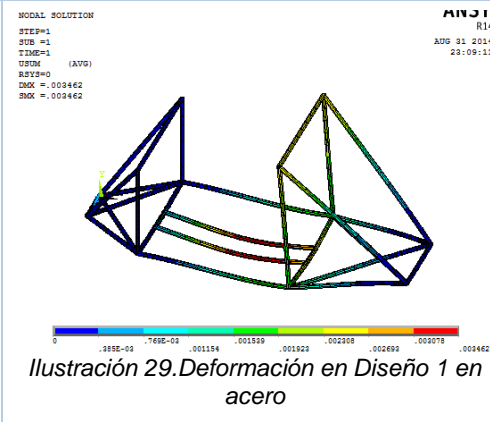
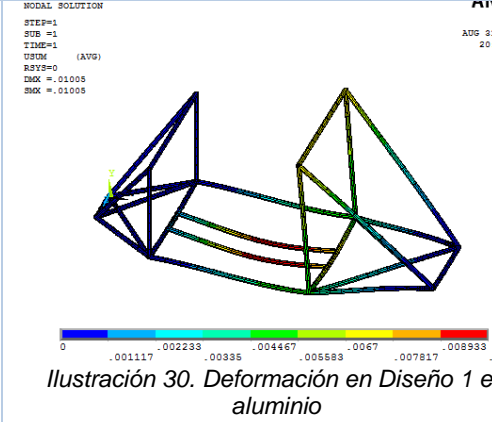
En la Tabla 15 se encuentran los resultados obtenidos de la simulación realizada en Ansys APDL para el Diseño 1 con los materiales preseleccionados el acero A36 y el aluminio 6061 T6, siguiendo los pasos descritos en el Anexo E. Por medio

del procedimiento mostrado en el Anexo E, es posible representar diversos comportamientos de la estructura lo que permite visualizar esfuerzos de plasticidad, esfuerzos elásticos, esfuerzo axial, fuerza axial, esfuerzo axial directo, localización del centro del elemento, suma de vectores, etc. Cabe resaltar que por la naturaleza de esta estructura el elemento a usar se supone que podría ser tipo *Pipe* debido a la geometría de la estructura, sin embargo, al realizar la investigación correspondiente respecto a este elemento, se encontró que su aplicación no era adecuada para esta estructura, ya que este elemento es ideal para estructuras que están sometidas a presiones internas y externas dadas usualmente para cargas oceánicas², por lo tanto el elemento ideal para analizar una estructura de este tipo es *Beam* (Refiérase al Anexo F para ver la comparación entre los elementos tipo *Beam* vs tipo *Pipe* y al Anexo G para la descripción del elemento tipo *Beam*).

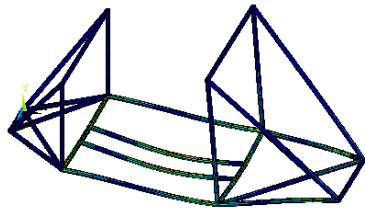
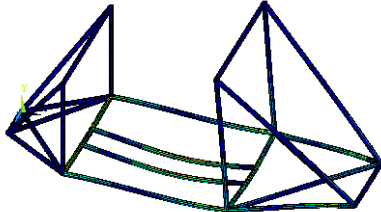
En este análisis se evalúan deformaciones y esfuerzos, donde respectivamente el programa representa la deformación por la sigla DMX que indica el desplazamiento en unidades métricas; en cuanto a los esfuerzos, se obtiene el valor máximo de esfuerzos en la estructura dado por el criterio de Von Mises.

Los resultados obtenidos en la simulación del Diseño 1 en acero y aluminio en Ansys APDL, están dados en la siguiente tabla:

Tabla 15. Análisis de deformaciones y esfuerzos en Ansys APDL del Diseño 1

DISEÑO 1		
Material	A36	6061 T6
Deformación	<p>NODAL SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 USDM (AVG) RBY=0 DMX =.003462 SMX =.003462</p>  <p>Ilustración 29. Deformación en Diseño 1 en acero</p>	<p>NODAL SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 USDM (AVG) RBY=0 DMX =.01005 SMX =.01005</p>  <p>Ilustración 30. Deformación en Diseño 1 en aluminio</p>

² Cargas Oceánicas: Ambiente oceánico, utilizado para definir entorno marino.

DISEÑO 1		
Material	A36	6061 T6
Von Mises	<pre> ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SEQV (NOAVG) IMX =.002462 SMX =.514E+08 </pre>  <p><i>Ilustración 31. Esfuerzo de Von Mises en Diseño 1 en acero</i></p>	<pre> ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SEQV (NOAVG) IMX =.01005 SMX =.514E+08 </pre>  <p><i>Ilustración 32. Esfuerzo de Von Mises en Diseño 1 en aluminio</i></p>
	<p>Nota: Las ilustraciones de la Tabla 15 se pueden visualizar mejor en el Anexo H.</p>	

Los resultados obtenidos muestran que la estructura tanto en acero como en aluminio resiste los esfuerzos a los que está sometido el chasis, sin embargo, la deformación en aluminio es de $1 \times 10^{-2} \text{m}$ siendo una deformación mayor en comparación a la del acero que es de $3.4 \times 10^{-3} \text{m}$, como se encuentra en la Tabla 15; estos resultados están dentro del comportamiento que debería tener, debido a que la deformación depende de la fuerza aplicada, la sección transversal y el módulo de elasticidad del material; siendo que la fuerza aplicada y la sección transversal para las simulaciones del Diseño 1 son las mismas y el módulo de elasticidad es de 200000MPa (Matweb, 2014, Steel A36) y 68900MPa (Matweb, 2014, Aluminium 6061-T6) respectivamente para el acero y el aluminio, lo que genera una deformación mayor en la estructura de aluminio 6061-T6 que la de acero A36, esto aplicado a la siguiente Ecuación [8]:

$$\epsilon = \frac{F}{A * E} \quad \text{Ecuación [8]}$$

Lo que demuestra que a mayor módulo de elasticidad, menor deformación unitaria.

En cuanto a los esfuerzos, se buscó que el valor de Von Mises fuera el mismo en las simulaciones del Diseño 1 con los dos materiales, ya que esto indicaría que la estructura soporta la misma magnitud de esfuerzos, lo cual es coherente, ya que este esfuerzo no está relacionada directamente con el material, como se puede verificar en la Tabla 16 el esfuerzo de Von Mises es de $0.514 \times 10^8 \text{Pa}$ para la estructura en acero y en aluminio.

A partir de la simulación se pudo determinar que la estructura para el Diseño 1 tiene mayor rigidez en acero que en aluminio comprobándolo por medio de la

deformación y que los esfuerzos a los que está sometida la estructura dependen únicamente de la configuración estructural.

Tabla 16. Comparación aluminio y acero del Diseño 1

DISEÑO 1	ACERO	ALUMINIO
DMX [m]	3.4×10^{-3}	1×10^{-2}
Von Mises [Pa]	0.514×10^8	0.514×10^8

Al tener el resultado de Von Mises, es necesario conocer el factor de seguridad que tiene la estructura con el fin de garantizar que no llegará a la rotura, para esto se aplica la Ecuación [5] obteniendo el valor del factor de seguridad:

$$\sigma_{real} = \frac{S_y}{FS} \implies FS = \frac{S_y}{\sigma_{real}} \quad \text{Ecuación [9]}$$

De esta forma el factor de seguridad obtenido para la estructura en acero es:

$$FS = \frac{250}{51,4} = 4,9$$

Y para la estructura en aluminio es de:

$$FS = \frac{276}{51,4} = 5,4$$

De esta forma se comprueba que la estructura resiste de manera segura las cargas tanto en acero como en aluminio, sin embargo, se observa que la estructura en aluminio puede llegar a soportar aproximadamente 0.5 veces más que la estructura en acero, debido a que el esfuerzo de fluencia del aluminio es superior al del acero. Aunque el factor de seguridad de 1.5 planteado (Happian, 2001, pág. 135) es inferior al obtenido, es importante resaltar que el esfuerzo real derivado en la simulación (Ver Ilustración 31) es calculado con la estructura estática, por lo cual se requiere que el factor de seguridad sea superior, teniendo en cuenta la misión del vehículo y con esto el incremento de los esfuerzos debido a su funcionamiento.

Finalmente, es importante saber el valor de las reacciones sobre los apoyos del vehículo, ya que a partir de este dato se diseñan sistemas como el de dirección. Las reacciones obtenidas en cada eje, están dadas en los apoyos ubicados en los nodos resaltados en la Ilustración 33:

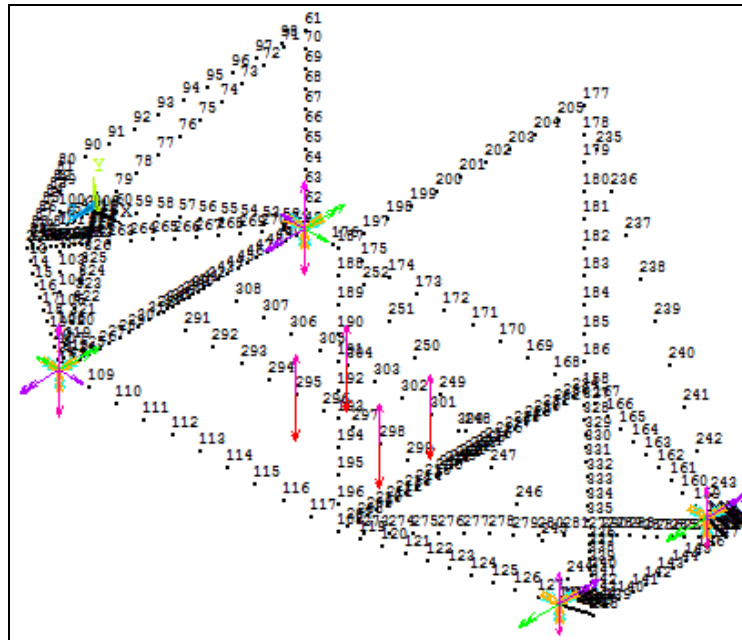


Ilustración 33. Nodos de posición de apoyos

Las reacciones en cada apoyo se encuentran en la Tabla 17.

Tabla 17. Magnitud de las reacciones en los apoyos del Diseño 1

REACCIONES EN LOS APOYOS [N]			
ACERO		ALUMINIO	
NODE	FX	FY	FZ
12	-3.6241	205.42	0.54834E-01
32	3.6241	137.92	10.088
62	3.6241	137.92	-10.088
82	-3.6241	205.42	-0.54834E-01
TOTAL VALUES			
VALUE	0.18896E-08	686.68	-0.90664E-09

Como se puede observar en la Tabla 17 los resultados son congruentes con el comportamiento de las reacciones en cada apoyo, ya que cada par debe tener el mismo valor cuando el carro está estático; recordando que las reacciones son independientes del material.

Buscando disminuir la deformación encontrada con el Diseño 1 en aluminio, se generó el Diseño 2 en donde se adicionaron ciertas barras al Diseño 1, con el fin de que la estructura distribuyera de mejor forma los esfuerzos.

6.4.2 Análisis en Ansys Diseño 2

El Diseño 2 se observa en la Ilustración 34 y está basado en el Diseño 1, al cual se le adicionaron 2 barras en la parte superior del chasis buscando mayor rigidez en la estructura. Se realizó el mismo procedimiento en Ansys APDL elaborado en el Diseño 1, el cual esta descrito en el Anexo E, sabiendo que en la sección delantera estará ubicado todo lo correspondiente a los sistemas eléctricos con una masa de 15kg (Bosh, 2011), en la sección central estará ubicado el piloto con una masa de 70kg (Shell Eco Marathon, 2014) y la planta motriz estará ubicada en la parte trasera del vehículo, esta sección tiene un volumen de control de 101x100x71mm y una masa de 30kg (Cortes, 2014).

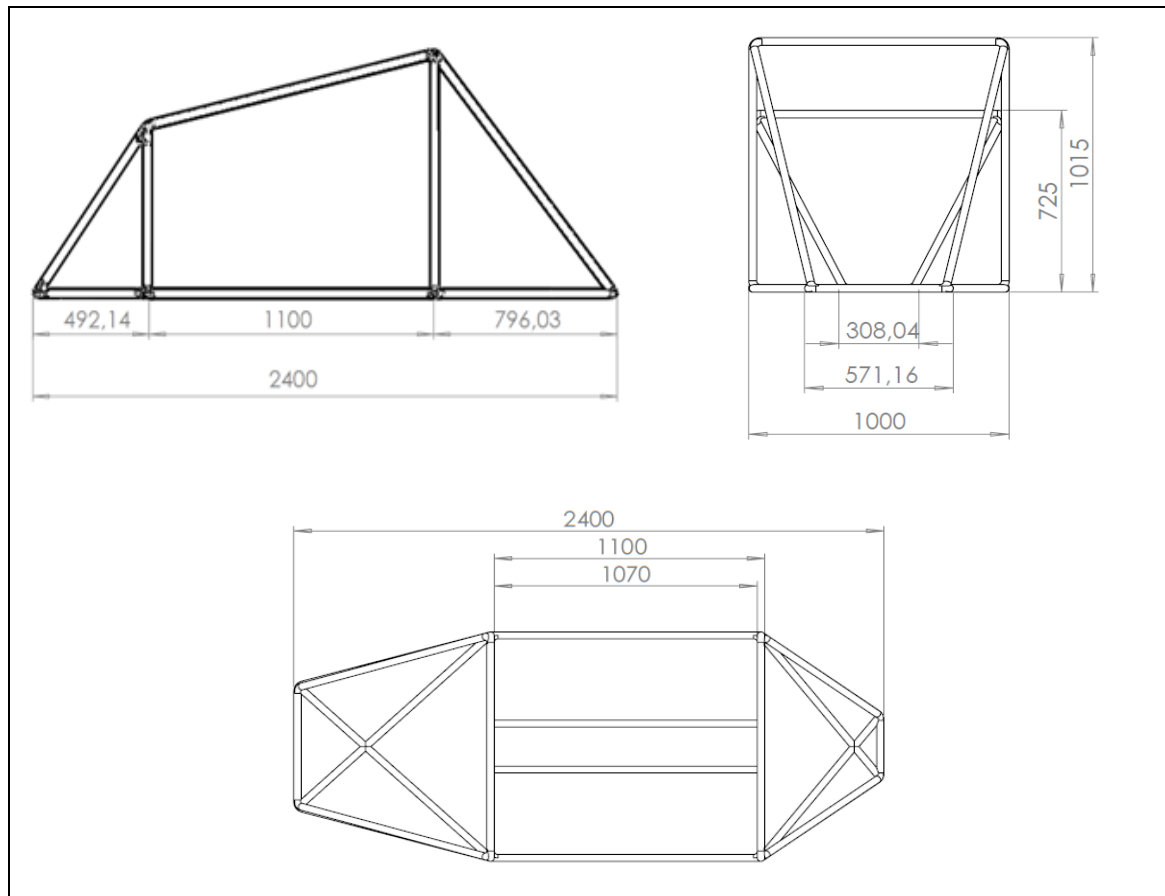


Ilustración 34. Segundo boceto del diseño del chasis

En este caso, la masa y las coordenadas correspondientes al centro de masa de la estructura están dados por los datos suministrados en la Tabla 18 en donde se compara la masa de la estructura planteada como Diseño 2 en los materiales preseleccionados, el acero A36 y el aluminio 6061-T6.

