



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DISEÑO DEL CHASIS  
DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA  
COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON  
AMERICAS”**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:  
**JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA**

DIRECTOR DE TESIS:  
**ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO**



CIUDAD UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE, 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



---

## DEDICATORIAS

*A mis padres:*

*Como testimonio de gratitud y eterno reconocimiento, por el apoyo que siempre se me ha brindado y con el cual he logrado terminar mi carrera profesional, siendo para mí, la mejor de las herencias.*

*A mis hermanos:*

*Por su apoyo y motivación incondicional que me han ofrecido para la conclusión de mi carrera profesional.*

---

---

---

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UNAM y sobre todo a la Facultad de Ingeniería por permitirme realizar mi formación profesional como ingeniero.

Al Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT) por permitirme el uso del equipo de cómputo para la realización de esta tesis.

A los miembros del jurado, por el tiempo dedicado a la revisión y por los consejos dados para la mejora de esta tesis.

Presidente: Dr. Leopoldo Adrián González González  
Vocal: Ing. Mariano García del Gállego.  
Secretario: M.I. Antonio Zepeda Sánchez  
1er. Suplente: M.I. Carlos Alberto Pineda Figueroa  
2do. Suplente: Dr. Fernando Velázquez Villegas



---

---

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>Listado de figuras</b> .....	<b>I</b>
<b>Listado de tablas</b> .....	<b>IV</b>
<b>Nomenclatura</b> .....	<b>IV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b><u>Capítulo 1</u></b>	
<b>1 Descripción del proyecto</b> .....	<b>3</b>
1.1 Shell Eco-marathon Americas .....	4
1.2 Planteamiento del problema .....	5
1.3 Objetivos .....	5
1.4 Hipótesis .....	6
<b><u>Capítulo 2</u></b>	
<b>2 Marco teórico</b> .....	<b>7</b>
2.1 Chasis .....	8
2.2 Tipos de chasis .....	8
2.2.1 Independiente .....	8
2.2.2 Autoportante .....	10
2.2.3 Marco espacial .....	12
2.3 Situación actual del diseño y construcción de chasis .....	14
2.4 Criterios de diseño mecánico .....	15
2.4.1 Determinación de cargas .....	15
2.4.2 Distribución de masas .....	19
2.4.3 Rigidez torsional .....	20
2.4.4 Rigidez a flexión .....	22
2.5 Método de los elementos finitos .....	22
<b><u>Capítulo 3</u></b>	
<b>3 Metodología de diseño</b> .....	<b>25</b>
3.1 Análisis del problema .....	26
3.1.1 Definición del problema .....	26
3.1.2 Objetivos de diseño .....	26
3.1.3 Determinación de sistemas y funciones .....	26
3.1.4 Requerimientos de diseño .....	26
3.1.5 Especificaciones de diseño .....	28

---

---

---

	<b>Página</b>
3.2 Diseño conceptual .....	30
3.2.1 Selección del tipo de chasis.....	30
3.2.2 Presentación de opciones de diseño .....	35
3.2.3 Diseño de configuración .....	40
3.3 Diseño de detalle.....	44
3.3.1 Selección de materiales .....	44
3.3.2 Simulación FEM del chasis.....	46
3.4 Manufactura .....	52
<b><u>Capítulo 4</u></b>	
<b>4 Análisis y discusión de resultados .....</b>	<b>53</b>
4.1 Distribución de masas .....	54
4.2 Análisis de las simulaciones FEM .....	54
4.2.1 Cargas vivas y muertas.....	55
4.2.2 Cargas de impacto.....	57
4.2.3 Carga de frenado .....	60
4.2.4 Volcadura .....	62
4.2.5 Torsión .....	66
<b><u>Capítulo 5</u></b>	
<b>5 Conclusiones y trabajo a futuro .....</b>	<b>77</b>
5.1 Conclusiones .....	78
5.2 Trabajo a futuro.....	80
<b>Referencias .....</b>	<b>81</b>
<b>Anexo A</b>	
<b>Planos de fabricación.....</b>	<b>83</b>

---

**LISTADO DE FIGURAS**

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1.1 Vehículo presentado para el evento Eco Shell-marathon Europe 2011 categoría “UrbanConcept” .....	4
2.1 Chasis independiente tipo escalera de un camión Volvo FH .....	9
2.2 Chasis independiente en X de un DeLorean DMC-12 de 1981 .....	9
2.3 Chasis independiente perimetral de una Suzuki Grand Vitara SZ .....	10
2.4 Chasis autoportante con elementos desmontables de un Volvo C30 R-Design 2013 .....	11
2.5 Chasis monocasco de un Lamborghini Aventador LP700-4.....	12
2.6 Carga P aplicada a un elemento base de un marco espacial.....	13
2.7 Chasis tipo marco espacial de un vehículo Fórmula SAE.....	13
2.8 Chasis monocasco de Fibra de Carbono del prototipo Ferrari F70 .....	14
2.9 Chasis Space Frame® de un Audi R8 .....	14
2.10 Comparación de un chasis convencional con un chasis SKYACTIV-Body de Mazda .....	15
2.11 Fuerzas de frenado ejercidas sobre un vehículo .....	16
2.12 Fuerzas generadas en un vehículo durante una colisión frontal .....	18
2.13 Impacto frontal de un vehículo contra un objeto fijo .....	18
2.14 Fuerzas durante un impacto lateral.....	18
2.15 Ubicación de los centros de gravedad en un vehículo deportivo .....	20
2.16 Refuerzos en las uniones de un chasis tubular .....	21
2.17 Análisis por elementos finitos de un engrane en un software CAE .....	22
2.18 Mallado de un dominio en un software CAE .....	23
3.1 Ejemplo del uso de apéndices aerodinámicos en un vehículo de rally .....	27
3.2 Detalle de la altura requerida para la barra antivuelco .....	28
3.3 Vista frontal de la barra antivuelco que muestra el espacio entre barra y hombro del piloto .....	28
3.4 Carga estática aplicada a la barra antivuelco.....	29
3.5 Boceto de la propuesta de diseño del Body.....	36
3.6 Vista lateral del vehículo.....	36
3.7 Vista en isométrico del vehículo .....	36
3.8 Vistas frontal y trasera del vehículo .....	37
3.9 Vista superior del vehículo.....	37
3.10 Partición del Body para el diseño del semi-monocasco .....	38
3.11 Vista en isométrico del diseño de la parte central del semi-monocasco .....	38
3.12 Vista auxiliar de la parte central del semi-monocasco.....	39
3.13 Vista en isométrico del diseño de la parte frontal del semi-monocasco .....	39
3.14 Vista en isométrico del diseño de la parte trasera del semi-monocasco .....	39
3.15 Vista en isométrico del semi-monocasco .....	40
3.16 Vista auxiliar del semi-monocasco.....	40
3.17 Ubicación de la suspensión delantera en el semi-monocasco .....	41
3.18 Ubicación de la suspensión trasera y motor térmico en el semi-monocasco .....	41
3.19 Diferentes vistas del diseño de configuración completo del semi-monocasco .....	42
3.20 Vista de la unión Body – semi-monocasco 1 .....	42

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
3.21 Vista de la unión Body – semi-monocasco 2 .....	43
3.22 Vista de la unión Body – semi-monocasco 3 .....	43
3.23 Vista de la unión Body – semi-monocasco 4 .....	43
3.24 Creación FEM del ensamble del semi-monocasco.....	46
3.25 Mallado parcial del ensamble del semi-monocasco .....	47
3.26 Unión de mallas en el ensamble del semi-monocasco .....	47
3.27 Mallado completo del semi-monocasco.....	48
3.28 Asignación de materiales a las piezas del semi-monocasco .....	48
3.29 Selección del tipo de análisis FEM .....	49
3.30 Asignación de condiciones de frontera en el semi-monocasco.....	50
3.31 Generación de la matriz de rigidez global y del vector de carga global .....	50
3.32 Solución del sistema de ecuaciones .....	51
3.33 Representación gráfica de los resultados en el post-proceso .....	51
3.34 Diagrama de flujo de la propuesta de manufactura para el chasis .....	52
4.1 Tabla de propiedades físicas y ubicación del centro de masas del chasis .....	54
4.2 DCL del chasis para cargas vivas y muertas .....	55
4.3 Esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a cargas vivas y muertas.....	56
4.4 Detalle de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a cargas vivas y muertas .....	56
4.5 DCL del chasis carga por impacto frontal.....	57
4.6 Esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de impacto frontal .....	58
4.7 Detalle de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de impacto frontal .....	58
4.8 DCL del chasis para carga por impacto lateral.....	59
4.9 Esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de impacto lateral.....	59
4.10 Detalle de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de impacto lateral .....	60
4.11 DCL del chasis para carga de frenado.....	61
4.12 Esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de frenado .....	61
4.13 Detalle de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de frenado.....	62
4.14 DCL del marco espacial trasero y jaula antivuelco para volcadura con carga vertical .....	63
4.15 Esfuerzos de Von Mises de la jaula antivuelco sometida a prueba de volcadura con carga vertical .....	63
4.16 Detalle de los esfuerzos de Von Mises de la jaula antivuelco sometida a prueba de volcadura con carga vertical .....	64
4.17 DCL del marco espacial trasero y jaula antivuelco para volcadura con carga lateral .....	64
4.18 Esfuerzos de Von Mises de la jaula antivuelco sometida a prueba de volcadura con carga lateral .....	65
4.19 Detalle de los esfuerzos de Von Mises de la jaula antivuelco sometida a prueba de volcadura con carga lateral .....	65
4.20 DCL del chasis para prueba de torsión .....	66
4.21 Esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a prueba de torsión .....	67
4.22 Detalle 1 de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a prueba de torsión .....	67

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
4.23 Detalle 2 de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a prueba de torsión .....	68
4.24 Vista frontal de los desplazamientos del chasis sometido a prueba de torsión .....	68
4.25 DCL del chasis para prueba alternativa de torsión.....	70
4.26 Detalle de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a prueba alternativa de torsión.....	70
4.27 Vista frontal de los desplazamientos del chasis sometido a prueba alternativa de torsión .....	71
4.28 Vista inferior del semi-monocasco con refuerzo.....	73
4.29 Esfuerzos de Von Mises del chasis reforzado sometido a prueba de torsión.....	73
4.30 Detalle 1 de los esfuerzos de Von Mises del chasis reforzado sometido a prueba de torsión .....	74
4.31 Detalle 2 de los esfuerzos de Von Mises del chasis reforzado sometido a prueba de torsión .....	74
4.32 Vista frontal de los desplazamientos del chasis reforzado sometido a prueba de torsión .....	75
4.33 Gráfica momento torsional vs desplazamiento angular .....	76

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
3.1 Jerarquización de requerimientos de diseño.....	27
3.2 Tabla que compara las características de cada tipo de chasis. ....	31
3.3 Evaluación de criterios de diseño (matriz de decisión para chasis). ....	32
3.4 Descripción de criterios de diseño.....	32
3.5 Matriz de decisión ponderada para el chasis independiente en escalera o en H. ....	33
3.6 Matriz de decisión ponderada para el chasis independiente en columna o en X. ....	33
3.7 Matriz de decisión ponderada para el chasis independiente perimetral. ....	33
3.8 Matriz de decisión ponderada para el chasis autoportante con elementos desmontables. ....	34
3.9 Matriz de decisión ponderada para el chasis tipo monocasco.....	34
3.10 Matriz de decisión ponderada para el chasis tipo marco espacial. ....	34
3.11 Escala de los 5 puntos. ....	35
3.12 Evaluación de criterios de diseño (matriz de decisión para materiales).....	44
3.13 Matriz de decisión ponderada para la Fibra de Vidrio. ....	45
3.14 Matriz de decisión ponderada para la Fibra de Kevlar.....	45
3.15 Matriz de decisión ponderada para la Fibra de Carbono.....	45
3.16 Matriz de decisión ponderada para perfil estructural de Acero.....	45
3.17 Matriz de decisión ponderada para perfil estructural de Aluminio.....	46
3.18 Propiedades mecánicas de los materiales.....	49
4.1 Propuestas de marco de torsión .....	72
4.2 Resultados de las simulaciones del chasis reforzado para prueba de torsión.....	76

## NOMENCLATURA

CAD – Diseño Asistido por Computadora (Computer Aided Design).  
CAE – Ingeniería Asistida por Computadora (Computer Aided Engineering).  
CF – Condiciones de frontera.  
CFE – Condiciones de frontera esenciales.  
CFN – Condiciones de frontera naturales.  
DCL – Diagrama de cuerpo libre.  
FEM – Método de los Elementos Finitos (Finite Element Method).  
 $g$  – Fuerza  $g$  (aceleración gravitacional).  
GDL – Grados de libertad.  
SAE – Sociedad de Ingenieros Automotrices (Society of Automotive Engineers).  
SUV – Vehículo Deportivo Utilitario (Sport Utility Vehicle).

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de tesis se centra principalmente en el desarrollo del diseño de un chasis tipo semi-monocasco (marco espacial y monocasco), que forma parte del proyecto de un vehículo urbano híbrido biplaza para la competencia Shell Eco-marathon Americas en la categoría UrbanConcept Group, este proyecto será el primer vehículo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en competir en esta categoría de dicha competencia internacional.

El desarrollo de la tesis consta de cinco capítulos, comenzando con un capítulo destinado a los antecedentes y consideraciones que son necesarias para poder entender de qué se trata el proyecto desarrollado, desde la descripción de los puntos más importantes de la competencia, hasta el planteamiento del problema, hipótesis y los objetivos generales y específicos del proyecto.

La descripción de los conceptos básicos teóricos necesarios para la comprensión de los diferentes términos técnicos que se utilizan durante el desarrollo del diseño del chasis, se presentan en el capítulo dos, cuyo objetivo es mostrar la teoría necesaria para entender el resto de los capítulos de la tesis. En este capítulo se describen conceptos muy básicos desde que es un chasis vehicular, los tipos de chasis vehicular, la situación actual del diseño y fabricación de chasis, hasta conceptos no tan básicos que van enfocados hacia el diseño mecánico, como lo son la descripción de los principales criterios de diseño mecánico y la descripción del uso del método de los elementos finitos.

El capítulo tres está enfocado a la descripción detallada del proceso de diseño seguido en el proyecto, aquí se presentan los cuatro pasos principales que componen la metodología de diseño seguida, comenzando con el análisis del problema que consiste en la definición del problema así como también de los objetivos de diseño, requerimientos y especificaciones técnicas obtenidas después de analizar el reglamento de la competencia. Como todo proceso de diseño se describe también la etapa de diseño conceptual, donde se hizo un análisis de las posibles soluciones de diseño, con este análisis previo se generó y se presentó la propuesta de diseño del chasis así como también su diseño de configuración, al igual que el diseño conceptual todo proceso de diseño consta de un diseño de detalle, para ésta etapa de diseño se detalla la selección de materiales mediante matrices de decisión, también se explica el proceso general seguido para cada simulación FEM hecha. Por último se presenta una propuesta de los principales procesos de manufactura recomendados para llevar a cabo la fabricación del chasis.

La presentación de resultados se detalla en el penúltimo capítulo, que tiene como objetivo describir las consideraciones tomadas para cada simulación FEM de cada caso de estudio, para poder analizar los resultados obtenidos después de cada simulación.

En el cuarto capítulo se muestran los resultados obtenidos para el caso de estudio de distribución de masas, cargas vivas y muertas, carga debida a impacto frontal, carga por impacto lateral, caso de volcadura y el caso más importante de todos los anteriores; el caso de torsión. El estudio de estos casos consta de un análisis de desplazamientos máximos y de esfuerzos máximos de Von Mises, en el caso de torsión por ser el análisis más importante que se hizo durante el diseño del chasis, se expone cómo se obtuvo la rigidez torsional del chasis mediante un modelo matemático.

El quinto y último capítulo está destinado a la presentación de las conclusiones a las que se llegaron después de desarrollar el proyecto, las conclusiones están enfocadas hacia los resultados obtenidos y hacia el cumplimiento de los objetivos planteados en el primer capítulo. El último capítulo también presenta la propuesta de las futuras líneas de trabajo de este proyecto.

---

---

*CAPÍTULO*

***1***

*DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO*

**E**l primer capítulo de esta tesis incluye las consideraciones y antecedentes del proyecto, teniendo como objetivo justificar la naturaleza del mismo, su relevancia y originalidad.

## 1.1 Shell Eco-marathon Americas.

El proyecto consiste en el diseño, construcción y en pruebas de manejo para un prototipo de vehículo urbano de propulsión híbrida, diseñado para participar en el evento anual Shell Eco-marathon Americas, a celebrarse en las calles del centro de la ciudad de Houston, Texas.

Bajo el nombre “UrbanConcept”, Shell ofrece la oportunidad de diseñar y construir vehículos energéticamente eficientes, que se asemejen al tipo de autos de pasajeros que se producen en la actualidad como el que se muestra en la figura 1.1.

Los vehículos de la categoría “UrbanConcept” deben cumplir con el reglamento especificado por el Shell Eco-marathon, una característica particular para esta categoría es que el vehículo sea sometido a pruebas de manejo del tipo “stop & go”. [1]



Figura 1.1 Vehículo presentado para el evento Eco Shell-marathon Europe 2011 categoría “UrbanConcept”.

### *Competencia Urban Concept Group.*

Los participantes en esta categoría al igual que en el Prototype Group deberán completar 10 vueltas en la pista para una carrera completa.

Para que el intento de cada equipo sea validado, los equipos deben completar las 10 vueltas en la pista a una velocidad promedio de 15 [mph]. Esta velocidad promedio puede ser más baja a discreción de los organizadores del evento.

Los vehículos que participan en cada evento del Urban Concept competirán de la siguiente manera:

- Cada carrera consistirá de 10 vueltas alrededor de la pista.
- Durante cada carrera, los vehículos harán tres paradas a los pits con una duración de 10 segundos cada parada. Los organizadores del evento deberán indicar la ubicación de estas paradas a los pits en la pista. Durante las paradas a los pits, las luces de “Stop” del vehículo deben de operar, así como también el piloto debe hacer uso de las luces intermitentes.

Cualquier equipo que falle en completar con estas regulaciones estará sujeto a penalidades.

- Después de cada carrera, el consumo de combustible deberá ser medido usando el mismo método que en el caso del Prototype Group (Artículo 15 del reglamento [2]).
- Los resultados finales para el Urban Concept Group deberán ser determinados usando el resultado del mejor desempeño de cada equipo. [2]

## **1.2 Planteamiento del problema.**

En la actualidad el diseño de vehículos está enfocado a la baja emisión de contaminantes y sobre todo al consumo eficiente de combustibles, por lo que cada vez se está haciendo más popular la introducción al mercado de los vehículos híbridos de motor térmico y eléctrico, incluso también se están desarrollando vehículos 100% eléctricos; sin embargo, la tendencia actual es el automóvil híbrido antes de pasar a los 100% eléctricos en su totalidad.

Por otra parte el problema ambiental de las grandes ciudades y de su dificultad de circular por las calles sin encontrar problemas de tránsito, ha originado la idea de solucionar dichos problemas mediante el desarrollo de un vehículo urbano híbrido biplaza, el cual por sus pequeñas dimensiones y sus bajas emisiones es ideal para circular por las ciudades más pobladas, como lo es la Ciudad de México.

En este proyecto el problema principal es que en la actualidad no hay vehículos comerciales de este tipo en el país, por lo que su desarrollo implica conocer los principales problemas que origina cada sistema del vehículo, en particular uno de los problemas que enfrenta el diseño del chasis es tomar la decisión de qué tipo de chasis diseñar; así como decidir el material adecuado que cumpla con los requisitos establecidos en el proyecto, ya que se debe tomar en cuenta las características físicas que el Shell Eco-marathon indica; es decir, que el vehículo debe ser de pequeñas dimensiones y sobretodo de bajo peso vehicular.

## **1.3 Objetivos.**

Diseñar un chasis para un vehículo urbano híbrido biplaza que cumpla con la normatividad de la competencia y las condiciones de operación en la pista.

Dentro de los objetivos específicos es:

- Diseñar un chasis que cumpla con las normas que establece el reglamento del Shell Eco marathon.
- Analizar el comportamiento mecánico del chasis mediante el uso de software CAD-CAE.

#### **1.4 Hipótesis.**

Debido a la adecuada selección del material que cumple con las características mecánicas necesarias para el diseño del chasis y de los resultados obtenidos durante el análisis mediante FEM, éste será un chasis rígido, ligero y seguro, además de combinarse con un diseño elegante y atractivo, por lo que será apto para su posterior manufactura e implementación en la construcción del vehículo urbano híbrido biplaza, y será una pieza fundamental en el desempeño del vehículo en el Shell Eco-marathon.

---

---

*CAPÍTULO*

# 2

*MARCO TEÓRICO*

**E**n este capítulo se tiene como objetivo presentar los conceptos teóricos básicos y definiciones relacionadas al diseño del chasis, que hacen posible entender el proceso de diseño seguido en esta tesis.

## **2.1 Chasis.**

El chasis o bastidor se le llama a la estructura que sirve de sostén del vehículo, en donde se fijan los diferentes elementos que constituyen al automóvil tales como el tren motriz, la dirección, la suspensión, la carrocería, etc.

El chasis del vehículo es un elemento de suma importancia ya que además de soportar todo el peso de los elementos antes mencionados, éste debe estar diseñado para soportar sobrecargas de uso; es decir, debe soportar las cargas dinámicas originadas por el funcionamiento de los elementos que sostiene y sobretodo soportar también las fuerzas dinámicas originadas por el propio movimiento del vehículo. [3]

## **2.2 Tipos de Chasis.**

El desarrollo tecnológico que ha sufrido el automóvil a través de los años ha sido significativo, ya que en su totalidad ha estado en constante cambio, esto implica que también el diseño y construcción del chasis en los automóviles sea diferente al paso de los años debido a las diferentes soluciones estructurales empleadas, dichas soluciones dan paso a que en la actualidad se tengan opciones de configuraciones diferentes de diseño de chasis, tales configuraciones son principalmente tres; chasis independiente, monocasco y de marco espacial.

### **2.2.1 Independiente.**

Este tipo de chasis es el más antiguo de todos utilizado en la fabricación de automóviles, desde hace ya varias décadas este tipo de chasis sólo se aplica en la construcción de camiones, autobuses y automóviles todoterreno, que soportan grandes cargas.

Un chasis independiente consiste en un bastidor o plataforma separada de la carrocería, la carrocería se fija por medio de tornillos, remaches o soldadura y por lo tanto no tiene funciones de resistencia. En este tipo de chasis se fijan por separado tanto los componentes mecánicos como los de la carrocería, pudiéndose llegar al caso de separar la carrocería y que el vehículo pueda circular. En general el bastidor está formado por dos largueros longitudinales, unidos mediante travesaños dispuestos transversal o diagonalmente; esta configuración de chasis posee una elevada resistencia y rigidez, por lo que recibe y soporta los esfuerzos de flexión y torsión derivados de soportar los diferentes componentes mecánicos del automóvil y de las condiciones de manejo del automóvil.

### ***Tipos de chasis independiente:***

#### ***En escalera o en H.***

Este tipo de bastidor está conformado por dos largueros longitudinales paralelos o no entre sí (construidos con perfiles estructurales), unidos mediante una serie de travesaños dispuestos de tal forma que la configuración básica del bastidor sea similar a una escalera como su nombre lo indica, en ocasiones se le agregan elementos transversales entre los travesaños para obtener una estructura más rígida. En la actualidad este tipo de bastidor es utilizado en la fabricación de camiones como el que se muestra en la figura 2.1, autobuses y en algunas camionetas de reparto, debido a su gran rigidez.



**Figura 2.1** Chasis independiente tipo escalera de un camión Volvo FH.

#### ***De columna o en X.***

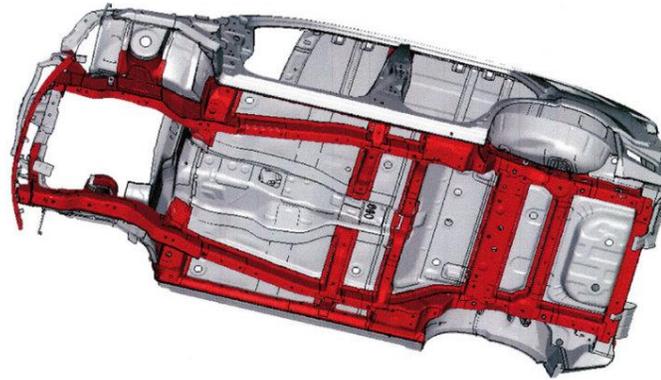
Este tipo de bastidor es estrecho por el centro; siendo una estructura rígida y que atenúa en el chasis los puntos de torsión elevados. En su configuración se tienen dos travesaños, uno en la parte frontal y otro en la parte trasera, siendo el frontal más robusto debido a que debe soportar los elementos que conforman la suspensión, otra característica es que en la parte central se tiene una viga gruesa colocada longitudinalmente con perfil cuadrado o redondo. Este tipo de bastidor no es muy común por lo que se limita su uso en la construcción de algunos vehículos de competición y deportivos, un ejemplo del uso de este tipo de chasis fue el utilizado en la fabricación del automóvil DeLorean DMC-12 de 1981 (figura 2.2).



**Figura 2.2** Chasis independiente en X de un DeLorean DMC-12 de 1981.

### ***Perimetral.***

Este tipo de bastidor es más ancho en la parte central, ofreciendo mayor seguridad en el automóvil en un impacto lateral, presenta una configuración tipo escalera en la parte frontal y trasera para formar un especie de caja de torsión y también para tener mayor seguridad en caso de un impacto frontal o trasero, además la parte central del bastidor por lo regular está más abajo que la parte frontal y trasera en el caso de aplicación en automóviles y camionetas (para camiones no aplica) con la finalidad de bajar el centro de gravedad del vehículo y mejorar la estabilidad del mismo, este tipo de bastidor es utilizado en su mayoría de veces en la fabricación de automóviles de grandes dimensiones como lo son las camionetas SUV (figura 2.3), Pick-up y 4x4. [4]



**Figura 2.3** Chasis independiente perimetral de una Suzuki Grand Vitara SZ.

### **2.2.2 Autoportante.**

El chasis autoportante consiste en una estructura construida mediante un ensamblado de chapas metálicas estampadas y cortadas que dan forma a la carrocería, en su diseño se tiene como finalidad construir una estructura envolvente que sea capaz de soportar el mismo peso de la estructura; así como también el peso de los diferentes componentes mecánicos del vehículo, por lo anterior se le denomina “autoportante”, esta configuración es la más utilizada por los fabricantes de automóviles.

El piso de este tipo de chasis está construido por chapas de alta resistencia que en conjunto con los diferentes travesaños tanto longitudinales como transversales, dotan al piso de una elevada rigidez; así como también el piso en conjunto con los montantes laterales y elementos estructurales que conforman el techo y el resto del chasis, hacen del chasis una estructura suficientemente rígida y capaz de absorber los esfuerzos a los cuales va a estar sometido el vehículo, tanto en condiciones estáticas como dinámicas de uso. El ensamble de las chapas metálicas se realiza por soldadura, que dota a la carrocería de gran rigidez y la hace menos pesada.

En cuanto a seguridad, este tipo de chasis ofrece una resistencia diferenciada; es decir, que absorbe y disipa la mayor parte de la energía de deformación generada durante un choque y que al mismo tiempo mantenga en buenas condiciones los elementos estructurales que conforman el habitáculo de pasajeros.

### ***Tipos de chasis autoportante:***

#### ***Autoportante con elementos desmontables.***

El diseño de este tipo de chasis hace posible desmontar piezas que no tienen una función crítica que afecte el comportamiento mecánico del chasis. Dichas piezas por lo general suelen sufrir golpes con mayor frecuencia como lo son: puertas, cofre, puerta del maletero, paneles laterales, molduras, salpicaderas, etc. Este tipo de chasis autoportante es común en la mayoría de los automóviles tipo turismo comerciales como el que se muestra en la figura 2.4.



**Figura 2.4** Chasis autoportante con elementos desmontables de un Volvo C30 R-Design 2012.

#### ***Autoportante con elementos unidos (monocascos).***

El nombre más común para denominar esta variante de chasis autoportante es monocasco, debido a que en él se reducen al máximo el número de elementos desmontables limitándose solamente a puertas, cofre y puerta del maletero. El piso al estar sujeto fuertemente al resto del monocasco; hace que éste participe activamente absorbiendo esfuerzos y proporcionando mayor resistencia en conjunto con el monocasco.

El único inconveniente de los monocascos es que son difíciles de manufacturar y de reparar, además de que son considerablemente más costosos a comparación de los demás tipos de chasis en general, teniendo como ventaja sobre los demás la ligereza y la mayor rigidez de sus elementos, por lo que de acuerdo a sus características antes mencionadas son empleados en su mayoría en la fabricación de automóviles de alto desempeño como lo son los deportivos, como por ejemplo el automóvil mostrado en la figura 2.5. [4]



Figura 2.5 Chasis monocasco de un Lamborghini Aventador LP700-4.

### 2.2.3 Marco espacial.

Un marco espacial (mejor conocido por su nombre en inglés “*Space Frame*” en la industria automotriz) es un conjunto de miembros conectados entre sí con el fin de formar una estructura tridimensional estable, el marco espacial es utilizado en la construcción de obras civiles, en la industria aeronáutica en fabricación de fuselajes de aviones comerciales y finalmente es extrapolado a la fabricación de chasis de automóviles y motocicletas, hablando de automóviles se utiliza sobretodo en automóviles de competición y deportivos.

En general un marco espacial en su forma más simple (bidimensional) consta de miembros conectados entre sí de tal manera que forman un arreglo de triángulos. A partir de este arreglo simple, se le agregan miembros estructurales hasta formar un tetraedro que es el elemento más simple de un marco espacial, dicho tetraedro está compuesto por cuatro nodos y seis miembros estructurales.

Un elemento base de un marco espacial al aplicarle una fuerza  $P$  sobre cualquiera de sus 4 nodos (figura 2.6), 3 de los 6 miembros estructurales que lo forman trabajan en compresión, mientras que el resto a tensión (3 miembros de la base del tetraedro), además cualquier miembro adicional al tetraedro es redundante para soportar la fuerza  $P$  como se muestra en la figura 2.6; sin embargo, al agregar tres miembros y un nodo extra al elemento base, se puede empezar a crear un marco espacial con las características que deseemos de acuerdo a la aplicación que se le dé. [5]

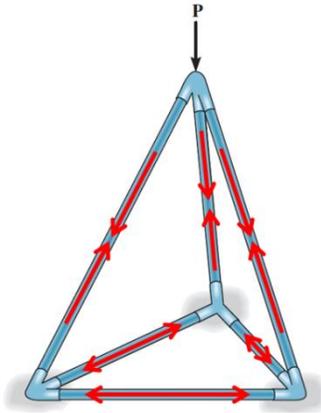


Figura 2.6 Carga P aplicada a un elemento base de un marco espacial.

El marco espacial aplicado a la construcción de chasis de automóviles originalmente fue desarrollado para autos de alto desempeño o de competición, desde la década de 1950 se ha desarrollado este tipo de chasis, los cuales fueron construidos con tubos de acero soldados teniendo como forma final una jaula de arreglos triangulares muy ligera pero con un difícil acceso a los componentes más importantes del vehículo como lo es el motor.

En la actualidad el uso del chasis de marco espacial se aplica a autos de altas prestaciones tales como los autos de competición y automóviles deportivos e incluso en algunos turismos, para su fabricación se utilizan tubos de aluminio extruido, así como también se utilizan tubos de aleaciones de acero extruido, el uso de nuevos materiales se ha llevado a cabo de tal manera que también se utilizan materiales compuestos en la fabricación de marcos espaciales, además de los materiales empleados en la actualidad, también se ha optimizado la geometría de los chasis de marco espacial con la finalidad de tener un fácil acceso a los componentes del automóvil.

El uso de este tipo de chasis es común en la construcción de vehículos de competición tipo fórmula (figura 2.7) en eventos entre universidades, ya que ofrece una buena solución estructural ligera; como por ejemplo, los prototipos Fórmula SAE UNAM que han participado en eventos internacionales fueron diseñados con chasis tipo marco espacial teniendo buenos resultados. Si se requiere profundizar un poco más sobre marcos espaciales se sugiere consultar la referencia [6].



Figura 2.7 Chasis tipo marco espacial de un vehículo Fórmula SAE.

### 2.3 Situación actual del diseño y construcción de chasis.

En la actualidad el tipo de chasis más utilizado en automóviles es el chasis autoportante, en particular el llamado monocasco, que cada vez se va haciendo más popular entre los fabricantes, dejando de ser de uso casi exclusivo de vehículos deportivos.

El desarrollo de nuevas tecnologías en la fabricación de chasis se ha dado principalmente en la utilización de materiales diferentes al acero, con la finalidad de reducir el peso total del vehículo, reduciendo así también el consumo de combustible, los principales materiales que actualmente se utilizan para sustituir el acero son el aluminio y sus diferentes aleaciones, así como la fibra de carbono (figura 2.8) que se utiliza principalmente en la fabricación de chasis para autos deportivos y de fórmula 1.



Figura 2.8 Chasis monocasco de Fibra de Carbono del prototipo Ferrari F70.

En cuanto al diseño de chasis tipo monocasco, algunos fabricantes se basan en la tecnología aeroespacial, por ejemplo el fabricante alemán Audi, es el fabricante que popularizó el diseño de chasis de tipo Space Frame® como el que se muestra en la figura 2.9. Actualmente Audi tiene una línea de tecnología para la construcción de chasis llamada Multimaterial Space Frame® que se basa en el mismo principio de los chasis Space Frame®, solo que esta nueva tecnología combina aluminio, acero y componentes CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) en su construcción.



Figura 2.9 Chasis Space Frame® de un Audi R8.

Por otra parte los fabricantes crean nuevas líneas de tecnología con la finalidad de mejorar los diferentes componentes de los vehículos, entre estas mejoras está reducir el peso y aumentar la rigidez del chasis. Uno de los fabricantes que actualmente tiene una línea de tecnología en todos sus componentes es el fabricante japonés Mazda, que ha creado la línea SKYACTIV con innovaciones en motor, transmisión carrocería y dirección, para el diseño de chasis se menciona el llamado SKYACTIV-Body (figura 2.10), esta tecnología busca aumentar la rigidez torsional en el chasis, siendo al mismo tiempo un monocasco ideal, más ligero y seguro. En teoría un diseño de un chasis autoportante eficiente tiene el mayor número de barras rectas posibles, por lo que en Mazda han construido un bastidor lo más lineal posible, con un diseño de líneas rectas continuas.



Figura 2.10 Comparación de un chasis convencional con un chasis SKYACTIV-Body de Mazda.

## 2.4 Criterios de diseño mecánico.

Los criterios de diseño son características o factores esenciales que influyen en el diseño de elementos mecánicos, en este caso en el diseño del chasis para un vehículo. Por lo general es necesario que se tomen en cuenta estas características o factores en el diseño del chasis ya que suelen ser críticos; es decir, son los más importantes entre una variedad de criterios de diseño mecánico que influyen directa o indirectamente en el diseño del chasis, los criterios de diseño considerados, principalmente están enfocados a la selección del material y al comportamiento mecánico del chasis como tal.

### 2.4.1 Determinación de cargas.

El chasis de un vehículo por ser la parte estructural del mismo, implica que en su diseño como en cualquier otra estructura en general, sea necesario conocer o estimar las cargas que actuarán sobre la estructura durante su vida útil, así como analizar el comportamiento de la combinación de ciertas fuerzas que sometan al chasis en una situación lo más desfavorable posible.

**Cargas muertas.**

Las cargas muertas son cargas que mantienen una magnitud constante a lo largo del tiempo y que tienen un tiempo de aplicación prolongado, la determinación de cargas muertas en una estructura incluye el peso propio de la estructura y las correspondientes cargas fijas aplicadas a la misma. En el chasis las cargas muertas corresponden al peso propio del chasis, y al peso de cada uno de los componentes que están anclados al chasis, como el motor, baterías, transmisión, etc. Para el diseño del chasis de un vehículo es necesario estimar las cargas muertas aplicadas al mismo que son útiles para un análisis estructural del chasis en condiciones de uso.

**Cargas vivas.**

Estas cargas son lo contrario a las cargas muertas, ya que estas cargas sí varían su magnitud con el paso del tiempo, además de no ser fijas; en el caso del chasis, las posibles cargas vivas serían las cargas que se generan por la ocupación del chasis durante su vida útil, como lo es el peso ejercido por los pasajeros y el equipaje, además también se puede considerar como carga viva a la carga aerodinámica, estas cargas se suelen considerar como cargas distribuidas.

**Carga de frenado.**

Es la fuerza que se produce al disminuir la velocidad de un vehículo, debido a la rapidez de cambio de la cantidad de movimiento del vehículo. La ecuación general para la estimación de la carga o fuerza de frenado, se obtiene de la Segunda Ley de Newton, considerando la dirección longitudinal del vehículo como se muestra en figura 2.11, la expresión es la siguiente:

$$F = m \cdot a_x = - \frac{W}{g} a_x = - F_{xf} - F_{xr} - D - W \text{sen}\theta \tag{2.1}$$

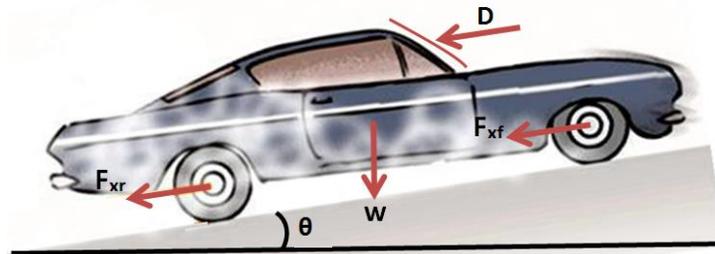


Figura 2.11 Fuerzas de frenado ejercidas sobre un vehículo.

Donde:

W: Peso del vehículo en [N].

g: Aceleración de la gravedad en  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ .

$a_x$ : Aceleración lineal del vehículo en  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ .

$F_{xf}$ : Fuerza de frenado en el eje delantero en [N].

$F_{xr}$ : Fuerza de frenado en el eje trasero en [N].

D: Arrastre aerodinámico en [N].

$\theta$ : ángulo de inclinación de la superficie de rodamiento en  $[\circ]$ .

Las fuerzas de frenado en cada eje del vehículo se refieren a la fuerza de tracción máxima que se desarrolla en cada eje del vehículo y que dependen del coeficiente de fricción máximo entre la llanta y la superficie de rodamiento, así como también dependen de la carga estática instantánea, a la cual se le suma la carga debida a la transferencia de carga dinámica de la parte trasera del vehículo a la parte delantera debido al propio efecto inercial de la frenada. [7]

#### ***Carga por aceleración.***

Es la fuerza que se produce al aumentar la velocidad de un vehículo, debido a la rapidez de cambio de la cantidad de movimiento del vehículo. Esta fuerza tiene el mismo principio que la fuerza de frenado sólo que en sentido contrario.

#### ***Carga aerodinámica.***

También conocida como fuerza de arrastre, esta fuerza actúa a lo largo del eje longitudinal del vehículo en dirección contraria al movimiento del mismo.

Las fuerzas aerodinámicas se deben principalmente a cambios de presión sobre la superficie del vehículo. Estos cambios de presión varían directamente con la presión dinámica del flujo libre. Las fuerzas efectivas también son proporcionales a cierta área de referencia, la cual se relaciona con el área sobre la cual los cambios de presión actúan, dicha área de referencia en este caso es la proyección del área frontal del vehículo en un plano normal al eje longitudinal del vehículo. La fuerza de arrastre se define como:

$$D = C_D * \left(\frac{1}{2} \rho v_\infty^2\right) * A = C_D * P_\infty * A \quad (2.2)$$

Donde:

D: Arrastre aerodinámico en [N].

$C_D$  : Coeficiente de arrastre.

$\rho$ : Densidad del aire en  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ .

$v_\infty$ : Velocidad del aire en  $\left[\frac{m}{s}\right]$ .

A: Área de referencia en  $[m^2]$ .

$P_\infty = \frac{1}{2} \rho v_\infty^2$  : Presión dinámica en [Pa].

El coeficiente de arrastre es introducido en la ecuación anterior para tomar en cuenta los efectos de la forma del cuerpo en la distribución de velocidad sobre el cuerpo y de la orientación del cuerpo en el fluido. El coeficiente de arrastre es la relación entre la presión hidrostática y la presión dinámica del fluido. [8]

#### ***Cargas de impacto.***

Son las cargas que se producen cuando un vehículo colisiona contra otro objeto fijo o en movimiento; cuando un vehículo colisiona con otro vehículo en movimiento, los efectos de impacto se incrementan por que se suman las energías generadas por ambos.

En una colisión el tiempo que transcurre desde el momento de contacto entre los dos objetos hasta que las reacciones generadas finalizan es muy pequeño, este cambio tan rápido y brusco de velocidad crea una serie de fuerzas llamadas externas e internas que se ilustran en la figura 2.12 y se definen como:

- Fuerzas externas: Son las generadas por el objeto que obstruye la trayectoria del vehículo; por ejemplo, otro vehículo, un poste, una pared, etc.
- Fuerzas internas: Son fuerzas generadas por la inercia de todos los elementos que componen al vehículo.



Figura 2.12 Fuerzas generadas en un vehículo durante una colisión frontal. [9]

Para estimar las fuerzas ocasionadas por colisión, se aplica la Tercera Ley de Newton y por lo regular se hacen las pruebas a una velocidad promedio de 50 [km/h] para impactos frontal y lateral como se ilustra en las figuras 2.13 y 2.14 respectivamente.