Tabla 18. Pesos y centro de masa del diseño 2

Material		Acero A36	Aluminio 6061 T6
Masa [g]		2.86×10^4	9.85×10^3
Volumen [m ³]		3.65×10^{-3}	3.65×10^{-3}
Área de superficie [m ²]		4.78	4.78
Centro de masa [m]	x	1.21	1.21
	y	0.3	0.3
	z	0.50	0.50

La Tabla 18 indica el centro de masa con respecto al punto cero, el cual está dado teniendo en cuenta las cargas que actúan sobre el chasis, el punto de referencia del centro de masa se encuentra en la parte delantera e inferior del chasis, como se muestra en la Ilustración 35.

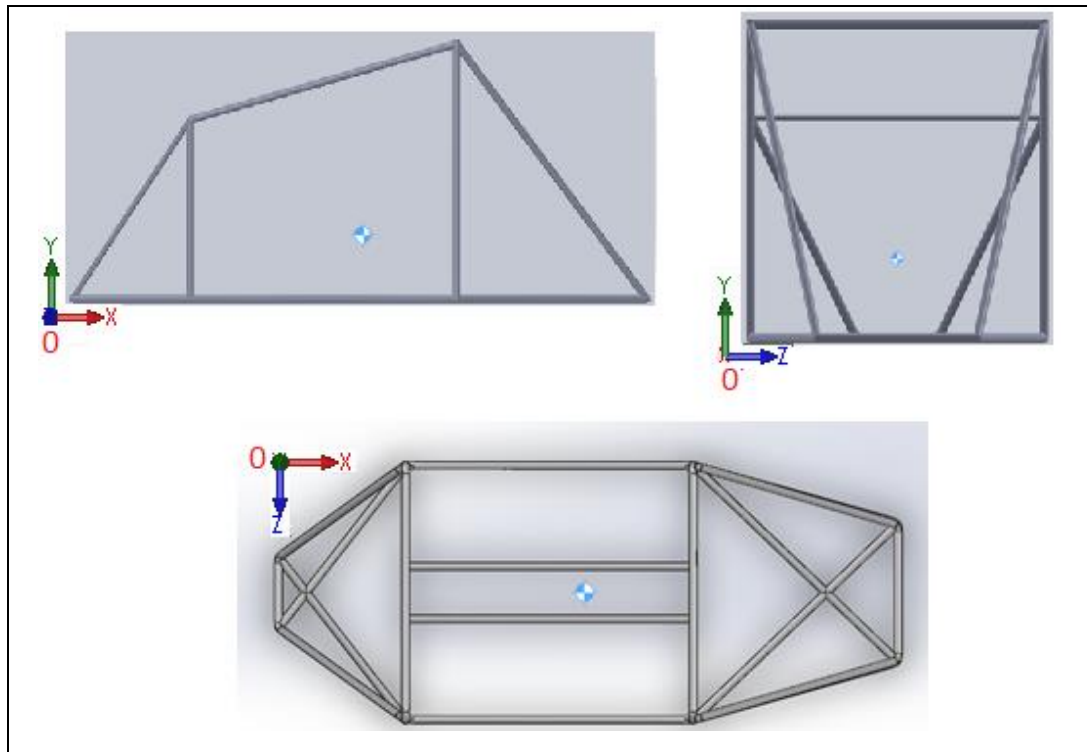


Ilustración 35. Ubicación del centro de masa del Diseño 2

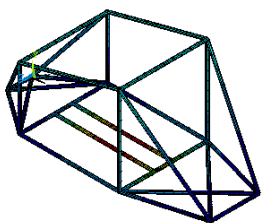
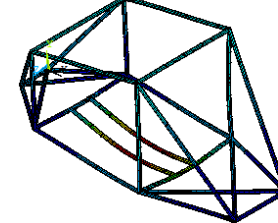
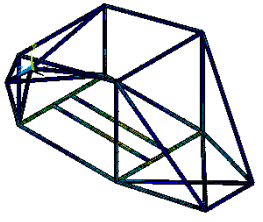
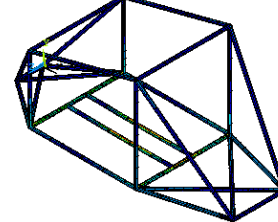
A continuación se realizó un análisis en Ansys APDL, con el fin de visualizar el comportamiento de la estructura, teniendo en cuenta el peso de los componentes.

En la Tabla 19 se encuentran los resultados obtenidos de la simulación realizada en Ansys APDL para el Diseño 2 con los materiales preseleccionados acero A36 y aluminio 6061 T6, siguiendo los pasos descritos en el Anexo E, el mismo realizado para el Diseño 1. El análisis evalúa deformaciones y esfuerzos, donde la magnitud

mayor y menor se puede visualizar con la escala de colores, donde las líneas rojas muestran las secciones expuestas a mayor esfuerzo y por tanto a mayor deformación y las líneas azul oscuro corresponden a las secciones con esfuerzos menores. Al igual que para el análisis realizado en el Diseño 1, el elemento ideal de análisis en una estructura de este tipo es *Beam* (Refiérase al Anexo F para ver la comparación entre los elementos tipo *Beam* vs tipo *Pipe* y al Anexo G para obtener mayor información acerca del elemento tipo *Beam*).

Los resultados dados por la simulación del Diseño 2 en acero y aluminio en Ansys APDL, están dados en la siguiente tabla:

Tabla 19. Análisis de deformaciones y esfuerzos en Ansys APDL del Diseño 2.

DISEÑO 2			
Material	A36	6061 T6	
Deformación	<p>NODAL SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 USUM (AVG) RSYS=0 DMX =.002768 SMX =.002768</p> <p>ANSYS R14 SEP 1 2014 09:54:24</p>  <p>Ilustración 36. Deformación en Diseño 2 en acero</p>	<p>NODAL SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 USUM (AVG) RSYS=0 DMX =.008032 SMX =.008032</p> <p>ANSYS R14 AUG 31 2014 23:55:40</p>  <p>Ilustración 37. Deformación en Diseño 2 en aluminio</p>	
	<p>ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SEQV (NOAVG) DMX =.002768 SMX =3446.05 SMX =.497E+08</p> <p>ANSYS R14 SEP 1 2014 09:50:55</p>  <p>Ilustración 38. Esfuerzo de Von Mises Diseño 2 en Acero</p>	<p>ELEMENT SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 SEQV (NOAVG) DMX =.008032 SMX =3446.05 SMX =.497E+08</p> <p>ANSYS R14 SEP 1 2014 00:09:06</p>  <p>Ilustración 39. Esfuerzo de Von Mises Diseño 2 en aluminio</p>	
<p>Nota: Las ilustraciones de la Tabla 19 se pueden visualizar mejor en el Anexo H.</p>			

El análisis de deformaciones y esfuerzos realizado en Ansys APDL para el Diseño 2, demostró una mejora al añadir las dos barras como se puede corroborar con los datos suministrados en la Tabla 20 en cuanto a la distribución de los esfuerzos lo

cual se ve reflejado con la reducción de la deformación. La deformación en acero fue de 2.7×10^{-3} m (Ilustración 36) y en aluminio fue de 8×10^{-3} m (Ilustración 37) mostrando que el chasis en acero se deforma menos que en aluminio. El esfuerzo de Von Mises fue de 0.497×10^8 Pa, el cual se puede visualizar en la Ilustración 38 y la Ilustración 39 mostrando que para el acero y el aluminio se obtiene el mismo esfuerzo y es inferior al esfuerzo de Von Mises del Diseño 1, comprobando que la simulación esta correcta dada la explicación en el numeral 6.5.1 en cuanto al esfuerzo de Von Mises.

Tabla 20. Comparación aluminio y acero del Diseño 2

DISEÑO 2	ACERO	ALUMINIO
DMX [m]	2.7×10^{-3}	8×10^{-3}
Von Mises [Pa]	SMN: 3446.85 SMX: 0.497×10^8	SMN: 3446.85 SMX: 0.497×10^8

Realizando la comparación porcentual de la deformación generada entre el Diseño 1 y el Diseño 2 en aluminio y acero, se puede evidenciar una reducción de aproximadamente el 20% de la deformación del chasis al adicionar las dos (2) barras superiores a la estructura. En cuanto a los esfuerzos, las barras adicionales permitieron dar mayor rigidez al chasis, distribuyendo mejor los esfuerzos críticos sobre la estructura pues se reduce el esfuerzo de Von Mises un 3.5% en comparación con el resultado dado en el Diseño 1.

Ahora con Von Mises, se calcula el factor de seguridad que tiene la estructura, aplicando la Ecuación [5] para obtener el valor de factor de seguridad:

$$\sigma_{real} = \frac{S_y}{FS} \quad \Rightarrow \quad FS = \frac{S_y}{\sigma_{real}} \quad \text{Ecuación [9]}$$

De esta forma el factor de seguridad obtenido para la estructura en acero es:

$$FS = \frac{250}{49,7} = 5,0$$

Y para la estructura en aluminio es de:

$$FS = \frac{276}{49,7} = 5,6$$

De esta forma se comprueba que la estructura resiste de forma segura las cargas tanto en acero como en aluminio, en este caso la estructura en aluminio soporta 0.6 veces más que la estructura en acero.

En cuanto a las reacciones obtenidas en cada eje, se ubican en los mismos apoyos mencionados en el numeral 6.5.1 en la Ilustración 33. Para el Diseño 2 las reacciones en cada apoyo están dadas de la siguiente forma (Tabla 21).

Tabla 21. Magnitud de las reacciones en los apoyos del Diseño 2

REACCIONES EN LOS APOYOS [N]			
ACERO		ALUMINIO	
NODE	FX	FY	FZ
12	72.439	197.43	28.014
32	-72.439	145.91	33.287
62	-72.439	145.91	-33.287
82	72.439	197.43	-28.014
TOTAL VALUES			
VALUE	0.72862E-09	686.68	-0.30514E-09

Como se puede observar en la Tabla 21 los resultados son congruentes con el comportamiento de las reacciones en cada apoyo, ya que cada par debe tener el mismo valor cuando el carro esta estático.

Teniendo en cuenta, que algunas de las uniones del chasis estarán soldadas, se buscó obtener mayor rigidez en la estructura, por lo que se realizaron algunas modificaciones al Diseño 2 ubicando unas barras diagonales, a partir de esta alteración nace el Diseño 3.

6.4.3 Análisis en Ansys Diseño 3

En la Ilustración 40 se puede observar el boceto establecido como Diseño 3, donde se agregaron dos barras diagonales a lado y lado de la sección del piloto, correspondientes a las barras marcadas con los números 1 y 2, en este diseño se buscó obtener mayor rigidez que en los diseños anteriores y adicionalmente se proporcionó mayor seguridad al piloto como se comprobará a través del factor de seguridad y la deformación máxima. Al agregar estas dos barras, la geometría continúa cumpliendo con la regulación, ya que se conservó el espacio que debe existir para la puerta del conductor de 500mm x 800mm (Shell Eco Marathon, 2014).

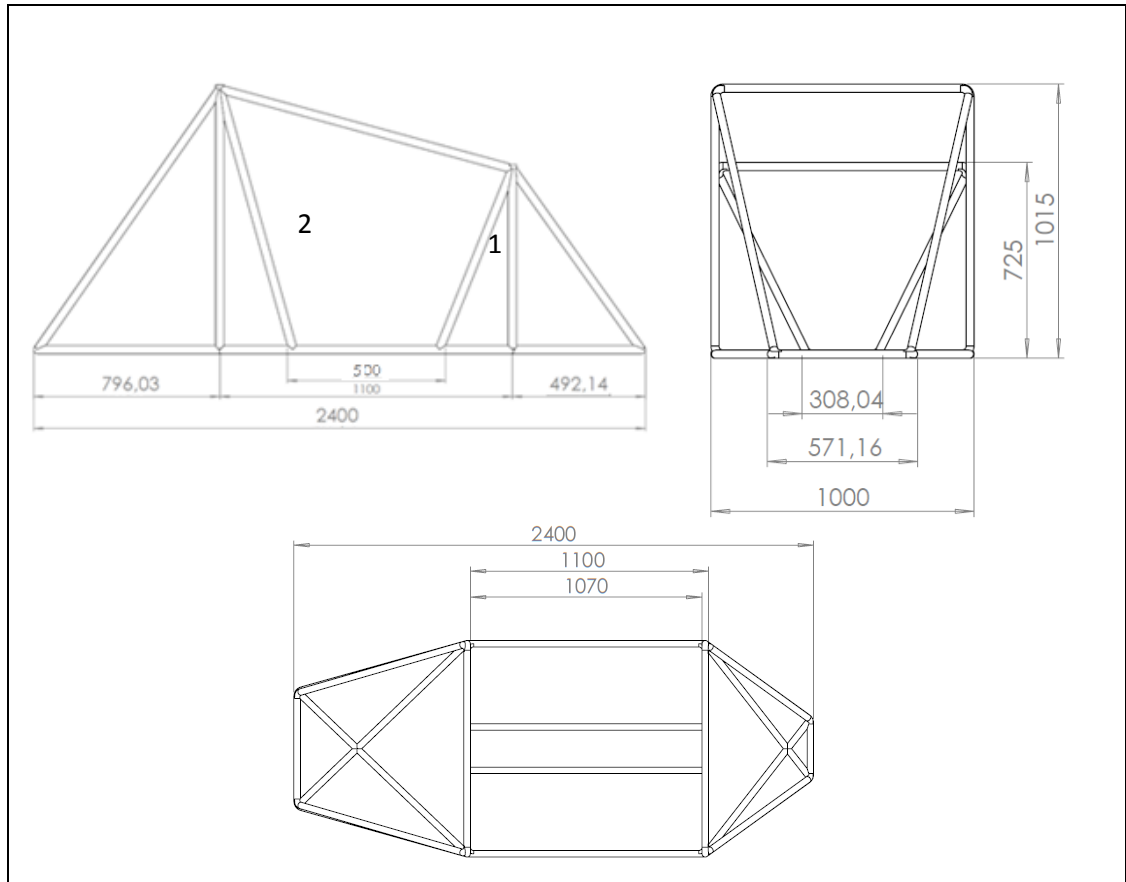


Ilustración 40. Tercer boceto del diseño del chasis

Al igual que para el Diseño 1 y Diseño 2, se realizó el análisis en Ansys APDL, el cual está descrito en el Anexo E, teniendo en cuenta que los componentes estarán ubicados con sus respectivas masas de la misma forma que para los dos (2) diseños anteriores. En este caso, la masa y las coordenadas correspondientes al centro de masa de la estructura están dados por los datos suministrados en la Tabla 22, en donde se compara la masa de la estructura planteada como Diseño 3 en los materiales preseleccionados, el acero A36 y el aluminio 6061-T6.