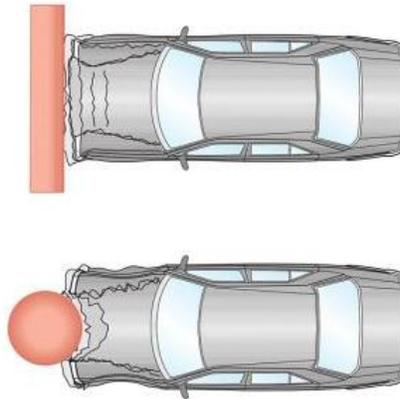


Figura 2.13 Impacto frontal de un vehículo contra un objeto fijo. [9]

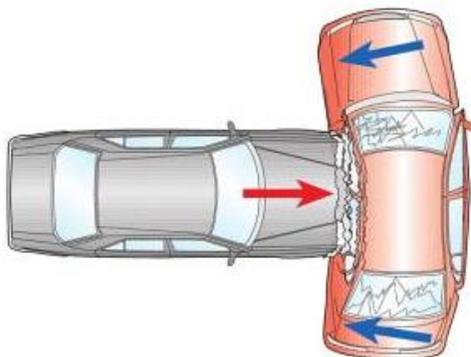


Figura 2.14 Fuerzas durante un impacto lateral. [9]

### 2.4.2 Distribución de masas.

Para el diseño del chasis de un automóvil es necesario conocer las siguientes variables:

- Centro de gravedad total del vehículo:  $V$
- Centro de gravedad de la masa suspendida (carrocería):  $B_o$
- Centros de gravedad de las masas no suspendidas (ejes):  $U_f$  y  $U_r$

La distancia de los centros de gravedad  $V$  y  $B_o$  con respecto al eje delantero y trasero y su altura sobre el suelo, son críticos para:

- Capacidad de aceleración y frenado.
- Cálculo de la habilidad de subir una pendiente.
- Diseño de sistemas de frenado.
- Estabilidad de manejo.
- Determinación de momentos de inercia de masa.

Los bajos centros de gravedad son siempre deseables ya que son asociados con pocos problemas en la dinámica de manejo e incrementa el buen desempeño durante las curvas y el frenado.

La posición de los centros de gravedad  $U_f$  y  $U_r$  por lo regular siempre se encuentran ubicados en los centros de las ruedas; sin embargo, el centro de gravedad del vehículo  $V$  y el centro de gravedad de la masa suspendida  $B_o$  dependen de las cargas sometidas al vehículo; por ejemplo, cuando el vehículo es ocupado por los pasajeros y cargado con equipaje, el centro de gravedad varía mucho que cuando el vehículo está vacío, la variación de la posición del centro de gravedad varía en la dirección longitudinal del vehículo y en la altura. [10]

En la figura 2.15 se muestra la ubicación de los centros de gravedad  $V$ ,  $B_o$ ,  $U_f$  y  $U_r$ , en donde se tienen las siguientes variables:

- $m_{V,f}$  : Masa frontal del vehículo.
- $m_{V,r}$  : Masa trasera del vehículo.
- $m_{V,total} = m_{V,f} + m_{V,r}$  : Masa total del vehículo.
- $l$  : Distancia entre ejes.
- $l_f$  : Distancia de  $V$  al eje frontal.
- $l_r$  : Distancia de  $V$  al eje trasero.
- $h_V$  : Altura de  $V$  a la superficie de rodamiento.
- $l_{B_o,f}$  : Distancia de  $B_o$  al eje frontal.
- $l_{B_o,r}$  : Distancia de  $B_o$  al eje trasero.
- $h_{B_o}$  : Altura de  $B_o$  a la superficie de rodamiento.

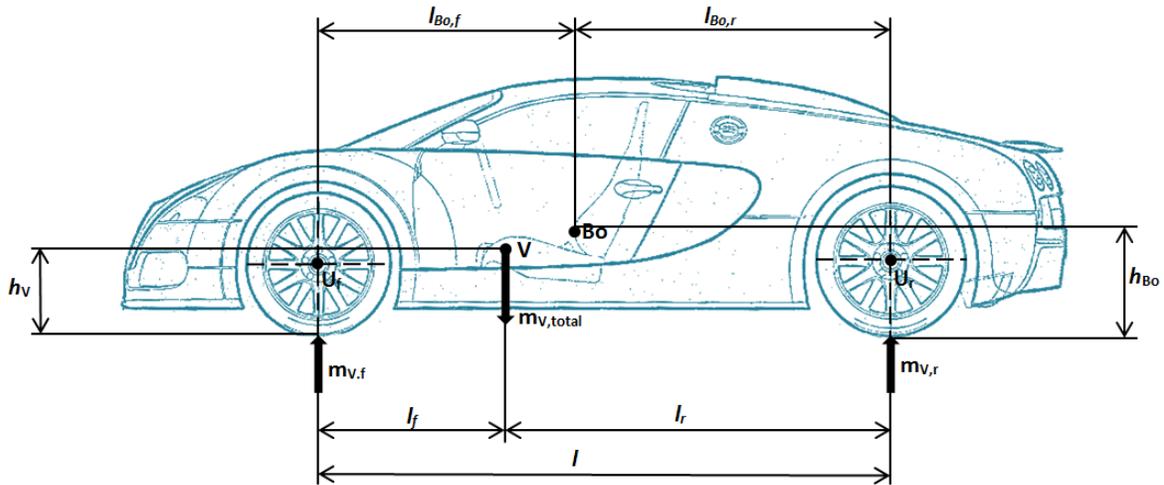


Figura 2.15 Ubicación de los centros de gravedad en un vehículo deportivo.

### ***Cálculo del centro de gravedad.***

El cálculo de la posición del centro de gravedad es posible determinarlo con las herramientas actuales de CAD-CAE, que fácilmente se calcula sólo asignándole las propiedades de los materiales; sin embargo, también se puede estimar experimentalmente sometiendo al vehículo a ciertas pruebas de medición de masas. [10]

### **2.4.3 Rigidez torsional.**

La rigidez torsional es la resistencia del chasis a ser sometido a sollicitaciones de torsión; es decir, la rigidez torsional mide el par necesario para deformar un grado el chasis.

Las sollicitaciones a torsión del chasis de un vehículo se deben principalmente a las condiciones de uso del vehículo, sobre todo cuando el vehículo pasa por un terreno donde se le obliga a mantener a la misma altura tres de sus llantas, mientras que la restante está a una altura diferente, esto ocurre por ejemplo cuando el vehículo pasa por un bache, cuando se cruza en diagonal un tope o cuando se sube a la acera una de las llantas del vehículo.

Un vehículo debe tener una elevada rigidez torsional a lo largo de su eje longitudinal para poder soportar las sollicitaciones antes descritas, éste debe ser un chasis muy rígido, ya que se piensa en el chasis como un resorte longitudinal que une tanto la suspensión delantera como la trasera, y si este resorte torsional es débil controlar las distribución de cargas se torna en el peor de los casos imposible. [8]

**Cálculo de la rigidez torsional:**

En general la rigidez es la capacidad que tiene un material sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones y/o desplazamientos, su expresión matemática es la siguiente:

$$K = \frac{P}{\delta} \quad (2.3)$$

Donde:

K: Rigidez.

P: Carga.

$\delta$ : Desplazamiento.

Para calcular la rigidez torsional se tiene la siguiente expresión:

$$K = \frac{M}{\theta} \quad (2.4)$$

Donde:

K: Rigidez torsional en  $\left[\frac{N \cdot m}{\circ}\right]$ .

M: Momento torsional en  $[N \cdot m]$ .

$\theta$ : Desplazamiento angular en  $[\circ]$ .

**Incremento de la rigidez torsional en el chasis:**

Algunos de los métodos para incrementar la rigidez torsional son los siguientes:

- Agregar elementos diagonales en jaulas antivuelco. Esto se hace si el vehículo construido es algo flexible. Los elementos diagonales trabajan mejor si se conectan en puntos de mayor carga.
- Colocar el motor como elemento estructural del chasis, algunos motores están diseñados especialmente para éste propósito.
- Si se tiene un chasis tubular y los tubos van a estar sometidos a flexión (o a flexión-compresión como los marcos espaciales), se deben de colocar placas de refuerzo intermedias en la unión de los tubos como se muestra en la figura 2.16, estas placas ayudan a distribuir mejor las cargas de un tubo a otro. [8]

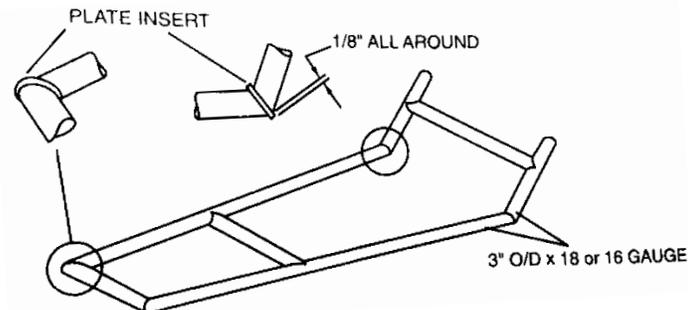


Figura 2.16 Refuerzos en las uniones de un chasis tubular. [8]

### 2.4.4 Rigidez a flexión.

La rigidez a flexión no es tan importante como la rigidez torsional, debido a dos razones importantes; la primera es que la flexión estática en el chasis no afecta significativamente a la distribución de cargas en las ruedas, y la segunda y más significativa, se ha demostrado que un chasis con una buena rigidez torsional también tiene una buena rigidez a flexión. [8]

### 2.5 Método de los elementos finitos.

El método de los elementos finitos, es un método numérico que permite resolver de manera aproximada ecuaciones diferenciales en un determinado dominio discretizado de un problema físico o de ingeniería. El método de los elementos finitos por ser un método muy potente que resuelve problemas muy complejos de ingeniería, es el método que se utiliza en los software de ingeniería CAE (figura 2.17), los cuales siguen los tres pasos fundamentales del método que son pre-proceso, solución y post-proceso.

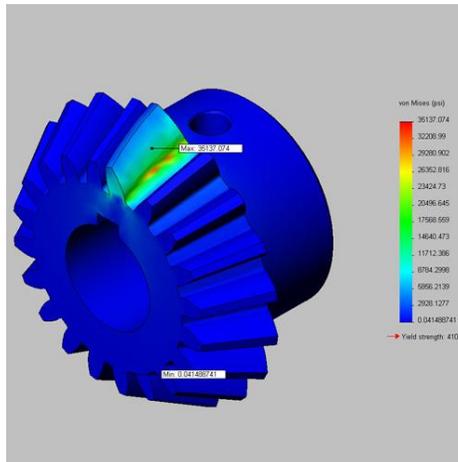


Figura 2.17 Análisis por elementos finitos de un engrane en un software CAE.

El método de los elementos finitos nace por la necesidad de resolver problemas estructurales, es por ello que los términos utilizados en este método están directamente relacionados con el análisis estructural clásico; sin embargo, estos términos se pueden generalizar para cualquier tipo de problema, ya que se tienen ciertas analogías físicas de un problema a otro.

En general la mayoría de fenómenos físicos de importancia en ingeniería están gobernados por una ecuación diferencial de la siguiente forma (sólo en 1 dimensión):

$$\partial_x(k[x]\partial_x u[x]) + p[x]u[x] + q[x] = 0 \quad (2.5)$$

$$x_0 < x < x_L$$

donde  $k[x]$ ,  $p[x]$  y  $q[x]$  son funciones conocidas de  $x$ .

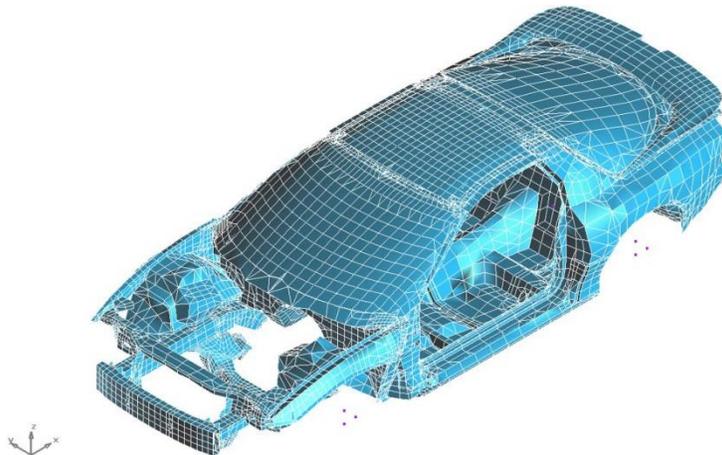
Dado que la ecuación anterior es una ecuación diferencial de segundo orden, para obtener una solución única, se debe contar con 2 condiciones de frontera. Las condiciones de frontera definidas en los puntos de la frontera del dominio pueden tener cualquiera de las dos formas siguientes:

- Condiciones de frontera esenciales (restricciones del problema):  
 $u[x_p] = \text{valor conocido}$ ; siendo  $x_p$  un punto sobre la frontera, es decir en  $x_0$  ó en  $x_L$  del dominio  $[0,L]$ .
- Condiciones de frontera naturales (excitaciones al sistema):  
 $-\partial_x u|_{x=x_0} = \alpha_0 u[x_0] + \beta_0$ ; en el extremo izquierdo del dominio  
 $\partial_x u|_{x=x_L} = \alpha_L u[x_L] + \beta_L$ ; en el extremo derecho del dominio

donde  $\alpha_0$ ,  $\alpha_L$ ,  $\beta_0$  y  $\beta_L$  son constantes específicas del problema.

### ***Pre - proceso.***

En esta etapa del método se da la discretización del problema o modelo físico así como también se definen las características geométricas y materiales del dominio, además también se definen las condiciones de frontera del sistema. En cuanto a la discretización del dominio, en esta etapa se busca que el modelo físico tenga un número finito de *grados de libertad* (incógnitas definidas en cada nodo); es decir, se asume que el medio continuo está subdividido en un número finito de pequeñas regiones llamadas *elementos* interconectados entre sí por entidades puntuales denominados *nodos*, la unión de todos los *elementos finitos* que forman el modelo físico se denomina *malla*. Como ejemplo se puede observar el mallado de un dominio en un software CAE en la figura 2.18.



**Figura 2.18** Mallado de un dominio en un software CAE.

Después de definir el *mallado* se procede a obtener las funciones de interpolación o *funciones de forma* de cada elemento, las cuales se obtienen mediante la interpolación de Lagrange o Hermitiana dependiendo del grado de la ecuación diferencial que describe el fenómeno.

Con las funciones de forma ya definidas se obtiene la *forma débil* o integral de la ecuación 2.5 mediante el método de Galerkin, que es el método de ponderación por excelencia que se utiliza en la solución de las ecuaciones diferenciales en el método de los elementos finitos. En conjunto la forma débil de la ecuación diferencial con las funciones de forma se obtiene la *matriz de rigidez local* y el *vector de carga local* de cada elemento finito, finalmente para obtener la solución de los desplazamientos de todo el dominio, se procede a hacer el *ensamble* de todas las matrices y vectores locales; es decir, se genera una sola *matriz de rigidez global* y un solo *vector de cargas global* mediante la *conectividad* de todos los nodos del dominio.

Una vez realizado el ensamble de los elementos finitos de una malla, las condiciones de frontera se incluyen en dicho ensamble con lo cual se obtiene la siguiente ecuación matricial denominada como ecuación del elemento finito.

$$\mathbf{k} \cdot \vec{u} = \vec{r} \quad (2.6)$$

Donde:

$\mathbf{k}$ : Matriz de rigidez global

$\vec{u}$ : Vector de desplazamientos global

$\vec{r}$ : Vector de carga global

#### ***Solución.***

En esta etapa intermedia del método se realiza el cálculo numérico, que consiste en resolver la ecuación matricial 2.6 para obtener los desplazamientos nodales; por lo tanto, debemos resolver para los desplazamientos  $\vec{u}$  como:

$$\vec{u} = \mathbf{k}^{-1} \cdot \vec{r} \quad (2.7)$$

en la práctica, en realidad la matriz de rigidez global no se invierte, sino que se descompone y se resuelven las ecuaciones usando sustitución hacia adelante o hacia atrás. Cabe mencionar que primero se obtiene una *solución nodal reducida* a la que posteriormente se le incorporan los valores de los grados de libertad conocidos, y finalmente se obtiene una *solución nodal completa* para los desplazamientos nodales.

#### ***Post - proceso.***

El método de los elementos finitos es un método que se puede aplicar a múltiples tipos de problemas físicos, siendo los más comunes en ingeniería los problemas estructurales, de transferencia de calor, de mecánica de fluidos e incluso problemas de campo electromagnético entre otros, es por esta razón que la etapa de post-proceso depende mucho del tipo de problema, ya que los resultados obtenidos en la etapa anterior son utilizados para obtener representaciones gráficas y para obtener magnitudes derivadas, que permiten extraer conclusiones del problema. Por ejemplo para un problema estructural en esta etapa es común que se haga un análisis de esfuerzos mediante alguno de los criterios de fluencia o de falla. [11]

---

---

*CAPÍTULO*

# 3

*METODOLOGÍA DE DISEÑO*

**E**l objetivo del presente capítulo es describir detalladamente la secuencia de pasos que se han seguido en esta tesis para poder llegar a los resultados obtenidos en el siguiente capítulo.

### **3.1 Análisis del problema.**

El diseño por ser un proceso necesita seguir una serie de pasos que garanticen que el producto final diseñado cubra las necesidades y los requerimientos especificados por el cliente, para ello como primer paso de la metodología de diseño se debe analizar y definir de manera clara y concisa el problema que se desea resolver, ya que de esta manera durante todo el proceso de diseño se tendrán presentes los objetivos del diseño, las especificaciones y requerimientos a los que se encuentra sujeto el diseño, es por ello que este primer paso es el más importante de la metodología de diseño.

#### **3.1.1 Definición del problema.**

Para la participación del primer vehículo de la UNAM en la categoría UrbanConcept del evento Shell Eco-marathon Americas se debe diseñar un chasis para un vehículo híbrido biplaza que cumpla con los lineamientos del reglamento de dicha competencia.

#### **3.1.2 Objetivos de diseño.**

Diseñar un chasis que soporte los diferentes elementos mecánicos del vehículo además de conectar las cuatro ruedas del mismo con el resto del vehículo. Este diseño debe ser lo más rígido posible y sobretodo debe ser seguro para los ocupantes del vehículo, miembros del equipo e incluso para el público que observe el vehículo durante la competencia.

#### **3.1.3 Determinación de sistemas y funciones.**

El chasis por ser parte de un producto de múltiples sistemas implica que sea un sistema del vehículo, por lo que el chasis como tal no tiene sistemas que analizar, es por esta razón que sólo se mencionarán las funciones que desempeña el chasis como un sistema en el vehículo. Las funciones de un chasis son las siguientes:

- Soportar todos los elementos mecánicos y no mecánicos del automóvil, así como también soportar a los pasajeros de forma segura.
- Conectar las cuatro llantas al resto del automóvil.

#### **3.1.4 Requerimientos de diseño.**

En general el diseño del vehículo está basado en el reglamento del Shell Eco-marathon [1] que es muy estricto en cuanto a la definición de requerimientos de cada sistema del vehículo, por lo que a continuación se enlistan en la tabla 3.1 los requerimientos que dicho reglamento fija para el diseño del chasis.

Requerimiento	Jerarquización
Seguridad	4
Aerodinámica	2
Geometría del chasis adaptada al piloto.	4
Visibilidad	3
Tamaño adecuado de la carrocería (Body)	4
Bajo peso vehicular	4
Fácil acceso del piloto al vehículo	4
Espacio para equipaje	3
Capacidad del vehículo de ser remolcado	3

**Tabla 3.1** Jerarquización de requerimientos de diseño.

De los requerimientos enlistados todos son de suma importancia ya que son los que establece el reglamento; sin embargo, se jerarquizaron tomando en cuenta aquellos requerimientos que afectan o no directamente en el diseño del chasis mediante una escala de 5 puntos, donde 0 es asignado a los requerimientos que tengan menor importancia y 4 a los de mayor importancia.

Los requerimientos referentes a seguridad y aerodinámica tienen requerimientos adicionales que se describen a continuación como:

- *Seguridad.*
  - El vehículo debe tener exactamente cuatro ruedas en contacto continuo con el piso.
  - El interior del vehículo no debe contener objetos que puedan herir al piloto durante una colisión.
  - Las ventanas no deben estar hechas de cualquier material que se pueda romper en fragmentos afilados, se recomienda usar policarbonato.
  - Todas las partes del tren motriz, incluyendo tanque de combustible, componentes del sistema de hidrógeno, etc. deben estar confinados en la carrocería.
  - Todos los componentes del vehículo deben estar bien asegurados, no está permitido sujetar objetos pesados como las baterías con materiales elásticos.
  - El chasis del vehículo debe ser ancho y lo suficientemente largo para proteger el cuerpo del piloto en caso de una colisión frontal o lateral.
- *Aerodinámica.*
  - El uso de cualquier apéndice aerodinámico como alerones (figura 3.1), o cualquier apéndice que esté propenso a cambio de forma con el viento mientras el vehículo está en movimiento, está prohibido.



**Figura 3.1** Ejemplo del uso de apéndices aerodinámicos en un vehículo de rally.

- La carrocería del vehículo no debe estar propensa a cambiar de forma con el viento.

### 3.1.5 Especificaciones de diseño.

Las especificaciones de diseño consisten en asignar valores y definir unidades medibles de cada uno de los requerimientos mencionados en el punto anterior, a continuación se detalla cada una de las especificaciones necesarias para cumplir con el reglamento de la competencia [1].

#### ***Seguridad.***

- La carrocería (Body) no debe incluir ningún apéndice externo que pueda ser peligroso para los miembros del equipo, como por ejemplo partes puntiagudas, cualquier terminación en punta debe de tener al menos 5 [cm] de radio, de forma alternativa se debe usar espuma o materiales deformables similares a la espuma.

#### ***Geometría del chasis adaptada al piloto.***

- El chasis del vehículo deberá estar equipado con una barra antivuelco que se extienda 5 [cm] sobre el casco del piloto (figura 3.2), así como también cubrir el ancho de los hombros del piloto (figura 3.3) cuando esté sentado en una posición normal al conducir con el cinturón de seguridad puesto.

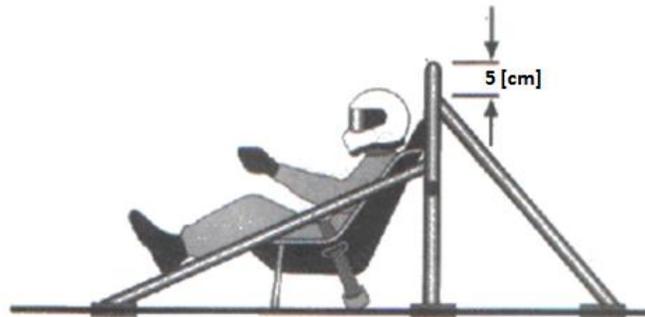


Figura 3.2 Detalle de la altura requerida para la barra antivuelco.

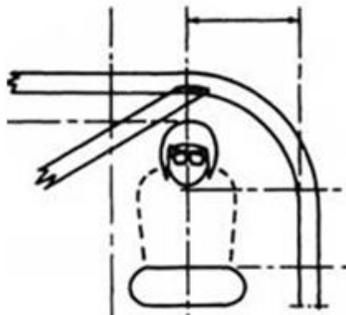


Figura 3.3 Vista frontal de la barra antivuelco que muestra el espacio entre barra y hombro del piloto.

Está permitido utilizar barra antivuelco tubular o de tipo panel. Si se utiliza barra antivuelco tubular, ésta debe ser de metal. Una barra antivuelco tipo panel es una partición rígida que separa la cabina del compartimento del motor.

Cada barra antivuelco tipo panel debe ser parte integral del chasis del vehículo o debe estar integrada al monocasco del vehículo.

- La barra antivuelco debe soportar una carga estática de 700 [N] aplicada en cualquier dirección (vertical, longitudinal y lateral), sin deformarse (figura 3.4).

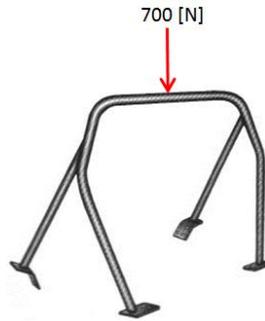


Figura 3.4 Carga estática aplicada a la barra antivuelco.

#### **Visibilidad.**

- El piloto debe tener acceso a un arco directo de visibilidad en frente y 90° de cada lado tomando como referencia el eje longitudinal del vehículo. Éste campo de visibilidad debe cumplirse sin la ayuda de algún dispositivo óptico (o electrónico) como espejos, prismas, periscopios, etc. se permite el movimiento de la cabeza del piloto dentro de los límites de la carrocería para lograr el arco completo de visión.

#### **Tamaño adecuado de la carrocería (Body).**

- La altura total del vehículo debe estar entre 100 y 130 [cm].
- El ancho total del cuerpo del vehículo (sin contar los espejos retrovisores), debe estar entre 120 y 130 [cm].
- La longitud total del vehículo debe estar entre 220 y 350 [cm].
- La huella de los neumáticos debe ser por lo menos de 100 [cm] para el eje delantero y de 80[cm] para el eje trasero, medidos desde el punto medio de los neumáticos tocando el piso.
- La distancia entre ejes debe ser por lo menos de 120 [cm].
- El habitáculo debe tener una altura mínima de 88 [cm] y un ancho mínimo de 70 [cm] a los hombros del piloto.
- El claro del piso a la carrocería debe ser por lo menos de 10 [cm].

***Bajo peso vehicular.***

- El peso vehicular máximo debe ser de 205 [kg].

***Fácil acceso del piloto al vehículo.***

- El acceso del piloto al vehículo debe ser fácil y práctico como suele ser en los automóviles comerciales de pasajeros. La apertura de la puerta debe tener como dimensiones mínimas de 500 x 800 [mm].

***Espacio para equipaje.***

- El espacio destinado para el equipaje debe estar disponible para albergar una caja sólida rectangular con dimensiones 500 x 400 x 200 [mm] (L x H x W). Este espacio debe ser de fácil acceso por fuera del vehículo y debe incluir un piso y paredes para sostener el equipaje cuando el vehículo esté en movimiento.

***Capacidad del vehículo de ser remolcado.***

- Un gancho de remolque o un anillo es obligatorio que se ubique en la parte frontal del vehículo bajo la carrocería y además debe ser de fácil acceso, de tal forma que el vehículo pueda ser remolcado con un cable por otro vehículo. Este gancho o anillo debe resistir una fuerza de tracción de 2000 [N].

### **3.2 Diseño conceptual.**

Esta etapa de diseño parte de la especificación del problema o producto, es por ello que durante el desarrollo conceptual se generan diversas alternativas de solución, se evalúan y se elige la más conveniente.

#### **3.2.1 Selección del tipo de chasis.**

La selección del tipo de chasis a diseñar para el vehículo se debió principalmente a la evaluación de las diferentes alternativas de solución existentes; es decir, después de investigar los diferentes tipos de chasis utilizados en la actualidad para la fabricación de automóviles.

El estudio de cada tipo de chasis demostró que todos los tipos de chasis tienen las mismas características importantes a evaluar como se puede mostrar en la tabla 3.2, dichas características en esta etapa de diseño son consideradas como “*criterios de diseño*”.

Tipo de chasis	Características
<i>Independiente en escalera o en H</i>	Facilidad de manufactura
	Muy rígido
	Muy resistente
	Capacidad de carga muy alta
	Muy robusto
	Muy pesado
	Barato
	Baja estabilidad
	Poco Seguro
<i>Independiente de columna o en X</i>	Facilidad de manufactura
	Rigidez muy alta
	Resistencia muy alta
	Capacidad de carga alta
	Angosto
	Muy ligero
	Barato
	Estable
	Seguro
<i>Independiente perimetral</i>	Facilidad de manufactura
	Muy rígido
	Muy resistente
	Capacidad de carga muy alta
	Robusto
	Pesado
	Barato
	Muy estable
	Seguridad alta
<i>Autoportante con elementos desmontables</i>	Poca facilidad de manufactura
	Muy rígido
	Muy resistente
	Capacidad de carga alta
	Esbelto
	Ligero
	Costo regular
	Mayor estabilidad
	Muy Seguro
<i>Monocasco</i>	Poca facilidad de manufactura
	Muy rígido
	Muy resistente
	Capacidad de carga alta
	Esbelto
	Muy ligero
	Caro
	Estabilidad muy alta
	Muy seguro
<i>Marco espacial</i>	Facilidad de manufactura
	Muy rígido
	Muy resistente
	Capacidad de carga alta
	Esbelto
	Ligero
	Costo regular
	Estabilidad alta
	Muy seguro

**Tabla 3.2** Tabla que compara las características de cada tipo de chasis.

Para poder evaluar cada tipo de chasis, primero se evaluaron los criterios de diseño en una matriz de decisión que se muestra en la tabla 3.3. La forma de evaluar los criterios fue mediante el método lógico digital donde 0 equivale a “*menos importante que:*” y 1 equivale a “*más importante que:*”, con este método se fue comparando criterio contra criterio hasta llenar la matriz.

Criterios de diseño	Manufactura	Rigidez	Resistencia	Capacidad de carga	Apariencia	Peso	Costo	Estabilidad	Seguridad	Total	Valores relativos
Manufactura	*	0	0	1	1	0	1	0	0	3	0.083
Rigidez	1	*	1	1	1	1	1	1	0	7	0.194
Resistencia	1	0	*	1	1	0	0	0	0	3	0.083
Capacidad de carga	0	0	0	*	0	0	1	0	0	1	0.028
Apariencia	0	0	0	1	*	0	0	0	0	1	0.028
Peso	1	0	1	1	1	*	1	1	0	6	0.167
Costo	0	0	1	0	1	0	*	1	0	3	0.083
Estabilidad	1	0	1	1	1	0	0	*	0	4	0.111
Seguridad	1	1	1	1	1	1	1	1	*	8	0.222
$\Sigma =$										36	1

**Tabla 3.3** Evaluación de criterios de diseño (matriz de decisión para chasis).

En la matriz de decisión anterior se obtuvieron los valores relativos de cada criterio de diseño los cuales son valores importantes que se utilizan en las matrices de decisión ponderadas siguientes, además en esta matriz se determinó que los tres criterios más importantes a considerar son *la seguridad, la rigidez y el peso*. Cabe señalar que estos criterios a la hora de ser evaluados se tomaron en cuenta las especificaciones señaladas anteriormente que hacen posible el cumplimiento del reglamento. En la tabla 3.4 se describen los criterios de diseño anteriormente evaluados.

Criterios de diseño	Descripción
Manufactura	Dificultad de construcción del chasis.
Rigidez	Capacidad de soportar esfuerzos sin deformarse.
Resistencia	Capacidad de soportar grandes cargas.
Capacidad de carga	Se refiere a la carga en condiciones de uso (si es para camión, auto, etc.).
Apariencia	Estética del chasis (robusto, angosto, esbelto, etc.).
Peso	Comparación cualitativa de peso entre chasis (ligero, pesado, etc.).
Costo	Precio por manufactura y materiales.
Estabilidad	Mantener centros de gravedad bajos.
Seguridad	Seguridad ante colisión frontal, lateral y trasera.

**Tabla 3.4** Descripción de criterios de diseño.

Después de determinar el valor ponderado o relativo de cada criterio de diseño se evaluó por separado cada tipo de chasis mediante una matriz de decisión ponderada, como se muestra en las tablas de la 3.5 a la tabla 3.10.

Chasis independiente en escalera o en H					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
<i>Manufactura</i>	0.083	Experiencia	Fácil	4	0.333
<i>Rigidez</i>	0.194	[N.m/deg]	Muy alta	4	0.778
<i>Resistencia</i>	0.083	[MPa]	Muy alta	4	0.333
<i>Capacidad de carga</i>	0.028	[kg]	Muy alta	4	0.111
<i>Apariencia</i>	0.028	Experiencia	Muy robusto	1	0.028
<i>Peso</i>	0.167	[kg]	Muy pesado	1	0.167
<i>Costo</i>	0.083	[\$]	Barato	4	0.333
<i>Estabilidad</i>	0.111	Experiencia	Baja	2	0.222
<i>Seguridad</i>	0.222	Experiencia	Baja	2	0.444
$\Sigma =$					2.750

**Tabla 3.5** Matriz de decisión ponderada para el chasis independiente en escalera o en H.

Chasis independiente de columna o en X					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
<i>Manufactura</i>	0.083	Experiencia	Fácil	4	0.333
<i>Rigidez</i>	0.194	[N.m/deg]	Muy alta	4	0.778
<i>Resistencia</i>	0.083	[MPa]	Muy alta	4	0.333
<i>Capacidad de carga</i>	0.028	[kg]	Alta	3	0.083
<i>Apariencia</i>	0.028	Experiencia	Angosto	3	0.083
<i>Peso</i>	0.167	[kg]	Ligero	3	0.500
<i>Costo</i>	0.083	[\$]	Barato	4	0.333
<i>Estabilidad</i>	0.111	Experiencia	Alta	3	0.333
<i>Seguridad</i>	0.222	Experiencia	Alta	3	0.667
$\Sigma =$					3.444

**Tabla 3.6** Matriz de decisión ponderada para el chasis independiente en columna o en X.

Chasis independiente perimetral					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
<i>Manufactura</i>	0.083	Experiencia	Fácil	4	0.333
<i>Rigidez</i>	0.194	[N.m/deg]	Muy alta	4	0.778
<i>Resistencia</i>	0.083	[MPa]	Muy alta	4	0.333
<i>Capacidad de carga</i>	0.028	[kg]	Muy alta	4	0.111
<i>Apariencia</i>	0.028	Experiencia	Robusto	2	0.056
<i>Peso</i>	0.167	[kg]	Pesado	2	0.333
<i>Costo</i>	0.083	[\$]	Barato	4	0.333
<i>Estabilidad</i>	0.111	Experiencia	Muy alta	4	0.444
<i>Seguridad</i>	0.222	Experiencia	Alta	3	0.667
$\Sigma =$					3.389

**Tabla 3.7** Matriz de decisión ponderada para el chasis independiente perimetral.

Chasis autoportante con elementos desmontables					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
<i>Manufactura</i>	0.083	Experiencia	Difícil	2	0.167
<i>Rigidez</i>	0.194	[N.m/deg]	Muy alta	4	0.778
<i>Resistencia</i>	0.083	[MPa]	Muy alta	4	0.333
<i>Capacidad de carga</i>	0.028	[kg]	Alta	3	0.083
<i>Apariencia</i>	0.028	Experiencia	Esbelto	4	0.111
<i>Peso</i>	0.167	[kg]	Ligero	3	0.500
<i>Costo</i>	0.083	[\$]	Regular	3	0.250
<i>Estabilidad</i>	0.111	Experiencia	Muy alta	4	0.444
<i>Seguridad</i>	0.222	Experiencia	Muy alta	4	0.889
$\Sigma =$					<b>3.556</b>

**Tabla 3.8** Matriz de decisión ponderada para el chasis autoportante con elementos desmontables.

Chasis monocasco					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
<i>Manufactura</i>	0.083	Experiencia	Difícil	2	0.167
<i>Rigidez</i>	0.194	[N.m/deg]	Muy alta	4	0.778
<i>Resistencia</i>	0.083	[MPa]	Muy alta	4	0.333
<i>Capacidad de carga</i>	0.028	[kg]	Alta	3	0.083
<i>Apariencia</i>	0.028	Experiencia	Esbelto	4	0.111
<i>Peso</i>	0.167	[kg]	Muy ligero	4	0.667
<i>Costo</i>	0.083	[\$]	Caro	2	0.167
<i>Estabilidad</i>	0.111	Experiencia	Muy alta	4	0.444
<i>Seguridad</i>	0.222	Experiencia	Muy alta	4	0.889
$\Sigma =$					<b>3.639</b>

**Tabla 3.9** Matriz de decisión ponderada para el chasis tipo monocasco.

Chasis marco espacial					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
<i>Manufactura</i>	0.083	Experiencia	Fácil	4	0.333
<i>Rigidez</i>	0.194	[N.m/deg]	Muy alta	4	0.778
<i>Resistencia</i>	0.083	[MPa]	Muy alta	4	0.333
<i>Capacidad de carga</i>	0.028	[kg]	Alta	3	0.083
<i>Apariencia</i>	0.028	Experiencia	Esbelto	4	0.111
<i>Peso</i>	0.167	[kg]	Ligero	3	0.500
<i>Costo</i>	0.083	[\$]	Regular	3	0.250
<i>Estabilidad</i>	0.111	Experiencia	Alta	3	0.333
<i>Seguridad</i>	0.222	Experiencia	Muy alta	4	0.889
$\Sigma =$					<b>3.611</b>

**Tabla 3.10** Matriz de decisión ponderada para el chasis tipo marco espacial.

Las matrices de decisión ponderadas fueron llenadas con datos cualitativos publicados a partir de la experiencia de los diferentes fabricantes de automóviles, es por esta razón que en la columna de unidades se especifica en algunos casos como experiencia y en la columna de magnitud se tienen los valores cualitativos que califican cada criterio de diseño.

La evaluación de los diferentes tipos de chasis en estas matrices de decisión ponderadas consistió en la calificación de cada criterio de diseño mediante una escala de 5 puntos que se muestra en la tabla 3.11, las calificaciones se asignaron tomando en cuenta las especificaciones de diseño, los objetivos de diseño, entre otras consideraciones que se tomaron en cuenta y que son importantes o ideales para el diseño del chasis.

Escala de los 5 puntos	
Puntos	Descripción
0	Inadecuado
1	Débil
2	Satisfactorio
3	Bueno
4	Excelente

Tabla 3.11 Escala de los 5 puntos. [12]

El objetivo de estas matrices de decisión fue descartar las soluciones peor evaluadas, y considerar como alternativa de diseño la solución mejor evaluada, en este caso al observar y comparar cada una de las evaluaciones se puede notar que la mejor alternativa de diseño que se adapta a nuestras especificaciones es el chasis tipo *monocasco* o en dado caso el tipo *marco espacial* y por el contrario la alternativa menos recomendada para nuestro diseño sería el chasis independiente en H.

### 3.2.2 Presentación de opciones de diseño.

La búsqueda de soluciones se enfocó principalmente en generar una geometría que cumpliera con las especificaciones de diseño, principalmente las que corresponden a los requerimientos sobre la geometría adecuada al piloto y sobre la carrocería de tamaño adecuado, éste último requerimiento es importante considerarlo debido a que la configuración de chasis seleccionada fue el *monocasco*.

Debido a que la alternativa de solución fue el chasis tipo monocasco, este tipo de chasis por poseer como característica principal que la propia carrocería del automóvil es parte del chasis; es decir, la carrocería o Body también tiene la función de ser un elemento estructural, es por ello que para el diseño del monocasco se partió con el diseño del Body, que además de ser un elemento estructural también es un elemento que le da la apariencia o vista al vehículo, por tal razón la propuesta de diseño del Body es la que se muestra en la figura 3.5, donde se puede observar que esta propuesta se hizo mediante un dibujo a mano alzada.

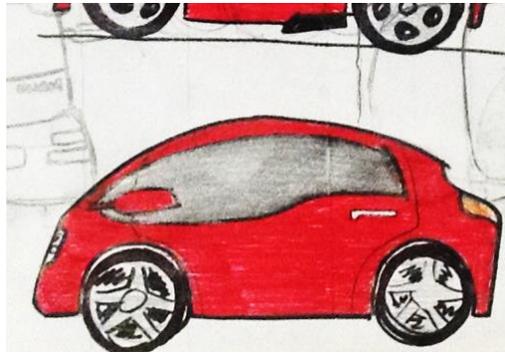


Figura 3.5 Boceto de la propuesta de diseño del Body.

De cuatro bocetos propuestos, el boceto de la figura 3.5 fue seleccionado como ganador para el diseño del Body debido a su apariencia, por lo que posteriormente se digitalizó para poder obtener un modelo en CAD que se pudiera editar fácilmente, el modelo en CAD se desarrolló en el software de diseño SolidWorks 2012. El modelo en CAD del vehículo se muestra en las figuras 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9, donde se puede observar que el vehículo sí tiene características en cuanto a apariencia a un vehículo de pasajeros comercial, que es una de las características principales que debe tener el vehículo de acuerdo al reglamento de la competencia.



Figura 3.6 Vista lateral del vehículo.



Figura 3.7 Vista en isométrico del vehículo.



Figura 3.8 Vistas frontal y trasera del vehículo.

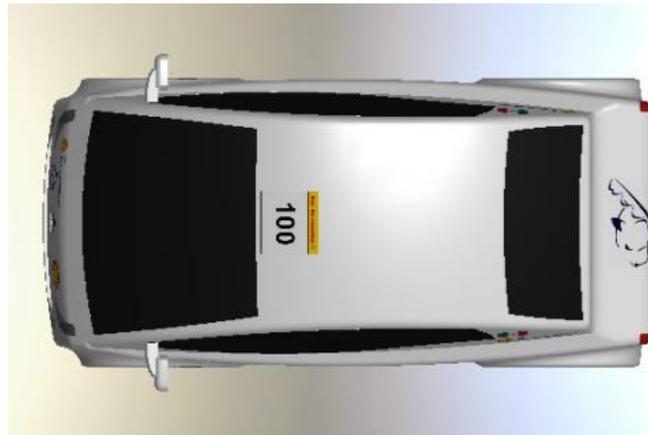


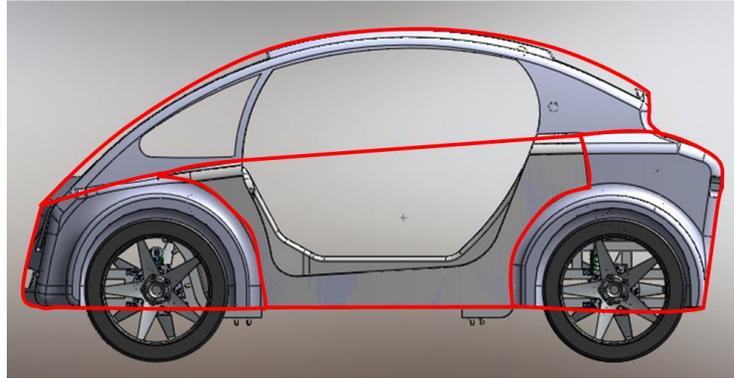
Figura 3.9 Vista superior del vehículo.

Con el diseño del Body se pudo comenzar con el diseño del monocasco, ya que se utilizó el CAD del Body de tal forma que se pudiera diseñar el monocasco sin perder la geometría del diseño base del Body.

Durante el diseño del monocasco se observó que en general es complicado manufacturar el monocasco como tal; es decir, construir el Body, el piso y el interior en una sola pieza, e incluso seccionar el vehículo en tres partes donde la parte central (habitáculo) sea una sola pieza es también complicado (como el monocasco de la figura 2.8), por lo que se optó en diseñar un *semi-monocasco*, para ello se decidió seccionar el Body del vehículo en cuatro partes que se enlistan a continuación:

- Parte frontal (Defensa delantera y parte de las salpicaderas delanteras).
- Parte superior (Toldo y parte superior de los costados).
- Parte inferior (Piso con detalles del interior del vehículo).
- Parte trasera (Defensa trasera y parte de las salpicaderas traseras).

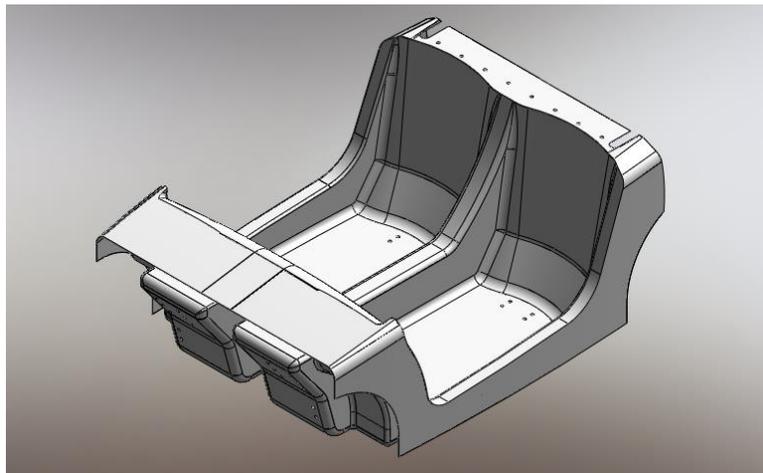
Las particiones del Body se muestran en la figura 3.10, el CAD mostrado en esta figura fue modificado; como se observa, se incluyó el espacio que ocupa la apertura de la puerta que tiene el tamaño suficiente para cumplir con las especificaciones correspondientes al requerimiento de fácil acceso del piloto al vehículo.



**Figura 3.10** Partición del Body para el diseño del semi-monocasco.

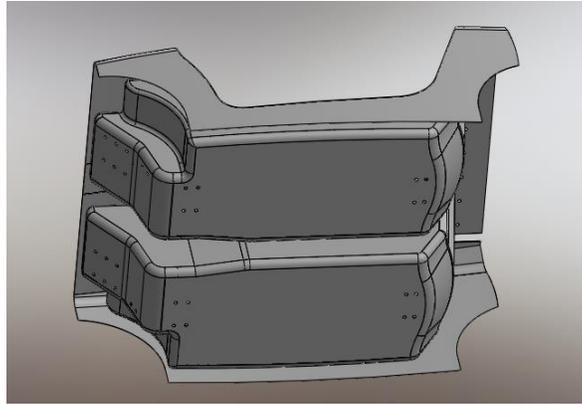
Como se observa en la partición, prácticamente tres de las cuatro partes ya están diseñadas en el CAD del Body (parte frontal, superior y trasera), por lo que resta es diseñar la parte inferior que es la que contiene algunos detalles del interior del vehículo, dicha pieza es la pieza más importante ya que es la que le da mayor rigidez al *semi-monocasco*.

Hablar de *semi-monocasco* en esta tesis significa que la solución dada para el diseño del chasis del vehículo no es un monocasco en su totalidad; sino que una parte del chasis parcialmente es un monocasco y el resto es un marco espacial (chasis híbrido). El hecho de que la solución dada sea una combinación de monocasco con marco espacial se debe a que ambos tipos de chasis fueron los mejor evaluados en las matrices de decisión. El diseño del semi-monocasco se compone de 3 partes fundamentales (frontal, central y trasera) donde la parte inferior del Body es la pieza central del semi-monocasco, el diseño de esta parte central del semi-monocasco se muestra en la figura 3.11.



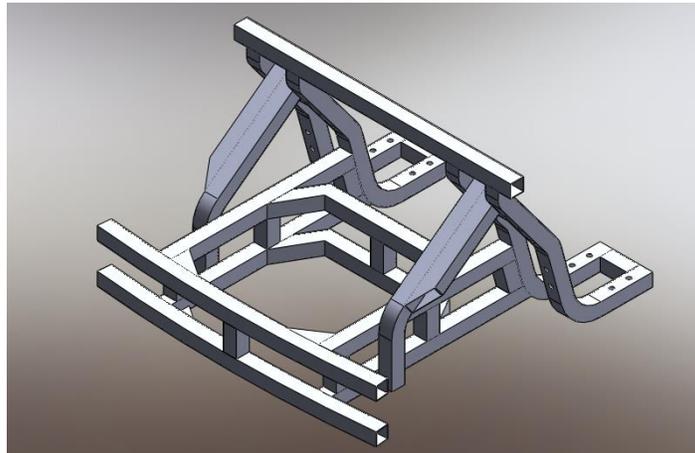
**Figura 3.11** Vista en isométrico del diseño de la parte central del semi-monocasco.

En la figura 3.12 se puede observar que la parte central del semi-monocasco es “hueca”, esto es una ventaja ya que se reduce al máximo el peso del mismo, además se observa una geometría un poco complicada con muchas curvas y dobleces que son de gran ayuda ya que hacen del semi-monocasco una estructura más rígida.

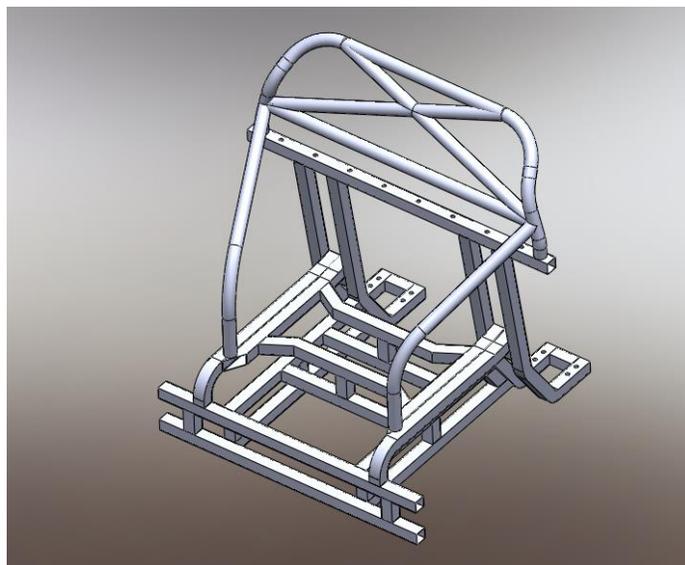


**Figura 3.12** Vista auxiliar de la parte central del semi-monocasco.

El diseño de la parte frontal y trasera del semi-monocasco en conjunto con la jaula antivuelco son de tipo marco espacial como se puede observar en las figuras 3.13 y 3.14.



**Figura 3.13** Vista en isométrico del diseño de la parte frontal del semi-monocasco.



**Figura 3.14** Vista en isométrico del diseño de la parte trasera del semi-monocasco.

Para el diseño del marco espacial frontal, marco espacial trasero y la jaula antivuelco, se tomó en cuenta el uso de perfiles estructurales comerciales huecos como se observa en las figuras anteriores, con esto se garantiza que los dos marcos espaciales sean ligeros y por lo tanto, que el semi-monocasco con sus tres partes esenciales sea lo más ligero posible. Las figuras 3.15 y 3.16 muestran el semi-monocasco completo con todos sus elementos ensamblados.

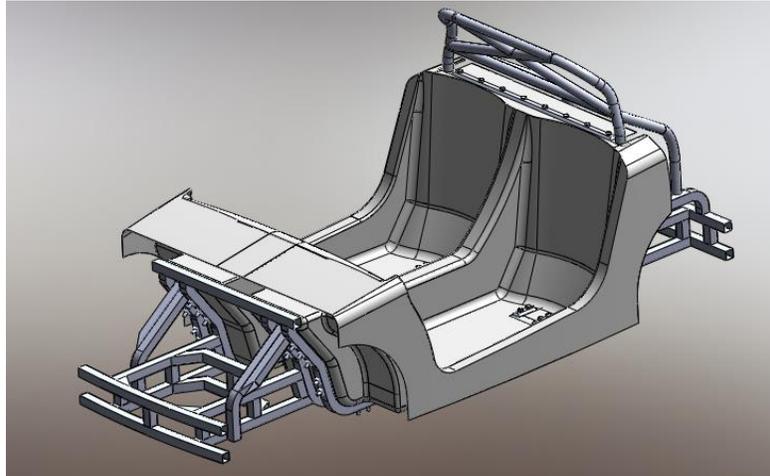


Figura 3.15 Vista en isométrico del semi-monocasco.

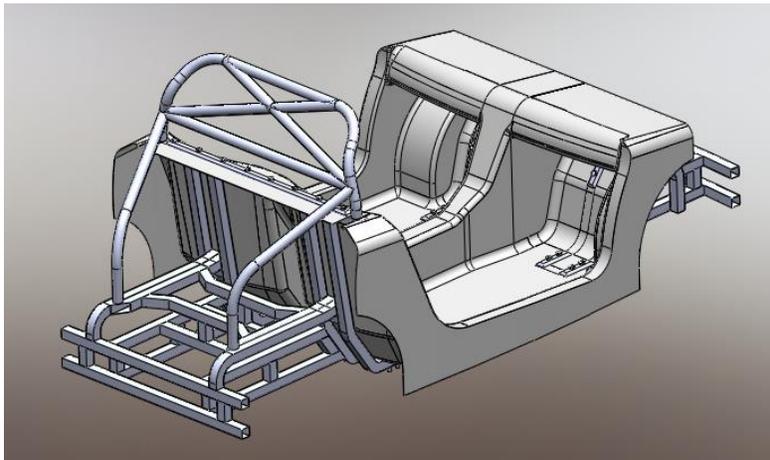
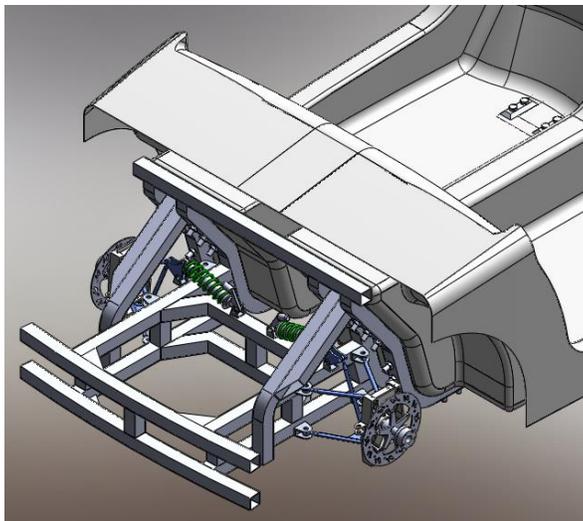


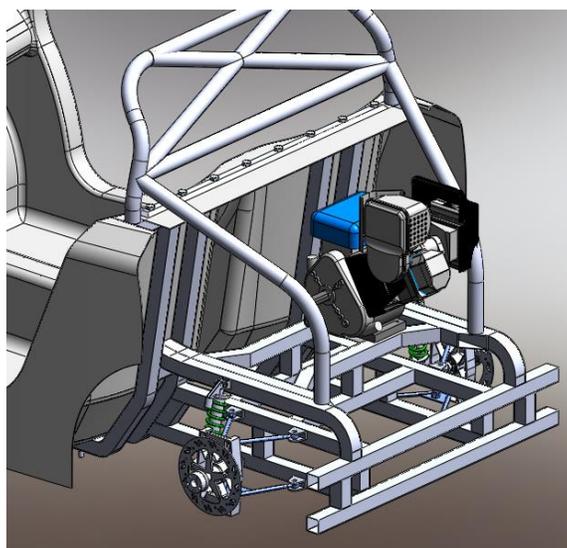
Figura 3.16 Vista auxiliar del semi-monocasco.

### 3.2.3 Diseño de configuración.

El diseño de configuración o arquitectura del producto para el diseño del chasis corresponde a seleccionar la ubicación de los diferentes componentes mecánicos que estarán sujetos al chasis del vehículo, en particular se le dio prioridad a la ubicación de los elementos más importantes como lo es la suspensión delantera y trasera, así como también se consideró la posible ubicación del motor térmico del vehículo, dicho diseño de configuración se muestra en las figuras 3.17 y 3.18.



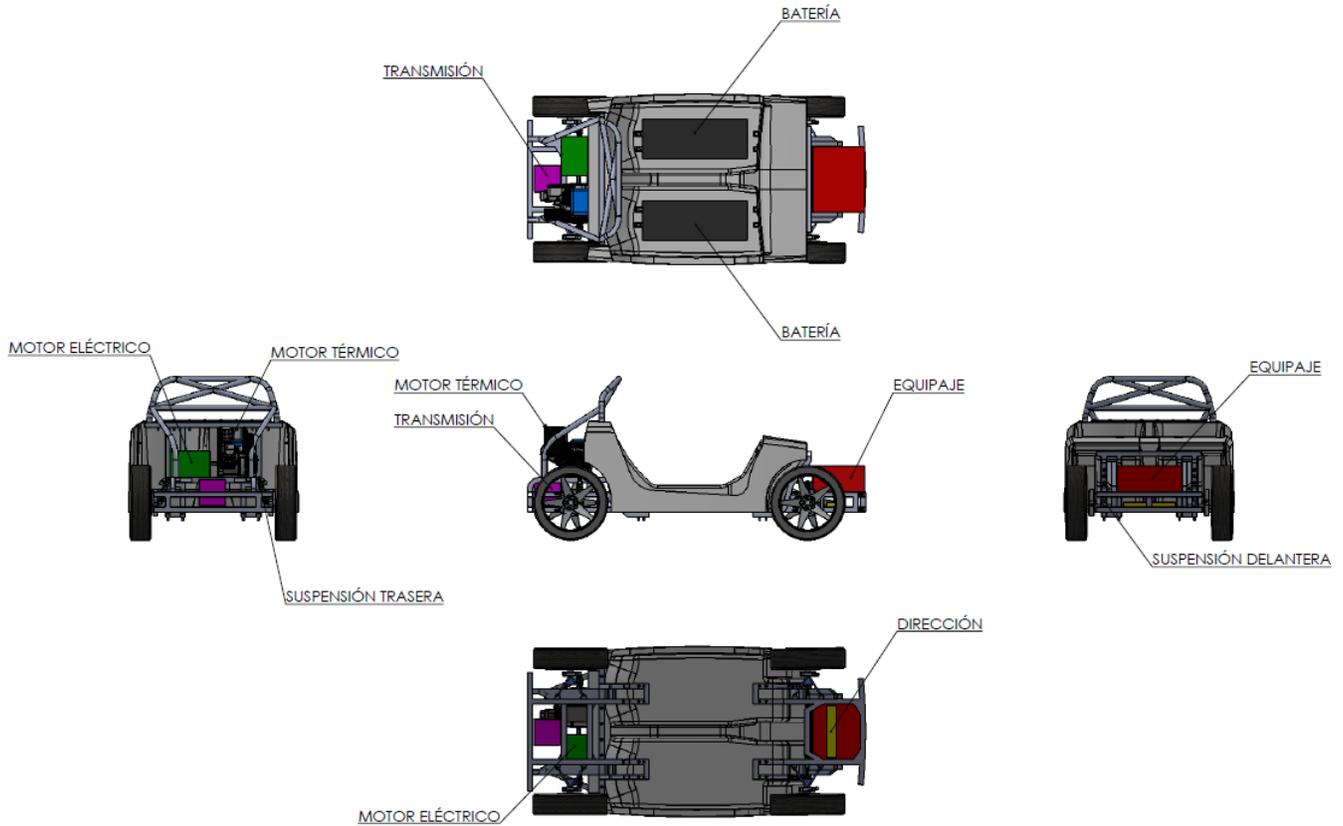
**Figura 3.17** Ubicación de la suspensión delantera en el semi-monocasco.



**Figura 3.18** Ubicación de la suspensión trasera y del motor térmico en el semi-monocasco.

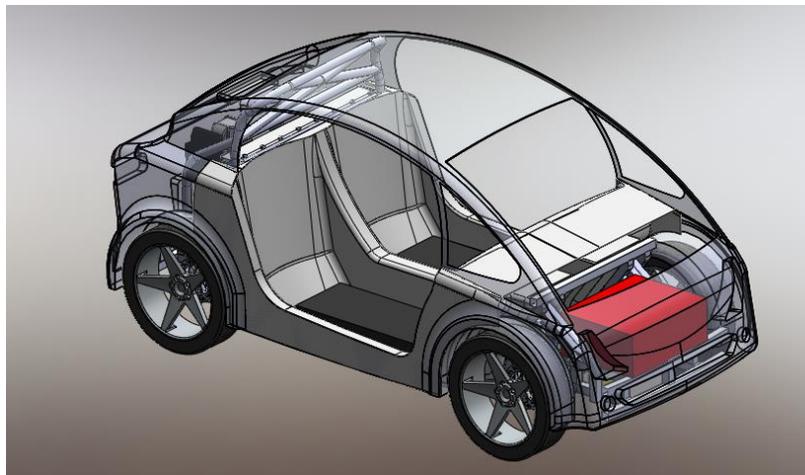
La suspensión delantera y trasera, así como el motor térmico, por ser considerados los elementos más importantes que estarán sujetos al chasis fueron modelados en CAD a detalle con la finalidad de poder observar el espacio que ocupan con mayor exactitud sin la necesidad de tener mayores holguras en cuanto a espacio, ya que el espacio restante es para ubicar de manera muy general los demás elementos mecánicos y no mecánicos que estarán sujetos al chasis.

Para lograr un diseño de configuración completo se modelaron los demás elementos que soporta el chasis mediante bloques que simulan el volumen y la ubicación de cada elemento en el semi-monocasco. Dicho diseño de configuración completo se muestra en la figura 3.19, donde se puede observar el volumen ocupado y la ubicación del equipaje, motor eléctrico, baterías, dirección y transmisión.

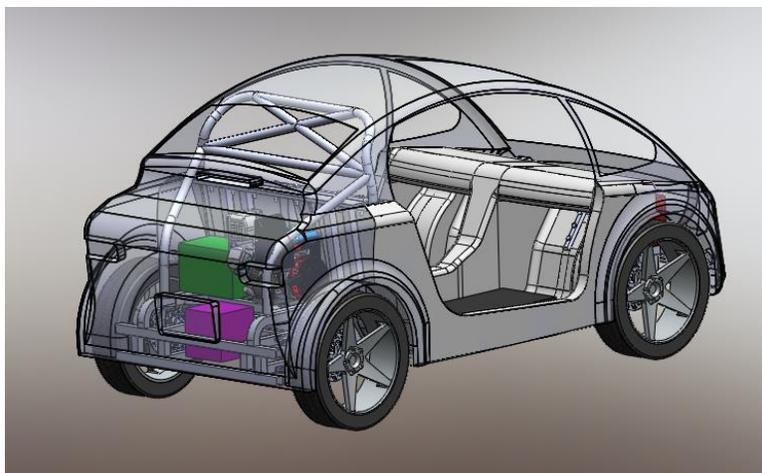


**Figura 3.19** Diferentes vistas del diseño de configuración completo del semi-monocasco.

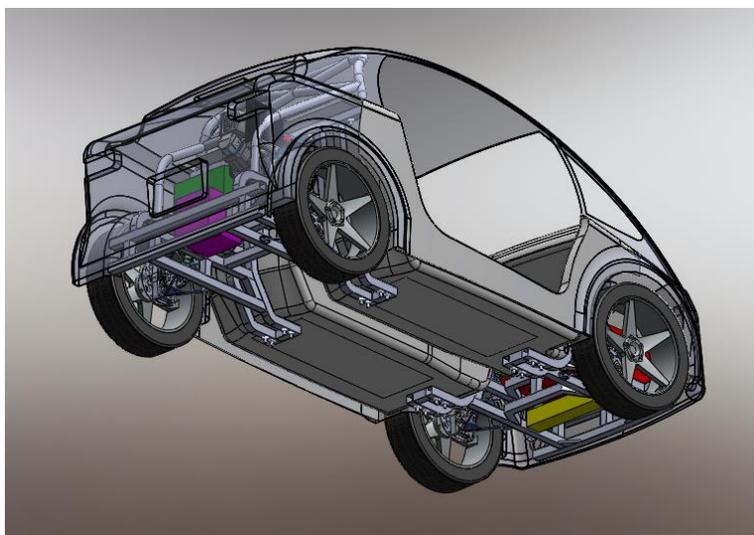
Para concluir con el diseño de configuración después de hacer una simplificación de componentes con bloques, se ensambló el Body del vehículo con el semi-monocasco para poder observar que el diseño de configuración es adecuado para el cumplimiento del reglamento, ya que en las figuras de la 3.20 a la 3.23 se puede ver que todos los componentes están confinados dentro de la carrocería del vehículo y además el espacio para el equipaje es el adecuado para poder albergar una caja con las dimensiones especificadas en el reglamento.



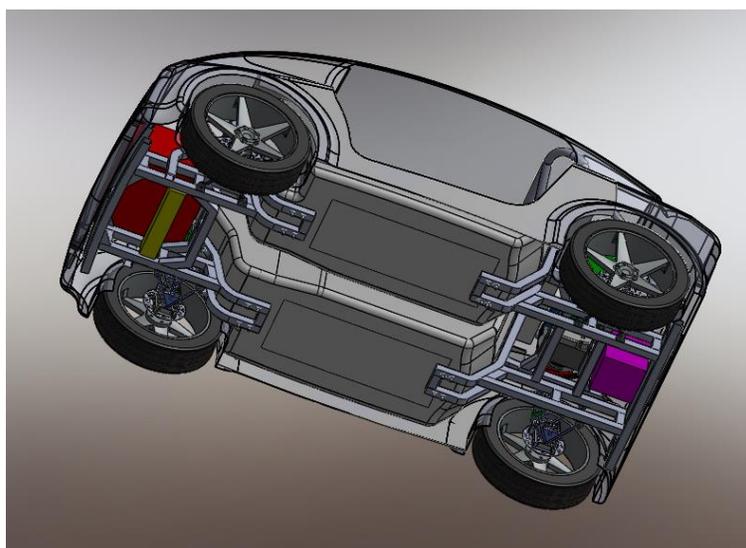
**Figura 3.20** Vista de la unión Body – Semi-monocasco 1.



**Figura 3.21** Vista de la unión Body – Semi-monocasco 2.



**Figura 3.22** Vista de la unión Body – Semi-monocasco 3.



**Figura 3.23** Vista de la unión Body – Semi-monocasco 4.

### 3.3 Diseño de detalle.

En esta etapa de diseño todas las decisiones ya están tomadas; es decir, es en el diseño de detalle donde ya están definidos todos los sistemas y subsistemas del proyecto así como componentes o partes que lo integran, gracias al desarrollo del diseño conceptual.

El diseño de detalle por ser la última etapa de diseño antes de llevar el proyecto a la manufactura es necesario desarrollar en esta etapa toda la documentación técnica necesaria para manufacturar el chasis, para ello es importante considerar todo lo desarrollado durante la etapa de diseño previa.

#### 3.3.1 Selección de materiales.

La selección de materiales consistió en evaluar las características y propiedades principales que se desean y se buscan en general para la mayoría de los materiales, en este caso para la manufactura del chasis se tomaron en cuenta 5 características que son importantes a la hora de evaluar y comparar materiales, dichas características se denominaron criterios de diseño y de igual manera que para la selección del tipo de chasis se evaluaron estos criterios de diseño en una matriz de decisión para obtener su respectivo peso o valor relativo como se muestra en la tabla 3.12.

Criterios de diseño	Manufactura	Resistencia mecánica	Costo	Disponibilidad	Densidad	Total	Valores relativos
Manufactura	*	0	0	1	0	1	0.100
Resistencia mecánica	1	*	1	1	1	4	0.400
Costo	1	0	*	0	0	1	0.100
Disponibilidad	0	0	1	*	0	1	0.100
Densidad	1	0	1	1	*	3	0.300
						Σ 10	1

Tabla 3.12 Evaluación de criterios de diseño (matriz de decisión para materiales).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de decisión para los materiales se determinó que las características o propiedades más importantes a considerar son la resistencia mecánica y la densidad; es decir, se busca un material que sea ligero y que tenga buena resistencia mecánica. Esta matriz de decisión es la misma para la selección del material de la parte central del semi-monocasco como para la selección del material de la parte frontal, trasera y para la jaula antivuelco.

Después de obtener los valores relativos de los criterios de diseño para los materiales, se identificó que la parte central del semi-monocasco es la de mayor dificultad de manufactura y además por tener una geometría compleja y con función estructural, de todos los grupos de materiales que existen en la actualidad se concluyó que los materiales que mejor se adaptan a la manufactura de la parte central del semi-monocasco son los materiales compuestos, en particular las fibras reforzadas con matriz polimérica. Para seleccionar el tipo de fibra se tomaron en cuenta 3 de las fibras más comunes y se evaluaron en una matriz de decisión ponderada cada una para después compararlas entre sí, dichas matrices de decisión ponderadas se muestran en las tablas 3.13, 3.14 y 3.15.

Fibra de vidrio					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
<i>Manufactura</i>	0.100	Experiencia	Regular	3	0.300
<i>Resistencia mecánica</i>	0.400	[MPa]	3445	2	0.800
<i>Costo</i>	0.100	[Dollar/kg]	2	4	0.400
<i>Disponibilidad</i>	0.100	Experiencia	Buena	4	0.400
<i>Densidad</i>	0.300	[kg/m <sup>3</sup> ]	2580	2	0.600
$\Sigma =$					2.500

Tabla 3.13 Matriz de decisión ponderada para la Fibra de Vidrio.

Fibra de Kevlar					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
<i>Manufactura</i>	0.100	Experiencia	Regular	3	0.300
<i>Resistencia mecánica</i>	0.400	[MPa]	3500	3	1.200
<i>Costo</i>	0.100	[Dollar/kg]	11	3	0.300
<i>Disponibilidad</i>	0.100	Experiencia	Regular	3	0.300
<i>Densidad</i>	0.300	[kg/m <sup>3</sup> ]	1440	4	1.200
$\Sigma =$					3.300

Tabla 3.14 Matriz de decisión ponderada para la Fibra de Kevlar.

Fibra de Carbono					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
<i>Manufactura</i>	0.100	Experiencia	Regular	3	0.300
<i>Resistencia mecánica</i>	0.400	[MPa]	> 3500	4	1.600
<i>Costo</i>	0.100	[Dollar/kg]	18	2	0.200
<i>Disponibilidad</i>	0.100	Experiencia	Regular	3	0.300
<i>Densidad</i>	0.300	[kg/m <sup>3</sup> ]	1750	4	1.200
$\Sigma =$					3.600

Tabla 3.15 Matriz de decisión ponderada para la Fibra de Carbono.

Para la selección del material de la parte frontal y trasera del semi-monocasco, así como también para la jaula antivuelco, se eligieron como opciones perfiles estructurales ya sea de acero o aluminio, y de igual forma que los materiales compuestos se evaluaron en matrices de decisión ponderadas como se observa en las tablas 3.16 y 3.17.

Acero					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
<i>Manufactura</i>	0.100	Experiencia	Buena	4	0.400
<i>Resistencia mecánica</i>	0.400	[MPa]	700	4	1.600
<i>Costo</i>	0.100	[\$]	Barato	4	0.400
<i>Disponibilidad</i>	0.100	Experiencia	Buena	4	0.400
<i>Densidad</i>	0.300	[kg/m <sup>3</sup> ]	7850	2	0.600
$\Sigma =$					3.400

Tabla 3.16 Matriz de decisión ponderada para perfil estructural de Acero.

Aluminio					
Criterios de diseño	Valor relativo	Unidades	Magnitud	Calificación	Evaluación
Manufactura	0.100	Experiencia	Buena	4	0.400
Resistencia mecánica	0.400	[MPa]	200	3	1.200
Costo	0.100	[\$]	Caro	3	0.300
Disponibilidad	0.100	Experiencia	Buena	4	0.400
Densidad	0.300	[kg/m <sup>3</sup> ]	2700	4	1.200
$\Sigma =$					3.500

Tabla 3.17 Matriz de decisión ponderada para perfil estructural de Aluminio.

Con la evaluación mediante las matrices de decisión ponderadas y comparando los materiales entre sí, se determinó que el mejor material compuesto para la parte central del semi-monocasco es la *fibra de carbono reforzada con matriz polimérica* y el uso de *perfiles estructurales comerciales de aluminio* para el marco espacial tanto delantero como trasero, así como también para la jaula antivuelco.

### 3.3.2 Simulación FEM del chasis.

La simulación FEM es una herramienta indispensable durante la etapa de diseño de detalle del chasis, ya que la simulación por elementos finitos implica hacer varias simulaciones que muestran el comportamiento mecánico del chasis ante diferentes situaciones a las cuales estará sometido durante su vida útil, es por esto que las simulaciones FEM son las que ayudan a validar el diseño para su posterior manufactura, estas simulaciones fueron hechas con el software NX 8.5.

#### Pre - proceso.

Durante el pre-proceso se comenzó con la discretización del dominio, que es el ensamble de todo el semi-monocasco (figura 3.24), antes de discretizar el dominio se decidió qué tipo de elemento finito se usará para mallar el chasis, para ello se seleccionó el tipo de elemento finito tetraédrico lineal (figura 3.25); es decir, con nodos sólo en los vértices, esto indica que el generador de mallas creó funciones de interpolación lineales para resolver el análisis por elementos finitos.

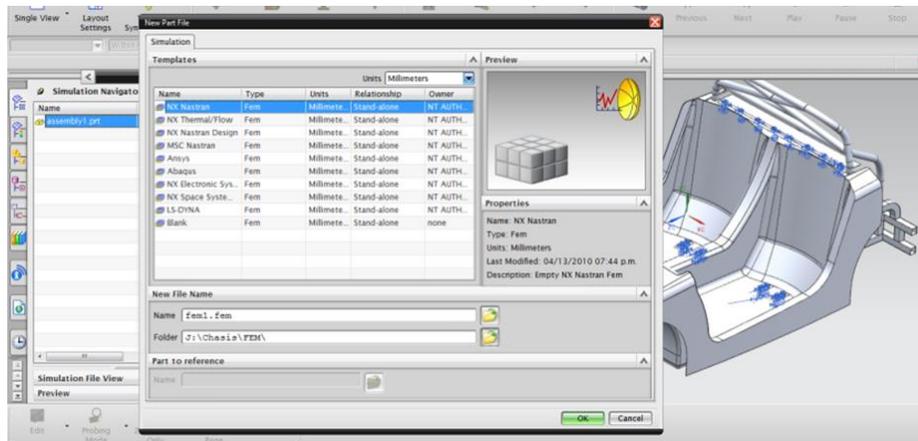


Figura 3.24 Creación FEM del ensamble del semi-monocasco.

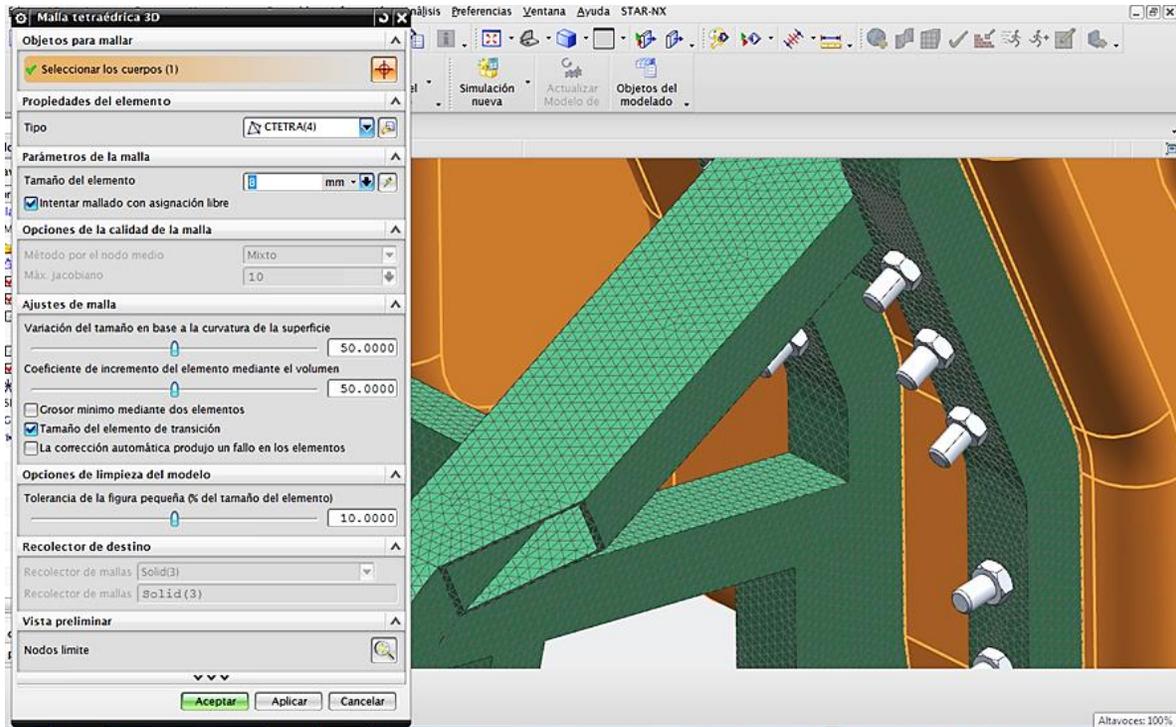


Figura 3.25 Mallado parcial del ensamble del semi-monocasco.

En términos de elemento finito el mallado de todo el ensamble partió del mallado parcial por piezas del mismo, con diferentes tamaños de elementos (figura 3.25), lo que significa que primero se malló el marco espacial delantero, seguido del marco espacial trasero, la jaula antivuelco, los injertos de aluminio, los tornillos, las tuercas y por último la parte central del semi-monocasco, para que posteriormente se conectaran todas las mallas en una sola malla (figura 3.26) y así poder obtener un mallado completo del chasis (figura 3.27), la calidad de la malla con el tamaño de elementos seleccionado es buena debido a que se logró una buena relación de aspecto como se puede ver en las figuras 3.25 y 3.27.

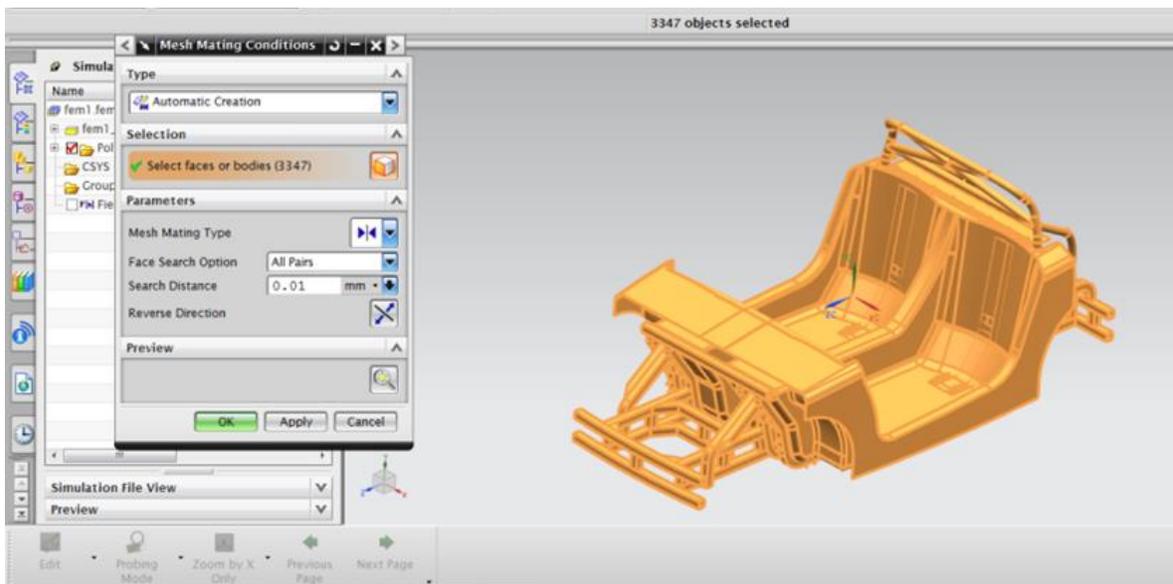


Figura 3.26 Unión de mallas en el ensamble del semi-monocasco.

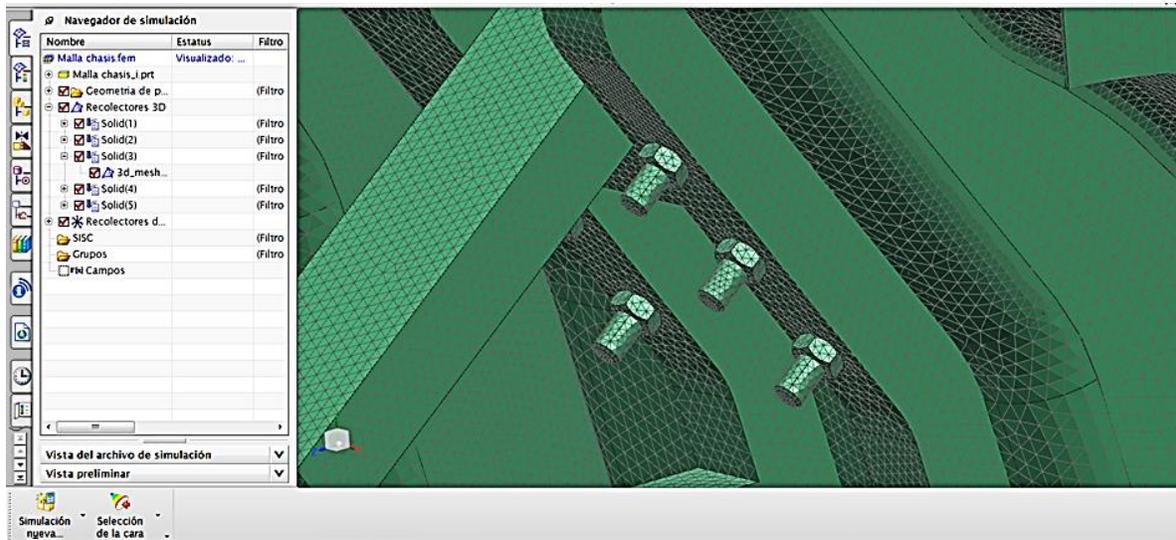


Figura 3.27 Mallado completo del semi-monocasco.

Una vez que el chasis se discretizó en un número finito de elementos (889269 elementos) se asignaron propiedades físicas y mecánicas del material de cada pieza del ensamble. De acuerdo a la selección previa de materiales se asignó como material para la parte frontal y trasera del semi-monocasco (marcos espaciales) la aleación de aluminio 6063, a la jaula antivuelco la aleación de aluminio 6061, ésta aleación también se le asignó como material a los injertos de aluminio de la parte central del semi-monocasco, para la parte central del semi-monocasco se asignó como material el compuesto de fibra de carbono con matriz de resina epoxi (CFRP) y por último para los tornillos y tuercas que unen las tres partes del semi-monocasco se asignó una aleación de acero estructural 4140 (figura 3.28).

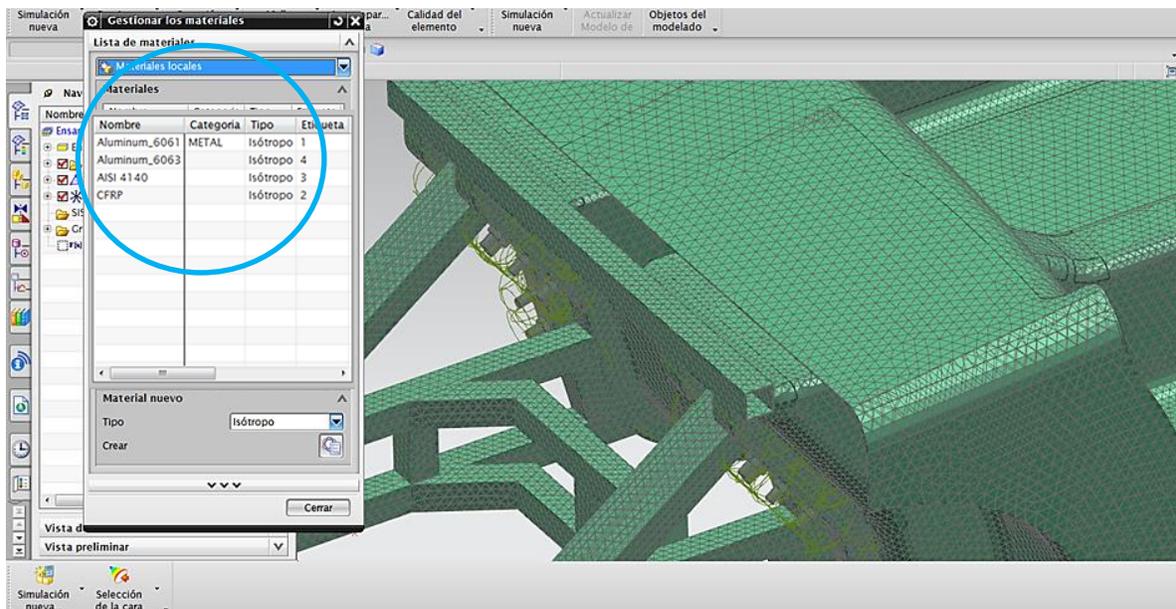


Figura 3.28 Asignación de materiales a las piezas del semi-monocasco.