Tabla 22. Masa y centro de masa del diseño 3.

Material		Acero A36	Aluminio 6061 T6
Masa [g]		5.98×10^4	2.06×10^4
Volumen [m ³]		7.61×10^{-4}	7.61×10^{-4}
Área de superficie [m ²]		5.04	5.04
Centro de masa [m]	x	1.23	1.23
	y	0.31	0.31
	z	0.50	0.50

La Tabla 22 indica el centro de masa con respecto al punto cero, como se puede observar en la Ilustración 41. El centro de masa esta dado teniendo en cuenta las cargas que actúan sobre el chasis, el punto de referencia del centro de masa se encuentra en la parte delantera e inferior del chasis, mostrada a continuación:

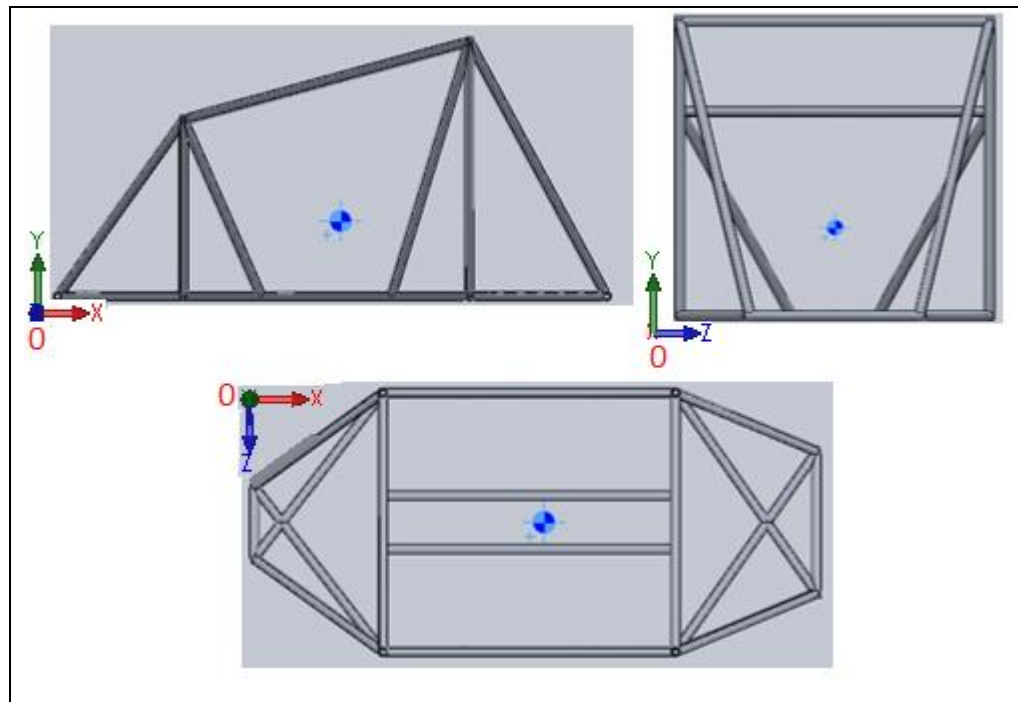
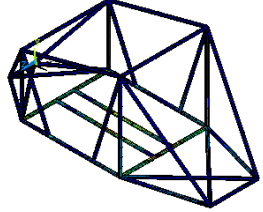
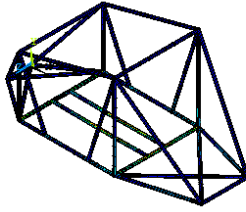


Ilustración 41. Ubicación del centro de masa del Diseño 3

Siguiendo el procedimiento llevado a cabo hasta ahora en los anteriores diseños, el paso a seguir es el análisis en Ansys APDL, que permite comprender el comportamiento de la estructura, teniendo en cuenta la masa de los componentes.

Tabla 23. Análisis de esfuerzo y deformaciones en Ansys APDL del Diseño 3

DISEÑO 3			
Material	A36		6061 T6
Deformación	<p> <small> NODAL SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 USUM (AVG) RSTP=0 SMX = .002525 SMN = -.002525 </small> </p> <p> <small> ANSYS R14 SEP 1 2014 10:40:39 </small> </p> <p> <small> NODAL SOLUTION STEP=1 SUB =1 TIME=1 USUM (AVG) RSTP=0 SMX = .007329 SMN = -.007329 </small> </p> <p> <small> ANSYS R14 SEP 4 2014 00:30:58 </small> </p>	<p> <small> 0 .281E-02 .561E-03 .842E-03 .011122 .01403 .01693 .001964 .002244 .002525 </small> </p> <p> <i>Ilustración 42. Deformación en Diseño 3 en acero</i> </p>	<p> <small> 0 .014E-02 .001629 .002440 .003257 .004071 .004886 .0057 .006514 .007329 </small> </p> <p> <i>Ilustración 43. Deformación en Diseño 3 en aluminio</i> </p>

DISEÑO 3		
Material	A36	6061 T6
Von Mises	<p>ELEMENT SOLUTION</p> <p>STEP=1 SUB =1 TIME=1 SEQ7 (NOAVG) DMX = .002525 SMN =2374 SMX =.488E+08</p> <p>ANSYS R14. SEP 1 2014 10:49:19</p>  <p>Ilustración 44. Von Mises en Diseño 3 en acero</p>	<p>ELEMENT SOLUTION</p> <p>STEP=1 SUB =1 TIME=1 SEQ7 (NOAVG) DMX = .007329 SMN =2374 SMX =.488E+08</p> <p>ANSYS R14. SEP 4 2014 00:22:49</p>  <p>Ilustración 45. Von Mises en Diseño 3 en aluminio</p>
<p>Nota: Las ilustraciones de la Tabla 23 se pueden visualizar mejor en el Anexo H.</p>		

En la Tabla 23 se encuentran los resultados obtenidos de la simulación realizada en Ansys APDL para el Diseño 3 con los materiales preseleccionados acero A36 y aluminio 6061 T6, siguiendo los pasos descritos en el Anexo E. A partir de los resultados obtenidos en los dos diseños anteriores, es posible comparar la eficiencia estructural del Diseño 3 por medio de la reducción de la magnitud de la deformación y los esfuerzos. La deformación en acero es de $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ (Ilustración 42) y en aluminio es de $7.3 \times 10^{-3} \text{ m}$ (Ilustración 43), mostrando que el chasis se deforma menos en acero que en aluminio. El esfuerzo de Von Mises fue de $0.488 \times 10^8 \text{ Pa}$, como se muestra en la Ilustración 44 y la Ilustración 45 para el acero y el aluminio el esfuerzo es crítico es el mismo y es inferior al esfuerzo del Diseño 2, comprobando que las barras adicionales, generan mayor rigidez a la estructura ya que su deformación es menor que la del Diseño 2. Los resultados obtenidos en la Tabla 24 muestran que la estructura tanto en acero como en aluminio resiste los esfuerzos a los que está sometido el chasis, y por medio del esfuerzo de Von Mises se evidencia mayor reducción de los esfuerzos principales en comparación a los otros diseños, en este caso se obtuvo un esfuerzo de $0.488 \times 10^8 \text{ Pa}$ reduciendo un 2% en relación al Diseño 2 y un 5.5% al Diseño 1.

Tabla 24. Comparación aluminio y acero del diseño 3.

DISEÑO 3	ACERO	ALUMINIO
DMX [m]	2.5×10^{-3}	7.3×10^{-3}
Von Mises [Pa]	SMN: 2374 SMX: 0.488×10^8	SMN: 2374 SMX: 0.488×10^8

A continuación se calcula el factor de seguridad del Diseño 3 con el esfuerzo de Von Mises obtenido, aplicando la Ecuación [5] se puede obtener el valor del factor de seguridad:

$$\sigma_{real} = \frac{S_y}{FS} \implies FS = \frac{S_y}{\sigma_{real}} \quad \text{Ecuación [9]}$$

De esta forma el factor de seguridad obtenido para la estructura en acero es:

$$FS = \frac{250}{48,8} = 5,2$$

Y para la estructura en aluminio es de:

$$FS = \frac{276}{48,8} = 5,7$$

De esta forma se comprueba que la estructura resiste de manera óptima las cargas tanto en acero como en aluminio, mostrando que la estructura en aluminio soporta 0.5 veces más que la estructura en acero. En comparación con el factor de seguridad obtenido para el Diseño 1 y 2, esta estructura es más eficiente y segura para el piloto, se puede ver un incremento de este factor a medida que se refuerza con barras.

En cuanto a las reacciones obtenidas en cada eje, se ubican en los mismos apoyos mencionados en el numeral 6.5.1 en la Ilustración 33. Para el Diseño 3 las reacciones en cada apoyo están dadas de la siguiente forma (Tabla 25).

Tabla 25. Magnitud de las reacciones en los apoyos del Diseño 3

REACCIONES EN LOS APOYOS [N]			
ACERO		ALUMINIO	
NODE	FX	FY	FZ
12	75.515	206.31	5.9920
42	75.515	206.31	-5.9920
92	-75.515	137.03	-29.068
122	-75.515	137.03	29.068
TOTAL VALUES			
VALUE	0.89756E-10	686.68	0.66322E-10

Como se puede observar en la Tabla 25 los resultados son similares a los dados en las simulaciones anteriores, sin embargo, aumentan las reacciones y esto se debe al aumento de peso que se da al adicionar las barras. Es importante resaltar que las reacciones sobre los apoyos son independientes del comportamiento de la

estructura debido a las cargas, por lo que puede considerarse como una estructura rígida.

A partir de las simulaciones realizadas en Ansys APDL para los tres diseños expuestos anteriormente, se seleccionó el material idóneo para la elaboración del chasis, siendo este el aluminio 6061-T6. Los resultados obtenidos de la comparación del acero y el aluminio, mostraron que ambos tienen la capacidad de soportar las cargas a las que estará sometida la estructura, pero este no es el único requisito para la selección del material; por esta razón, se destacó que la estructura en aluminio además de resistir de manera óptima, tiene un peso aproximadamente 3 veces inferior que el peso del acero, lo que resulta en la contribución para un mejor rendimiento del automóvil en conjunto con los demás componentes. Adicionalmente el factor de seguridad es superior en la estructura en aluminio.

Debido al procedimiento que se llevó a cabo hasta el momento, se determinó que el chasis debe estar configurado de acuerdo al Diseño 3 y debe ser fabricado en aluminio 6061-T6; a continuación se analizará el Diseño 3, llamado a partir de ahora diseño final, teniendo en cuenta las cargas generadas por las condiciones de funcionamiento.

6.5 ANALISIS DE COMPORTAMIENTO

Es indispensable conocer el comportamiento del chasis, conociendo su deformación y las cargas que puede soportar durante su vida útil. En esta unidad se va a considerar el comportamiento del chasis en diferentes situaciones de operación como lo es en estado de reposo, aceleración, frenado, giro y volcado. Para esto, se realizó un análisis de cargas estáticas por medio del software Ansys Workbench con las cargas principales que soporta el automóvil como lo son los sistemas eléctricos, el piloto, la planta motriz y la carga de 700N que debe soportar la barra de volcado en cumplimiento con la reglamentación (Shell Eco Marathon, 2014, artículo 26). Cabe resaltar que en la barra donde está el piloto se ubica una masa de 70kg, distribuida en dos barras cada una con una dimensión de 1.10m, las barras donde irán ubicados los sistemas eléctricos deben soportar una masa de 15kg, distribuida en dos barras diagonales de 771,3mm ubicadas en la parte inferior delantera del chasis y la barra donde irá ubicada la planta motriz debe soportar una masa de 30kg, distribuida en dos barras diagonales de 1069,8mm ubicadas en la parte inferior trasera (Ver Ilustración 26).

Para realizar el análisis del chasis en Workbench se debe llevar a cabo principalmente el siguiente procedimiento:

- Importar la estructura de CAD a Ansys.

- Enmallar la estructura.
- Fijar los 4 apoyos y nombrarlos por medio de *boleanas*.
- Ubicar las cargas generando puntos de masa con el CG y peso respectivo.
- Aplicar aceleración por medio del comando *Inertial* indicando magnitud y dirección.
- Se generan las gráficas requeridas.

De acuerdo a lo descrito en el procedimiento se va a visualizar en Workbench la ubicación de los apoyos como se muestra en la Ilustración 46.

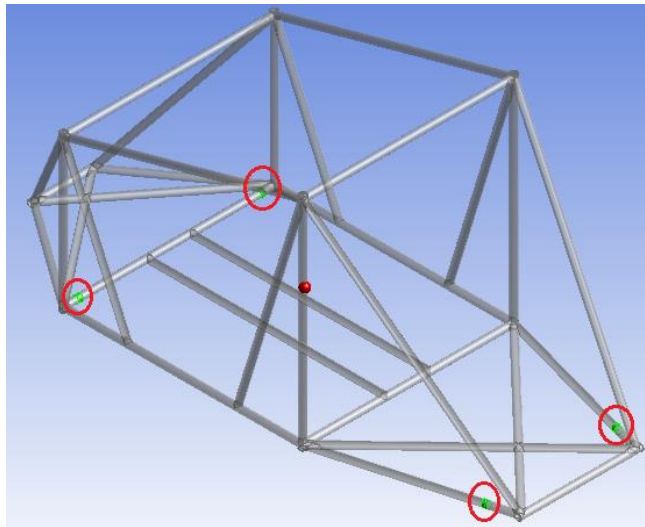


Ilustración 46. Representación de apoyos en el chasis

De igual forma los puntos de masa se van a visualizar como se muestra en la Ilustración 47.