Para la asignación del material de la parte central del semi-monocasco se creó un nuevo material en la librería del software ya que dicha librería no cuenta con este tipo de material compuesto por lo cual se capturaron los datos de las propiedades mecánicas y físicas de la fibra de carbono con matriz de resina epoxi haciendo una simplificación como material isotrópico y no como lo que en realidad es; es decir, no como un material ortotrópico. Las propiedades mecánicas de cada material asignado se pueden consultar en la tabla 3.18.

Material	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo de Young (E) [GPa]	Relación de Poisson (ν)	Lím. Elástico [MPa]	Resistencia máx. [MPa]
AISI 4140	7850	205	0.29	1735	1965
Aluminio 6061	2700	68.9	0.33	276	310
Aluminio 6063	2700	68.9	0.33	145	186
CFRP	1800	240	0.4	-	4000

Tabla 3.18 Propiedades mecánicas de los materiales. [13]

Por último dentro del pre-proceso se crearon las condiciones de frontera del problema, primero se seleccionó el tipo de análisis FEM que se desea ejecutar, en este caso fue un análisis FEM de tipo estático estructural (figura 3.29).

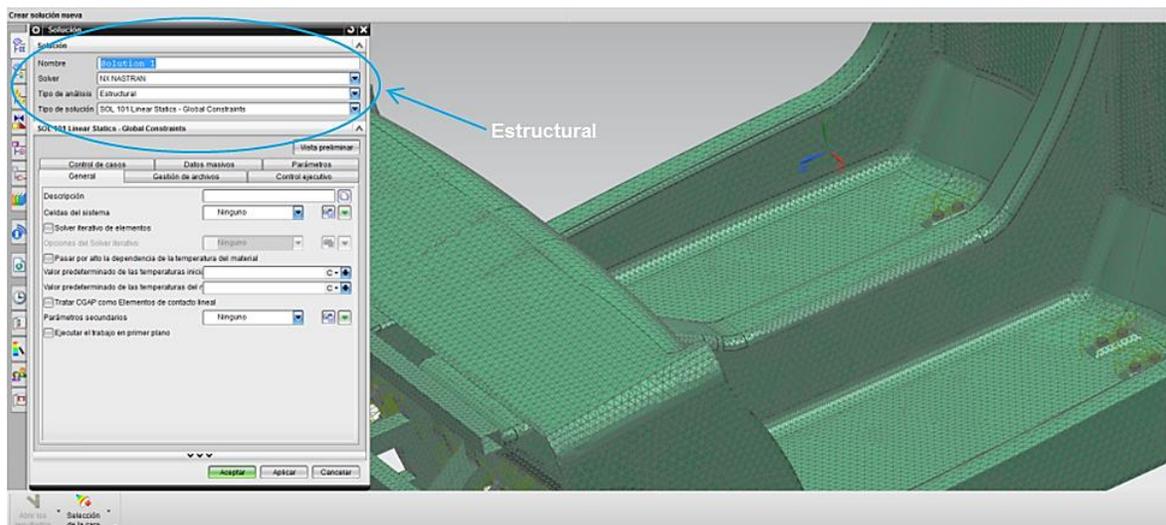


Figura 3.29 Selección del tipo de análisis FEM.

Para asignarle las condiciones de frontera al chasis, primero se seleccionaron las condiciones de frontera esenciales las cuales consistieron en poner restricciones a los grados de libertad que elegimos, posteriormente se asignaron las condiciones de frontera naturales que consistió en colocar las cargas que actúan sobre el sistema; por ejemplo, en la figura 3.30 se observan las condiciones de frontera que se aplicaron para el análisis de torsión.

Para todos los análisis estáticos del chasis los pasos seguidos del FEM son idénticos hasta el pre-proceso, es por esta razón que se realizó sólo una vez el mallado del chasis con todo y sus propiedades de los materiales para el desarrollo de todos los análisis realizados en esta tesis, donde sólo se variaron tanto las condiciones de frontera esenciales como las naturales, las condiciones de frontera de cada análisis que se realizó se detallan en el siguiente capítulo.

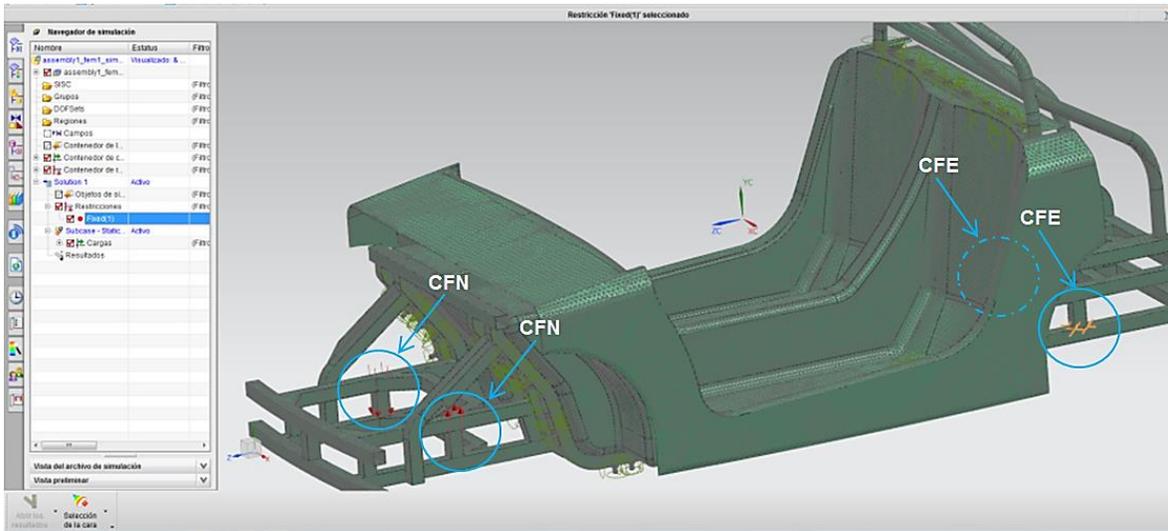


Figura 3.30 Asignación de condiciones de frontera en el semi-monocasco.

**Solución.**

Durante esta etapa el software buscó posibles errores en la solución del modelo, posteriormente se construyeron las matrices de rigidez global y el vector de carga global mediante la conectividad de todos los nodos de la malla (figura 3.31), con esto el software creó el sistema de ecuaciones que resolvió (figura 3.32) para poder obtener los desplazamientos como resultado de la solución de la ecuación del elemento finito definida en el capítulo anterior.

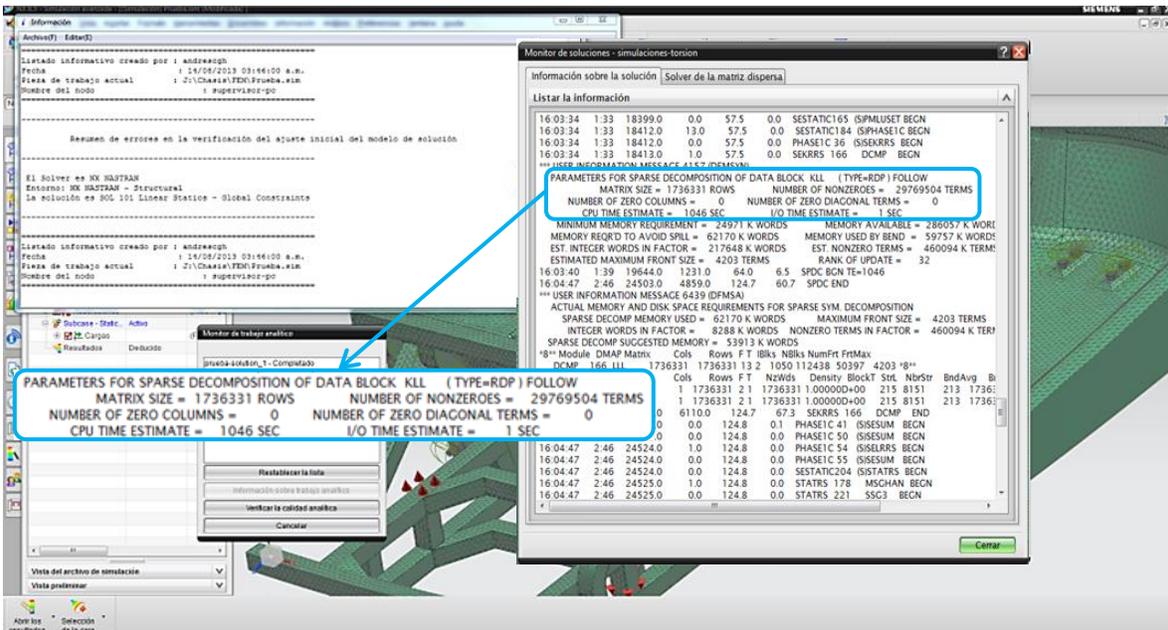


Figura 3.31 Generación de la matriz de rigidez global y del vector de carga global.

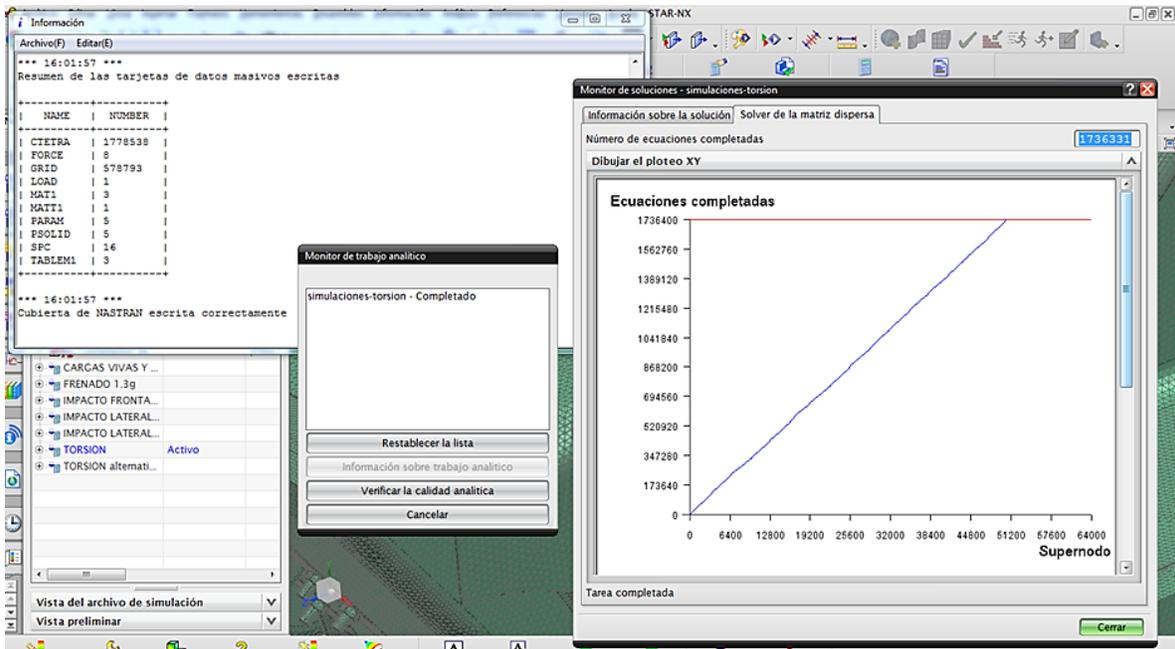


Figura 3.32 Solución del sistema de ecuaciones.

**Post - proceso.**

En el post-proceso sólo se presentan los resultados obtenidos después de la solución del modelo, en esta última etapa de la simulación FEM se obtuvo una representación gráfica del modelo (incluyendo animaciones), así como, también los resultados de los desplazamientos y de magnitudes derivadas como los esfuerzos de Von Mises, cortante, etc. (figura 3.33).

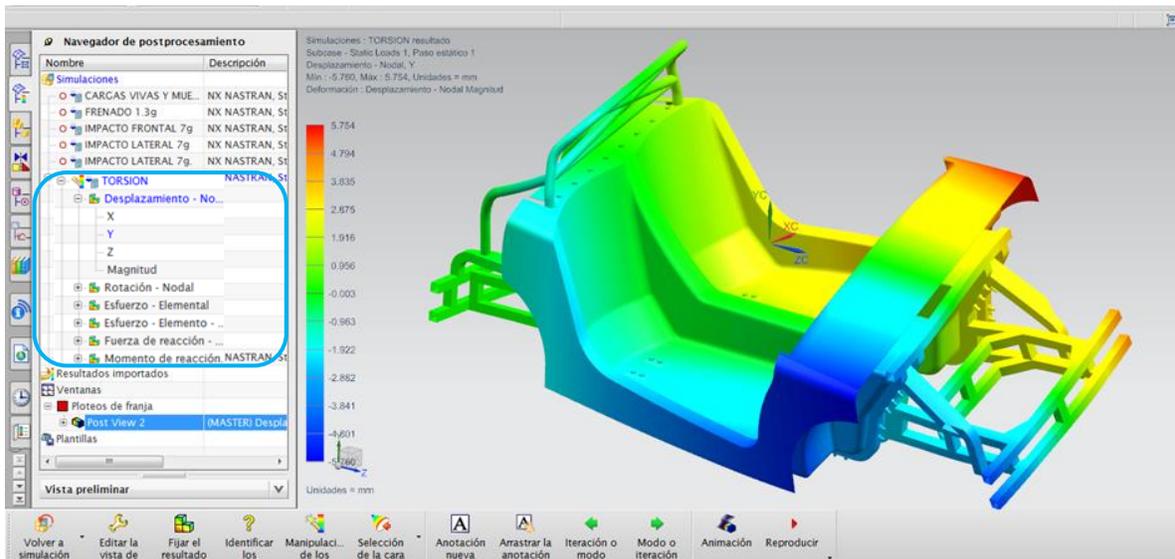


Figura 3.33 Representación gráfica de los resultados en el post-proceso.

El post-proceso de cada una de las simulaciones hechas se presenta en el siguiente capítulo donde se analizan los resultados obtenidos durante las simulaciones FEM del chasis.

### 3.4 Manufactura.

Debido a que el alcance de este trabajo de tesis fue hasta la etapa de diseño de detalle, para la manufactura que es la última etapa de la metodología de diseño, se hizo una propuesta de manufactura para el chasis, que se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 3.34, donde se especifica cada proceso de manufactura recomendado para fabricar los marcos espaciales, la jaula antivuelco y la parte central del semi-monocasco.

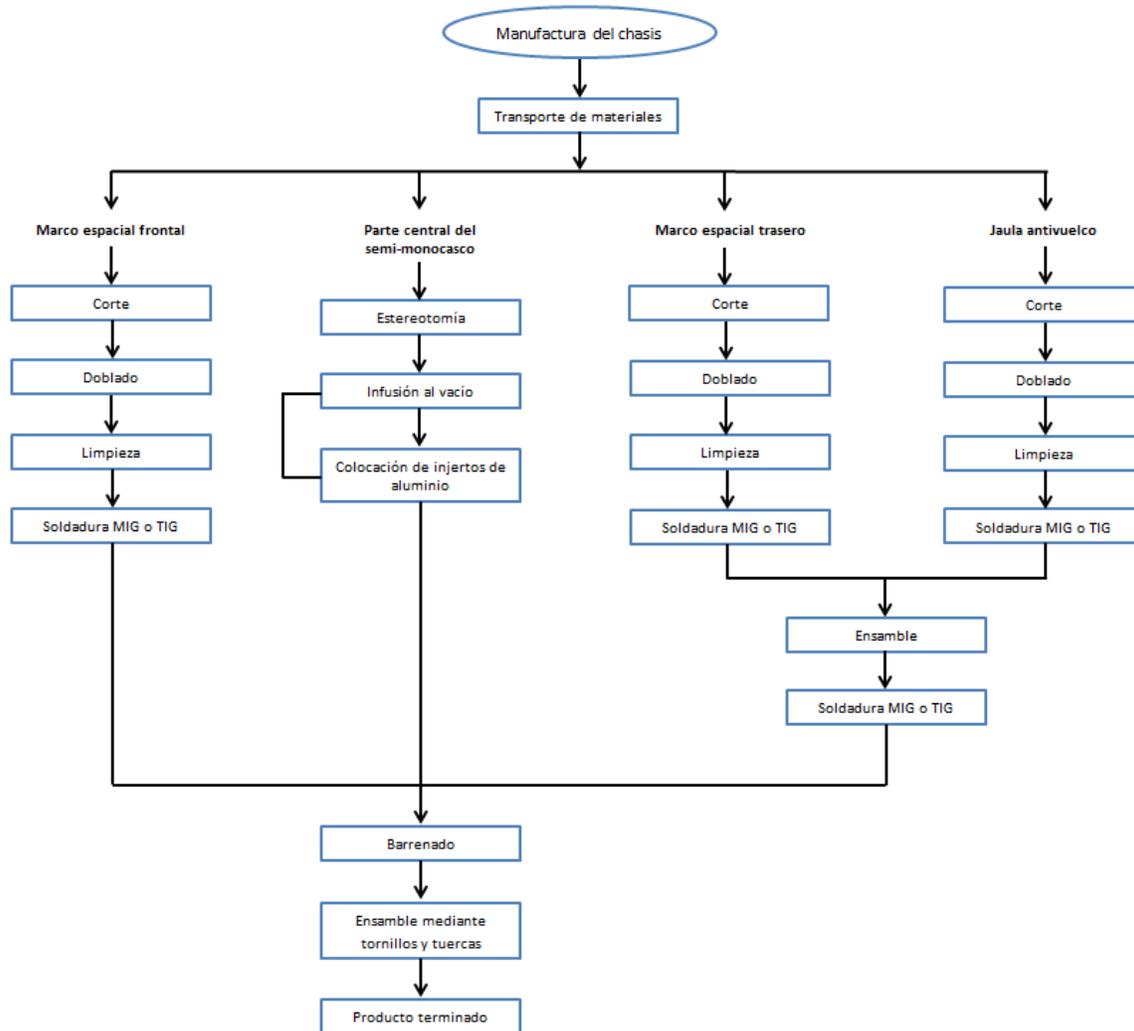


Figura 3.34 Diagrama de flujo de la propuesta de manufactura para el chasis.

---

---

*CAPÍTULO*

# 4

*ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS*

**E**l presente capítulo muestra a detalle los resultados finales que se obtuvieron durante las simulaciones FEM, teniendo como objetivo analizar y evaluar los resultados obtenidos para poder justificar la validación del diseño del chasis.

## 4.1 Distribución de masas.

La distribución de masas como se mencionó en el capítulo 2 se refiere sólo a la obtención del centro de masas del vehículo, el cálculo se realizó mediante el software SolidWorks 2012, que muestra una tabla de propiedades físicas del ensamble después de asignarle materiales a cada una de las piezas que conforman al semi-monocasco.

Los resultados más importantes arrojados por el software son la ubicación del centro de masas como se muestra en la figura 4.1, además del cálculo de la masa total del chasis que resultó ser de aproximadamente 49.35 [kg].

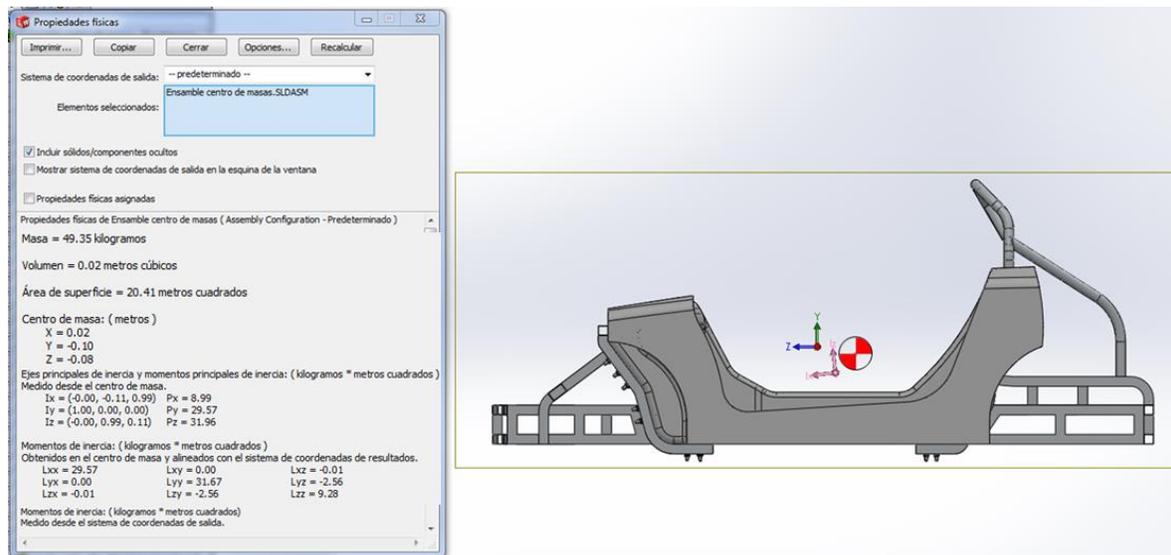


Figura 4.1 Tabla de propiedades físicas y ubicación del centro de masas del chasis.

Como se observa en la figura 4.1 el centro de masas a simple vista no es muy bajo como se desea, debido a que este centro de gravedad sólo es del semi-monocasco y no es un estudio detallado de todas las masas que componen al vehículo como se presentó en el capítulo 2; sin embargo, el hecho de que el centro de masas del semi-monocasco esté por debajo del origen del sistema coordenado (centro geométrico) es bueno ya que esto garantiza que el centro de masas total sea bajo cuando el chasis esté cargado con las masas restantes que compondrán al vehículo y, por lo tanto, se asegura la posible estabilidad dinámica del vehículo.

## 4.2 Análisis de las simulaciones FEM.

El análisis de las simulaciones mediante FEM de los casos de estudio que a continuación se mencionan se refiere a analizar los desplazamientos y esfuerzos que se obtuvieron como resultado de cada simulación, así como también realizar los cálculos necesarios que se requieran para obtener magnitudes derivadas para su análisis, según sea el caso en estudio.

### 4.2.1 Cargas vivas y muertas.

El análisis estático debido a las cargas vivas y muertas que actúan sobre el chasis en condiciones de uso, consistió en colocar como CFE la restricción de todos los GDL en los cuatro puntos donde se apoya la suspensión del vehículo y la colocación de las CFN de acuerdo a la ubicación de los componentes más importantes soportados por el chasis, dicha ubicación se detalló en el capítulo anterior para el diseño de configuración del chasis.

En la simulación para las CFN, se colocó el peso (como carga distribuida) de cada uno de los componentes más importantes que se apoyarán sobre el chasis, las CFN que se consideraron fueron el peso de las baterías 784.8 [N], del motor térmico 392.4 [N], del motor eléctrico 294.3 [N] y equipaje 196.2 [N], estos pesos corresponden a las cargas muertas, en cuanto a las cargas vivas se colocó como CFN el peso del piloto y copiloto de 735.75 [N] cada uno, como se puede ver en el DCL de la figura 4.2.

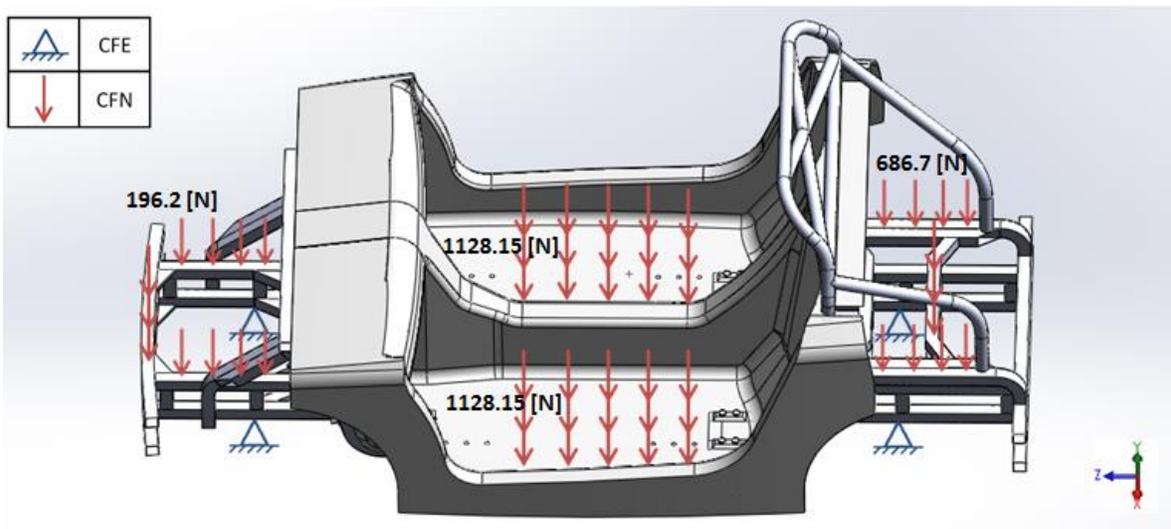


Figura 4.2 DCL del chasis para cargas vivas y muertas.

Para el análisis de esfuerzos como resultado de someter el chasis a cargas vivas y muertas, el esfuerzo máximo de Von Mises fue de 35.75 [MPa] y se ubicó en los puntos de anclaje de la suspensión trasera, estos resultados se pueden observar en las figuras 4.3 y 4.4, el valor del esfuerzo máximo está muy por debajo del esfuerzo máximo soportado por el material (aluminio 6063), es por ello que el chasis soportará sin problema alguno este tipo de cargas.

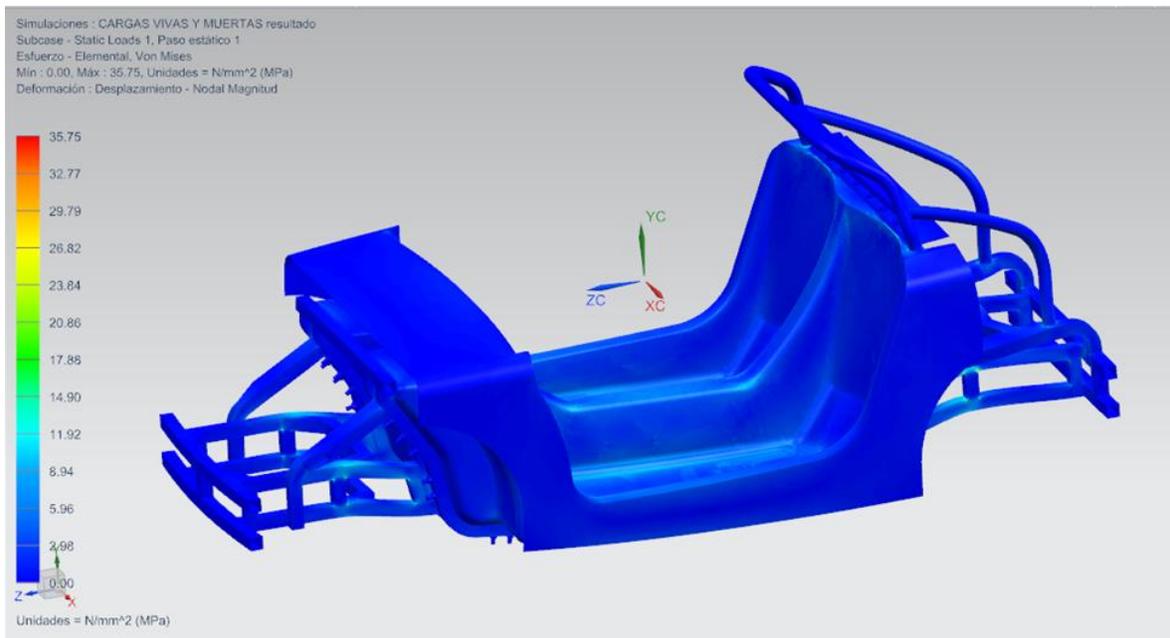


Figura 4.3 Esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a cargas vivas y muertas.

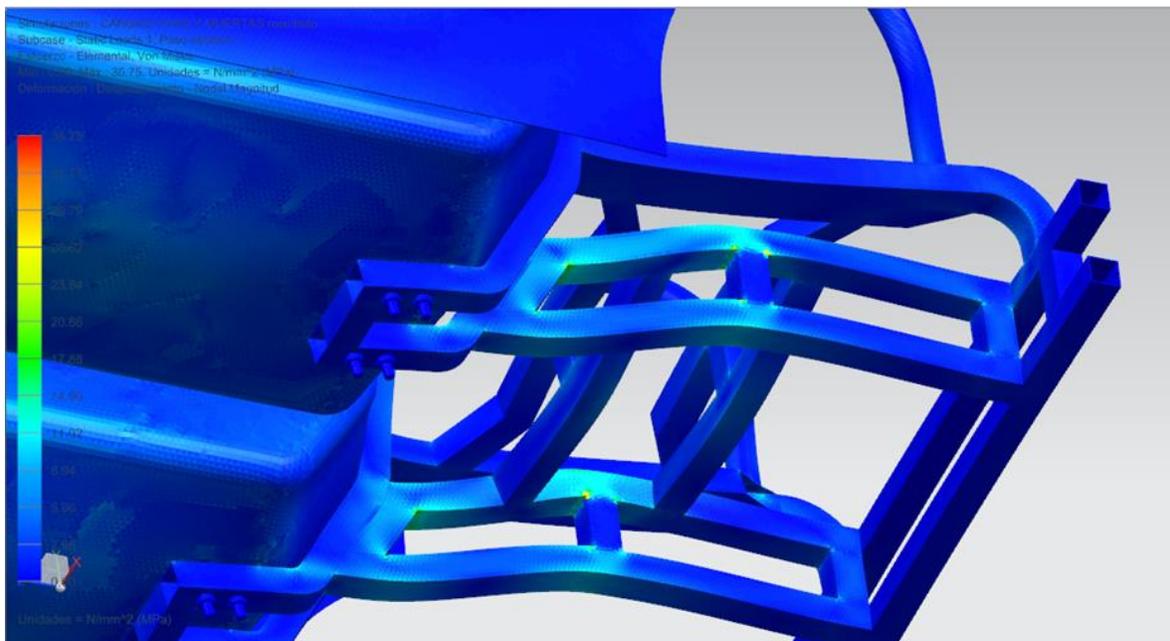


Figura 4.4 Detalle de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a cargas vivas y muertas.

### 4.2.2 Cargas de impacto.

Las simulaciones FEM para las cargas de impacto fueron simplificadas como análisis estáticos y no como dinámicos, debido a la complejidad que se tiene para hacer un análisis de impacto completo con todos los sistemas que componen al vehículo como se suele hacer en la práctica para este tipo de análisis, las simulaciones FEM para análisis de colisiones en vehículos es todo un tema de estudio, por lo que no es considerado como objeto de estudio de esta tesis.

Estos análisis de impacto simplificados fueron hechos para dos casos; impacto frontal y lateral, en donde se consideró una aceleración de  $7g$  que es la aceleración mínima que se requiere para activar las bolsas de aire en los vehículos comerciales [14], y una masa total del vehículo de  $205$  [kg] que es la masa máxima permitida por el reglamento de la competencia. Para tener una idea de qué significa una desaceleración de  $7g$ , esto es equivalente a detener por completo el vehículo de  $50$  [km/h] a  $0$  [km/h] en tan solo  $0.202$  segundos en una situación de impacto frontal.

#### *Impacto frontal.*

El análisis de cargas por impacto frontal consistió en colocar como CFE la restricción de todos los GDL de la parte frontal del semi-monocasco (defensa delantera), además de colocar una sola CFN de tipo gravitatoria que garantiza que la carga de impacto actúe en todo el cuerpo con un valor igual a  $7g$  en sentido positivo de la dirección del eje Z longitudinal del chasis, las CF se muestran en el DCL de la figura 4.5. El objetivo de colocar de esta forma las CF es para simular un impacto del vehículo a una velocidad de  $50$  [km/h] sobre un objeto fijo; como por ejemplo, el impacto del vehículo sobre una pared.

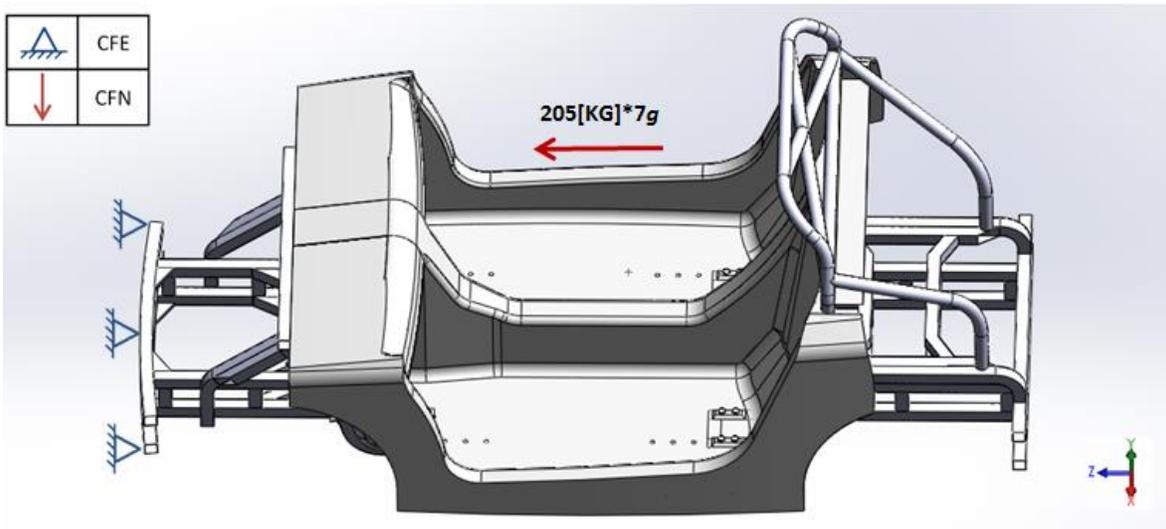
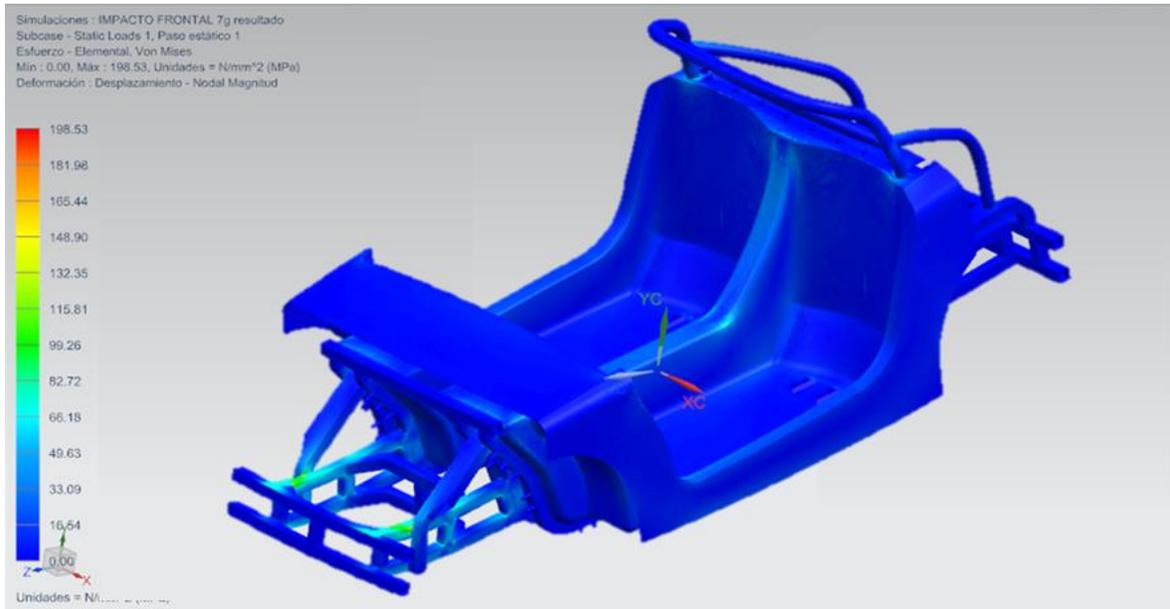


Figura 4.5 DCL del chasis carga por impacto frontal.

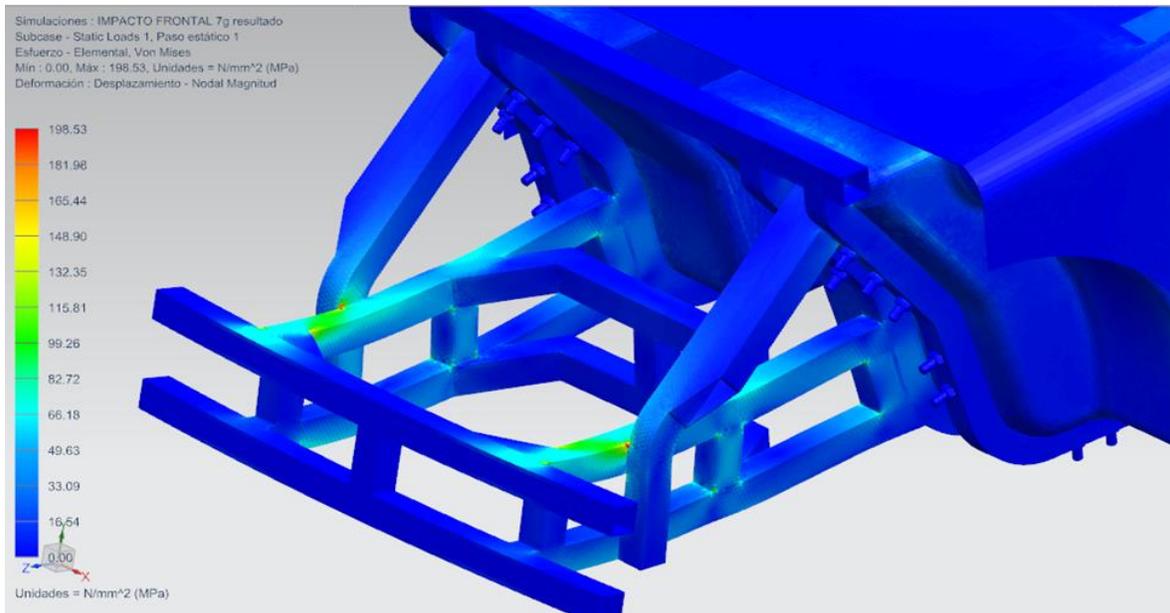
En cuanto a los esfuerzos, se observa en las figuras 4.6 y 4.7 que se tienen concentradores de esfuerzos en una pequeña parte de la unión de los arcos laterales con los largueros principales del marco espacial frontal del chasis.

Estas zonas del marco espacial frontal del chasis son las más castigadas cuando se trata de un estudio de impacto frontal ya que es donde se obtiene el valor máximo de esfuerzo de Von Mises con un valor de 198.53 [MPa], que comparándolo con el esfuerzo máximo soportado por la aleación de aluminio 6063 ésta parte del chasis falla, debido a que se rebasa la resistencia máxima del material por 12.53 [MPa].



**Figura 4.6** Esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de impacto frontal.

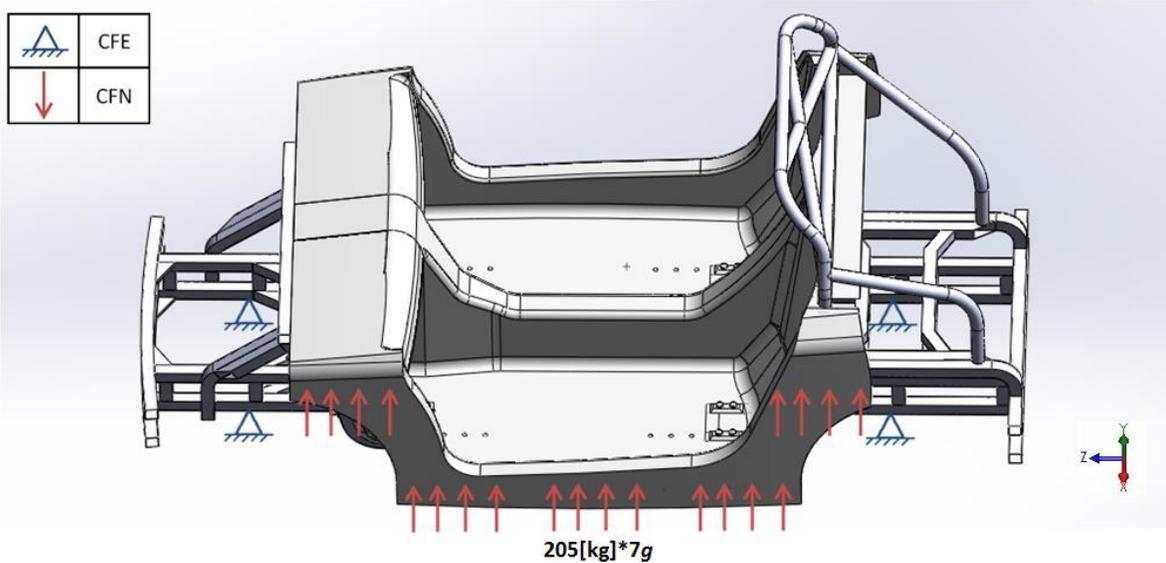
Como el valor del esfuerzo máximo de Von Mises está por encima del máximo soportado por el aluminio 6063, se recomienda colocar en las uniones antes mencionadas refuerzos de aluminio 6061 en forma de ángulo, con el objetivo de evitar la concentración de esfuerzos en el cordón de soldadura.



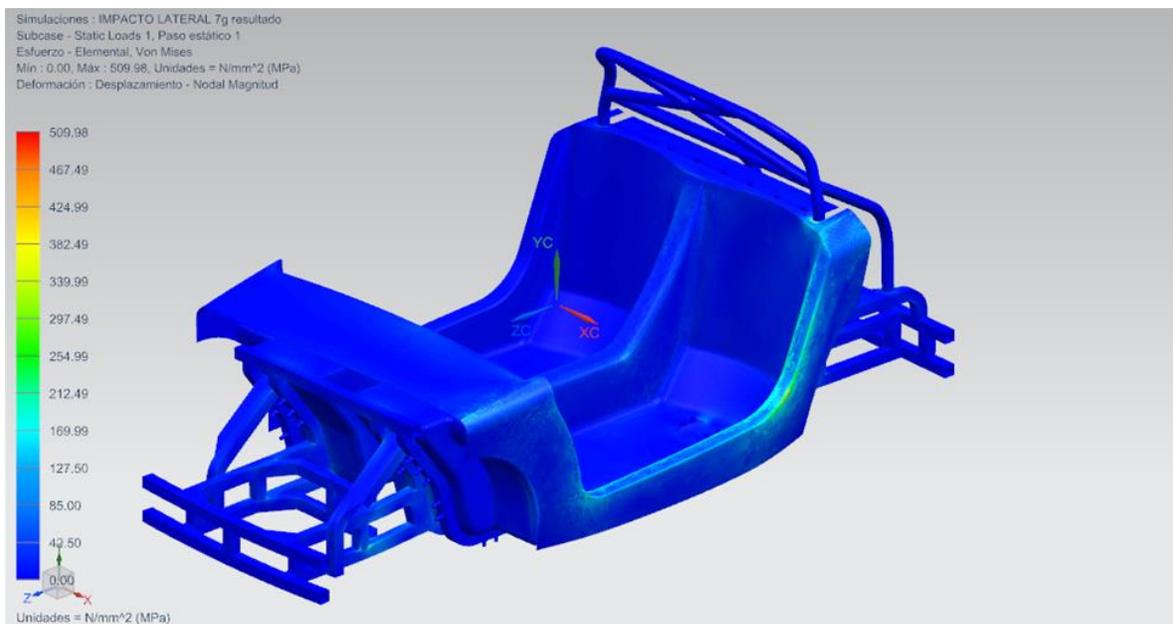
**Figura 4.7** Detalle de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de impacto frontal.

**Impacto lateral.**

La simulación para un impacto lateral se hizo considerando que el vehículo está totalmente en reposo y a la vez es impactado por un costado por otro vehículo con la misma masa de 205 [kg] a una velocidad de 50 [km/h] y una aceleración igual a 7g. Para este análisis se tomaron como CFE la restricción de todos los GDL de los cuatro puntos donde se apoya la suspensión del vehículo, para la colocación de las CFN se colocó una carga distribuida en el costado izquierdo del chasis, que simula una masa de 205[kg] a una aceleración de 7g en sentido negativo de la dirección del eje X transversal del chasis, como se puede observar en el DCL de la figura 4.8.



**Figura 4.8** DCL del chasis para carga por impacto lateral.



**Figura 4.9** Esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de impacto lateral.

Los esfuerzos de Von Mises obtenidos se pueden observar en la figura 4.9, donde el valor máximo es de 509.98 [MPa], y se nota que el esfuerzo máximo se concentra en el borde de la parte trasera del estribo izquierdo del semi-monocasco como se puede ver en la figura 4.10; sin embargo, por los valores de esfuerzo máximo que se obtuvieron el material de la parte central del semi-monocasco es capaz de soportar dichos esfuerzos máximos sin fallar.

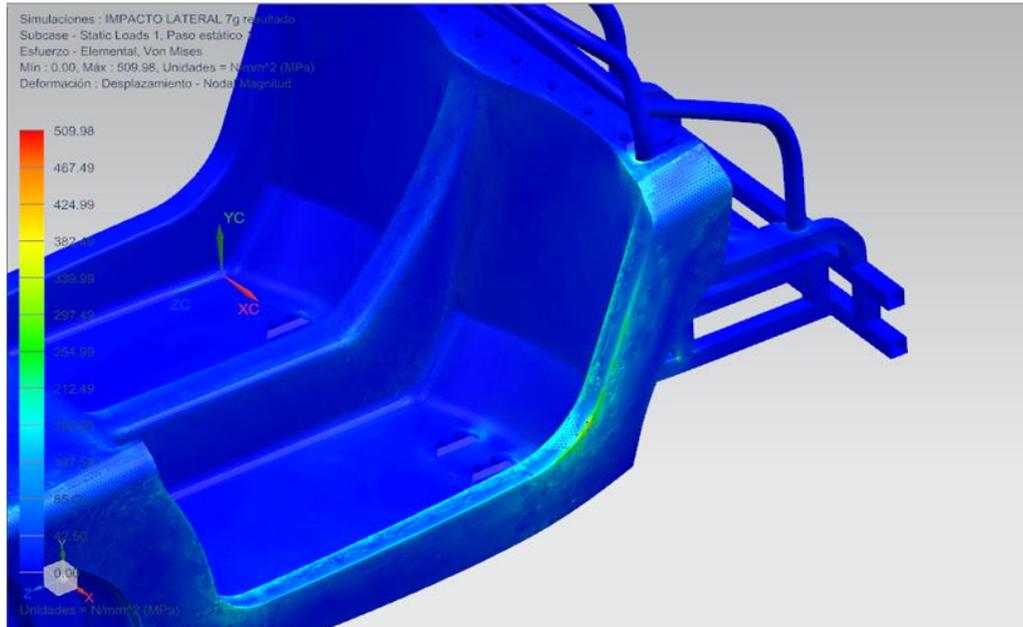


Figura 4.10 Detalle de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de impacto lateral.

### 4.2.3 Carga de frenado.

El análisis del chasis por carga de frenado junto con los siguientes análisis (volcadura y torsión) es uno de los casos de estudio más importantes en cuanto al diseño del chasis, este análisis consistió en simular estáticamente el comportamiento posible que tendrá el chasis cuando esté sometido a una enfrenada brusca del orden de desaceleración equivalente a 1.3g, que es la magnitud de desaceleración que se da en promedio en autos deportivos de calle; es decir, para poder interpretar esta desaceleración es como si se detiene el vehículo en un frenado brusco, de una velocidad de 80 [km/h] a 0 [km/h] en 1.743 segundos. El valor de la desaceleración considerado está sobrestimado, debido a que se decidió colocar al vehículo en una situación lo más desfavorable en caso de una enfrenada, ya que en promedio un vehículo compacto apenas alcanza una desaceleración de 1g en una enfrenada brusca [15].

La prueba de frenado se realizó colocando como CFE la restricción de todos los GDL de los cuatro puntos de apoyo de la suspensión del vehículo, y por último se colocaron como CFN cada una de las cargas distribuidas a 1.3g de los elementos que estarán sujetos al chasis en sentido positivo del eje Z longitudinal del chasis, para simular el efecto de la gravedad y la inercia de frenado como se ilustra en el DCL de la figura 4.11.

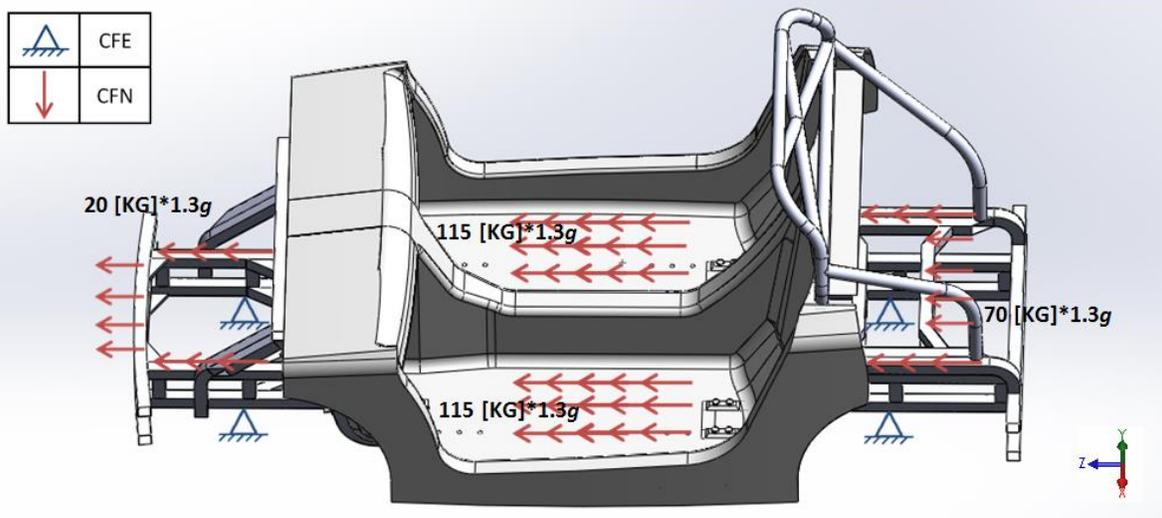


Figura 4.11 DCL del chasis para carga de frenado.

El esfuerzo máximo de Von Mises es de 16.51 [MPa] como se puede ver en la figura 4.12, y se concentra en la unión de cada uno de los postes centrales con los largueros principales del marco espacial trasero como se puede observar en la figura 4.13, de acuerdo al valor de esfuerzo máximo y comparando las propiedades mecánicas del material de los marcos espaciales; el aluminio 6063 puede soportar dicho esfuerzo sin mayores problemas, por lo que se concluye que el vehículo es capaz de soportar una frenada tan brusca de 1.3g como ésta.

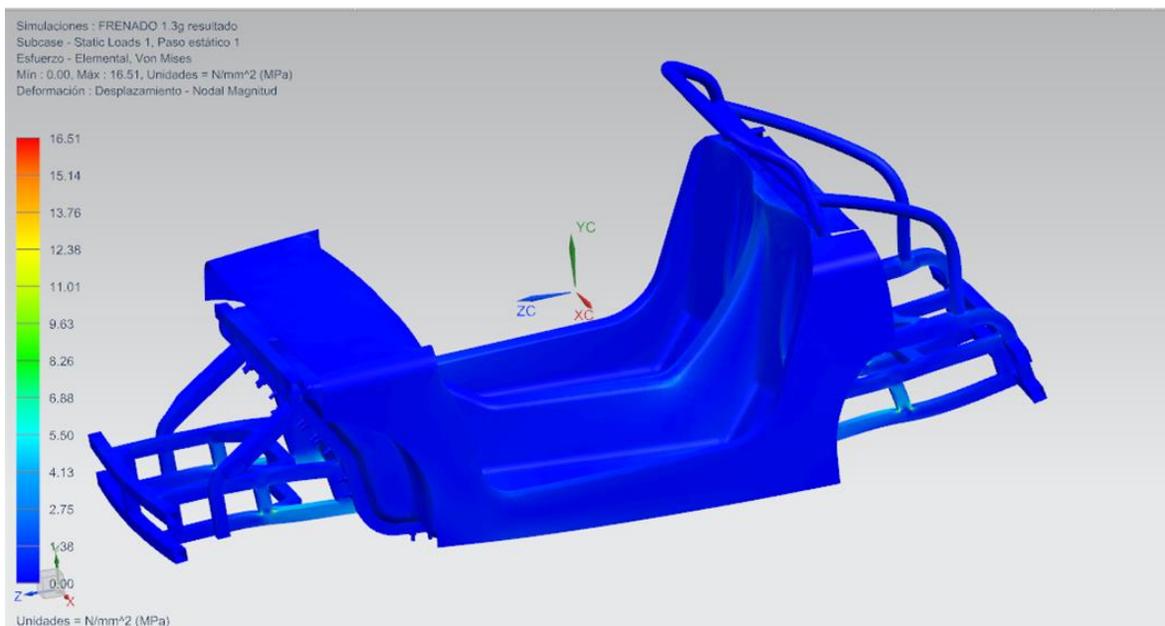


Figura 4.12 Esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de frenado.

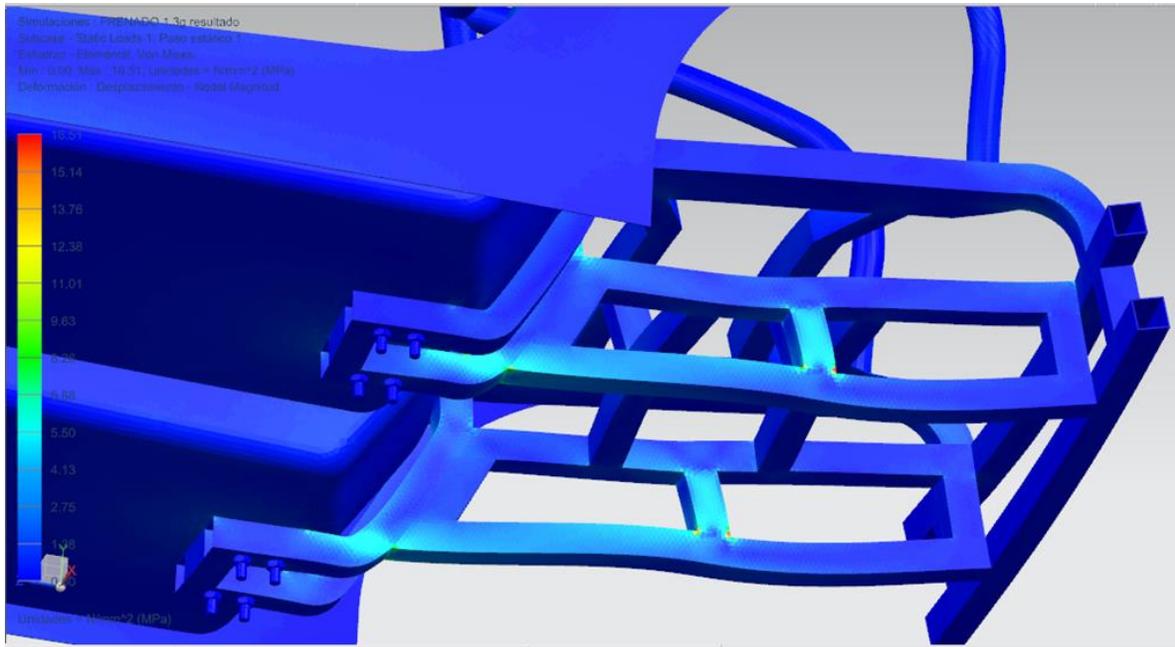


Figura 4.13 Detalle de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a carga de frenado.

#### 4.2.4 Volcadura.

La simulación de volcadura es un caso de estudio importante debido a que es una prueba de seguridad donde la barra antivuelco juega un papel muy importante, ya que garantiza la seguridad de los ocupantes del vehículo en caso de un accidente de ésta naturaleza.

Para simular este tipo de accidente, se consideró un caso muy extremo donde el impacto por volcadura sea igual a la masa total del vehículo a 1.5g, y además que cuando el vehículo esté volcado, sólo una línea tangente del tubo de la parte superior de la barra antivuelco toque el piso solamente; es decir, que toda la carga esté soportada sólo por la parte superior de la barra antivuelco, viéndolo de otra forma este caso de volcadura extremo es similar si los ejes de las ruedas delanteras y traseras estén paralelos al piso y la única superficie de contacto del vehículo con el piso sea la parte superior de la barra antivuelco; sin embargo, sabemos que este caso es muy extremo o casi imposible ya que en condiciones normales de volcadura lo más probable que suceda es que la parte superior de la barra antivuelco y la parte frontal de la parte central del semi-monocasco sean las superficies que toquen el piso, creando un triángulo de seguridad para los ocupantes (sin considerar la carrocería).

El valor de 1.5g es el valor máximo que se encuentra en el umbral de volcadura de vehículos compactos [16], que es un valor mínimo necesario para volcar un vehículo al ser sometido a una aceleración lateral de tal magnitud.

Para realizar la simulación se tomaron como CFE la restricción de todos los GDL de la parte inferior del marco espacial trasero y como CFN una carga distribuida sobre la parte superior de la barra antivuelco con una magnitud equivalente a la masa total del vehículo en una atmósfera con gravedad de 1.3g, la carga distribuida se colocó en sentido negativo de la dirección del eje Y normal del chasis como se ilustra en la figura 4.14.

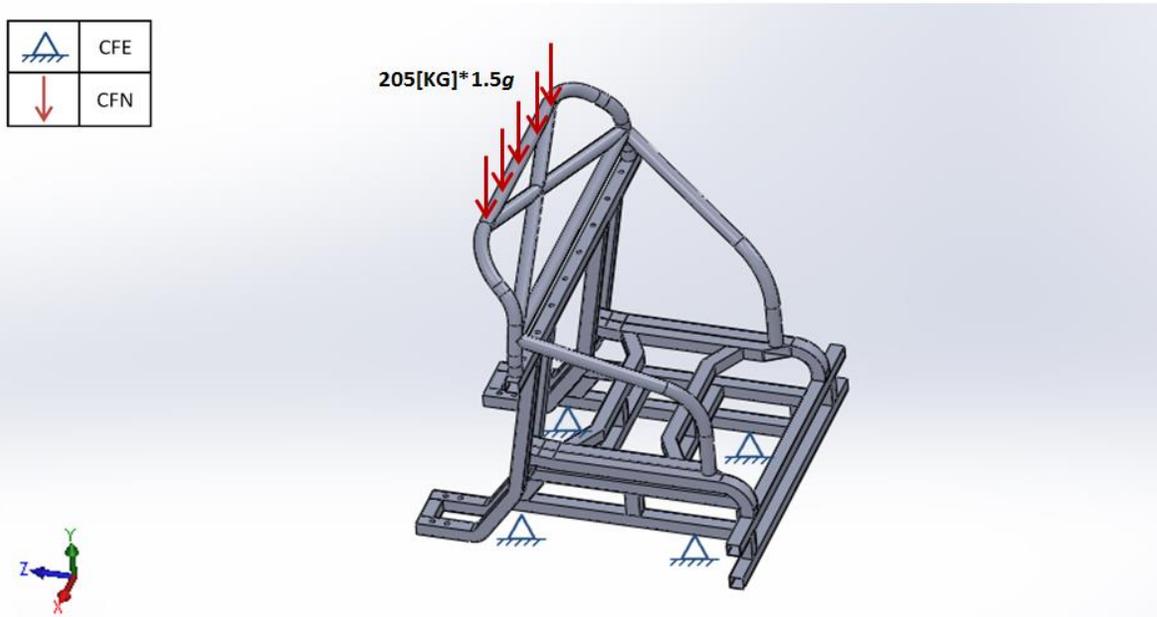


Figura 4.14 DCL del marco espacial trasero y jaula antivuelco para volcadura con carga vertical.

Para el análisis de esfuerzos en la figura 4.15 se puede ver que el máximo esfuerzo de Von Mises es de 81.91 [MPa] que está por debajo del valor máximo soportado por ambas aleaciones de aluminio seleccionadas, y se ubicó en la unión del marco espacial trasero con la jaula antivuelco como se muestra en la figura 4.16.

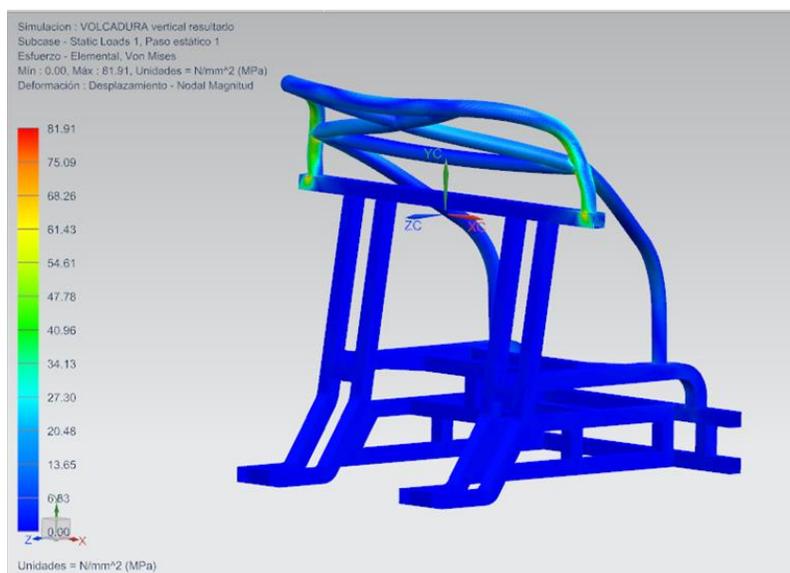
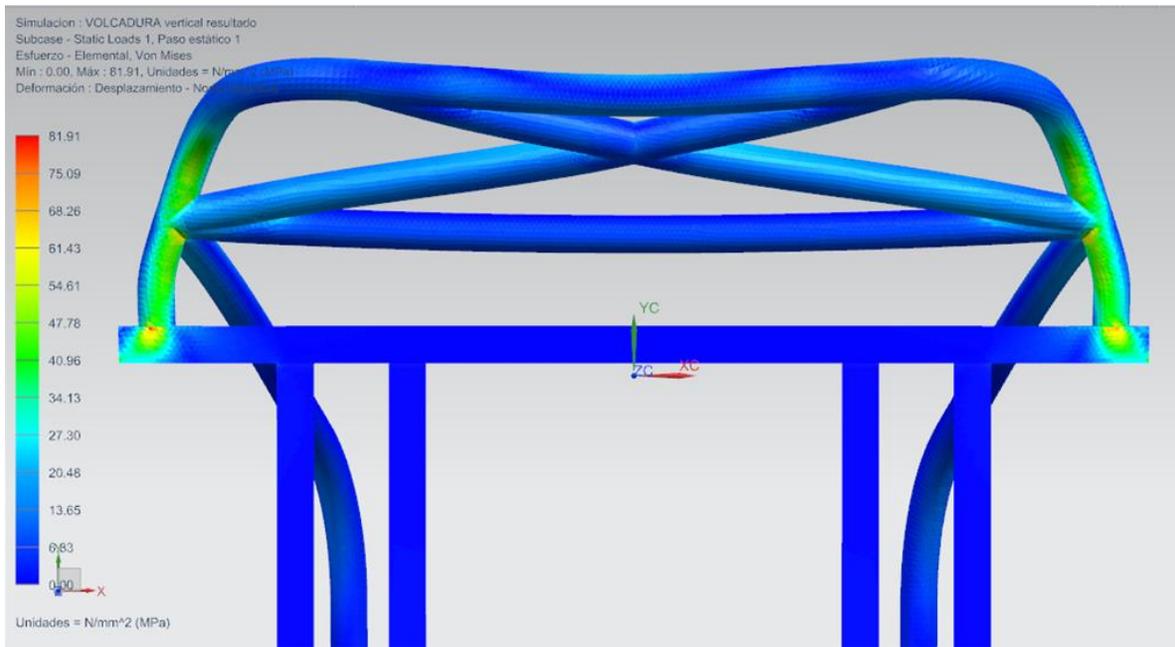
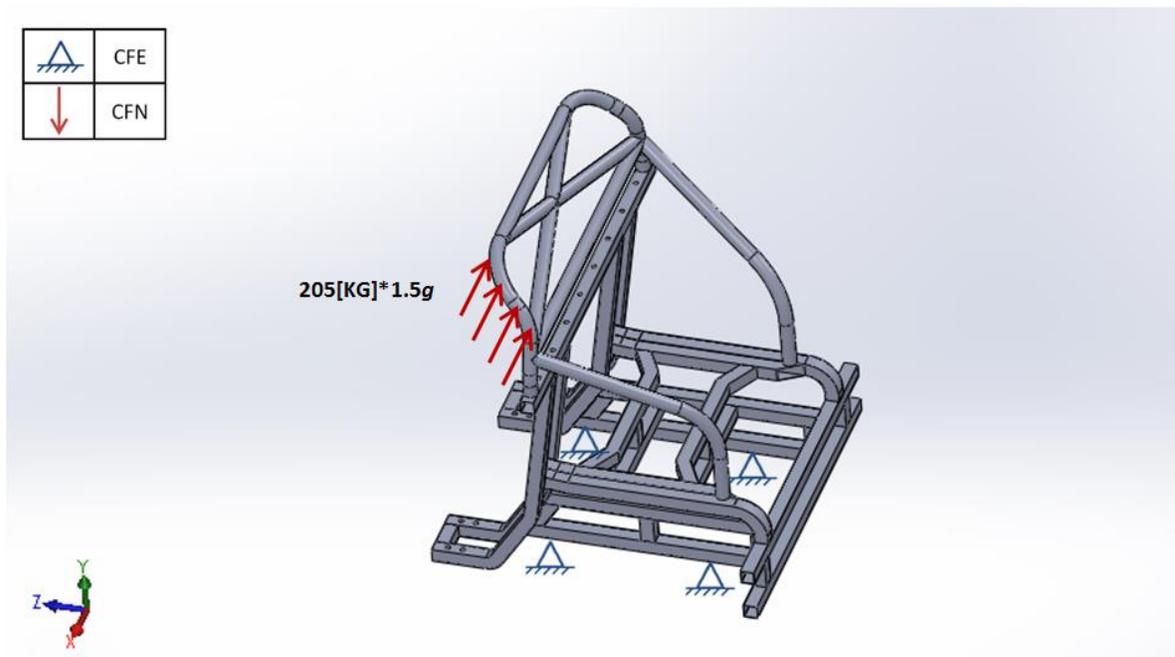


Figura 4.15 Esfuerzos de Von Mises de la jaula antivuelco sometida a prueba de volcadura con carga vertical.



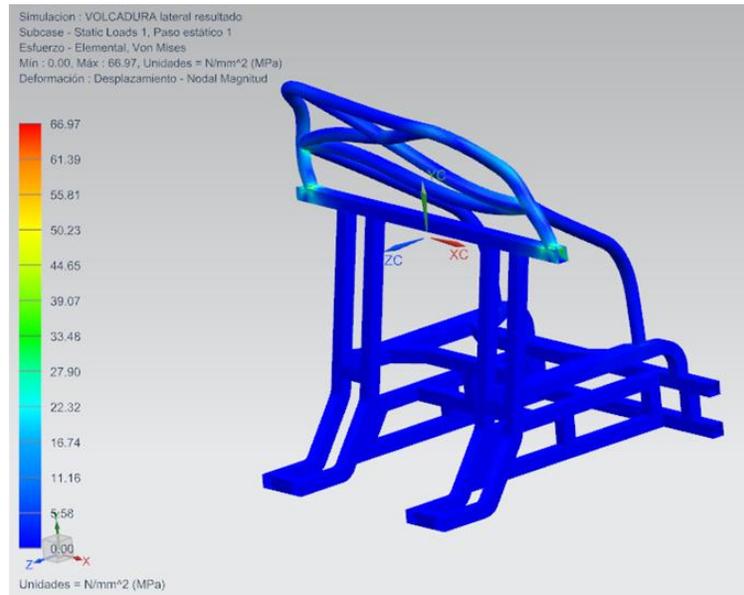
**Figura 4.16** Detalle de los esfuerzos de Von Mises de la jaula antivuelco sometida a prueba de volcadura con carga vertical.

Cuando se trata de un accidente por volcadura, lo primero que sucede es el contacto lateral del vehículo con el asfalto, es por ésta razón que también se realizó una simulación con carga lateral en la jaula antivuelco, para ello se conservaron las CFE del análisis anterior y sólo se cambió la CFN por una fuerza distribuida lateral, como se muestra en el DCL de la figura 4.17.

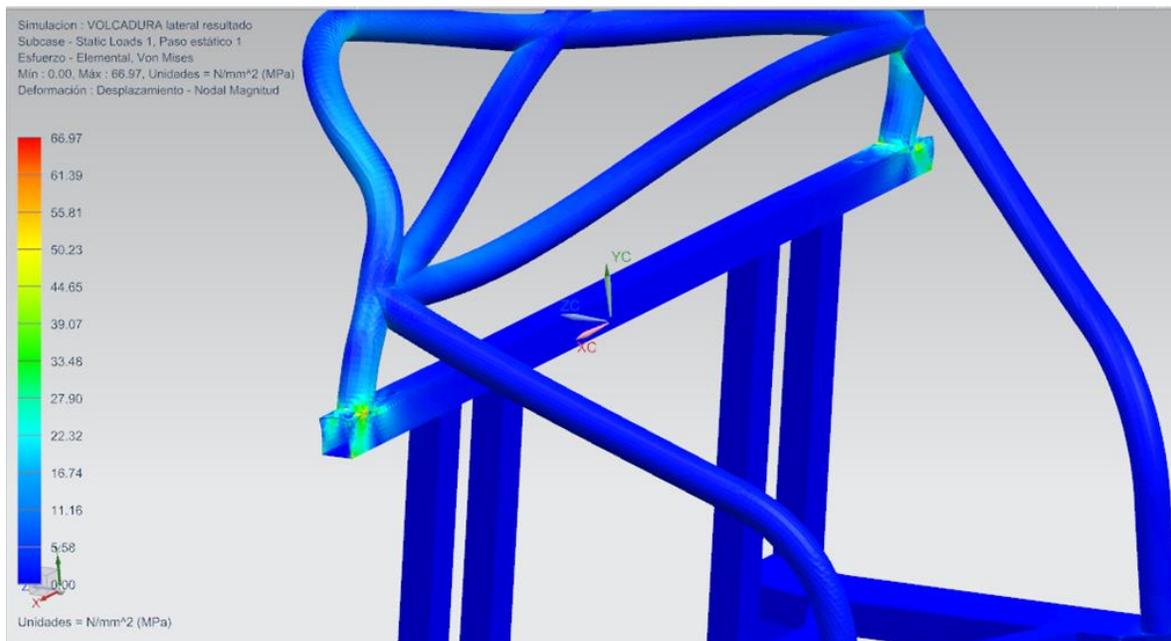


**Figura 4.17** DCL del marco espacial trasero y jaula antivuelco para volcadura con carga lateral.

EL esfuerzo máximo de Von Mises para este caso de carga lateral se puede ver en la figura 4.18 que es de 66.97 [MPa] y se concentra en una pequeña parte de la unión de la jaula antivuelco con el marco espacial trasero, como se detalla en la figura 4.19. El valor obtenido de esfuerzo máximo está por debajo del esfuerzo máximo soportado por el material tanto de la jaula antivuelco como del marco espacial trasero, por lo tanto, para ambos casos de estudio se concluye que la jaula antivuelco es capaz de soportar el 50% extra del peso total del vehículo sin problemas, es decir, soporta más de 300[kg].



**Figura 4.18** Esfuerzos de Von Mises de la jaula antivuelco sometida a prueba de volcadura con carga lateral.



**Figura 4.19** Detalle de los esfuerzos de Von Mises de la jaula antivuelco sometida a prueba de volcadura con carga lateral.

### 4.2.5 Torsión.

El caso de estudio de torsión es el más importante para el diseño y validación del chasis, debido a que en un análisis de torsión lo que se obtiene es la rigidez torsional del chasis, que es el parámetro más importante a medir debido a que si el chasis presenta una excelente rigidez torsional se garantiza que también se tenga un buen comportamiento estructural en general del chasis.

Para comenzar con la simulación de torsión, primero se colocaron como CFE la restricción de todos los GDL de los dos puntos de apoyo de la suspensión trasera del vehículo, posteriormente se colocó un par torsional en la parte frontal del chasis, para ello se colocaron como CFN dos fuerzas puntuales en los dos puntos de apoyo de la suspensión delantera, ambas fuerzas de igual magnitud y en la misma dirección del eje Y normal del chasis pero en sentido contrario, como se aprecia en el DCL de la figura 4.20. La magnitud de cada fuerza fue de 2050 [N], que es aproximadamente el peso total del vehículo a 1 g, el par de fuerzas aplicado genera un momento torsional de 1025.41 [N·m].

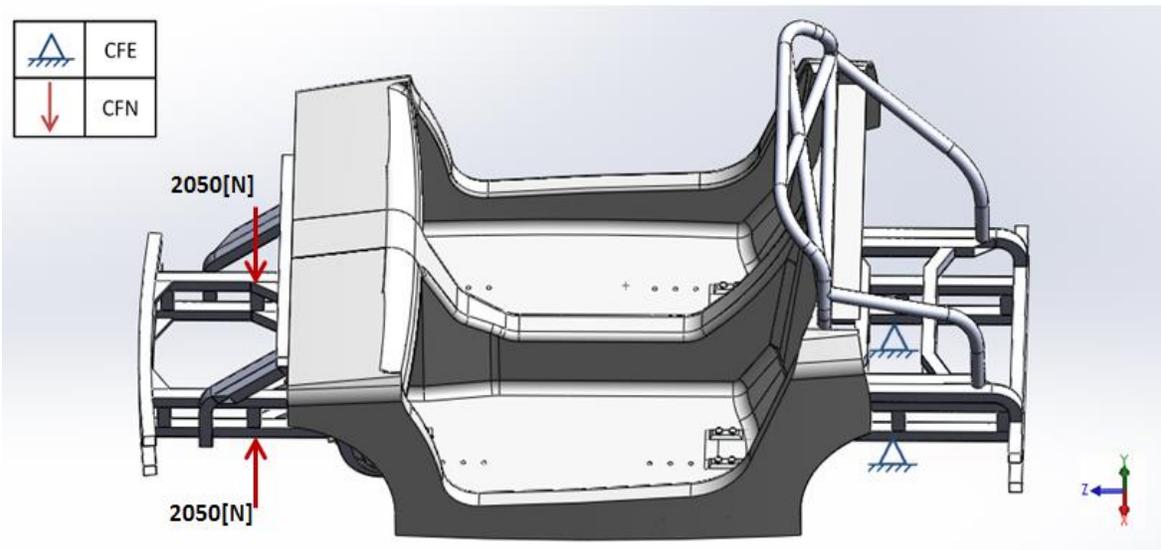


Figura 4.20 DCL del chasis para prueba de torsión.

En cuanto al análisis de esfuerzos, en la figura 4.21 se puede observar que el esfuerzo máximo de Von Mises es de 134.28 [MPa], y se ubicó en las restricciones de la suspensión trasera como se muestra en la figura 4.22, además en la parte central del semi-monocasco se obtuvo una concentración de esfuerzos importante que se puede ver en la figura 4.23. Para el esfuerzo máximo ubicado en el marco espacial trasero, la aleación de aluminio 6063 sí soporta estos esfuerzos sin fallar y, por lo tanto, la concentración de esfuerzos en la parte central del semi-monocasco no es mayor problema para el material compuesto que se seleccionó para la parte central del chasis.

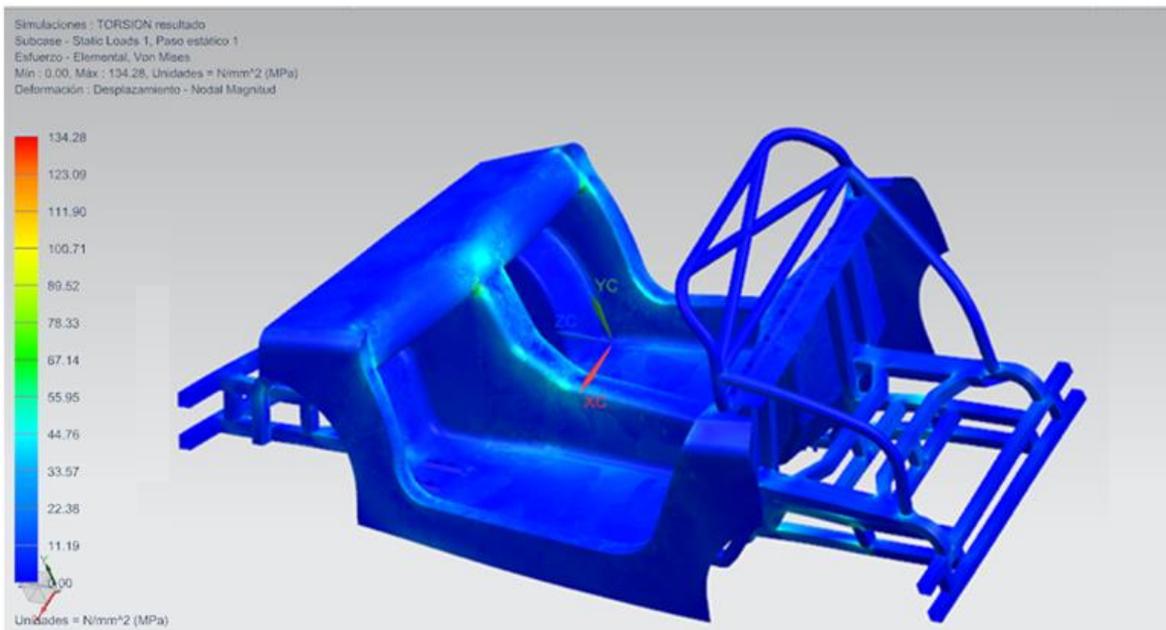


Figura 4.21 Esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a prueba de torsión.

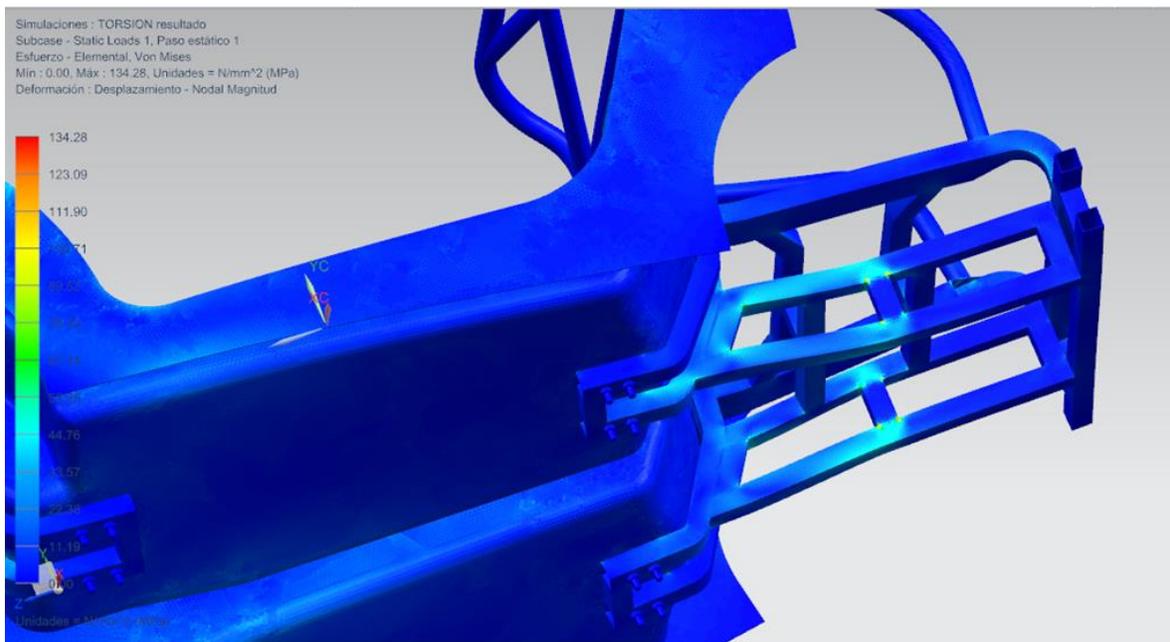


Figura 4.22 Detalle 1 de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a prueba de torsión.

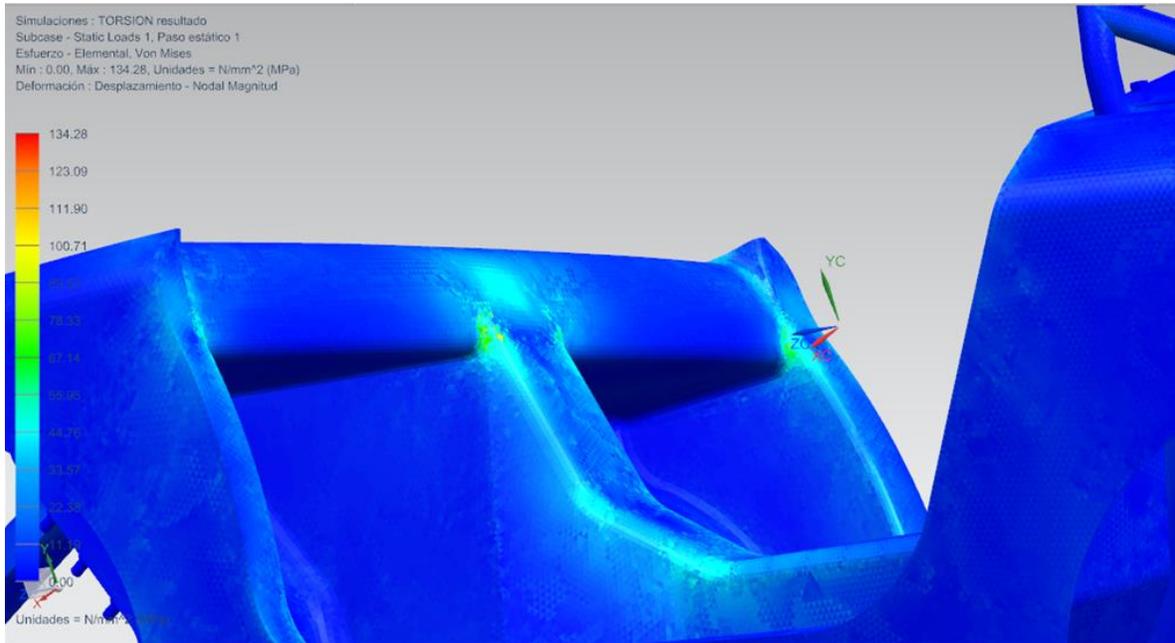


Figura 4.23 Detalle 2 de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a prueba de torsión.