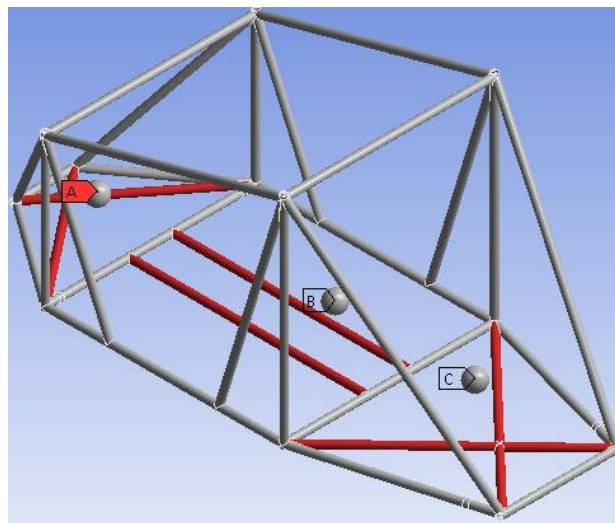


Ilustración 47. Representación de puntos de masa en Workbench

A continuación se analizó la geometría del diseño final (Diseño 3) en *Ansys Workbench* junto con las cargas a las que estará sometido cuando el vehículo se encuentra en reposo.

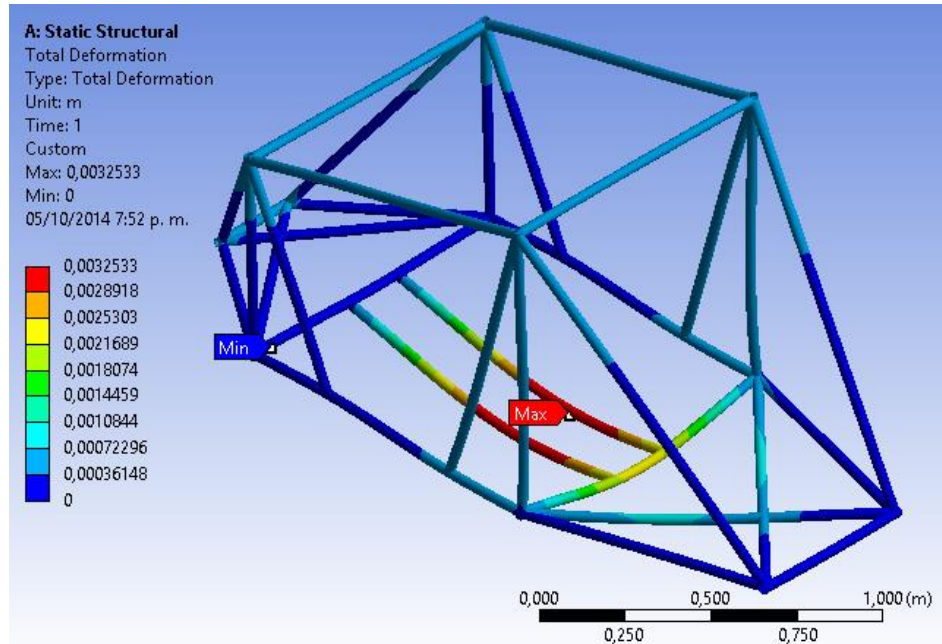


Ilustración 48. Deformación del diseño final en reposo

De acuerdo con la Ilustración 48 se obtiene una deformación máxima de $3,2 \times 10^{-3} \text{m}$, dada en las barras donde se ubica el piloto, teniendo en cuenta que la estructura del diseño final está diseñada con un diámetro de 31.75mm y un espesor de 3mm, por medio de esta ilustración se pueden visualizar las barras que tienen una deformación mínima a las que se les podría variar su espesor.

Seguido a esto se realiza el análisis de esfuerzos de Von Mises; por medio de este, se puede determinar el esfuerzo máximo que soporta una estructura antes de fallar, por lo tanto en la Ilustración 49 se puede visualizar el esfuerzo máximo correspondiente a 64.45MPa, lo cual demuestra que la estructura soporta eficientemente el esfuerzo máximo ya que el aluminio 6061-T6 soporta 310MPa en tensión, 386MPa en flexión y 248MPa en compresión (Matweb, 2014).

ESPACIO INTENCIONALMENTE DEJADO

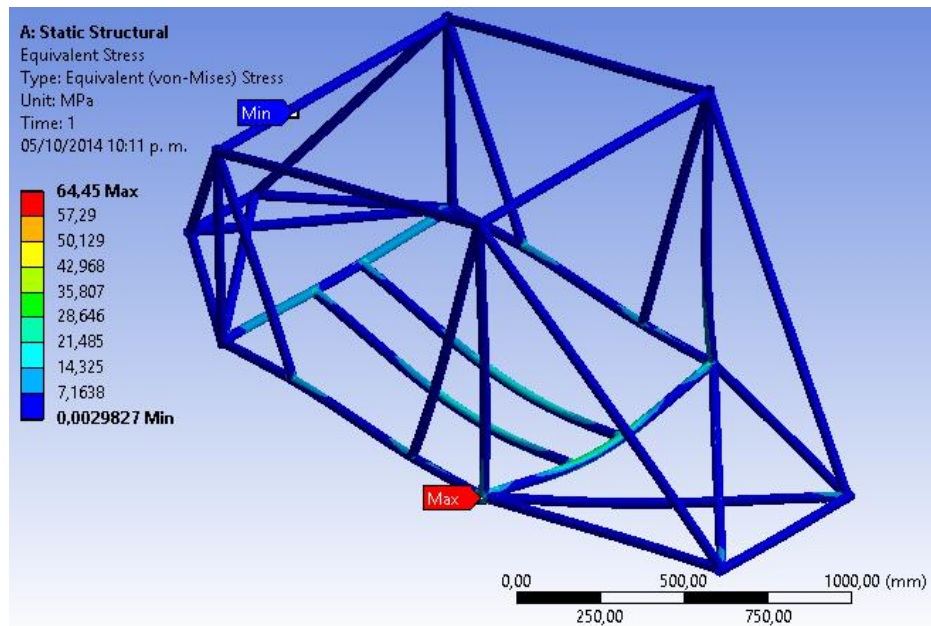


Ilustración 49. Esfuerzo de Von Mises diseño final en reposo

A continuación en la Ilustración 50 se determina el factor de seguridad que indica el número de veces que el chasis soporta las cargas a las que está sometido. Este análisis tiene en cuenta el esfuerzo máximo principal, el cual permite representar el efecto de los esfuerzos en el punto crítico, es decir, donde la estructura soporta la mayor cantidad de esfuerzos suponiendo que el material no está tratado térmicamente por efectos de la soldadura en los puntos de unión, señalando que no existirá ruptura en la estructura ya que se obtiene un factor de seguridad de 4.3.

Comparando el valor del factor de seguridad de la misma configuración en Ansys APDL con Ansys Workbench, se observa una variación de 1.4 en la magnitud, esto se debe a que en APDL se ubica puntualmente el apoyo sobre nodos a diferencia de Workbench que selecciona una superficie, lo que resulta en este caso en la reducción del factor de seguridad.

ESPACIO INTENCIONALMENTE DEJADO

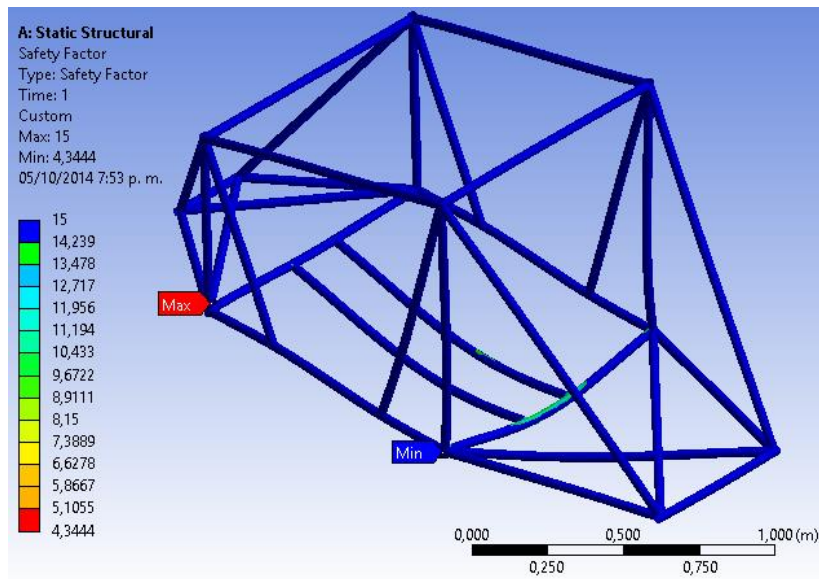


Ilustración 50. Factor de seguridad del diseño final en reposo

En este análisis del vehículo en reposo se debe verificar que la barra de volcado soporta la carga de 700N, sin llegar a deformarse más de 50mm, ya que por regulación esta barra debe estar ubicada mínimo a 50mm alrededor de la persona (Shell Eco Marathon, 2014, artículo 26), en caso de volcado del vehículo. Los resultados obtenidos (Ver Ilustración 51) muestran una deformación de 2mm, indicando que la estructura tiene la capacidad de soportar la carga de 700N.

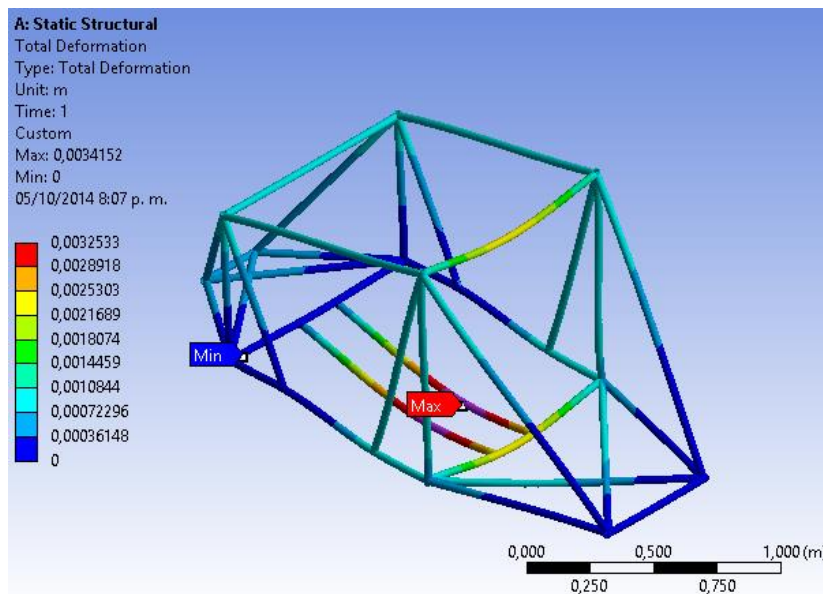


Ilustración 51. Deformación con carga de 700N sobre la barra estabilizadora

En cuanto al esfuerzo de Von Mises con la estructura sometida a la carga de 700N se obtuvo un esfuerzo máximo de 72.39MPa ubicado en las uniones inferiores de la barra estabilizadora.

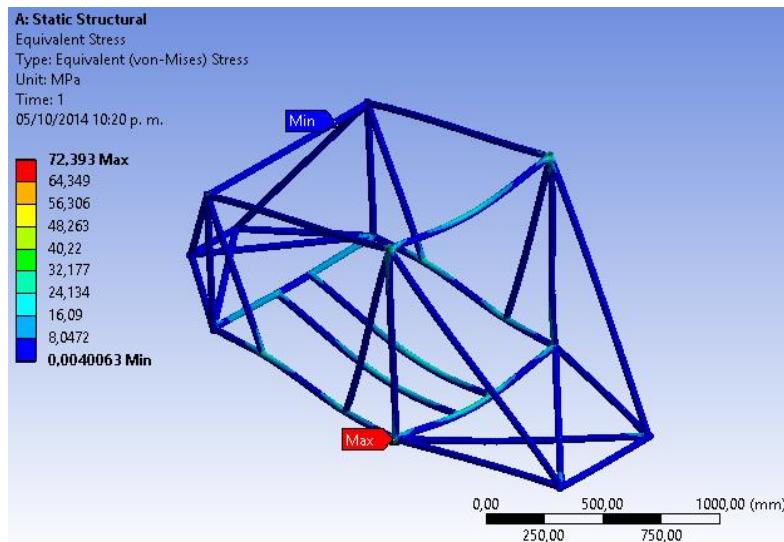


Ilustración 52. Esfuerzo de Von Mises con carga de 700N sobre la barra estabilizadora

Finalmente, el factor de seguridad obtenido para la estructura cuando está sometida a la carga de 700N es de 3.86 (Ver Ilustración 53), reduciéndose en comparación al factor de seguridad de la misma estructura en reposo con una diferencia de 0.5, siendo este el comportamiento esperado; demostrando que la estructura cumple eficientemente con el requerimiento de la reglamentación de la *Shell Eco Marathon*.

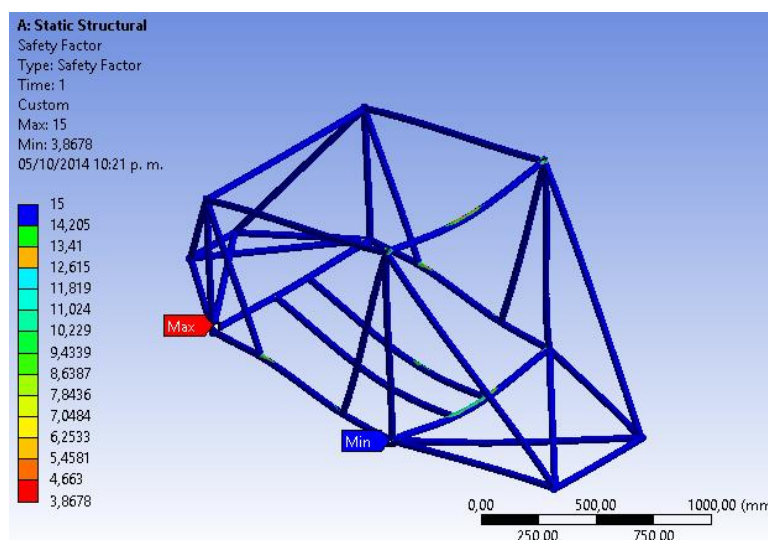


Ilustración 53. Factor de seguridad con carga de 700N sobre la barra antivuelco

Con respecto a la misión de un vehículo, el chasis debe cumplir con las cargas causadas por las diferentes condiciones de funcionamiento como lo son la aceleración máxima, un frenado brusco, un giro y un volcado; por lo tanto, es necesario demostrar por medio del factor de seguridad, que el chasis soporta todas las condiciones sin que haya ruptura. Es de esperarse que el valor del factor de seguridad se reduzca en las diferentes condiciones con respecto al factor de 4.3 obtenido de la simulación del chasis en reposo (Ilustración 50), indicando un resultado correcto.