***Cálculo de la rigidez torsional.***

Con los desplazamientos máximos y mínimos obtenidos, se puede calcular un valor teórico aproximado de la rigidez torsional del chasis, debido a una prueba de torsión cuando se aplica un par de fuerzas en los apoyos de la suspensión delantera y se restringen todos los GDL de los apoyos de la suspensión trasera, en la figura 4.24 se ilustra mediante una vista frontal del semi-monocasco los datos que se utilizaron para el cálculo de la rigidez torsional.

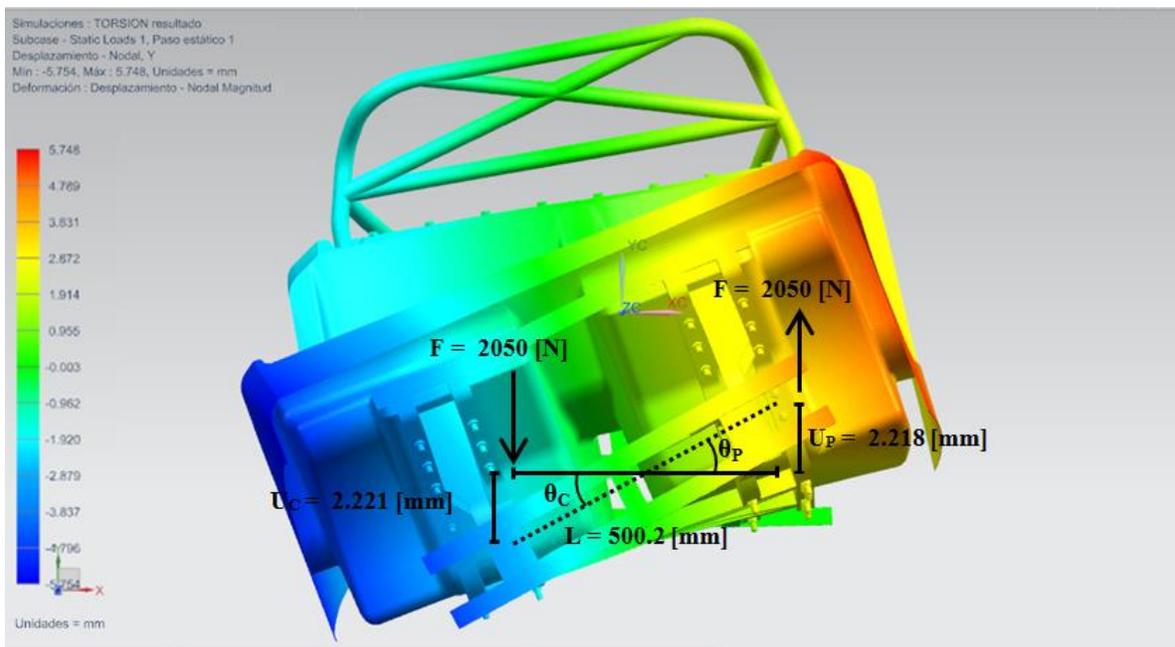


Figura 4.24 Vista frontal de los desplazamientos del chasis sometido a prueba de torsión.

Como se puede notar en la figura 4.24 el desplazamiento máximo es de 5.748 [mm] y el desplazamiento mínimo de 5.754 [mm], estos desplazamientos son en los extremos del chasis, es por esta razón que para poder obtener los desplazamientos en los puntos donde se aplicó el par de fuerzas se hizo el cálculo de los desplazamientos mediante triángulos semejantes, donde la distancia que separa los extremos del chasis es de 1296.1 [mm]. Ésta distancia se puede consultar en los planos de dimensiones del chasis en el anexo A.

Para el cálculo de la rigidez torsional se utilizaron las siguientes expresiones, dichas expresiones se obtuvieron de la referencia [17].

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{F \cdot L}{0.5 (\theta_P + \theta_C)}; \quad \theta_P = \tan^{-1} \left[ \frac{U_P}{L/2} \right]; \quad \theta_C = \tan^{-1} \left[ \frac{U_C}{L/2} \right]$$

Al sustituir los respectivos datos como resultado de la simulación se obtuvo lo siguiente:

$$\theta_P = \tan^{-1} \left[ \frac{2.218 \text{ [mm]}}{250.1 \text{ [mm]}} \right] = 0.508^\circ, \quad \theta_C = \tan^{-1} \left[ \frac{2.221 \text{ [mm]}}{250.1 \text{ [mm]}} \right] = 0.509^\circ$$

$$T = (2050 \text{ [N]}) \cdot (0.5002 \text{ [m]}) = 1025.41 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$K = \frac{1025.41 \text{ [N} \cdot \text{m]}}{0.5(0.508^\circ + 0.509^\circ)} = 2016.539 \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{^\circ} \right]$$

El valor de la rigidez torsional obtenido no fue el esperado, ya que se esperaban valores por encima de los 2500  $\left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{^\circ} \right]$ ; sin embargo, si se pone atención en los resultados presentados en las figuras 4.21 y 4.23, se puede observar que en el análisis de torsión la parte del chasis que está sometida a mayores esfuerzos después de las zonas donde se ubicó el esfuerzo máximo, es la parte central del semi-monocasco, con esto se puede decir que la rigidez torsional de 2016.539  $\left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{^\circ} \right]$  es casi en su totalidad la rigidez torsional de la parte central del semi-monocasco en combinación con el marco espacial trasero; es decir, el marco espacial frontal casi no aporta rigidez al chasis al ser sometido a este tipo de prueba.

Es por la razón antes expuesta que se realizó un análisis torsional alternativo donde se buscó que las tres partes principales que conforman al chasis trabajen en conjunto durante una prueba de torsión, para esto en la simulación alternativa se colocaron como CFE la restricción de todos los GDL de los dos puntos de apoyo de la suspensión trasera y del apoyo de la suspensión delantera del lado derecho, dejando libre el apoyo de la suspensión delantera del lado izquierdo donde se colocó como única CFN una fuerza vertical de magnitud 2050 [N] en sentido positivo del eje Y del chasis, como se puede ver en el DCL de la figura 4.25, la fuerza aplicada genera un momento torsional de igual magnitud que el generado en el estudio de torsión anterior.

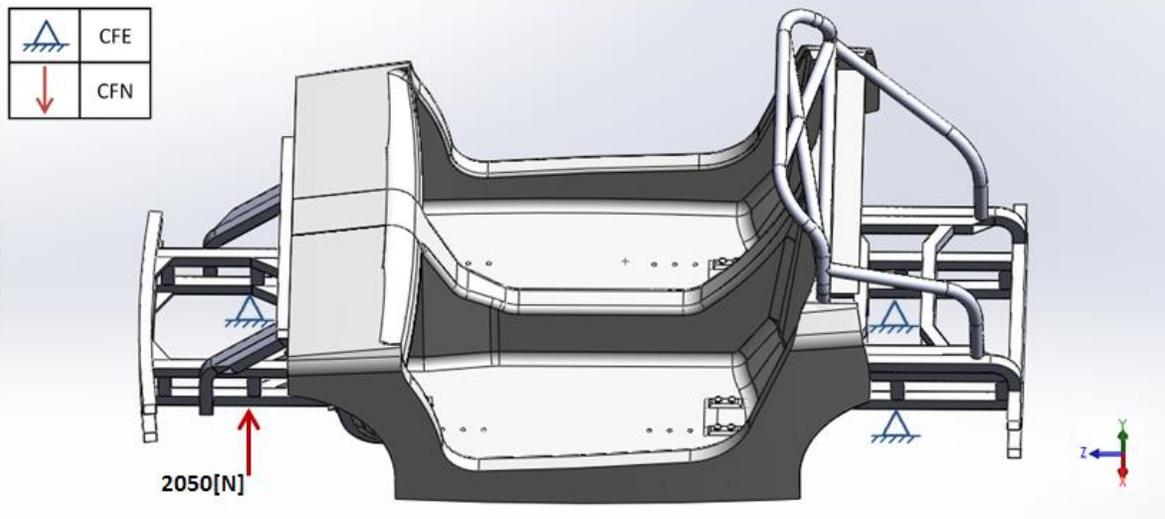


Figura 4.25 DCL del chasis para prueba alternativa de torsión.

Los esfuerzos de Von Mises se observan en la figura 4.26, donde se puede notar que el valor máximo es de 169.11 [MPa] y se ubicó en la restricción del apoyo derecho de la suspensión delantera, además los apoyos de la suspensión trasera también sufrieron esfuerzos con valores altos pero no máximos, con esto se demuestra que en éste análisis alternativo las tres partes principales del chasis sufren debido a una prueba de torsión de este tipo.

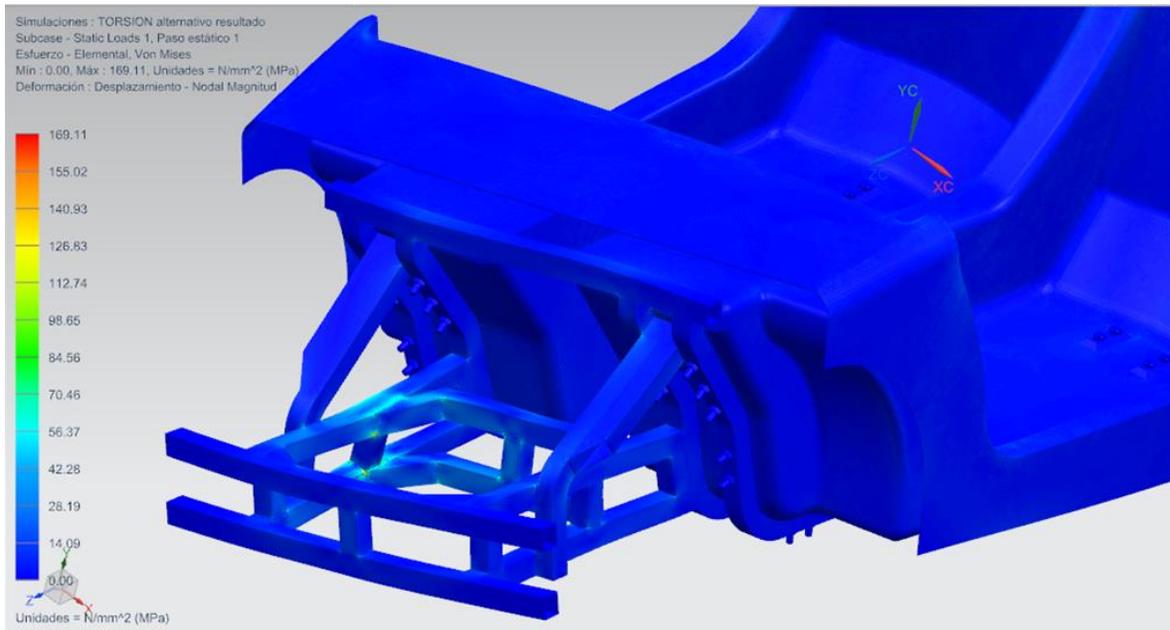
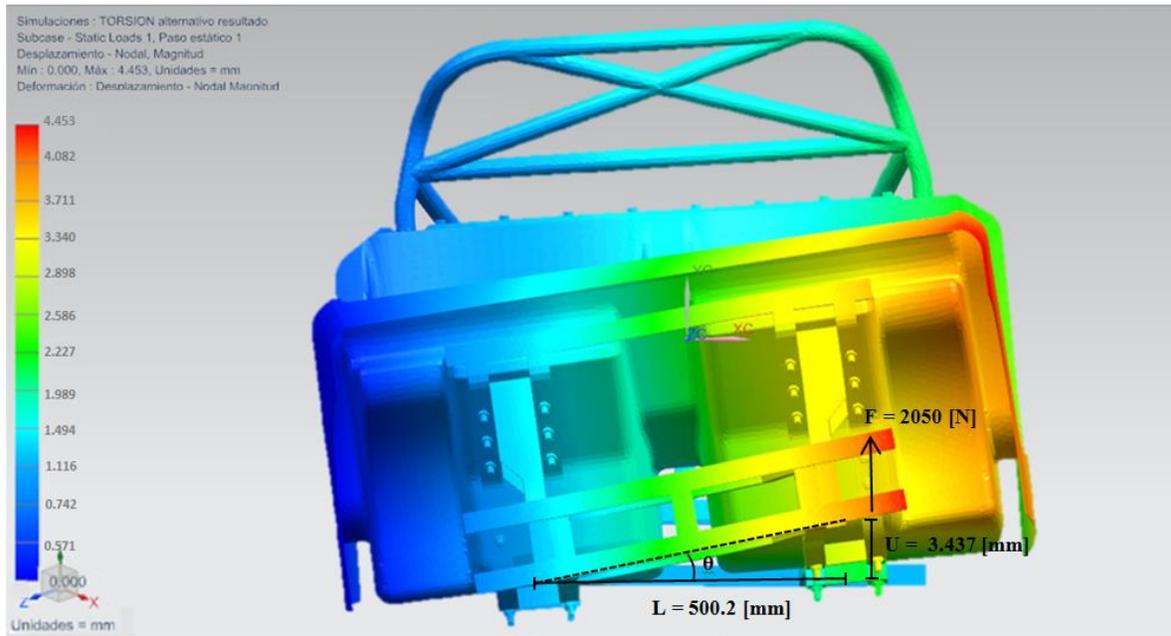


Figura 4.26 Detalle de los esfuerzos de Von Mises del chasis sometido a prueba alternativa de torsión.

Con los resultados de los desplazamientos obtenidos en la simulación alternativa, se pudo calcular la rigidez torsional del chasis, para esto se ilustran en la figura 4.27 los datos que se utilizaron para obtener el desplazamiento angular, así como también el momento torsional ejercido sobre el chasis. Al igual que en el caso anterior el desplazamiento en el punto de aplicación de la fuerza se calculó mediante triángulos semejantes.



**Figura 4.27** Vista frontal de los desplazamientos del chasis sometido a prueba alternativa de torsión.

Para el cálculo del desplazamiento angular y el cálculo del momento o par torsional se hizo lo siguiente, que es algo similar al cálculo anterior:

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{F \cdot L}{\theta} \quad ; \quad \theta = \tan^{-1} \left[ \frac{U}{L} \right]$$

Al sustituir los respectivos datos como resultado de la simulación se obtuvo lo siguiente:

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{3.437 [mm]}{500.2 [mm]} \right] = 0.394^\circ$$

$$T = (2050 [N]) \cdot (0.5002 [m]) = 1025.41 [N \cdot m]$$

$$K = \frac{1025.41 [N \cdot m]}{0.394^\circ} = 2602.563 \left[ \frac{N \cdot m}{^\circ} \right]$$

Con la simulación alternativa de torsión se pudo obtener un valor aceptable de rigidez torsional de  $2602.563 \left[ \frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\circ} \right]$ , por lo tanto, la prueba alternativa de torsión demuestra que el chasis se comporta más rígido cuando al someterlo a una prueba de torsión, tanto el marco espacial frontal como el trasero actúan en conjunto, es decir, para hacer más rígido al chasis se debe de alguna manera conectar ambos marcos espaciales del chasis para poder mejorar la rigidez del mismo, sin la necesidad de rediseñar el chasis.

Para mejorar la rigidez torsional del chasis se propuso colocar en la parte inferior de la parte central del semi-monocasco un marco de torsión de aluminio 6063 como refuerzo, este marco hace más rígida ésta parte del chasis y además conecta ambos marcos espaciales. Para el marco de torsión se seleccionó la mejor solución de tres propuestas, dichas propuestas se muestran en la tabla 4.1.

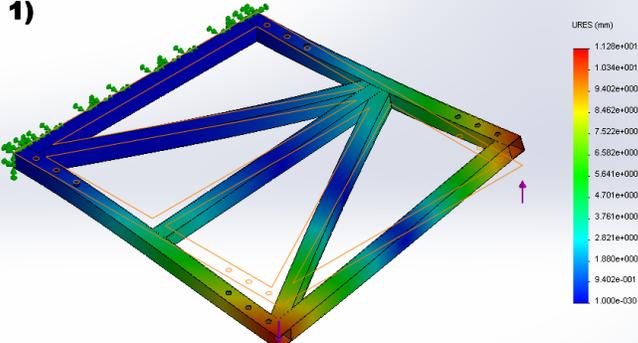
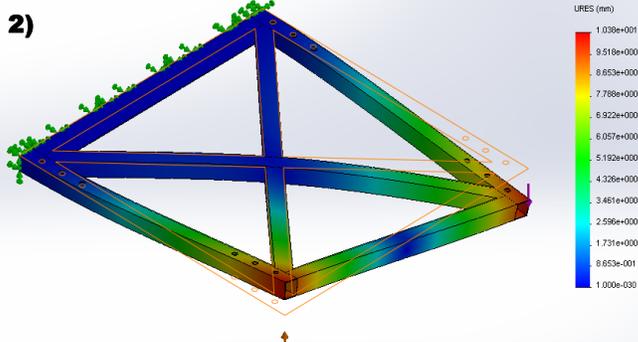
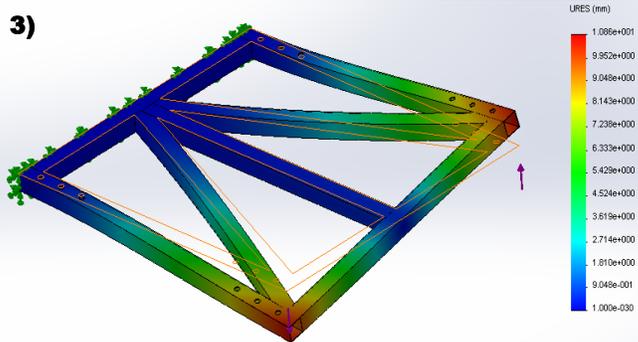
Propuestas de marco	Rigidez torsional [N.m/deg]	Masa [kg]
<p><b>1)</b></p> 	409.191	3.20
<p><b>2)</b></p> 	444.648	3.09
<p><b>3)</b></p> 	430.553	3.29

Tabla 4.1 Propuestas de marco de torsión.

La propuesta seleccionada fue la número dos, debido a que fue el marco que presentó mejor rigidez torsional que todos los demás y además fue el de menor masa, el refuerzo seleccionado se puede apreciar ya ensamblado al resto del chasis en la figura 4.28.

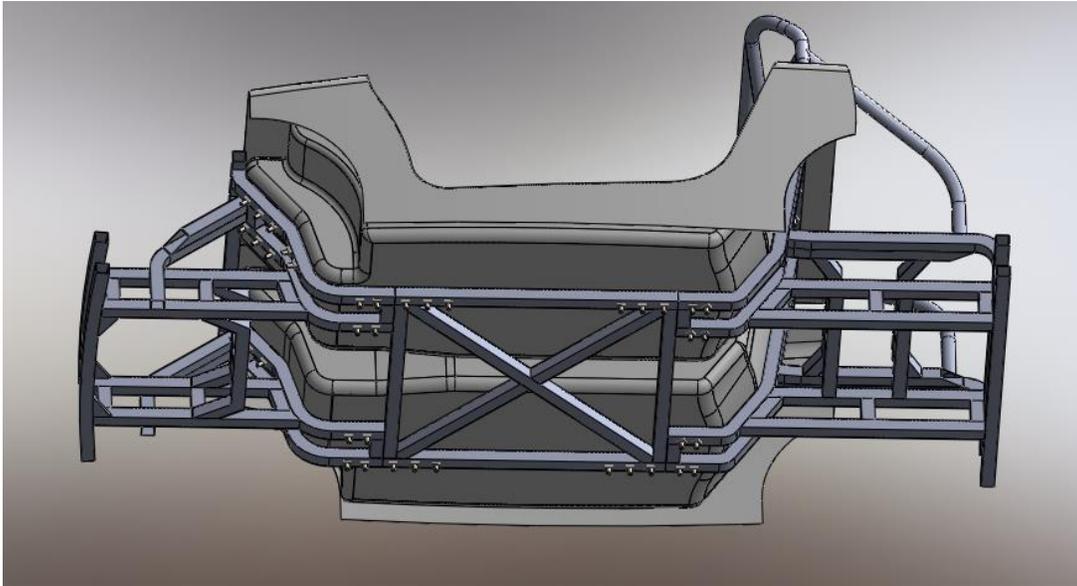


Figura 4.28 Vista inferior del semi-monocasco con refuerzo.

Después de reforzar al semi-monocasco se simuló nuevamente una prueba de torsión con las mismas condiciones de frontera que se muestran en el DCL de la figura 4.20. Los resultados obtenidos se pueden observar en la figura 4.29 donde se tiene un esfuerzo máximo de Von Mises de 98.65 [MPa] ubicado en las restricciones de la suspensión trasera, con este resultado se concluye que se redujo en un 41.67% el esfuerzo máximo obtenido en el chasis sin refuerzo.

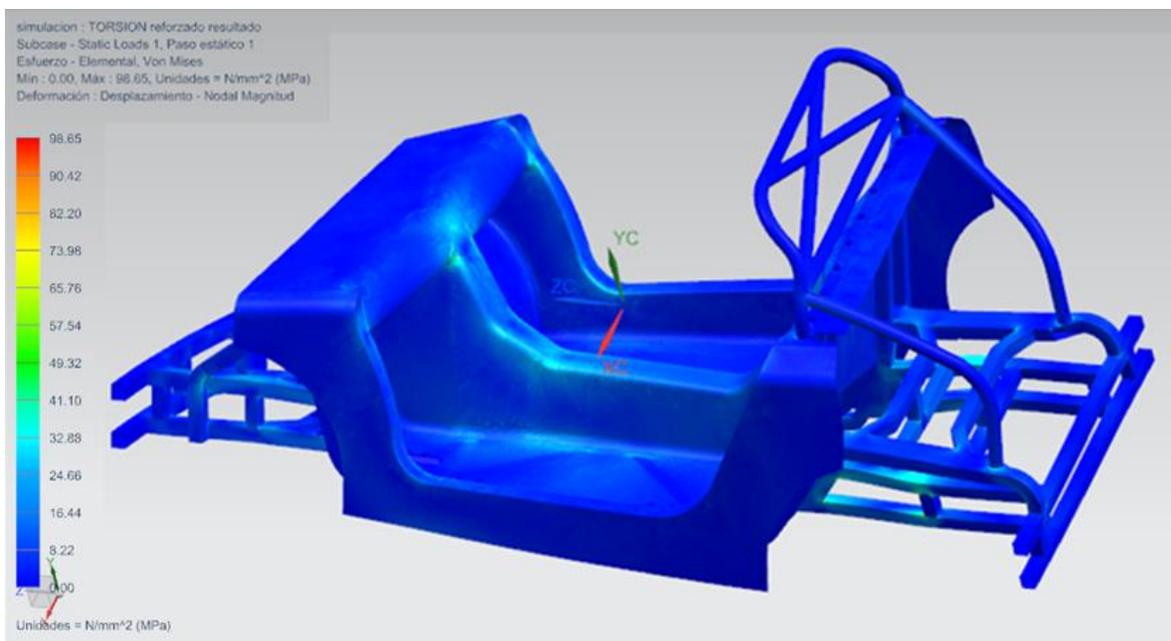


Figura 4.29 Esfuerzos de Von Mises del chasis reforzado sometido a prueba de torsión.

En la figura 4.30 se puede ver la ubicación del esfuerzo máximo en las restricciones de la suspensión trasera, además de que se nota una importante concentración de esfuerzos en el centro del marco de torsión, que indica que el marco de refuerzo sí cumple con su función, con el refuerzo del chasis también se relajó la parte central del mismo como se puede ver en la figura 4.31, ya que disminuyó considerablemente la concentración de esfuerzos en ésta parte del chasis en comparación a los resultados obtenidos para el chasis sin refuerzo.

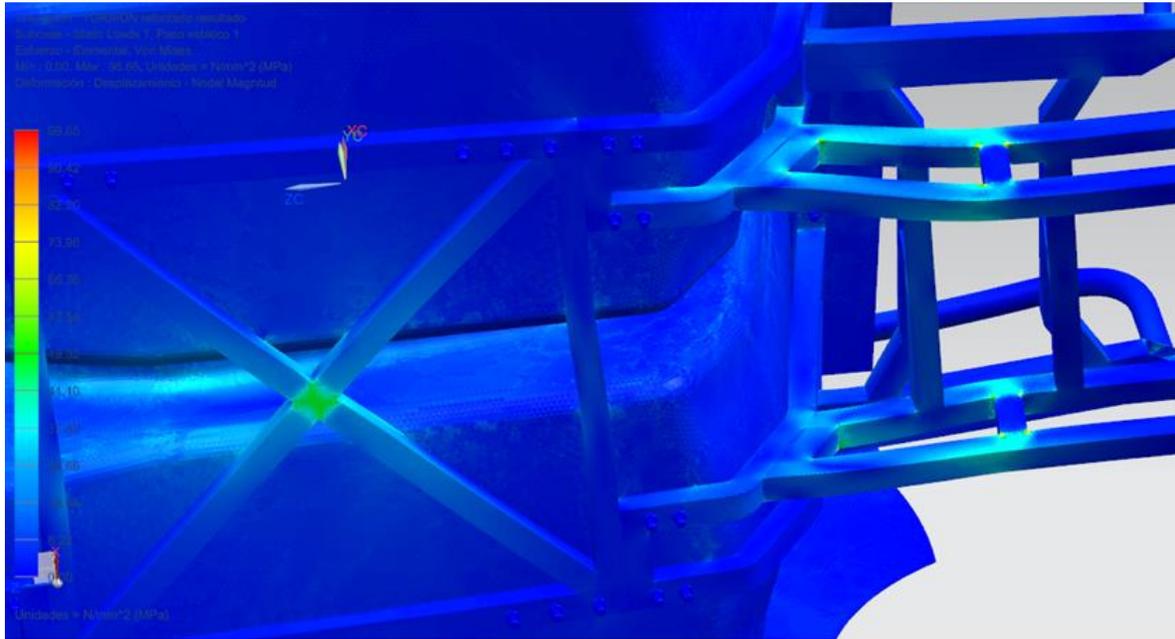


Figura 4.30 Detalle 1 de los esfuerzos de Von Mises del chasis reforzado sometido a prueba de torsión.

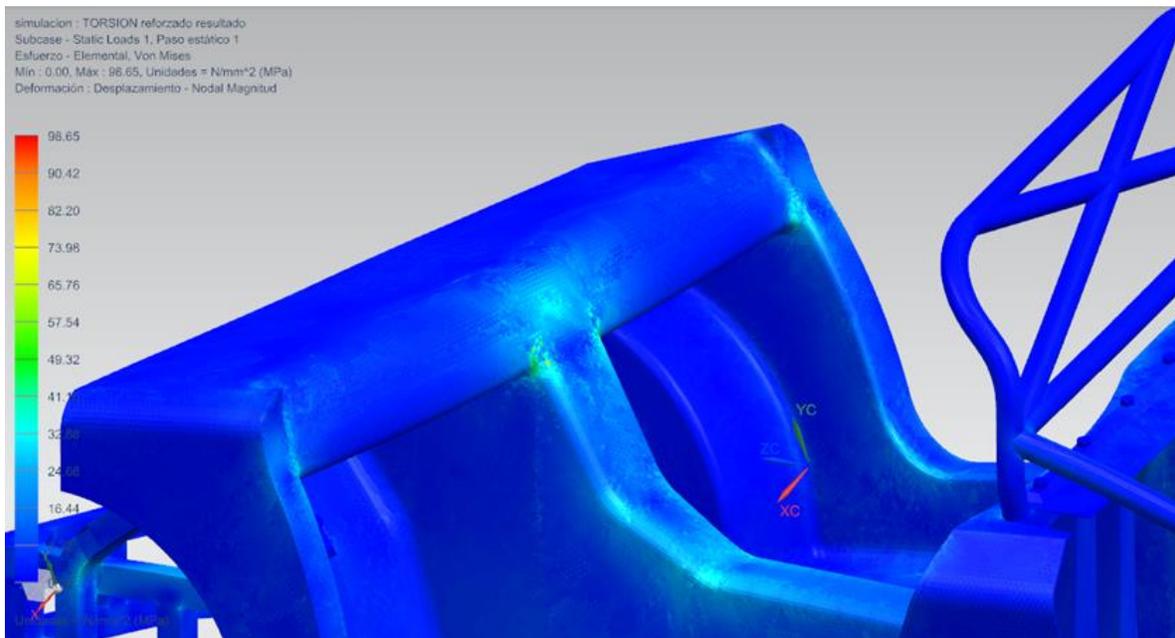


Figura 4.31 Detalle 2 de los esfuerzos de Von Mises del chasis reforzado sometido a prueba de torsión.

Para calcular el desplazamiento angular y el par torsional necesarios para obtener la rigidez torsional del chasis reforzado, en la figura 4.32 se muestran los resultados de los desplazamientos obtenidos en la simulación.

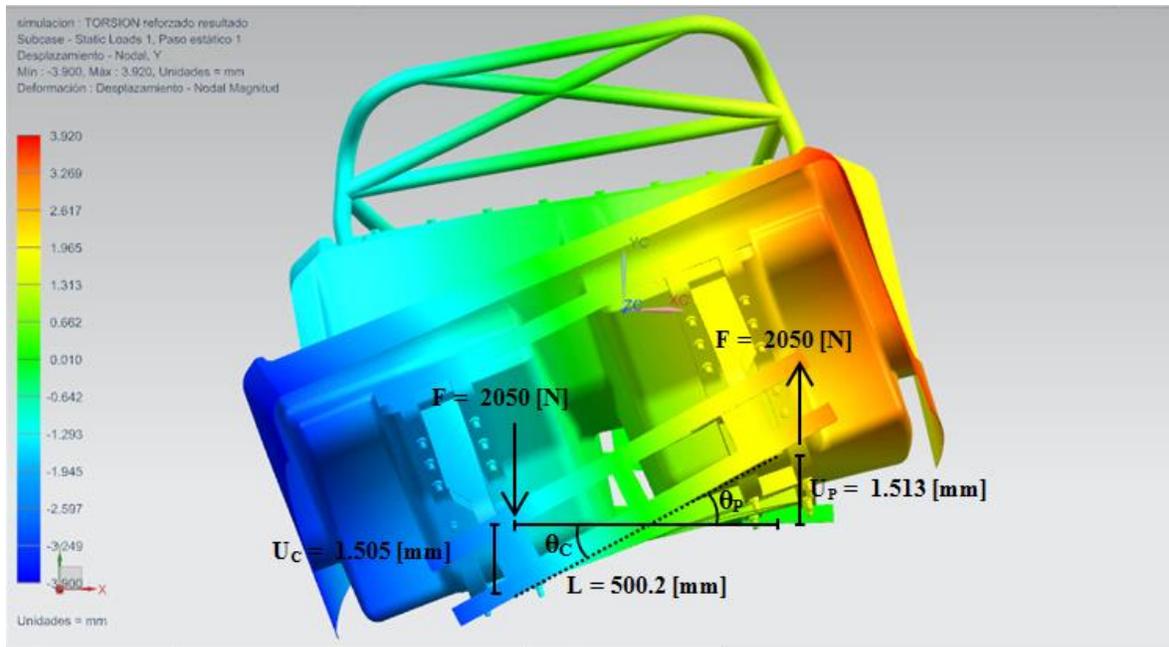


Figura 4.32 Vista frontal de los desplazamientos del chasis reforzado sometido a prueba de torsión.

Los cálculos se hicieron de la misma forma que el caso anterior, para el cálculo del desplazamiento angular y el cálculo del momento o par torsional se hizo lo siguiente:

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{F \cdot L}{0.5(\theta_P + \theta_C)}; \quad \theta_P = \tan^{-1} \left[ \frac{U_P}{L/2} \right]; \quad \theta_C = \tan^{-1} \left[ \frac{U_C}{L/2} \right]$$

Al sustituir los respectivos datos como resultado de la simulación se obtuvo lo siguiente:

$$\theta_P = \tan^{-1} \left[ \frac{1.513 [mm]}{250.1 [mm]} \right] = 0.347^\circ, \quad \theta_C = \tan^{-1} \left[ \frac{1.505 [mm]}{250.1 [mm]} \right] = 0.345^\circ$$

$$T = (2050 [N]) \cdot (0.5002 [m]) = 1025.41 [N \cdot m]$$

$$K = \frac{1025.41 [N \cdot m]}{0.5(0.347^\circ + 0.345^\circ)} = 2963.613 \left[ \frac{N \cdot m}{^\circ} \right]$$

El valor de la rigidez torsional calculado es alto, por ello se realizaron 4 simulaciones más para poder capturar en una tabla los resultados con diferentes valores de momentos torsionales aplicados, con la finalidad de obtener un modelo matemático que represente la rigidez torsional del chasis diseñado, los resultados obtenidos después de cada simulación FEM se muestran en la tabla 4.2.

Simulación	Fuerza [N]	Momento	Desplazamiento	Desplazamiento	Desplazamiento	Desplazamiento	Rigidez
		torsional [N.m]	lineal Uc [mm]	angular $\theta_c$ [°]	lineal Up [mm]	angular $\theta_p$ [°]	torsional [N.m/deg]
1	1000	500.20	0.734	0.168	0.738	0.169	2959.763
2	2050	1025.41	1.505	0.345	1.513	0.347	2963.613
3	3000	1500.60	2.203	0.505	2.214	0.507	2965.613
4	4000	2000.80	2.937	0.673	2.952	0.676	2964.148
5	5000	2501.00	3.670	0.841	3.689	0.845	2966.785

Tabla 4.2 Resultados de las simulaciones del chasis reforzado para prueba de torsión.

Después de tabular los resultados de las simulaciones, se obtuvo el modelo matemático de la curva que aproxima los resultados obtenidos mediante una regresión lineal, dicho modelo está en función del momento torsional y del desplazamiento angular como se observa en la gráfica de la figura 4.33.

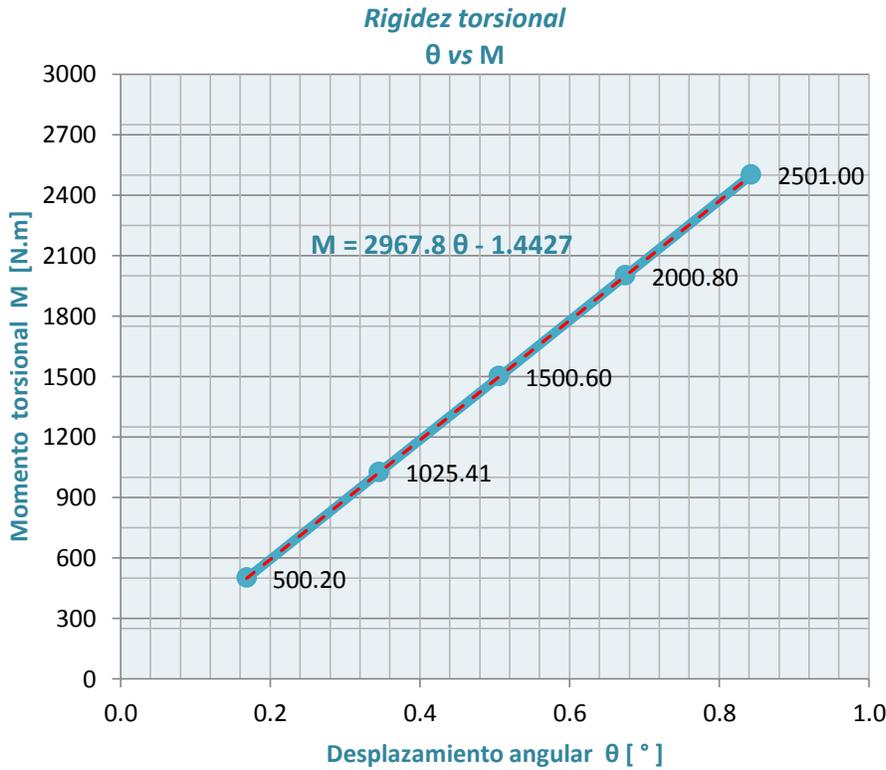


Figura 4.33 Gráfica momento torsional vs desplazamiento angular.

Con el modelo matemático obtenido gracias a la regresión lineal de los datos tabulados, se hizo un análisis dimensional que permitió determinar que el valor aproximado de la rigidez torsional del chasis es igual al valor de la pendiente de la curva, por lo tanto, el valor de la rigidez torsional del chasis es de  $2967.8 \left[ \frac{\text{N}\cdot\text{m}}{^\circ} \right]$ . El valor de la rigidez torsional del chasis con refuerzo aumentó un 47.2%, por lo que se concluye que con ésta configuración final del chasis se obtiene una estructura lo suficientemente rígida para el tipo de vehículo para la cual fue diseñada, y sobre todo, sigue siendo una estructura ligera ya que la masa del chasis sólo aumentó 4.95 [kg].

---

*CAPÍTULO*

# 5

*CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO*

**E**l último capítulo tiene como objetivos presentar las conclusiones a las que se llegaron durante la validación del diseño y presentar una propuesta de las futuras líneas de trabajo a esta tesis.

## 5.1 Conclusiones.

Durante el desarrollo de este trabajo de tesis, se hizo la propuesta de diseño de un chasis tipo semi-monocasco o también denominado chasis híbrido, donde dos terceras partes del chasis son tipo marco espacial y el resto tipo monocasco, que por sus características en su diseño, es un chasis adecuado para la implementación en un vehículo urbano de dos plazas.

El cumplimiento del objetivo general fue satisfactorio debido a que la propuesta de diseño del chasis tipo semi-monocasco es una estructura confiable que soportará las cargas estáticas y probablemente las dinámicas a las que estará sometido el chasis después de su manufactura, como se pudo comprobar en el capítulo cuatro, además en este penúltimo capítulo se demostró también que el chasis soportará el peso de los diferentes componentes mecánicos y no mecánicos que estarán sujetos al chasis durante su uso, con el cumplimiento del objetivo general se tiene la certeza de que el chasis sea una estructura segura tanto para el piloto como para el copiloto, e incluso para el público que esté presente durante la competencia.

Por otra parte, los puntos más importantes del reglamento del Shell Eco-marathon que están directamente relacionados al diseño del chasis se analizaron de tal forma que se identificaron como requerimientos y especificaciones, lo que facilitó que se cumpliera por completo la parte del reglamento del Shell Eco-marathon enfocada al diseño del chasis. Para el cumplimiento del reglamento y del objetivo general se hizo uso de las herramientas CAD-CAE, que sin duda se utilizaron en todo momento durante el desarrollo del proyecto, es por ello que estas herramientas fueron de vital importancia para el cumplimiento del objetivo general y de los objetivos específicos.

El diseño del semi-monocasco es un diseño que hace que la hipótesis planteada en el primer capítulo sea verdadera, debido a que el resultado del diseño fue un chasis ligero, estético y se puede considerar como seguro, además de ser un semi-monocasco con una rigidez torsional aceptable. Estas características fueron supuestas desde un principio; sin embargo, como se puede comprobar en los capítulos anteriores dichas suposiciones fueron una realidad por lo que la posterior manufactura del chasis será muy similar a lo que se tuvo como visión desde un principio.

En general los resultados obtenidos para el total cumplimiento de los objetivos fueron porque el proyecto se desarrolló de tal forma que el diseño se apegó a una metodología de diseño bien establecida con cuatro pasos principales, con esto se puede concluir que la metodología de diseño planteada en la presente tesis, ofrece buenos resultados no solo para el diseño de un chasis, sino en general ésta metodología es útil para el diseño de cualquier producto de ingeniería.

Finalmente después de justificar el cumplimiento de los objetivos, a continuación se enlista un resumen de las conclusiones a las que se llegaron en general para el diseño del semi-monocasco.

Por lo tanto se concluye que:

- Se obtuvo una propuesta de diseño de configuración adecuada para el cumplimiento de los requerimientos establecidos por el reglamento; y sobre todo, se procuró que el espacio destinado al habitáculo del vehículo sea el suficiente para alojar de manera cómoda a dos personas.
- Tentativamente se logró un diseño relativamente ligero con una masa de 54.3 [kg], que en términos prácticos es poco más de una cuarta parte de la masa total del vehículo; es decir, de los 205 [kg] permitidos por el reglamento.
- Los resultados de las simulaciones hechas mediante las herramientas CAD-CAE, dan la certeza de que el chasis sea una estructura que soporte las principales condiciones de uso durante su vida útil.
- El diseño de la barra antivuelco llega a soportar más de 3000 [N], que es mucho más de los 700 [N] que establece el reglamento, por lo tanto, se tiene la certeza de que éste elemento sin duda garantiza la seguridad de los ocupantes del vehículo ante un caso de volcadura.
- La rigidez torsional del chasis resultó ser de 2967.8  $\left[\frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\circ}\right]$ , que es un valor no muy elevado pero aceptable para un vehículo de este tipo, y lo más importante es que se logró elevar en un 47.2% la rigidez torsional del chasis.

## **5.2 Trabajo a futuro.**

Para las futuras líneas de trabajo para esta tesis se plantean cuatro propuestas de trabajo a considerar, donde se tiene como primer propuesta hacer un análisis dinámico detallado mediante FEM para los casos de impacto estudiados en el capítulo cuatro, esto con la finalidad de garantizar por completo que el diseño del semi-monocasco sea seguro ante una situación de impacto frontal y lateral, e incluso hacer este estudio con todos los componentes del vehículo, incluida la carrocería.

La consideración de la primer propuesta como trabajo a futuro puede no desarrollarse, por lo tanto, el trabajo a futuro más importante a considerar como segunda propuesta para este proyecto, es la de llevar a cabo la manufactura del semi-monocasco con los métodos recomendados en el capítulo tres, ésta propuesta se da debido a que sólo se desarrolla el proyecto hasta la etapa de diseño de detalle, cuyo alcance es hasta la creación de los planos de fabricación o guías para manufactura del chasis (Anexo A).

En cuanto a manufactura se propone además de materializar el chasis, fabricar el resto de la carrocería del vehículo, así como también por último se propone que se haga el diseño tanto de la suspensión como de la dirección del vehículo.

**REFERENCIAS**

- [1] SHELL GLOBAL, “*Shell Eco-marathon Official Rules 2013*” Chapter I.  
<http://s04.static-shell.com/content/dam/shell/static/ecomarathon/downloads/pdf/sem-rules-chapter012013.pdf>  
 (Mayo 2013)
- [2] SHELL GLOBAL, “*Shell Eco-marathon Official Rules 2013*” Chapter II.  
<http://s08.static-shell.com/content/dam/shell/static/ecomarathon/downloads/2013/americas/sema-chapter2-safety-rules-2013.pdf>  
 (Mayo 2013)
- [3] FONT MEZQUITA J. y DOLS RUÍZ J. F. (2004), “*Tratado sobre automóviles: Tomo I, Tecnología del automóvil*”  
 Universidad Politécnica de Valencia, Ed. Alfaomega, Valencia, España.
- [4] GÓMEZ MORALES T., GONZALO GRACIA J., ÁGUEDA CASADO E., GARCÍA JIMÉNEZ J. L. y MARTÍN NAVARRO J. (2000), “*Mantenimiento de vehículos autopropulsados: Carrocería, Elementos Amovibles*”, Ed. Paraninfo, Madrid, España.
- [5] HIBBELER R. C. (2012), “*Structural Analysis*”, 8th Edition, Ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- [6] HOWARD M. (2000), “*Spaceframes: A study of an emerging body construction technology*”  
 University of Bath, Bath, United Kingdom.
- [7] FONT MEZQUITA J. y DOLS RUÍZ J. F., “*Tratado sobre automóviles: Tomo IV, La dinámica del automóvil*”  
 Universidad Politécnica de Valencia, Ed. Alfaomega, Valencia, España.
- [8] MILLIKEN W. F. & MILLIKEN D. L. (1995), “*Race car vehicle dynamics*”  
 SAE International, Warrendale, Pennsylvania, USA.
- [9] GÓMEZ MORALES T., GONZALO GRACIA J., ÁGUEDA CASADO E., GARCÍA JIMÉNEZ J. L. y MARTÍN NAVARRO J. (2011), “*Estructuras del vehículo*”, Ed. Paraninfo, Madrid, España.
- [10] REIMPELL J., STOLL H. & BETZLER J. W. (2001), “*The Automotive chassis: Engineering Principles*”, 2nd Edition  
 SAE International, Warrendale, Pennsylvania, USA.
- [11] VELÁZQUEZ VILLEGAS F., (2013), “Apuntes de clase: Análisis por elementos finitos”, Facultad de ingeniería UNAM.

- [12] DIETER G. E. (2007), “Engineering Design”, 3<sup>rd</sup> Edition  
McGraw-Hill, New York, USA.
- [13] *Material Property Data*.  
[www.matweb.com](http://www.matweb.com)  
(12 de Agosto de 2013)
- [14] *Air Bags & Crash sensors*.  
[www.aalcar.com/library/airbag01.htm](http://www.aalcar.com/library/airbag01.htm)  
(23 de Agosto de 2013)
- [15] *Braking: An advanced driving topic from “Safe Speed”*.  
[www.safespeed.org.uk/braking.html](http://www.safespeed.org.uk/braking.html)  
(23 de Agosto de 2013)
- [16] GILLESPIE T. D., “*Fundamentals of Vehicle Dynamics*”  
SAE International, Warrendale, Pennsylvania, USA.
- [17] THOMPSON L. L., RAJU S. & LAW E. H. (1998), “Design of a Winston Cup chassis for torsional stiffness”, Department of Mechanical Engineering, Clemson University, Motorsports Engineering Conference and Exposition (November 16-19, 1998), Dearborn, Michigan, USA,  
SAE International.

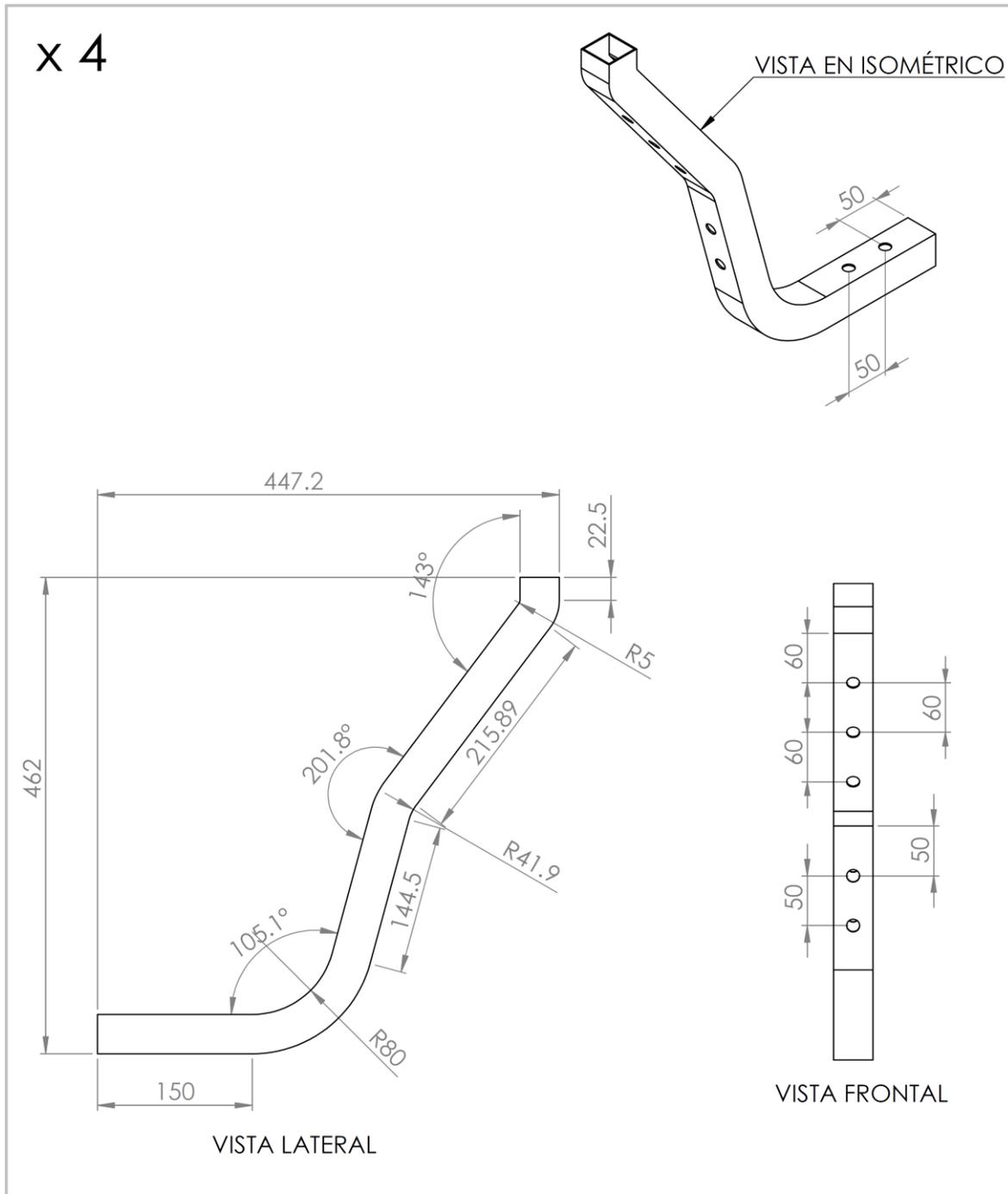
---

---

*ANEXO*

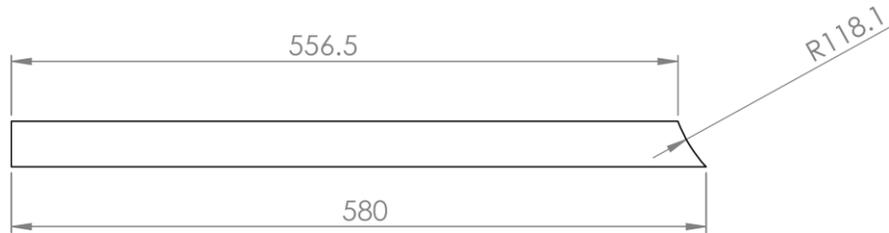
**A**

*PLANOS DE FABRICACIÓN*

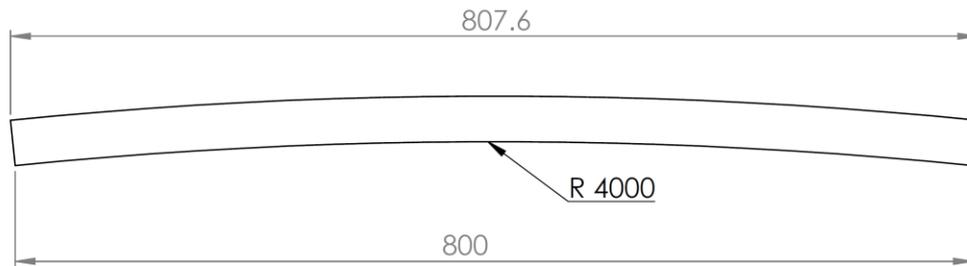


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA			 PROYECTO: "DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"	
NOMBRE		FECHA	FIRMA	
DIBUJ. JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		10/09/2013		
APROB. ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO		13/09/2013		
OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO: 701.2 mm - BARREROS DE 1/2" DE DIÁMETRO - TOLERANCIA: ± 0.5 mm			MATERIAL: Perfil de aluminio 6063-T5 cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM Dado No. 2355	
			TÍTULO: MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO	
			PIEZA: <b>MEF-A</b>	
			ESCALA: 1:5	
			HOJA 1 DE 10	
			A4	

x 2 VISTA LATERAL PIEZA MEF-B

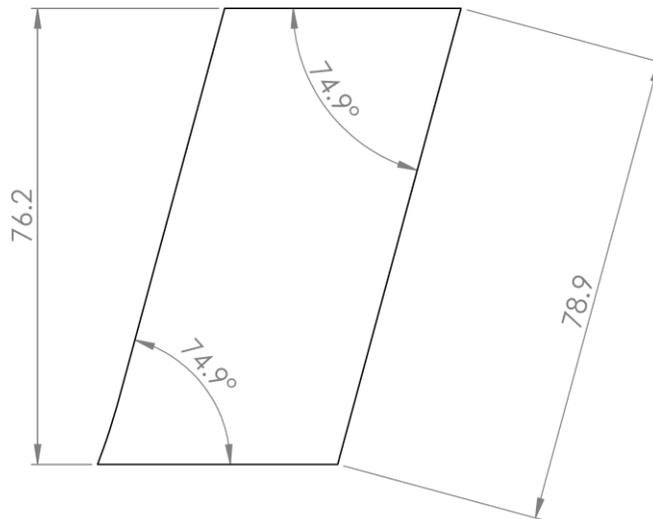


x 2 VISTA SUPERIOR PIEZA MEF-C

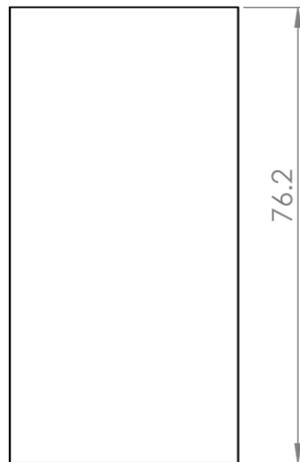


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>	
NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013		FIRMA	
DIBUJ.		APROB.		TÍTULO: MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO	
OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO MEF-C: 805.2 mm - TOLERANCIA: ± 0.5 mm		MATERIAL: Perfil de aluminio 6063-T5 cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM Dado No. 2355		PIEZA: <b>MEF-B y MEF-C</b>	
				ESCALA: 1:5	
				HOJA 2 DE 10	
				A4	

x 2 VISTA LATERAL PIEZA MEF-D



x 6 VISTA LATERAL PIEZA MEF-E



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO MEF-D: 99.5 mm  
- TOLERANCIA: ± 0.5 mm

MATERIAL:  
Perfil de aluminio 6063-T5  
cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM  
Dado No. 2355

PIEZA:

MEF-D y MEF-E

A4

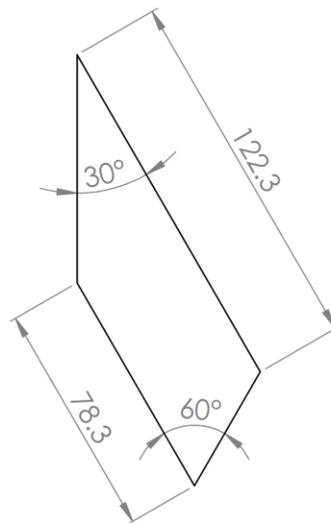
ESCALA: 1:1

HOJA 3 DE 10

**x 2** VISTA LATERAL PIEZA MEF-F

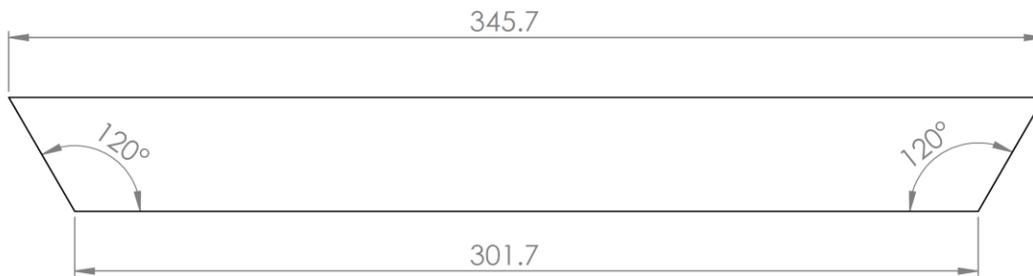


**x 4** VISTA SUPERIOR PIEZA MEF-G



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: "DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"	
NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013	FIRMA	TÍTULO: MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO	
APROB. ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO		13/09/2013		PIEZA: <b>MEF-F y MEF-G</b>	
OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO MEF-G: 144.3 mm - TOLERANCIA: ± 0.5 mm		MATERIAL: Perfil de aluminio 6063-T5 cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM Dado No. 2355		ESCALA MEF-F: 1:5	ESCALA MEF-G: 1:2 HOJA 4 DE 10
				A4	

x 2 VISTA SUPERIOR PIEZA MEF-H



x 2 VISTA SUPERIOR PIEZA MEF-I



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- LONGITUD DEL TUBO MEF-H: 345.7 mm  
- TOLERANCIA: ± 0.5 mm

MATERIAL:  
Perfil de aluminio 6063-T5  
cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM  
Dado No. 2355

PIEZA:

MEF-H y MEF-I

A4

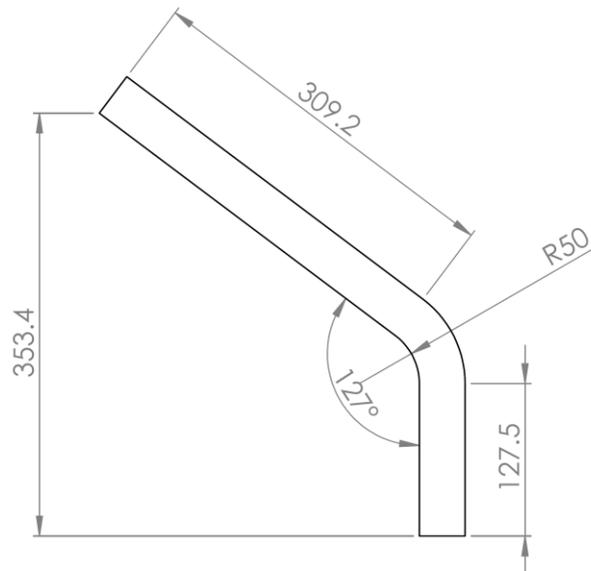
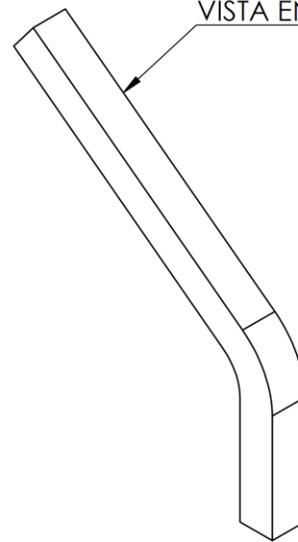
ESCALA MEF-H: 1:2

ESCALA MEF-I: 1:1

HOJA 5 DE 10

x 2

VISTA EN ISOMÉTRICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:

- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm
- LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO: 500.6 mm
- TOLERANCIA:  $\pm 0.5$  mm

MATERIAL:

Perfil de aluminio 6063-T5  
cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM  
Dado No. 2355

PIEZA:

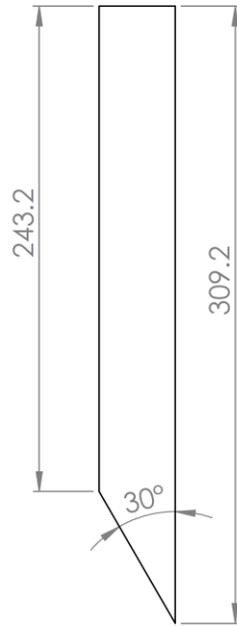
MEF-J

A4

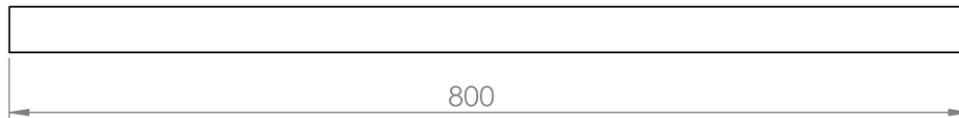
ESCALA: 1:5

HOJA 6 DE 10

x 2 VISTA SUPERIOR PIEZA MEF-K



VISTA LATERAL PIEZA MEF-K



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - TOLERANCIA: ± 0.5 mm	MATERIAL:
	Perfil de aluminio 6063-T5 cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM Dado No. 2355

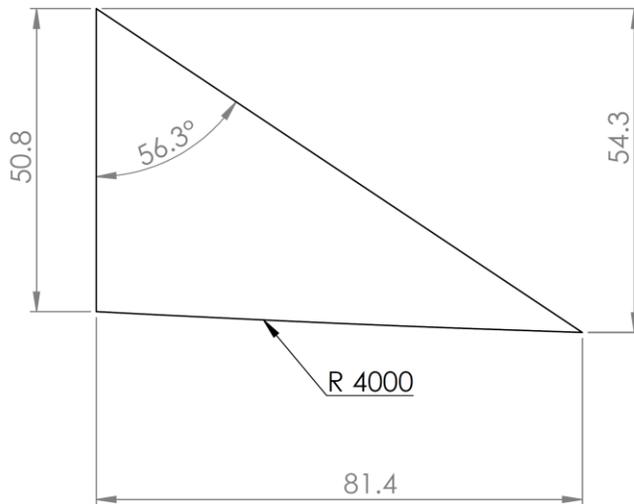
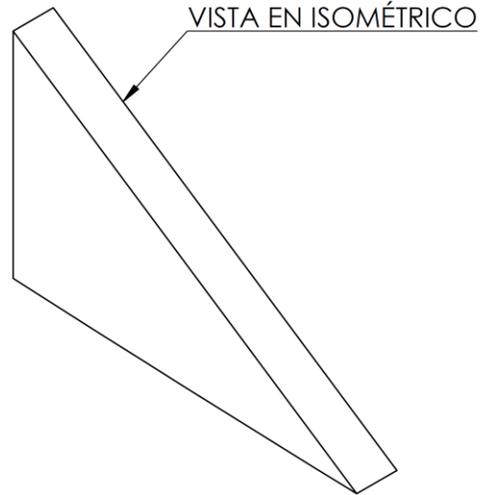
PIEZA:

MEF-K y MEF-L

A4

ESCALA MEF-K: 1:3      ESCALA MEF-L: 1:5      HOJA 7 DE 10

x 4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:

- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm

- TOLERANCIA:  $\pm 0.5$  mm

MATERIAL:

Solera de aluminio 6061-T6  
CUPRUM

Dado No. 17596

PIEZA:

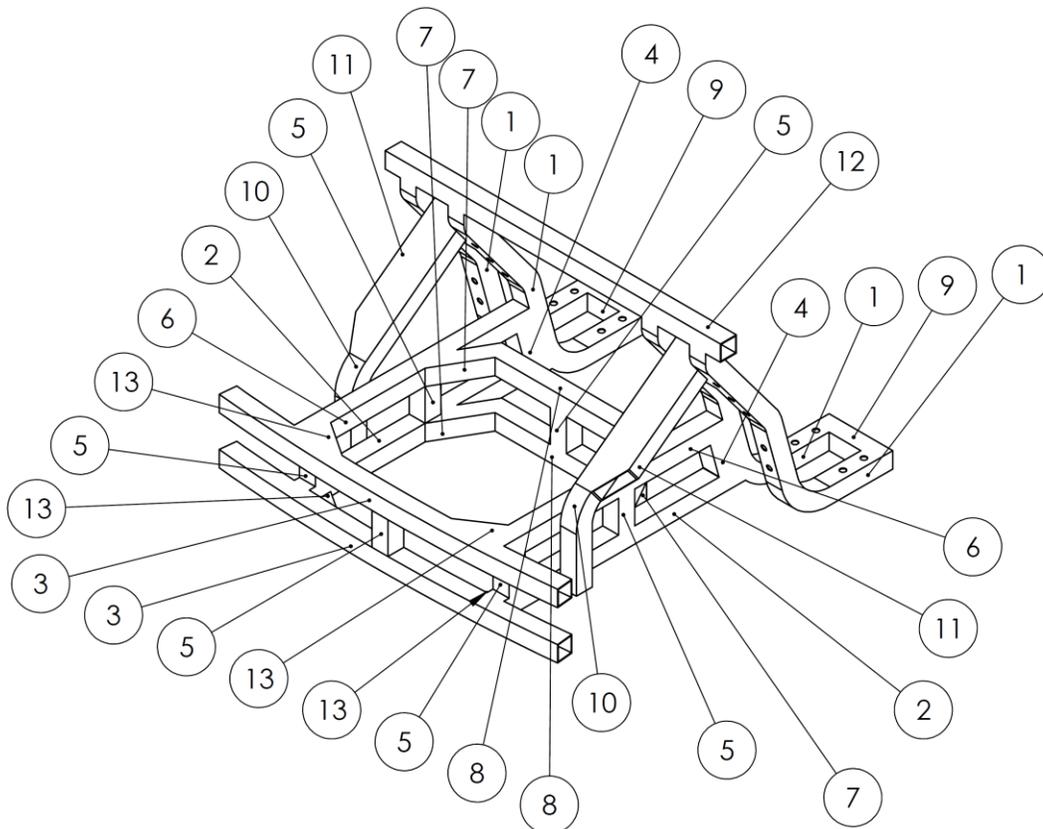
MEF-M

A4

ESCALA: 1:1

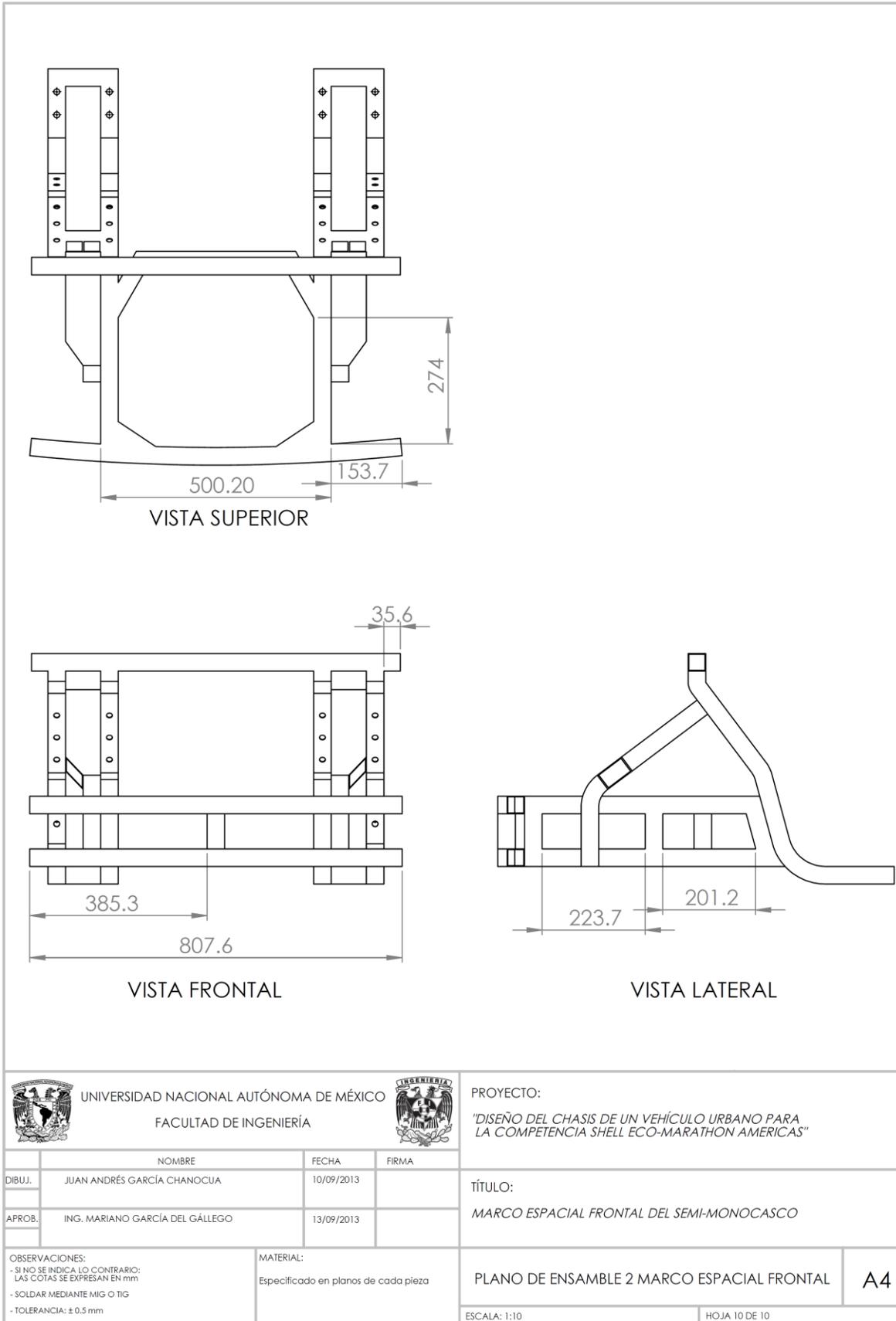
HOJA 8 DE 10

ITEM	PIEZA	CANTIDAD
1	MEF-A	4
2	MEF-B	2
3	MEF-C	2
4	MEF-D	2
5	MEF-E	6
6	MEF-F	2
7	MEF-G	4
8	MEF-H	2
9	MEF-I	2
10	MEF-J	2
11	MEF-K	2
12	MEF-L	1
13	MEF-M	4



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: "DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"
NOMBRE DIBUJ. JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013		FIRMA TÍTULO: MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO
APROB. ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO		FECHA 13/09/2013		
OBSERVACIONES: SOLDAR MEDIANTE MIG O TIG		MATERIAL: Especificado en planos de cada pieza		PLANO DE ENSAMBLE 1 MARCO ESPACIAL FRONTAL
ESCALA: 1:10				HOJA 9 DE 10

A4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

DIBUJ.	NOMBRE	FECHA	FIRMA
	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- SOLDAR MEDIANTE MIG O TIG  
- TOLERANCIA: ± 0.5 mm

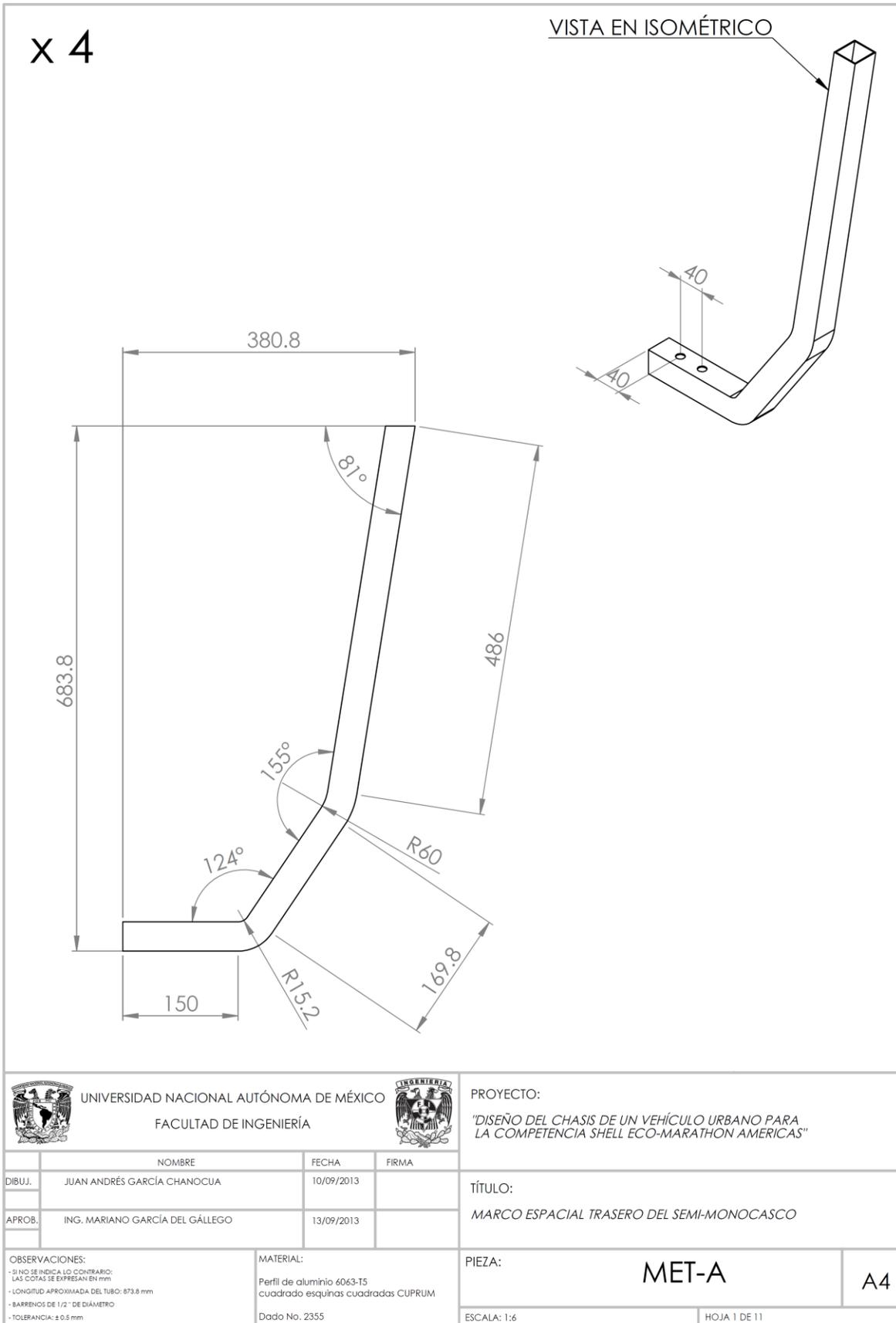
MATERIAL:  
Especificado en planos de cada pieza

PLANO DE ENSAMBLE 2 MARCO ESPACIAL FRONTAL

A4

ESCALA: 1:10

HOJA 10 DE 10



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL TRASERO DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
- LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO: 873.6 mm  
- BARRENOS DE 1/2" DE DIÁMETRO  
- TOLERANCIA: ± 0.5 mm

MATERIAL:  
Perfil de aluminio 6063-T5 cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM  
Dado No. 2355

PIEZA:

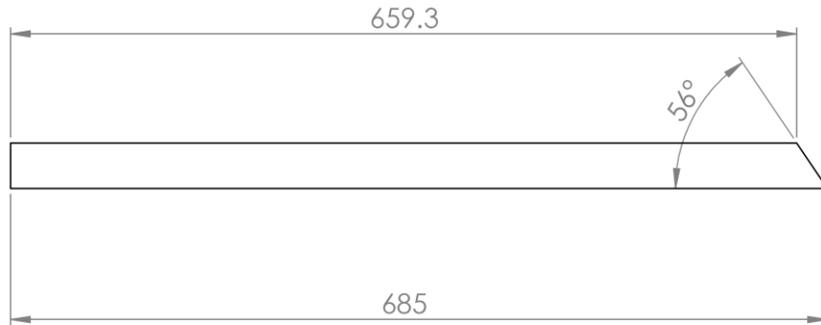
**MET-A**

**A4**

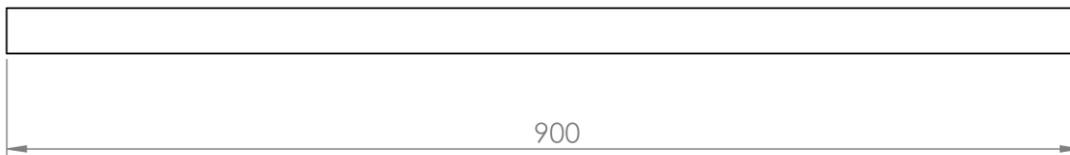
ESCALA: 1:6

HOJA 1 DE 11

x 2 VISTA LATERAL PIEZA MET-B



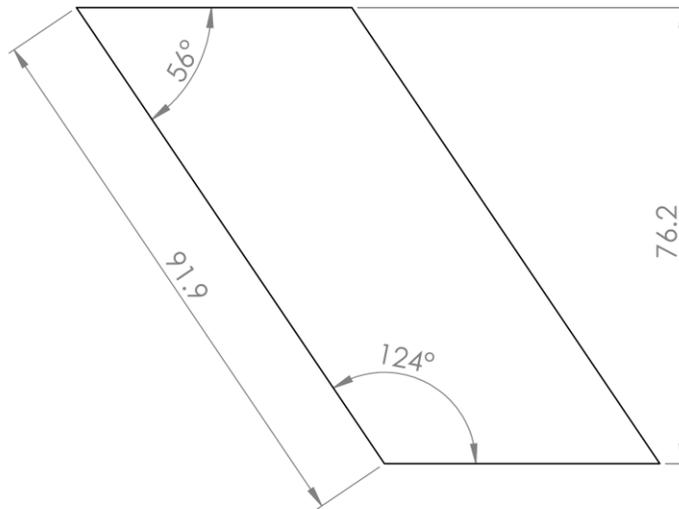
x 2 VISTA LATERAL PIEZA MET-C



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: "DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"	
NOMBRE DIBUJ. JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013		FIRMA	
APROB. ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO		13/09/2013		TÍTULO: MARCO ESPACIAL TRASERO DEL SEMI-MONOCASCO	
OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - TOLERANCIA: ± 0.5 mm		MATERIAL: Perfil de aluminio 6063-T5 cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM Dado No. 2355		PIEZA: <b>MET-B y MET-C</b>	
				ESCALA: 1:5	HOJA 2 DE 11
					A4

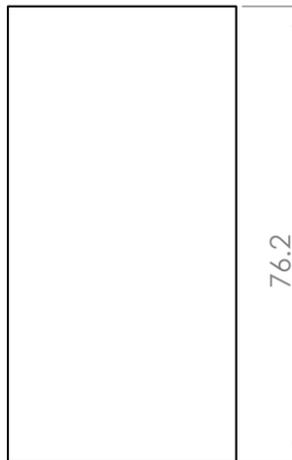
x 2

VISTA LATERAL PIEZA MET-D



x 6

VISTA LATERAL PIEZA MET-E



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL TRASERO DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO MET-D: 143.3 mm  
- TOLERANCIA: ± 0.5 mm

MATERIAL:  
Perfil de aluminio 6063-T5  
cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM  
Dado No. 2355

PIEZA:

**MET-D y MET-E**

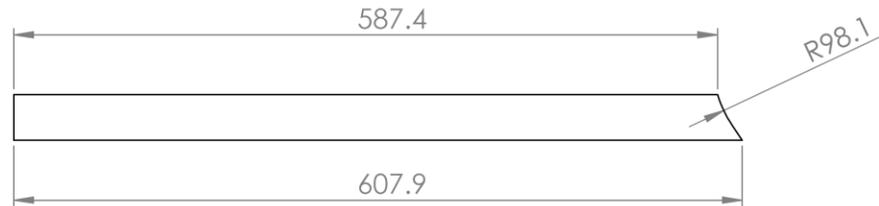
A4

ESCALA: 1:1

HOJA 3 DE 11

x 2

VISTA LATERAL PIEZA MET-F



x 2

VISTA LATERAL PIEZA MET-G



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL FRONTAL DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- TOLERANCIA:  $\pm 0.5$  mm

MATERIAL:  
Perfil de aluminio 6063-T5  
cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM  
Dado No. 2355

PIEZA:

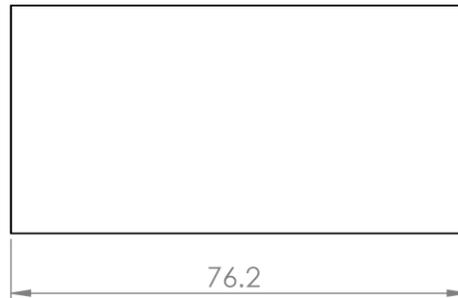
**MET-F y MET-G**

A4

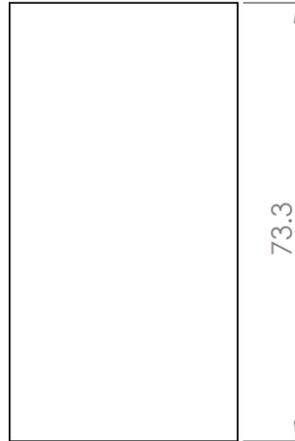
ESCALA: 1:5

HOJA 4 DE 11

x 2 VISTA LATERAL PIEZA MET-H

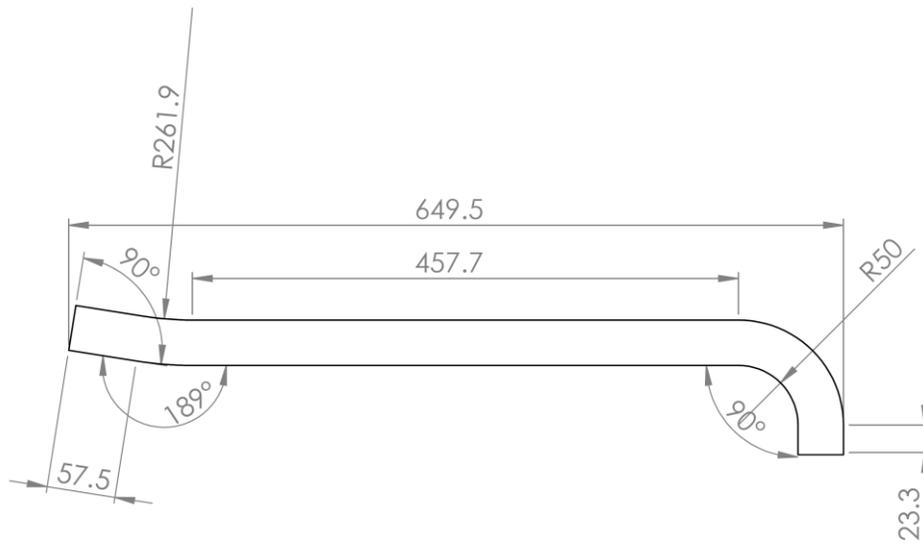
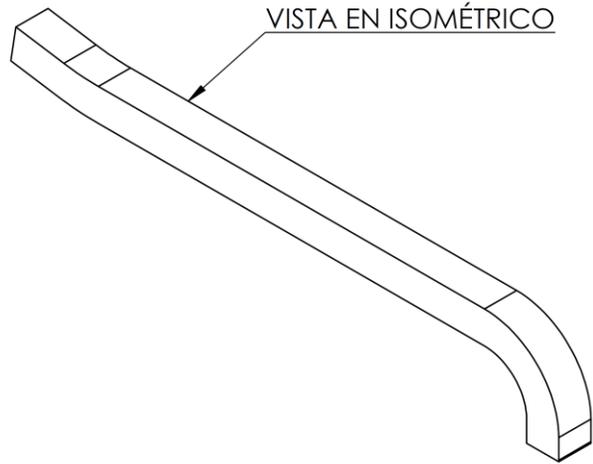


x 2 VISTA LATERAL PIEZA MET-K



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>	
NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013		FIRMA	
DIBUJ.		APROB.		TÍTULO: MARCO ESPACIAL TRASERO DEL SEMI-MONOCASCO	
OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - TOLERANCIA: ± 0.5 mm		MATERIAL: Perfil de aluminio 6063-T5 cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM Dado No. 2355		PIEZA: <b>MET-H y MET-K</b>	
				ESCALA: 1:1	
				HOJA 5 DE 11	
				A4	

x 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

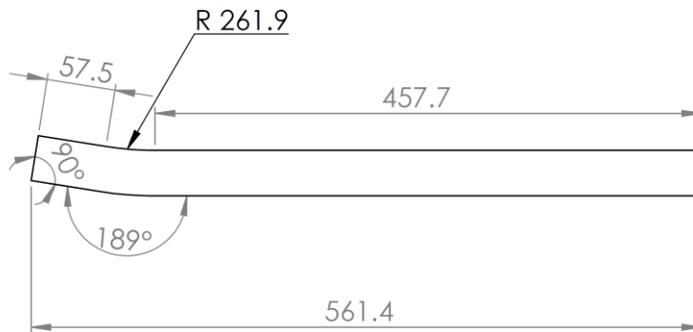
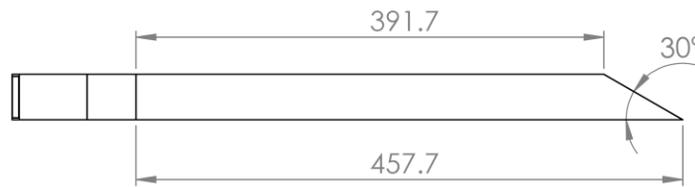
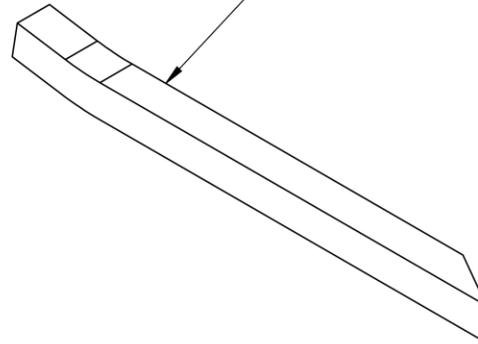
MARCO ESPACIAL TRASERO DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO: 691.1 mm - TOLERANCIA: ± 0.5 mm	MATERIAL: Perfil de aluminio 6063-T5 cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM Dado No. 2355
--	--