6.5.1 Aceleración máxima

Los parámetros que se tienen en cuenta en esta condición son la tensión máxima de Von Mises y la deformación de la estructura, sabiendo que el único eje que transmite la fuerza de aceleración es el eje trasero (eje tractor). Por medio de Ansys Workbench, es posible simular la inercia que generan los componentes sobre la estructura cuando el vehículo acelera, para esto es indispensable calcular la aceleración para ingresarla al sistema y representar así, esta condición de funcionamiento. En este caso se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

$$P=6600 \text{ [Watts]}; \quad T_a=2030 \text{ [N*m]}; \quad r= 8.5'' = 0.215 \text{ [m]}$$

Para determinar la aceleración, inicialmente se calcula la velocidad angular partiendo de la potencia y el torque del motor seleccionado por el grupo *Diseño y selección del sistema de propulsión de un vehículo urbano aplicado a la competencia Shell Eco Marathon* (Cortes, 2014, pág.63), utilizando la Ecuación [10].

$$P = T * \omega \quad \text{Ecuación [10]}$$

$$6600 \text{ [watts]} = 2030 \text{ [N/m]} * \omega$$

$$\omega = 3.25 \text{ [rad/s]}$$

Al tener la velocidad angular y el radio de 0.215m de las llantas (Shell Eco Marathon, 2014) se puede calcular la velocidad tangencial con la Ecuación [11]:

$$V_t = \omega * r \quad \text{Ecuación [11]}$$

$$V_t = 3.25 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] * 0.215$$

$$V_t = 0.69 \text{ [m/s]}$$

Con la velocidad tangencial, se puede obtener el valor de la aceleración centrípeta utilizando la Ecuación [12]:

$$a_c = \omega * V_t \quad \text{Ecuación [12]}$$

$$a_c = 0.7 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] * 3.25 [\text{m/s}]$$

$$a_c = 2.3 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

A partir de la aceleración máxima se puede calcular la fuerza de aceleración, usando la Ecuación [13].

$$F = M * a_c \quad \text{Ecuación [13]}$$

$$F = 275 * 2.3$$

$$F = 632.5 \text{ N}$$

Después de calcular los valores requeridos para este análisis, se dio paso al estudio del chasis con este comportamiento, hallando el factor de seguridad y la deformación de la estructura cuando está bajo este funcionamiento.

La Ilustración 54 muestra un factor de seguridad de 4.2 para el chasis en una condición de aceleración máxima; en comparación con el factor de seguridad obtenido con el vehículo en estado de reposo, se observa una reducción de 3.3% debido a las cargas ocasionadas por la aceleración.

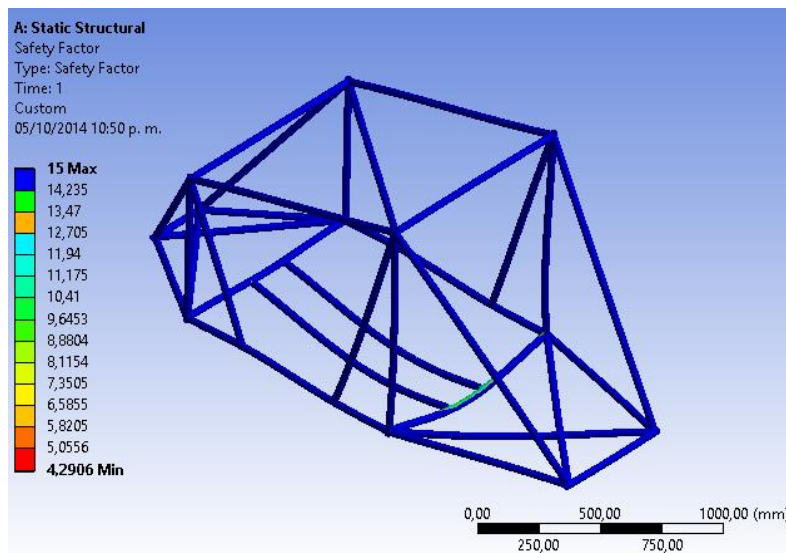


Ilustración 54. Factor de seguridad en condiciones de aceleración.

En la Ilustración 55 mostrada a continuación, se observa que el mayor desplazamiento se da en la sección del piloto con una magnitud de 3.1mm, indicando la eficiencia del diseño final para soportar las cargas ocasionadas por la aceleración, sin poner en riesgo la integridad del conductor y de la estructura.

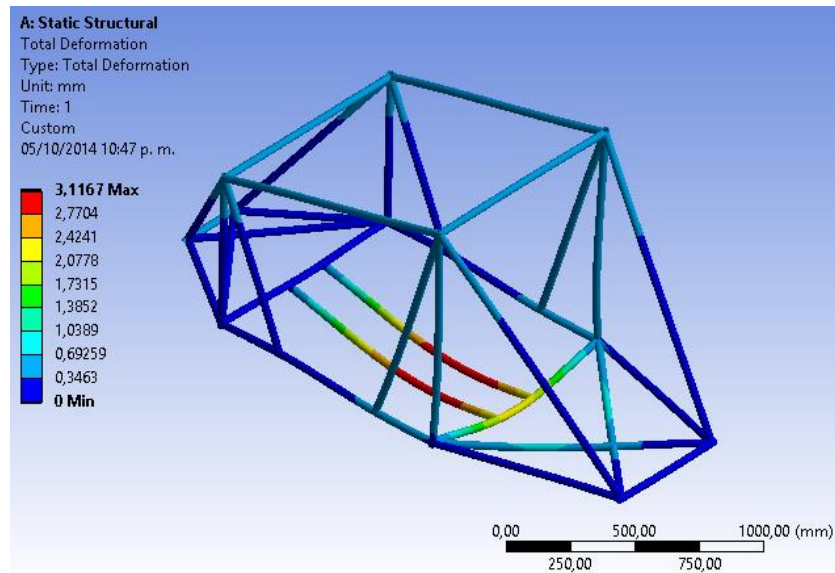


Ilustración 55. Deformación del chasis en condiciones de aceleración

En la Ilustración 56 se encuentra el resultado del esfuerzo de Von Mises con un valor de 65.26MPa, el cual muestra un aumento en relación al resultado de la simulación del chasis en reposo que tiene un valor 64.45, presentando el resultado esperado como consecuencia a la acción de acelerar.

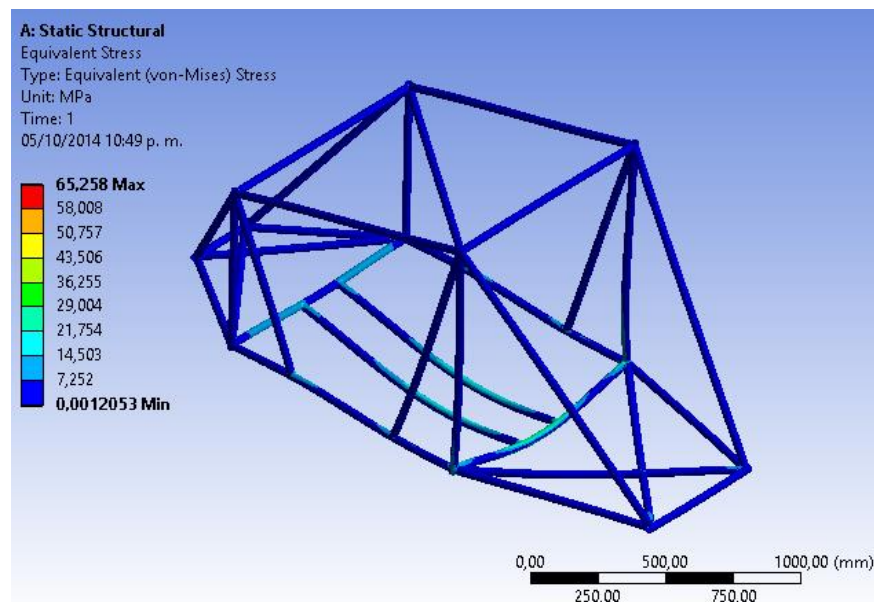


Ilustración 56. Esfuerzo de Von Mises en condiciones de aceleración

6.5.2 Frenado

La condición de un frenado brusco es necesario representarla para verificar que las deformaciones tengan un valor moderado y que no conlleve a un daño estructural del chasis, para esto es necesario conocer la tensión máxima de Von Mises y las deformaciones sobre la estructura.

La prueba de frenado en el software se realizó usando apoyos fijos en la ubicación de los ejes de las ruedas y asignando el valor correspondiente a la desaceleración del chasis. Dicha desaceleración se calcula a partir de algunas ecuaciones dinámicas.

Inicialmente se requiere conocer la distancia que recorre el vehículo para detenerse cuando va a su máxima velocidad (6.71 m/s), para esto la comisión nacional de seguridad de tránsito de Chile (CONASET, 2014, seguridad vial), expone una relación estadística de la distancia de frenado de un vehículo, según la siguiente ecuación:

$$X_{frenado} = \frac{v^2}{170} \quad \text{Ecuación [14]}$$

Por lo tanto la distancia de frenado del vehículo es:

$$X_{frenado} = \frac{24^2}{170}$$
$$X_{frenado} = 3.4[m]$$

Al obtener la distancia de frenado es posible, calcular la aceleración de frenado (desaceleración) y el tiempo de frenado por medio de las ecuaciones de cinemática:

$$v_f = v_o^2 + 2a(x - x_0) \quad \text{Ecuación [15]}$$

$$0^2 = 6.71^2 + 2a(3.4 - 0)$$

$$0 = 6.71^2 + 6.8a$$

$$a = \frac{-6.71^2}{6.8}$$

$$a = -6.62 [m/s^2]$$

Teniendo la aceleración se calcula el tiempo que tarda el vehículo en detenerse, con la siguiente ecuación:

$$x = x_o + v_o t + \frac{1}{2} a t^2 \quad \text{Ecuación [16]}$$

$$3.4 = 0 + 6.71t + \frac{1}{2} (6.62)t^2$$

$$3.4 = 6.71t - 3.31t^2$$

Se resuelve por medio de la función cuadrática.

$$Y = ax^2 + bx + c \quad \text{Ecuación [17]}$$

$$-3.31t^2 + 6.71t - 3.4 = 0$$

$$y = \frac{-6.71 \pm \sqrt{6.71^2 - 4((-3.31)(-3.4))}}{-6.62}$$

$$y = [1], [1.02]$$

Obteniendo finalmente, el tiempo de frenado que corresponde a un (1) segundo aproximadamente.

Teniendo estos datos se realiza la correspondiente simulación, lo que resulta en un factor de seguridad de 4,1 (Ver Ilustración 57). Para realizar este análisis se ubican los apoyos en donde va el eje delantero y trasero y se sitúa en el centro de masa la desaceleración de -6.62m/s con una variación de tiempo de 0s a 1s en intervalos de 0.25s.

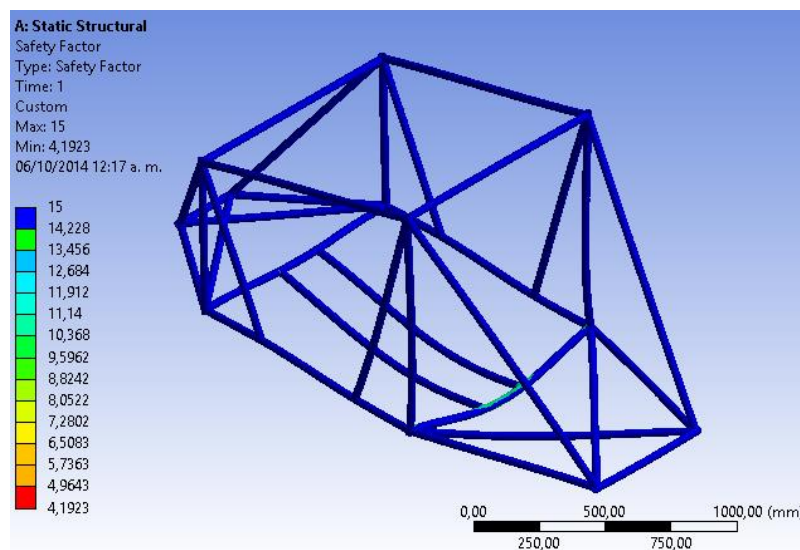


Ilustración 57. Factor de seguridad en condición de frenado

Después de obtener un factor de seguridad adecuado en el frenado, se considera la deformación máxima de la estructura en esta condición, la cual se observa en la Ilustración 58 con una deformación de 2.9mm, ubicada en la sección del piloto. Se enfatiza en mencionar que la deformación está en un rango permisible y no afecta la seguridad del conductor ni de la estructura.

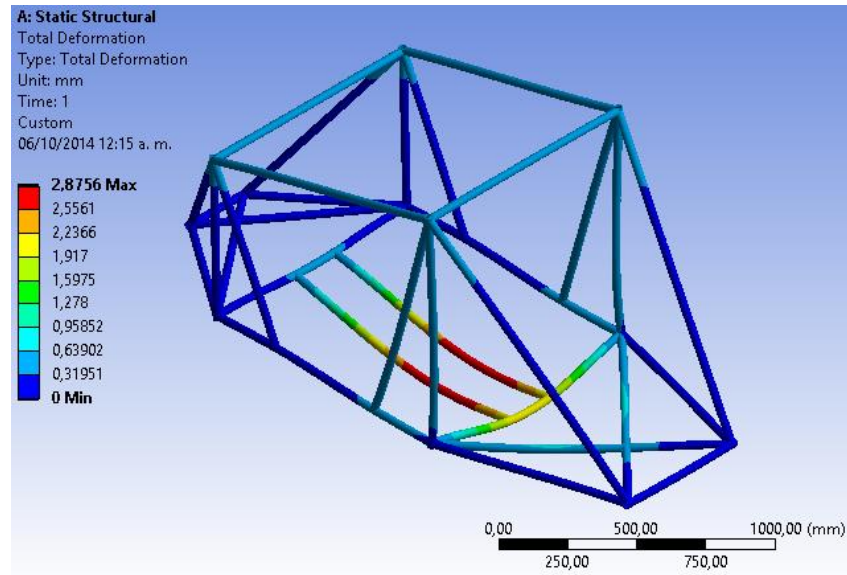


Ilustración 58. Deformación del chasis en condición de frenado.

El resultado del esfuerzo de Von Mises se encuentra en la Ilustración 59 con un valor de 66.8MPa, en comparación con la aceleración máxima de 65.26MPa se evidencia un aumento de los esfuerzos combinados, definiendo el frenado como una condición más crítica para el chasis.

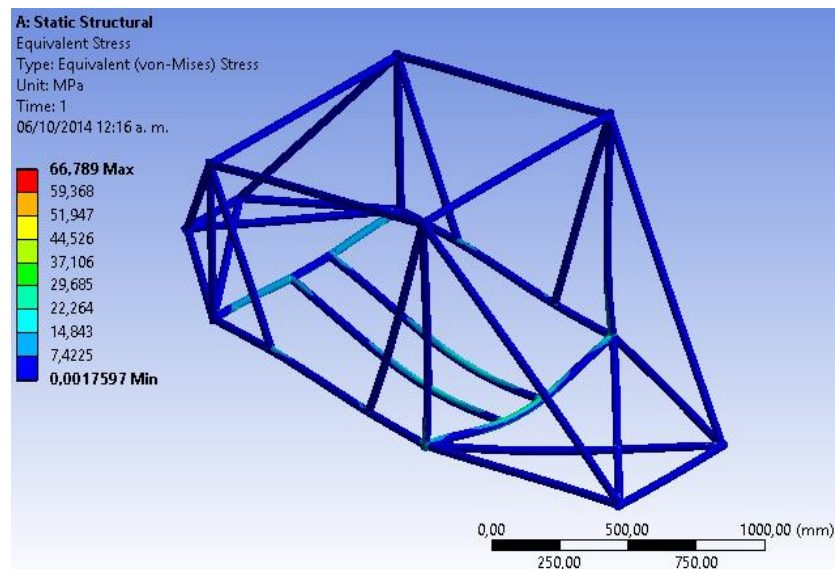


Ilustración 59. Esfuerzo de Von Mises en condición de frenado

6.5.3 Giro

Cuando el chasis está realizando un giro, este experimenta una aceleración centrípeta, aplicando mayor tensión en la sección contraria a la que estará girando. En este caso en la simulación se ubicaron los apoyos fijos en los ejes de las ruedas y se calculó la aceleración centrípeta. Se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

$$\text{Radio de giro}=6[\text{m}];$$

$$V_t=6.71 [\text{m/s}]$$

Con los datos obtenidos se puede calcular la aceleración tangencial, dada por la siguiente Ecuación [18]:

$$a_t = \frac{v_t^2}{r} \quad \text{Ecuación [18]}$$

Se reemplaza en la ecuación los valores de velocidad tangencial dada como un parámetro inicial de diseño y el radio de giro dado por la reglamentación de la competencia (Shell Eco Marathon, 2014, Artículo 48)

$$a_t = \frac{6.71^2}{6}$$
$$a_t = 7.5 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Esta aceleración a_t se ingresa al software y se obtiene un factor de seguridad de 3.5 (Ver Ilustración 60) para la estructura en condición de giro, teniendo como resultado el factor de seguridad más bajo en comparación al factor de seguridad del chasis en condición de aceleración máxima (FS=4.2) o frenado brusco (FS=4.1), clasificando un giro como una de las condiciones más críticas para un chasis. Sin embargo, esto no significa que la estructura no va a soportar esta condición, ya que el factor de seguridad está por encima del valor planteado para estructuras automotrices.

ESPACIO INTENCIONALMENTE DEJADO

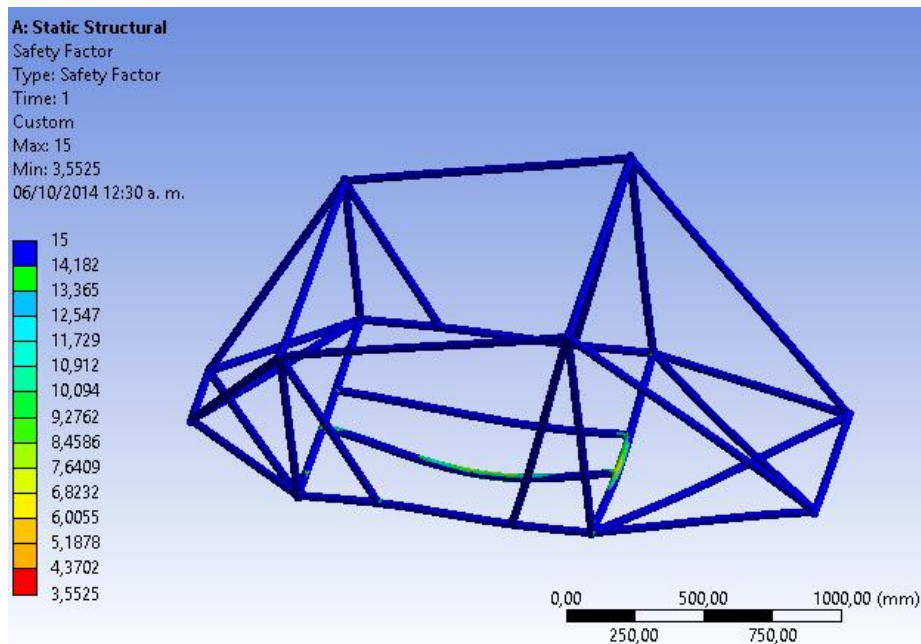


Ilustración 60. Factor de seguridad en condición de giro.

En la Ilustración 61 mostrada a continuación se puede observar la deformación que sufre un vehículo al realizar un giro, en donde un lado del perfil va a estar sometido a flexión y el otro lado a compresión. Observando que la mayor deformación se da en la barra más cercana al giro que soporta al piloto con un desplazamiento de 4.7mm, estando entre el rango admisible de deformación.

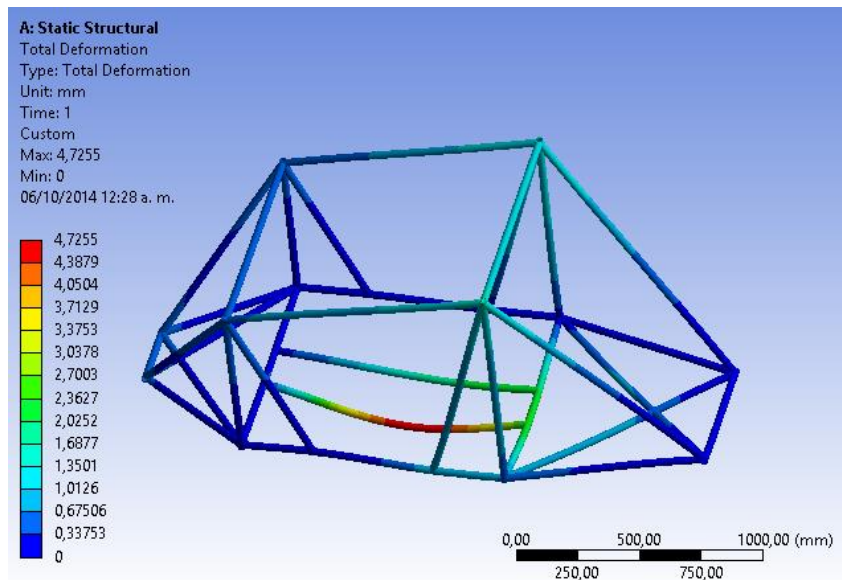


Ilustración 61. Deformación del chasis en condiciones de frenado

El resultado del esfuerzo de Von Mises en condición de giro se encuentra en la Ilustración 62 con un valor de 78.8MPa, en relación a la aceleración máxima de 65.26MPa y el frenado de 66.8MPa se evidencia aumento de los esfuerzos combinados. Sin embargo, se sabe que la estructura resiste los esfuerzos obtenidos, pues el esfuerzo máximo no es superior al esfuerzo de fluencia del material.

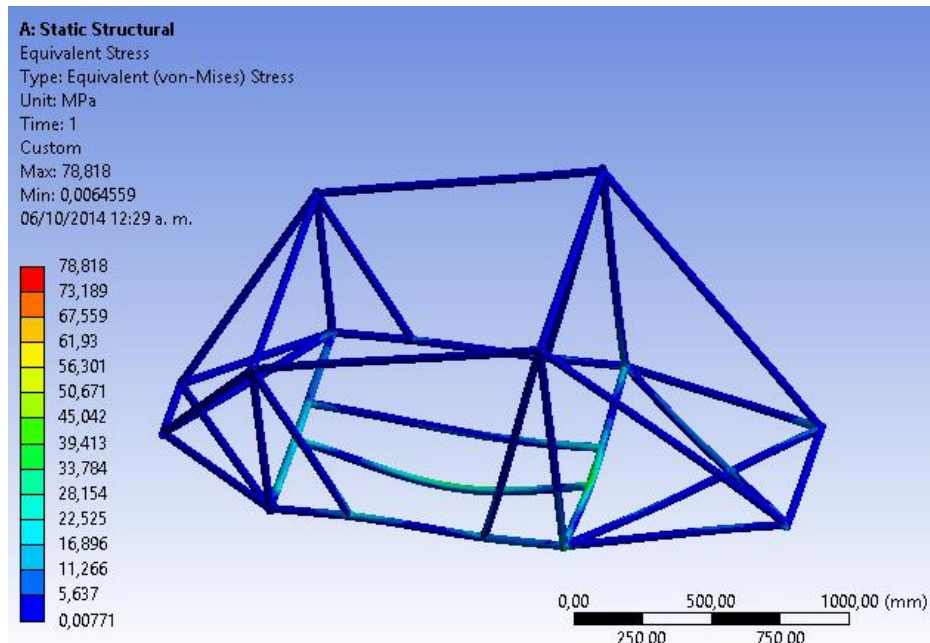


Ilustración 62. Esfuerzo de Von Mises en condición de giro

6.5.4 Volcado

En este análisis se va a evaluar el comportamiento del chasis en condición de volcado de forma estática, girando el vehículo alrededor del eje x, cambiando la ubicación de los apoyos que en este caso estarán situados en las cuatro barras superiores y los componentes estarán generando esfuerzos en sentido contrario bajo la acción de la gravedad.

En la Ilustración 63, se observa la capacidad que tiene el chasis de soportar las cargas a las que se somete en caso de un volcamiento, por medio del factor de seguridad de 3.92. Exponiendo que este comportamiento se refiere al momento en que el vehículo se encuentra en reposo apoyado en su parte superior.

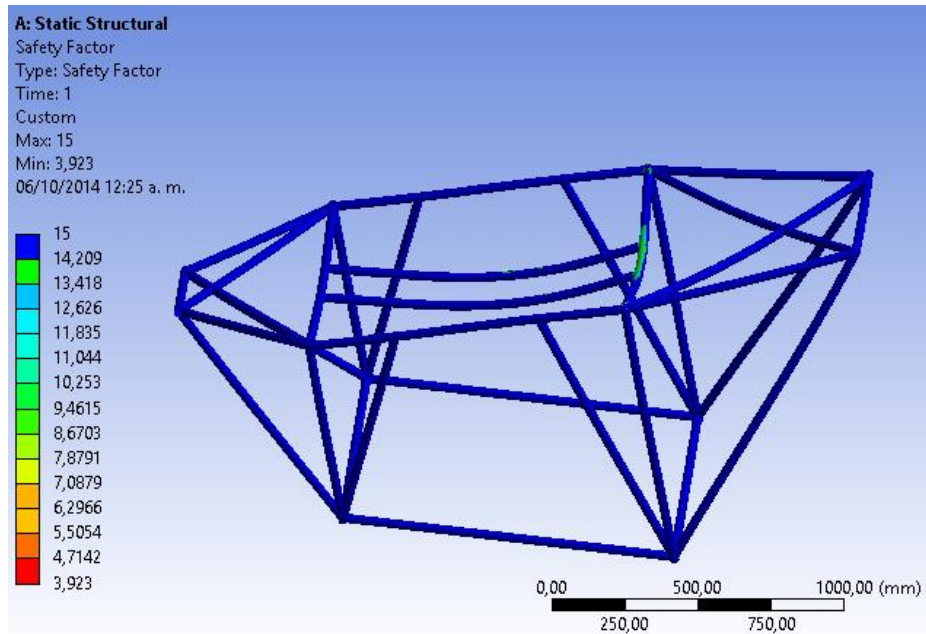


Ilustración 63. Factor de seguridad del chasis volcado

En cuanto a la deformación se obtuvo un valor máximo de 3.32mm (Ver Ilustración 64) ubicado en la sección del piloto. Reiterando que es una deformación mínima, que no afectará el bienestar físico e integral del conductor y de la estructura.

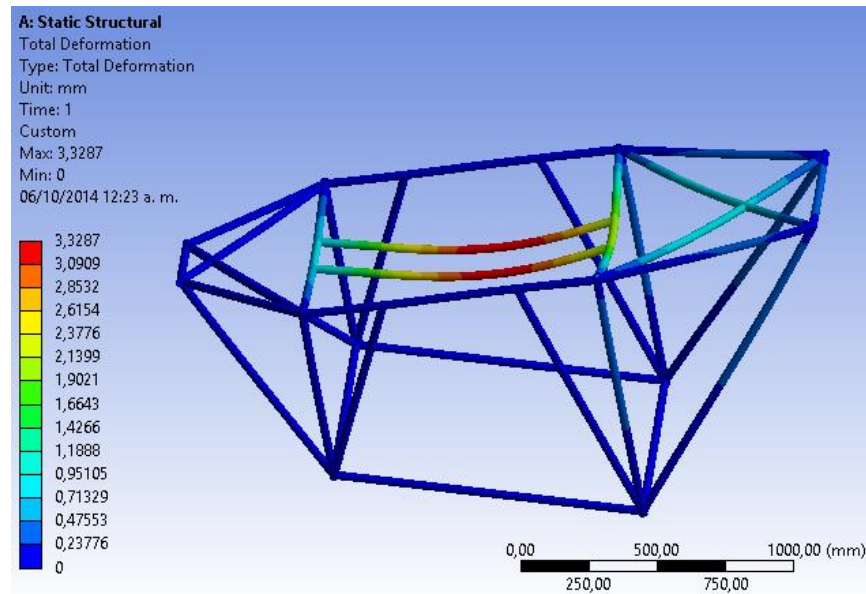


Ilustración 64. Deformación del chasis volcado

Teniendo en cuenta este evento que puede llegar a tener un vehículo, se evalúa el esfuerzo máximo al que va a estar sometida la estructura en esta condición que resulta de 71,37MPa (Ver Ilustración 65), mayor al esfuerzo de Von Mises hallado en condición de reposo sobre los ejes que fue de 64,45MPa, esto se debe a que la estructura aunque esta soportada por un superficie de mayor área, la inclinación a la que quedan sujetos los componentes y el piloto genera acumulación de esfuerzos mayor.

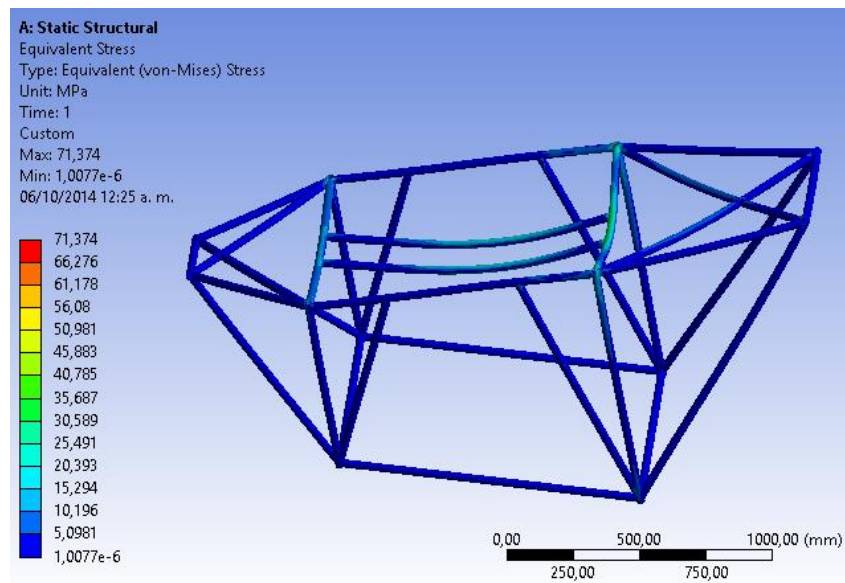


Ilustración 65. Esfuerzo de Von Mises chasis del chasis volcado

Al realizar todos estos análisis y verificar que la estructura cumple con todos los requerimientos solicitados por la Shell Eco Marathon, se precisa que el Diseño 3 satisface todas las necesidades de este proyecto, en cuanto a dimensiones y resistencia a las cargas a las que estará sometido el chasis durante su vida útil, destacando que al no realizar un análisis dinámico se debe establecer un criterio que respalde la resistencia del chasis ante un choque, siendo que el máximo esfuerzo presentado está por debajo del esfuerzo de fluencia del aluminio 6061-T6 y como tal está por debajo del valor de resiliencia del material, que en relación a la tenacidad va a demostrar que este está en capacidad de absorber la energía que conlleva un impacto sin llegar a romperse.

La representación de dicho chasis se puede observar en la Ilustración 66 y la Ilustración 67.

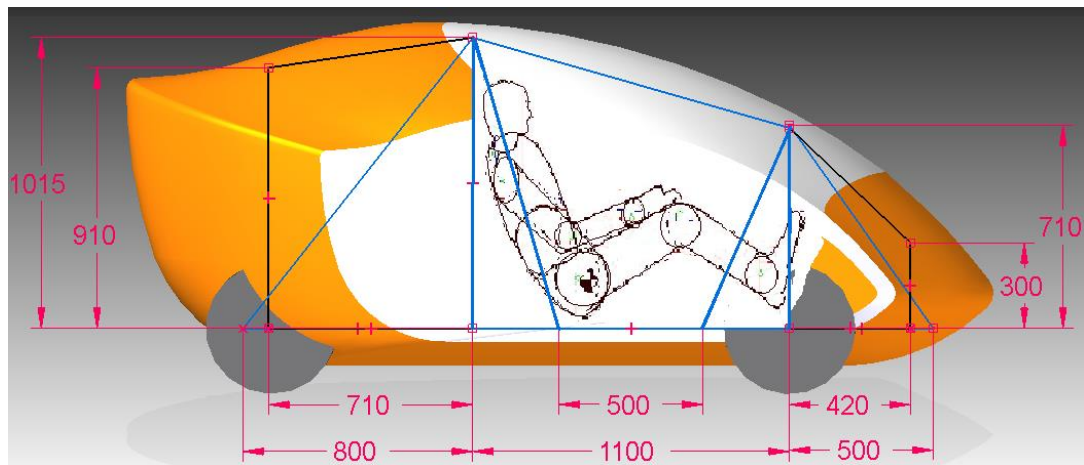


Ilustración 66. Estructura final vista lateral, ubicación de componentes y dimensiones [mm]

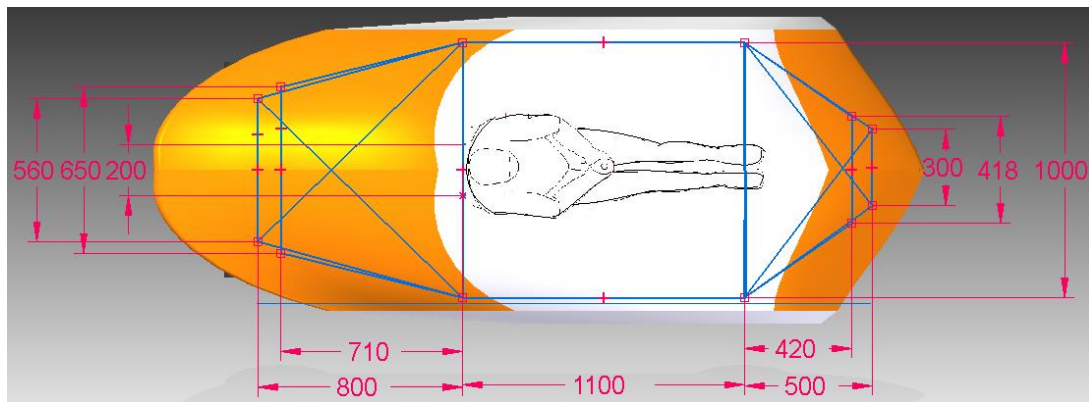


Ilustración 67. Estructura final vista superior, ubicación de componentes y dimensiones [mm]

7. SOLDADURAS

La soldadura es un proceso de unión de piezas que se logra a partir de un proceso de fusión y/o presión, que causa ablandamiento o fusión entre los materiales, en algunos casos es suficiente utilizar la presión para obligar la combinación de las piezas, en otros casos es indispensable usar un elemento o material de aportación, para así, completar la junta de la soldadura. Actualmente es posible hacer soldaduras con diferentes materiales, tales como el plástico, el cristal y la cerámica, como menciona Larry Jeffus (Jeffus, 2009, pág.5), ya que anteriormente se realizaba únicamente con metales.

Cuando se utiliza material de aportación, se debe suministrar calor suficiente para fundir dicho material y ambas superficies, o simplemente el propio metal. Con el fin de obtener un óptimo resultado en la soldadura, es importante resaltar factores

como la composición química de los materiales involucrados, el tamaño del grano y el espesor de la placa, para lo cual se verifica que las fuerzas de unión entre el metal de aportación y las piezas que se van a soldar, sean mayores que las fuerzas de cohesión entre los átomos del material añadido. Sabiendo que uno de los efectos adversos de la soldadura, es que podría terminar deteriorando las propiedades de la pieza soldada.

Partiendo de la composición química de los materiales a soldar, el elemento más importante es el carbono pues interviene directamente en la soldabilidad, obteniendo un mejor resultado a medida que es inferior la cantidad de dicho elemento, debido a que influye en la dureza y la fragilidad de diversas formas; aunque, la cantidad de otros elementos también conlleva a ciertas características, que se analizan por medio de una fórmula que involucra el carbono equivalente. De igual forma, la resistencia al impacto es un factor relacionado con el tamaño del grano del metal, los aceros con grano fino demuestran buenos resultados de soldadura. Siendo el espesor de la lámina otro factor importante al momento de soldar, se debe tener claro que si el espesor a ser soldado disminuye la soldabilidad del material mejora, aunque las láminas de mayor grosor absorben el calor con tasas de enfriamiento más rápidas que las delgadas utilizando el mismo tipo de soldadura.

Existen varios tipos de soldadura por fusión que se comparan de la siguiente manera (Ver Tabla 26):

Tabla 26. Tipos de soldadura por fusión

Tipo de soldadura	Ventajas	Desventajas	Descripción
Soldadura con oxígeno y combustible gaseoso (oxicombustible)	<ul style="list-style-type: none"> Se usa en piezas con espesor de este 3 a 19mm. 	<ul style="list-style-type: none"> Limitado al corte de hierro colado, aceros y titanio. Algunos aceros requieren pre-calentamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Usa como gas combustible el acetileno, en la fabricación de carrocerías de vehículos, laminas metálicas y otros trabajos de reparación.
Soldadura de arco sumergido (SAW)	<ul style="list-style-type: none"> Soldadura de alta calidad Rápida ejecución Usada en trabajos de gran longitud Se evitan chispas y salpicaduras 	<ul style="list-style-type: none"> Su función se dificulta en soldaduras horizontales 	<ul style="list-style-type: none"> Por medio de un arco eléctrico entre cada pieza a unir y un electrodo se genera el calor para la fusión
Soldadura de arco, metal y gas (GMAW): MIG	<ul style="list-style-type: none"> Usada en material metálico ferroso y no ferroso de varias aleaciones y aplicaciones Optimo resultado en aluminio Usado en la unión 	<ul style="list-style-type: none"> Uso en secciones delgadas, con espesor inferior a 6mm o podría originar una fusión incompleta. 	<ul style="list-style-type: none"> Soldadura de metal en gas inerte (MIG) Protege el área de soldadura con una atmosfera inactiva de argón, helio u otros gases. Se mantiene el arco

Tipo de soldadura	Ventajas	Desventajas	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> de los chasis tipo cercha y carrocerías. Tolera aberturas y desajustes 		eléctrico con alambre consumible que funciona como electrodo junto a las piezas a unir.
Soldadura de arco, gas tungsteno (GTAW): TIG	<ul style="list-style-type: none"> Obtiene cordones más resistentes y dúctiles. Soldadura de alta calidad Empleada en casi todos los metales 	<ul style="list-style-type: none"> Usa un electrodo de tungsteno, el cual no es consumible. 	<ul style="list-style-type: none"> Usa argón y el helio para proteger el arco de la soldadura.
Soldadura por electroescoria (ESW)	<ul style="list-style-type: none"> Permite soldar placas de 50 a más de 900mm de espesor. Bajo costo Mínima tensión transversal 	<ul style="list-style-type: none"> La cantidad de energía que se utiliza produce un enfriamiento lento. Baja resiliencia en la zona afectada por calor 	<ul style="list-style-type: none"> El arco se inicia desde la punta del electrodo y el fondo de la pieza por soldar Durante el proceso al llegar la escoria fundida a la punta del electrodo, el arco se extingue.
Soldadura de arco de plasma (PAW):	<ul style="list-style-type: none"> Permite soldaduras más angostas y profundas Se usa para soldar metales de espesor inferior a los 6mm. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo del equipo Mayor tamaño de la boquilla que otros procesos. Tiende a restringir el acceso a ciertas juntas 	<ul style="list-style-type: none"> En la zona de soldadura se origina un arco concentrado de plasma, el plasma se inicia entre el electrodo de tungsteno y el orificio, por medio de un arco de baja corriente.

Para seleccionar el tipo de soldadura que se requiere, se debe tener en cuenta diversos factores como se menciona en el libro Manufactura, ingeniería y tecnología, “la selección de un proceso de soldadura para determinada operación depende del material de la pieza, de su espesor y su tamaño, de la complejidad de su forma, del tipo de unión, de la resistencia requerida y el cambio en la apariencia del producto causado por la soldadura” (Kapakjian, 2002, Pág. 795).

Sabiendo que el material adecuado para el diseño del vehículo es el aluminio 6061-T6, se seleccionó un procedimiento de soldadura que se adecue a este, pretendiendo formar una unión ideal y resistente para la estructura a construir. Partiendo de la investigación realizada acerca de los diferentes tipos de soldadura se determinó que la ideal es la tipo MIG, debido a que permite el uso en metales de diferentes aleaciones, y que se usa en láminas de secciones delgadas, como es el caso de esta estructura que se construirá en tubos de aluminio con espesores inferiores a los 6mm. Adicionalmente, en la ficha técnica del aluminio

6061-T6 (Anexo C) se resaltan las excelentes características para soldadura fuerte y al arco, siendo la MIG una soldadura al arco, además de ser el tipo de soldadura usada frecuentemente en los chasis de configuración similar, es decir, tipo cercha.

La soldadura tipo MIG utiliza un hilo para soldar que se alimenta automáticamente, a una velocidad constante con un electrodo, generando un arco entre el metal base y el hilo. Debido al calentamiento se funde este, uniendo las placas (Jeffus, 2008, pág.1). Durante el proceso, se insufla gas en la zona de fusión, permitiendo la formación de la columna de gas ionizado que protege la soldadura de la atmosfera, evitando la oxidación del metal base; este gas depende del material que se va a soldar. En cuanto al cordón de soldadura debe quedar convexo, esto se debe al amperaje y voltaje requerido según el espesor de estos perfiles para evitar daños en la estructura.

Algunos de los beneficios de este procedimiento son:

- Ofrece mayor consistencia debido a las altas velocidades de la soldadura y la baja corriente, evitando daños en áreas cercanas a causa del calor.
- Permite soldaduras verticales y/o horizontales gracias a la rapidez de fundición del metal.
- Brinda calidad de unión en poco tiempo comparado con los demás tipos.
- Es muy usado por los fabricantes de automóviles con aceros de baja y media aleación.
- Permite soldar láminas de aluminio y fundiciones de aluminio.

El equipo usado en este tipo de soldadura está compuesto básicamente por una pistola, la unidad de alimentación de hilo, un suministrador de hilo, la fuente de alimentación, un suministrador de gas protector con regulador de caudal, un circuito de control y las mangueras, como se puede observar en la Ilustración 68.

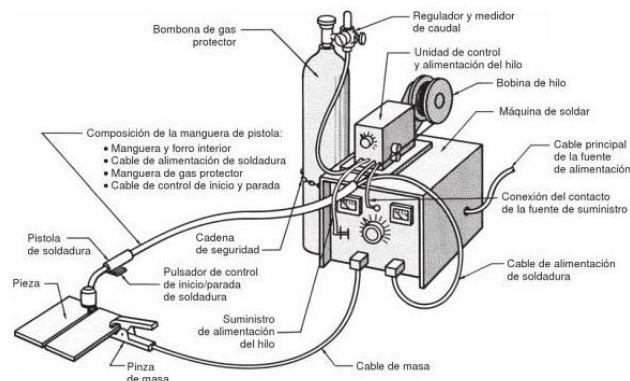


Ilustración 68. Equipo de soldadura por arco metálico con gas protector. Fuente: Jeffus, 2008

En la soldadura MIG se utiliza como gas protector el Argón y el dióxido de carbono, para seleccionar el gas protector correcto se debe tener en cuenta los siguientes factores como lo indica Larry Jeffus estos son: el método de transferencia del metal, la forma del cordón de soldadura, velocidad de soldadura, discontinuidades y salpicaduras de las soldadura, tipo de metal base y de aportación, coste del gas entre otros.

Por lo tanto, se elige la soldadura MIG AW ER 5356 según AWS para especificaciones de ingeniería, su voltaje será de 17v, la velocidad de salida de alambre será de 12cm/s y con protección de gas Argón puro.

Para mayor información acerca del procedimiento de soldadura tipo MIG, las técnicas de soldadura, modos de transferencia, parámetros de soldadura, normalización en dibujo técnico de soldadura, información general de juntas y cordones, representación de la soldadura en los dibujos, remítase al Anexo I.

8. CONCLUSIONES

- Cuando se realiza el diseño de una estructura a partir de un diseño base se debe tener en cuenta diferentes factores que pueden influir en el cambio de esta; factores como la selección del material, la distribución de esfuerzos y deformaciones, podrían conllevar al cambio drástico de dicho modelo, ya que no es seguro que este cumpla con los requerimientos. Por tal motivo es indispensable no ceñirse simplemente a este diseño, sino considerar otras posibles soluciones del problema planteado.
- En el diseño uno de los pasos más importantes es la selección del material o materiales, para esto existen diferentes métodos de selección tanto matemáticos como teóricos. Como se pudo ver en el desarrollo de este proyecto, en algunos casos utilizar un solo método de selección hace de este un método complejo y en algunos casos superficiales, mientras que al aplicar más de un método, se tendrán más filtros para llegar con mayor seguridad al material ideal. En este caso el rango de materiales existentes que cumplían con el esfuerzo de fluencia requerido era muy amplio, por lo que se optó por combinarlo con un método de selección teórico llamado índice de mérito, por los cuales se obtuvo el material o los materiales aptos para esta estructura.
- Inicialmente por los resultados de las simulaciones se puede considerar que el chasis en acero es más seguro que el chasis en aluminio debido a su rigidez, ya que la tendencia en las simulaciones era una deformación inferior de la estructura en acero A36 que en aluminio 6061-T6; sin embargo, el factor de

seguridad depende del esfuerzo de fluencia del material, por lo que se demostró que el factor de seguridad de la estructura en aluminio es superior al del acero, puesto que tiene la característica de deformarse y volver a su estado inicial con esfuerzos superiores, ya que el esfuerzo de fluencia del aluminio es de 276MPa y por lo tanto mayor que el del acero que es de 250MPa. Sabiendo que el módulo de elasticidad es mayor el del acero y es lo que le permite soportar mayores esfuerzos sin deformarse como el aluminio, mostrando mayor rigidez en la estructura pero esto no es suficiente para determinar que la estructura es más segura.

- Con respecto al análisis de los diferentes comportamientos tales como: reposo, aceleración, frenado, giro y volcamiento, se puede observar que la estructura en cumplimiento con los requerimientos tendrá la capacidad de aplicar sin ningún problema estos comportamientos, aun realizando la acción más crítica siendo esta el giro, se destaca que la estructura tiene el factor de seguridad adecuado para considerarse segura. Además que el esfuerzo máximo soportado por la estructura en este caso no sobrepasa el límite de fluencia del Aluminio 6061-T6.

9. RECOMEDACIONES

- No realizar análisis estáticos para vigas individuales cuando hacen parte de una estructura, ya que los esfuerzos y los momentos son diferentes pues no tienen en cuenta las reacciones que crean las uniones con las demás vigas.
- No utilizar un solo método de selección de materiales, ya que la combinación de dos métodos hace más precisa la selección final.
- Para realizar el análisis en APDL se debe tener en cuenta el Anexo E para llevar a cabo el procedimiento adecuado.
- En caso que el material se seleccione teniendo en cuenta únicamente el esfuerzo de fluencia, se recomienda usar el aluminio 6061-42, el cual posee un esfuerzo de fluencia de 79MPa sin embargo debe tener en cuenta que el chasis a diferentes movimientos podría no soportar.
- Se sugiere que la carrocería sea fabricada en fibra de vidrio y los vidrios en policarbonato de acuerdo con la reglamentación de *Shell Eco Marathon* (Shell Eco Marathon, 2014, artículo 25).
- En cuanto a la unión de los componentes al chasis se sugiere que la base sea soldada en la sección dispuesta a su correspondiente ubicación.

10. BIBLIOGRAFÍA

10.1. FUENTES PRIMARIAS

- ASM Handbook. (2001). Volume 21, Composites. ASM International. Cuarta impresión.
- Beer, Ferdinand. (2007). Mecánica vectorial para ingenieros, Dinámica. México. Editorial Mc Graw Hill. Octava edición.
- Beer, Ferdinand. (2007). Mecánica vectorial para ingenieros, Estática. México. Editorial Mc Graw Hill. Octava edición.
- Bernal, C. (2006). *Metodología de la Investigación Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. México. Editorial Pearson Educación. Segunda Edición.
- Cortés, Diego F. 2014. Diseño y selección del sistema de propulsión de un vehículo urbano aplicado a la competencia Eco Shell Marathon. Universidad de San Buenaventura.
- España, Esteban. 2014. Selección y diseño de sistemas para un vehículo urbano aplicado a la competencia de Shell Eco Marathon. Universidad de San Buenaventura.
- Foale, Tony. (2003). *Motocicletas: Comportamiento dinámico y diseño de chasis: el arte y la ciencia*.
- Giachino, Joseph. (1991). *Técnica y práctica de la soldadura*. España. Editorial Reverté
- Happian, Julian. (2001). *An introduction to modern vehicle design*. India. Editorial Plantatree.
- Hibbeler, R.C. (2006). *Mecánica de materiales*. México. Pearson Prentice Hall. Sexta edición.
- Houldcroft P.T. (2000). *Tecnología de los procesos de soldadura*. Barcelona. Biblioteca CEAC de mecánica.
- Jeffus, Larry. (2009). *Soldadura: Principios y aplicaciones*. Madrid. Editorial Paraninfo. Quinta edición.
- Jeffus, Larry. (2008). *Manual de soldadura GMAW (MIG-MAG)*. Madrid, España. Editorial Paraninfo.

- Jimeno, Emilio. (2004). Metalurgia general volumen 2. España. Editorial Reverté
- Kalpakjian. (2002). Manufactura (Ingeniería y tecnología). México. Editorial Prentice Hall. Cuarta edición.
- Maldonado, Diego. 2014. Análisis aerodinámico de un vehículo urbano mediante dinámica de fluidos computacionales aplicado a la competencia de Shell Eco Marathon. Universidad de San Buenaventura.
- Mesa, Michael. 2014. Diseño de un motor a pistón para un vehículo urbano aplicado a la competencia Shell Eco-Marathon. Universidad de San Buenaventura
- MIL-HDBK-5J, Military Handbook 5J. 2003. Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures.
- Molera, Pere. Soldadura industrial: Clases y aplicaciones. (1992). Editorial Marcombo.
- Shell Eco-Marathon, Official Rules 2014. (2014). Disponible en <http://s01.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/sem-global-official-rules-chapter-1-2014.pdf>

10.2. FUENTES SECUNDARIAS

- Alonso, José Manuel. (2008). Técnicas del Automóvil: Chasis. Editorial Paraninfo. Octava edición.
- Andrade, Alex F. Diseño y construcción del chasis para un vehículo tipo Buggy de la formula automovilística universitaria (FAU). Ecuador.
- Jiménez, Alberto. Diseño y análisis de un chasis tipo carcass mediante el método de los elementos finitos. Madrid. Universidad Carlos III.
- Torres S, Jaime. (2002). Evolución micro estructural de la aleación de aluminio 6061 durante el proceso de soldadura MIG.

10.3. CIBERGRAFÍA

- Aratec, ingeniería. (2011). Clasificación de los aceros. [En línea]. <http://www.e-bookspdf.org/view/aHR0cDovL3d3dy5pbmdlbWVjYW5pY2EuY29tL3R1dG9yaWFsZXMvdHV0b3JpYWxlc2RlbGFzZW1hbmEvVHV0b3JpYWxfTjEwMV8yMDExLnBkZg==/Q2xhc2lmaWNhY2nDk24gRGUgTG9zIEFjZXJvcyAtIEluZ2VuaWVyw61hE1Y8OhbmljYSBZ> [Consultado en octubre 28 de 2014].
- Bosh. (2011). Bosh Batteries: Optimum Starting Power for All Vehicles. [En línea]. www.boschautoparts.com/Batteries/Documents/2213441_BAT_TRDBRO_0114.pdf [Consultado en octubre 2 de 2014].
- Calvo, Arturo. Diseño y análisis de un chasis para un prototipo de formula SAE. [En línea]. Universidad Pontificia De Comillas. <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/449ebf8be3cd4.pdf> [Consultado en diciembre 14 de 2013].
- Castro, Guillermo. (2009). Aceros. [En línea]. Universidad de Buenos Aires. http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Aceros.pdf
- Chennamsetti, Ramadas. (2014). Theories of failure. [En línea]. Defence R&D organization. <http://imechanica.org/files/theories%20of%20failure.pdf>
- Estévez, Ricardo. (2011). Shell Eco Marathon: recorrer mucho, gastar poco. [En línea]. Eco inteligencia. <http://www.ecointeligencia.com/2011/06/shell-eco-marathon-recorrer-mucho-gastar-poco/>
- Garzón, Jerónimo. (2012). Mecánica del automóvil parte I. [En línea]. <http://jeroitim.blogspot.com/2012/05/v-behaviorurldefaultvmlo.html> [Consultado en mayo 4 de 2013].
- Ingeniería del diseño. (2013). Etapas de una investigación experimental [En línea]. <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6837/05Jcb05de16.pdf;jsessionid=6A0545D8F59A109247D9624C24F08047.tdx2?sequence=5>. [Consultado en agosto 28 de 2013]
- Instron. (2014). Glossary of Materials Testing. [En línea]. <http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Yield-Strength.aspx>. [Consultado en septiembre 3 de 2014]
- Jain, Atishay. (2014). Computational Analysis and Optimization of Torsional Stiffness of a Formula-SAE Chassis [En línea]. SAE Technical Paper 2014-01-0355. <http://papers.sae.org/2014-01-0355/>. [Consultado en agosto 9 de 2014]
- Kartban. (2012). Competición y material para karting. [En línea]. <http://www.kartbancompeticion.com/articulos-y-noticias/presentacion-de-la-nueva-gama-de-chasis-birel-2012/>. [Consultado en septiembre 28 de 2014].

- Llano, Jorge. (2012). Materiales II. [En línea]. Universidad de Ibagué. <http://www.slideshare.net/jorgefllano/materiales-ii-seleccin-de-materialessemana-5sesin-2>. [Consultado en junio 7 de 2013].
- Manual de diseño para la construcción con acero. (2013). [en línea]. Normas y características a las que se sujetan los aceros fabricados por altos hornos de Mexico. http://www.ahmsa.com/Acero/Complem/Manual_Construccion_2013/Capitulo_1.pdf [consultado en octubre 28 de 2014].
- Mater Dei Supermileage Team. (2014). Mater Dei High School. [En línea]. <http://mdsupermileage.weebly.com/>. [Consultado en agosto 10 de 2014].
- Matweb. (2014). Material Property Data. [En línea]. <http://www.matweb.com>
- Módulo de soldadura. Estudio de la soldabilidad de los aceros [en línea]. Escola profesional salesians. <http://sputnik.epsj23.net/~eserra/mec/sold/sold.pdf>
- Procesos de soldadura [en línea]. Notiacesco. Cuarta edición. <http://www.acesco.com/acesco/boletines/Notiacesco4.pdf> [Consultado en abril 11 de 2014]
- Propiedades del acero usado en laminado en frío [en línea]. Capítulo 2. <http://sputnik.epsj23.net/~eserra/mec/sold/sold.pdf>
- SAE International. (2014). [En línea]. Training.sae.org. [consultado en septiembre 3 de 2014]
- SERWAY, Jewett. (2010). Coeficientes de Fricción [en línea]. 9ª ed. California. http://didactica.fisica.uson.mx/tablas/coefficients_of_friction.htm. [consultado 07 Agosto 2013].
- Tecniaceros. Aluminio 6061-T6 (AISI/ASTM). Anexo 2. <http://tecniaceros.com/pdfs/aluminio.pdf>. [Consultado en marzo 21 del 2014].
- Torrano, Santiago. (2011) Apuntes de Elasticidad y Resistencia de Materiales. [En línea]. <https://es.scribd.com/doc/196650742/Apuntes-de-Elasticidad-y-Resistencia-de-Materiales-Santiago-Torrano-D-Herrero-Perez>
- Torres S, Jaime. (2002). Evolución micro estructural de la aleación de aluminio 6061 durante el proceso de soldadura MIG [en línea]. <http://www.redalyc.org/pdf/852/85201205.pdf>
- UBC supermileage. (2014). Previous vehicles [En línea]. <http://supermileage.ca/team/previous-vehicles/>

Unesid. El mundo a través del acero [en línea]. Fundación unión de empresas siderúrgicas. <http://www.unesid.org/EIMundoATravesDelAcero/05.html>

Velázquez, Juan. (2013). Análisis, diseño y construcción de un chasis en material composite [en línea]. Universidad Politécnica de Catalunya. <http://www.upc.edu/euetib/xiicuiiet/comunicaciones/din/comunicacions/182.pdf>