PIEZA:	<b>MET-I</b>	<b>A4</b>
ESCALA: 1:5	HOJA 6 DE 11	

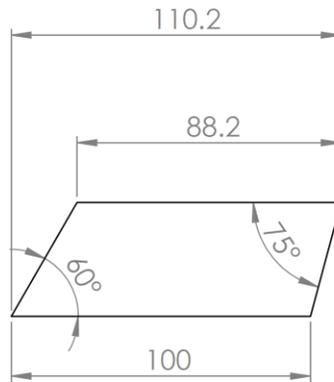
x 2

VISTA EN ISOMÉTRICO

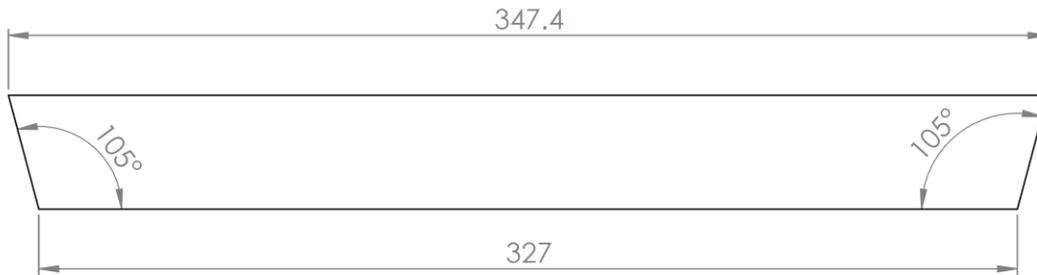


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: "DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"	
NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013		FIRMA	
DIBUJ.		APROB.		TÍTULO: MARCO ESPACIAL TRASERO DEL SEMI-MONOCASCO	
OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO: 559.3 mm - TOLERANCIA: ± 0.5 mm		MATERIAL: Perfil de aluminio 6063-T5 cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM Dado No. 2355		PIEZA: <div style="text-align: center; font-size: 1.2em; font-weight: bold;">MET-J</div>	
				ESCALA: 1:5	
				HOJA 7 DE 11	
				A4	

**X 4** VISTA SUPERIOR PIEZA MET-L



**X 4** VISTA SUPERIOR PIEZA MET-M



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL TRASERO DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- TOLERANCIA:  $\pm 0.5$  mm

MATERIAL:  
Perfil de aluminio 6063-T5  
cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM  
Dado No. 2355

PIEZA:

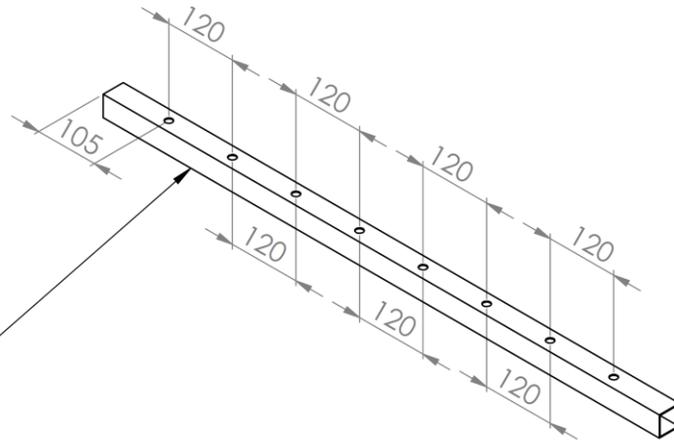
**MET-L y MET-M**

**A4**

ESCALA: 1:2

HOJA 8 DE 11

VISTA EN ISOMÉTRICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

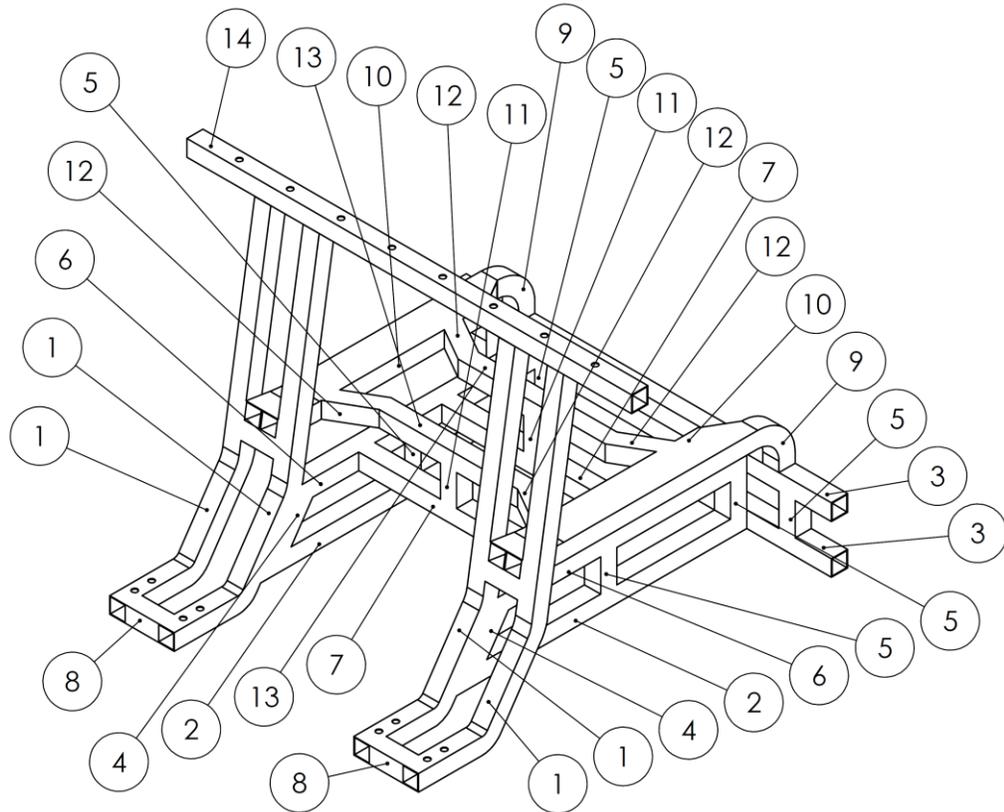
MARCO ESPACIAL TRASERO DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- BARRENOS DE 1/2" DE DIÁMETRO  
- TOLERANCIA: ± 0.5 mm

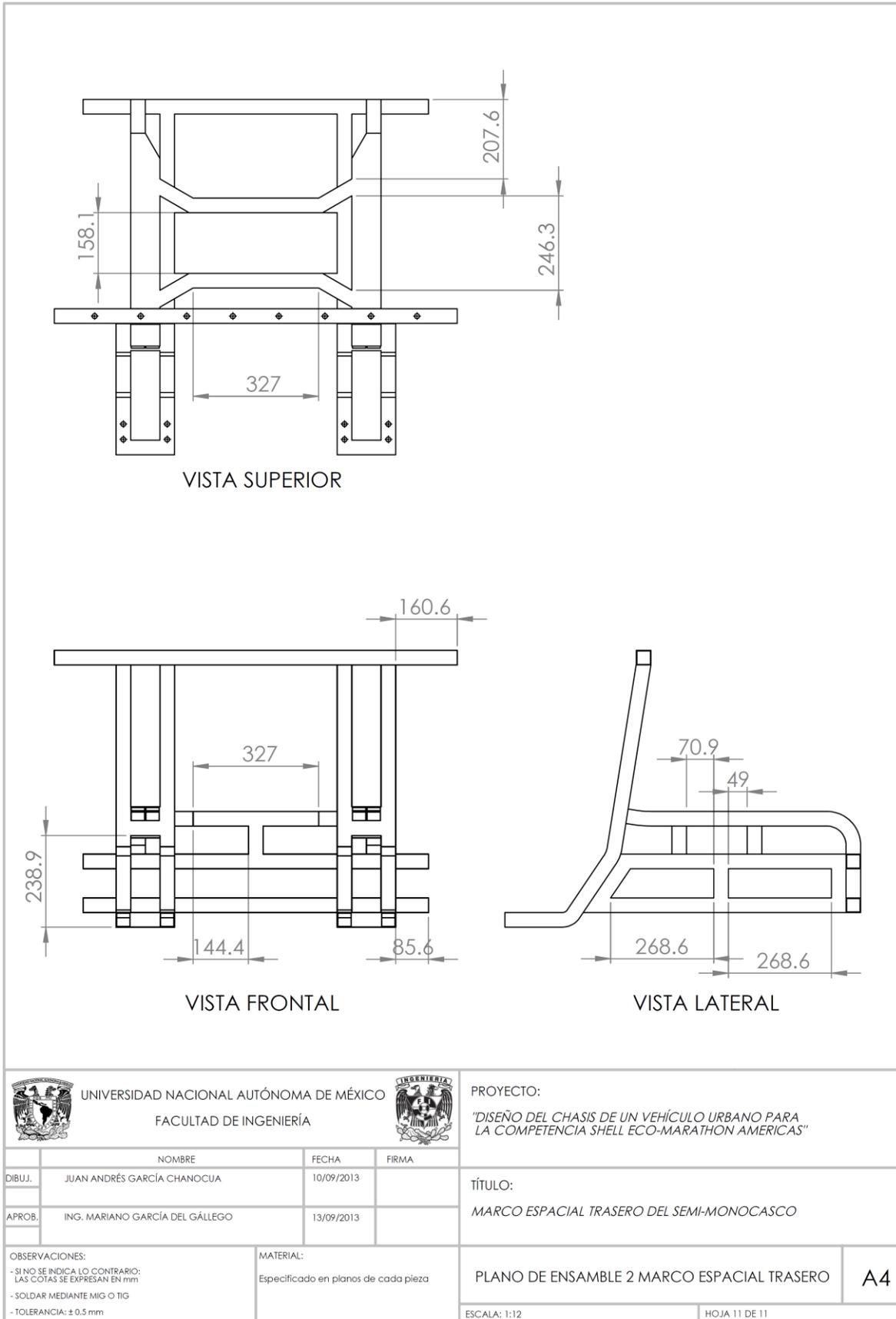
MATERIAL:  
Perfil de aluminio 6063-T5  
cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM  
Dado No. 2355

PIEZA:	<b>MET-N</b>	<b>A4</b>
ESCALA: 1:8	HOJA 9 DE 11	

ITEM	PIEZA	CANTIDAD
1	MET-A	4
2	MET-B	2
3	MET-C	2
4	MET-D	2
5	MET-E	4
6	MET-F	2
7	MET-G	2
8	MET-H	2
9	MET-I	2
10	MET-J	2
11	MET-K	2
12	MET-L	4
13	MET-M	2
14	MET-N	1



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>
NOMBRE: JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA: 10/09/2013		TÍTULO: MARCO ESPACIAL TRASERO DEL SEMI-MONOCASCO
APROB.: ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO		FIRMA:		
OBSERVACIONES: SOLDAR MEDIANTE MIG O TIG		MATERIAL: Especificado en planos de cada pieza		PLANO DE ENSAMBLE 1 MARCO ESPACIAL TRASERO
		ESCALA: 1:10		A4 HOJA 10 DE 11



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

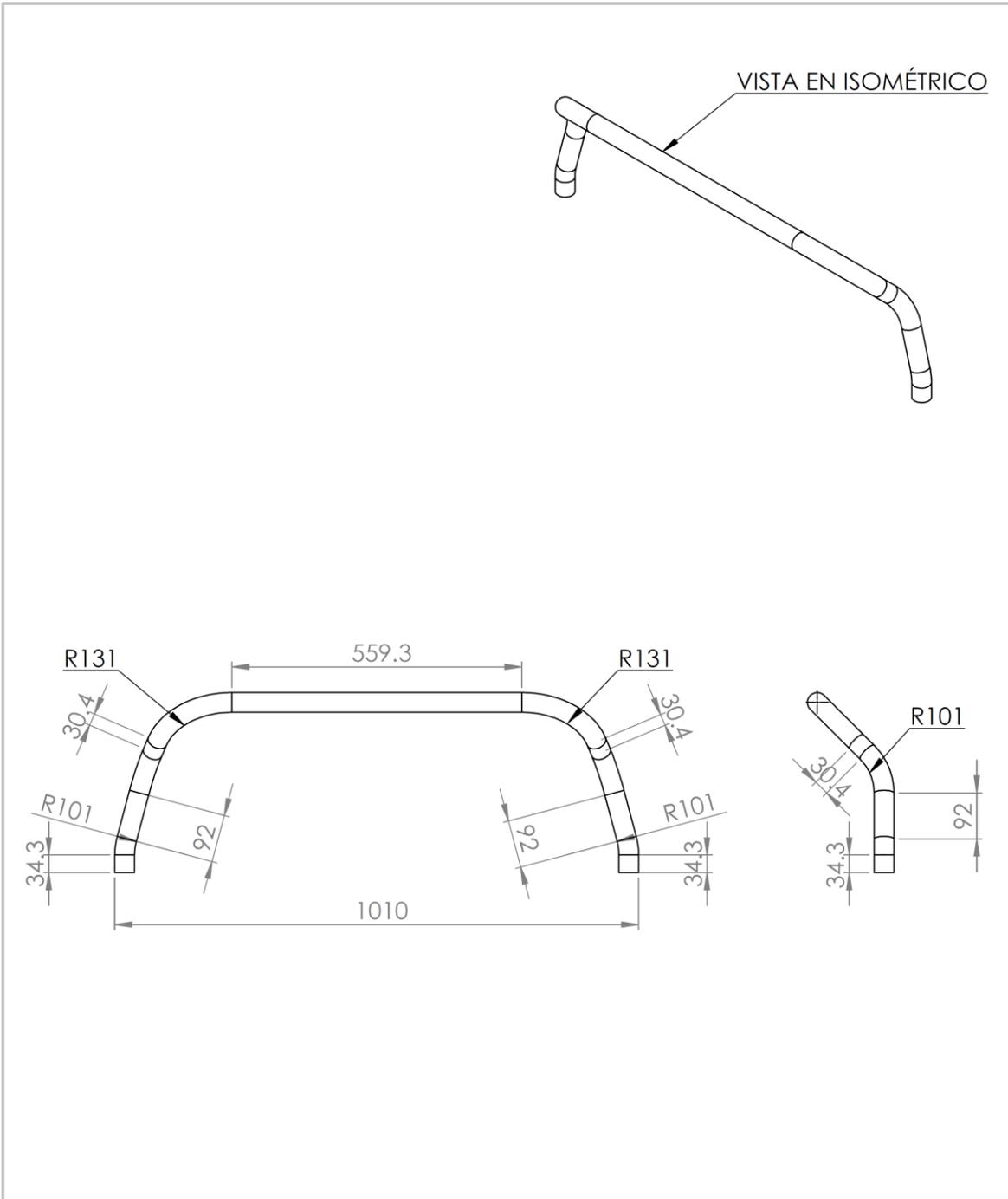
	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

MARCO ESPACIAL TRASERO DEL SEMI-MONOCASCO

<p>OBSERVACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm</li> <li>- SOLDAR MEDIANTE MIG O TIG</li> <li>- TOLERANCIA: <math>\pm 0.5</math> mm</li> </ul>	<p>MATERIAL:</p> <p>Especificado en planos de cada pieza</p>
---	--

<p>PLANO DE ENSAMBLE 2 MARCO ESPACIAL TRASERO</p>	<p>A4</p>
<p>ESCALA: 1:12</p>	<p>HOJA 11 DE 11</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

JAULA ANTIVUELCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO: 1500.8 mm  
- TOLERANCIA:  $\pm 0.5$  mm

MATERIAL:  
Perfil de aluminio 6061-T6  
Tubo comercial CUPRUM  
Dado No. 22329

PIEZA:

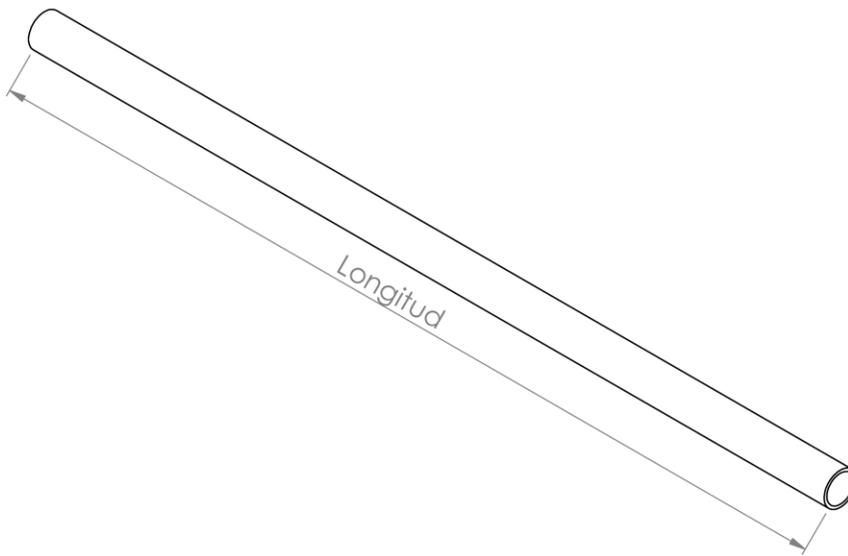
JAV-A

A4

ESCALA: 1:10

HOJA 1 DE 9

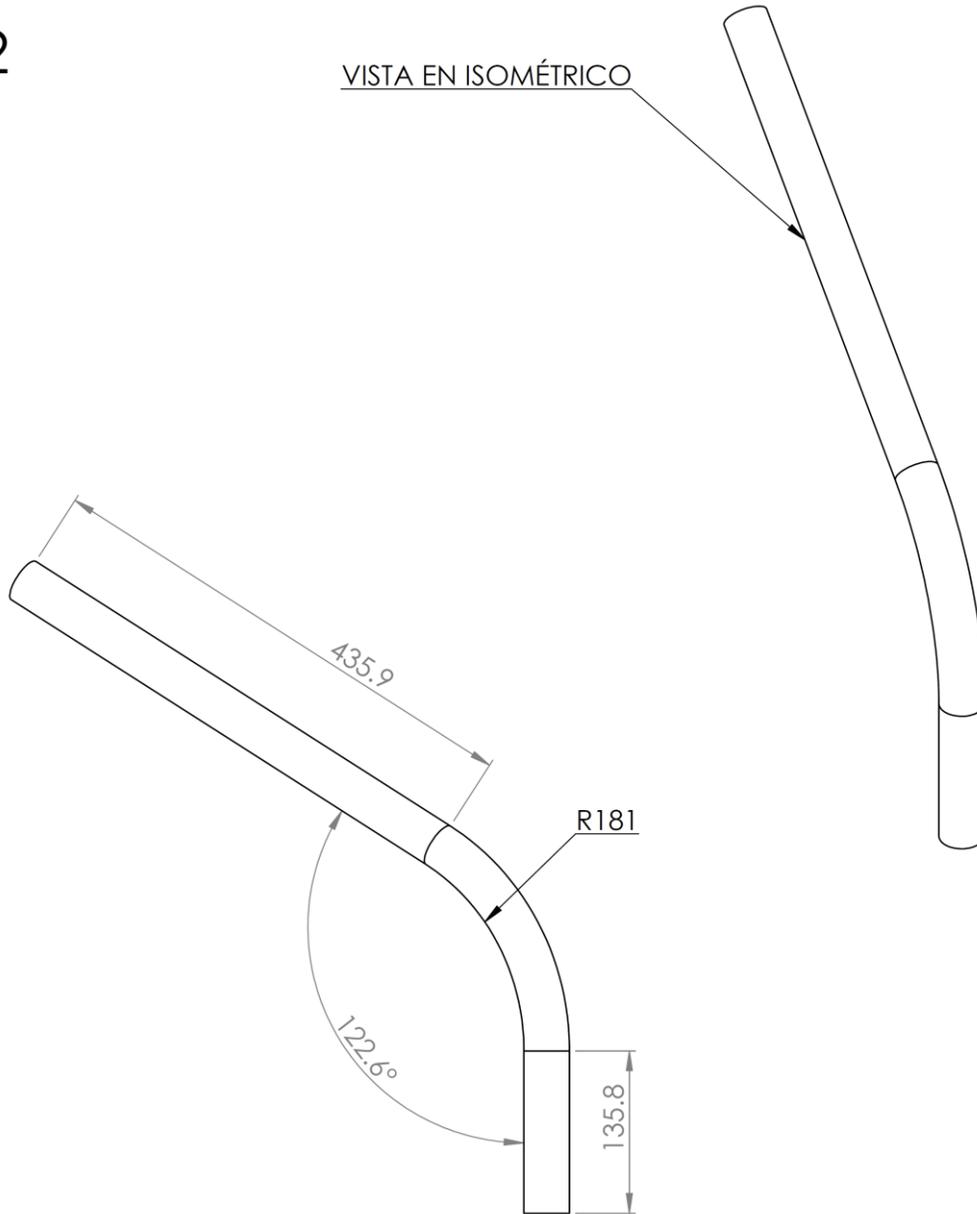
PIEZA	LONGITUD	CANTIDAD
JAV-B	940.1	1
JAV-C	791.2	1
JAV-DA	295.4	1
JAV-DB	496.5	1



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>
DIBUJ.	NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	FECHA 10/09/2013	FIRMA	TÍTULO: JAULA ANTIVUELCO
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013		
OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS LONGITUDES SE EXPRESAN EN mm - CORTAR TUBOS RECTOS CON LA LONGITUD ESPECIFICADA EN LA TABLA - TOLERANCIA: ± 0.5 mm		MATERIAL: Perfil de aluminio 6061-T6 Tubo comercial CUPRUM Dado No. 22329		PIEZAS: JAV-B, JAV-C, JAV-DA y JAV-DB
				A4
				HOJA 2 DE 9

x 2

VISTA EN ISOMÉTRICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:  
JAULA ANTIVUELCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- PLANO SIN DETALLE EN LOS EXTREMOS PARA UNIÓN DE SOLDADURA  
- LONGITUD APROXIMADA DEL TUBO: 779.2 mm  
- TOLERANCIA: ± 0.5 mm

MATERIAL:  
Perfil de aluminio 6061-T6  
Tubo comercial CUPRUM  
Dado No. 22329

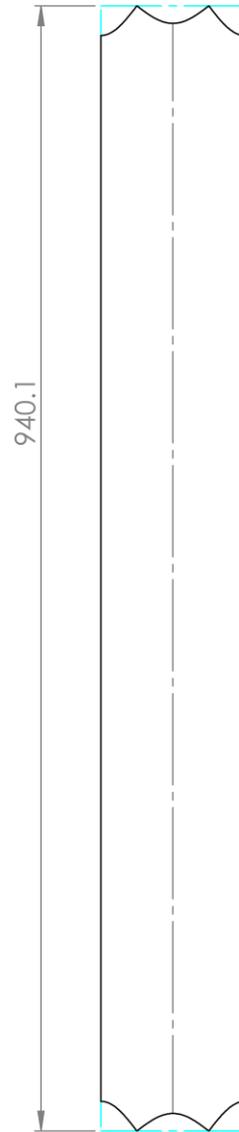
PIEZA:

JAV-E

A4

ESCALA: 1:5

HOJA 3 DE 9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

JAULA ANTIVUELCO

OBSERVACIONES:  
IMPRIMIR PLANTILLA A ESCALA 1:1

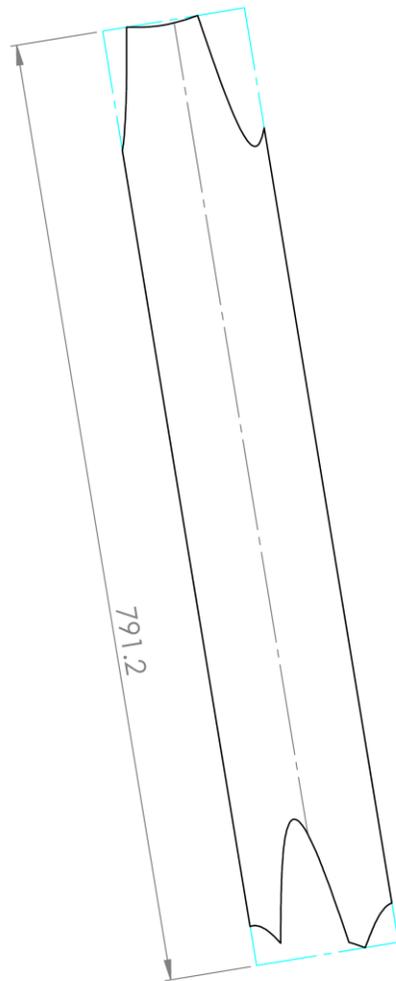
MATERIAL:  
No aplica

Plantilla JAV-B

A4

ESCALA: 1:5

HOJA 4 DE 9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

JAULA ANTIVUELCO

OBSERVACIONES:  
IMPRIMIR PLANTILLA A ESCALA 1:1

MATERIAL:  
No aplica

Plantilla JAV-C

A4

ESCALA: 1:3

HOJA 5 DE 9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMÉRICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

JAULA ANTIVUELCO

OBSERVACIONES:  
IMPRIMIR PLANTILLA A ESCALA 1:1

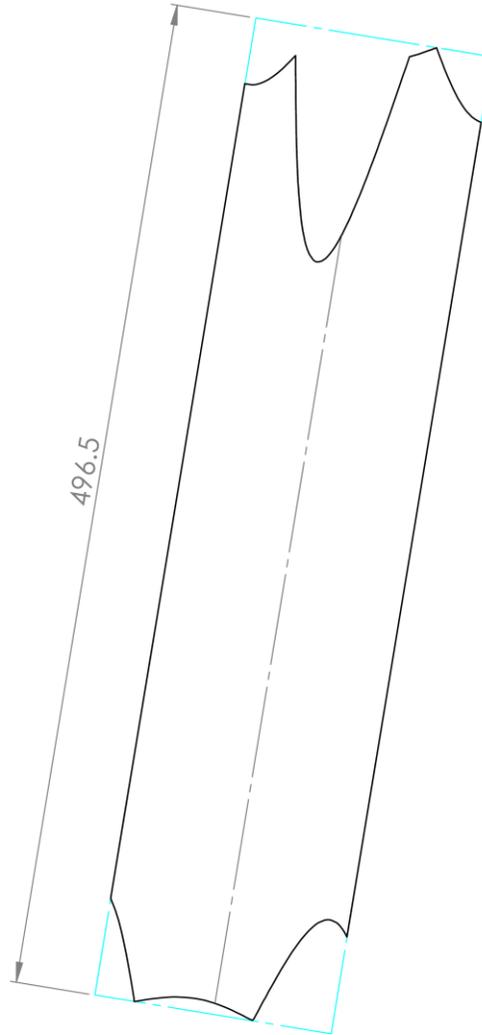
MATERIAL:  
No aplica

Plantilla JAV-DA

A4

ESCALA: 1:5

HOJA 6 DE 9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

JAULA ANTIVUELCO

OBSERVACIONES:  
IMPRIMIR PLANTILLA A ESCALA 1:1

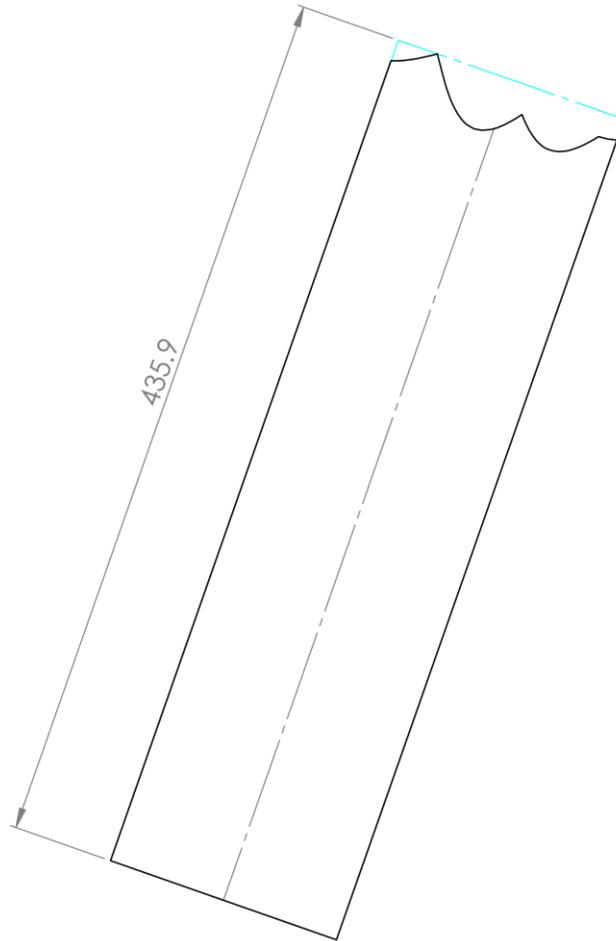
MATERIAL:  
No aplica

Plantilla JAV-DB

A4

ESCALA: 1:2

HOJA 7 DE 9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

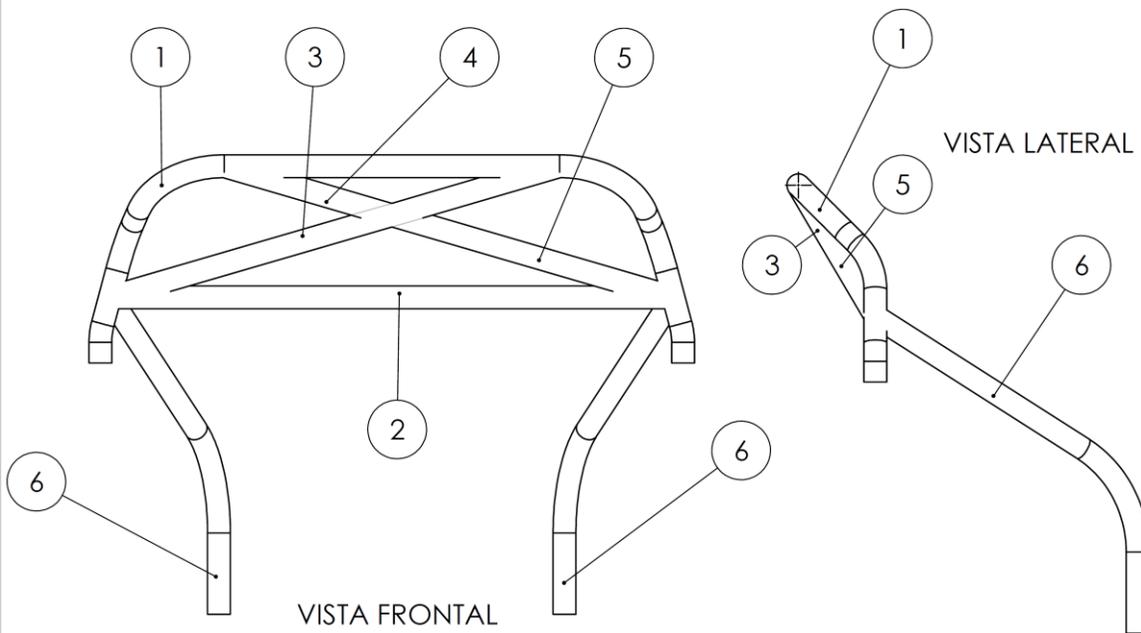
JAULA ANTIVUELCO

OBSERVACIONES:  
IMPRIMIR PLANTILLA A ESCALA 1:1  
ESTA PLANTILLA SE COLOCA INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA CURVATURA DEL TUBO. EN UNA PIEZA SE COLOCA AL DERECHO Y EN LA OTRA AL REVÉS.

MATERIAL:  
No aplica

<b>Plantilla JAV-E</b>	<b>A4</b>
ESCALA: 1:3	HOJA 8 DE 9

ITEM	PIEZA	CANTIDAD
1	JAV-A	1
2	JAV-B	1
3	JAV-C	1
4	JAV-DA	1
5	JAV-DB	1
6	JAV-E	2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

JAULA ANTIVUELCO

OBSERVACIONES:

PREPARAR LOS EXTREMOS DE LAS PIEZAS ANTES DE SOLDAR CON LAS PLANTILLAS CORRESPONDIENTES  
SOLDAR MEDIANTE MIG O TIG

MATERIAL:

Especificado en planos de cada pieza

PLANO DE ENSAMBLE JAULA ANTIVUELCO

A4

ESCALA: 1:10

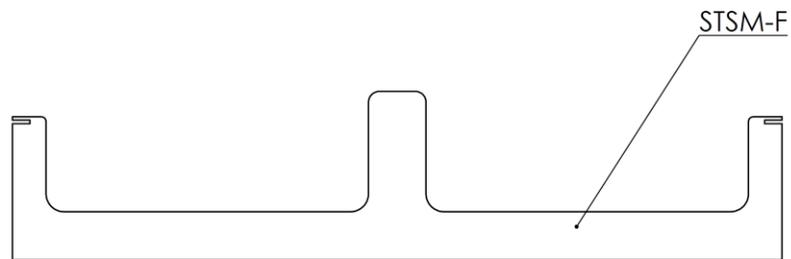
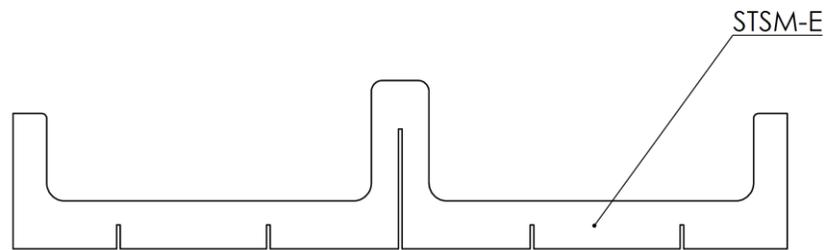
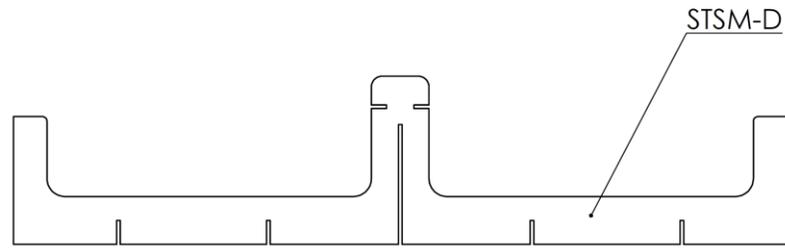
HOJA 9 DE 9

STSM-A

STSM-B

STSM-C

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	TÍTULO: <i>PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO</i>
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013		
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013		
OBSERVACIONES: IMPRIMIR LAS PLANTILLAS A ESCALA 1:1		MATERIAL: Madera de 6 mm de espesor		PIEZAS: STSM-A, STSM-B y STSM-C
			ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 13



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMÉRICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
IMPRIMIR LAS PLANTILLAS A ESCALA 1:1

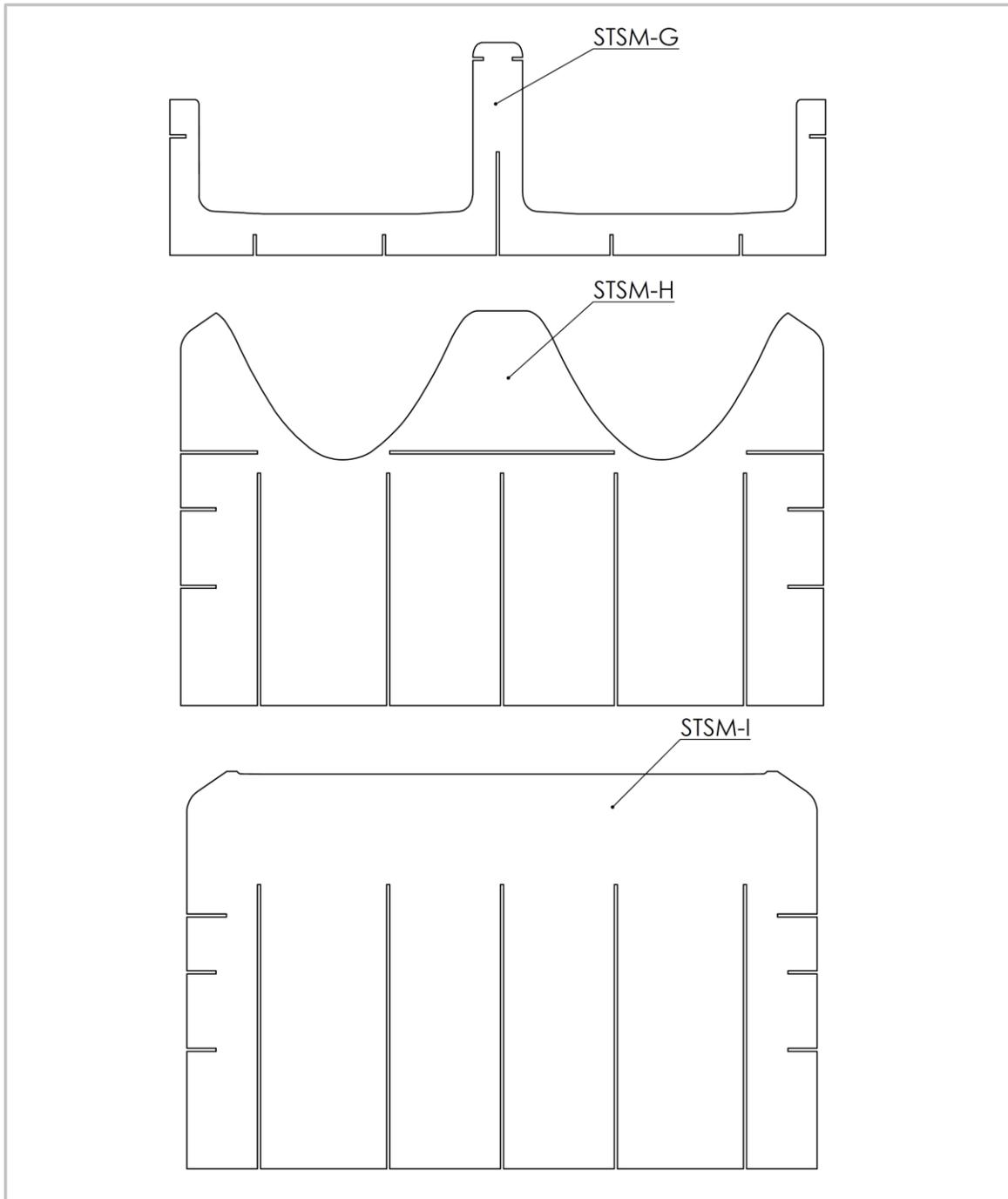
MATERIAL:  
Madera de 6 mm de espesor

PIEZAS: STSM-D, STSM-E y STSM-F

A4

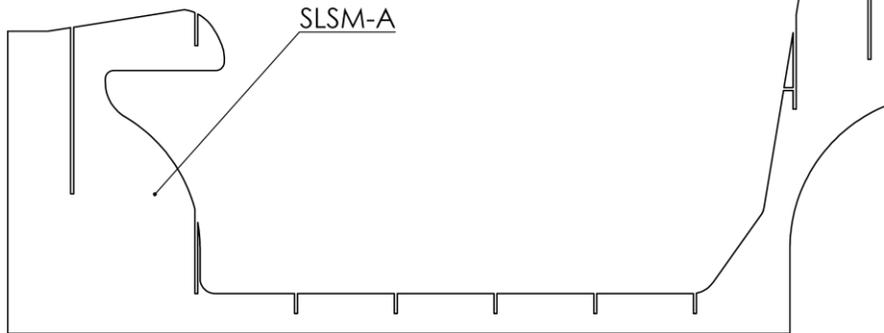
ESCALA: 1:10

HOJA 2 DE 13

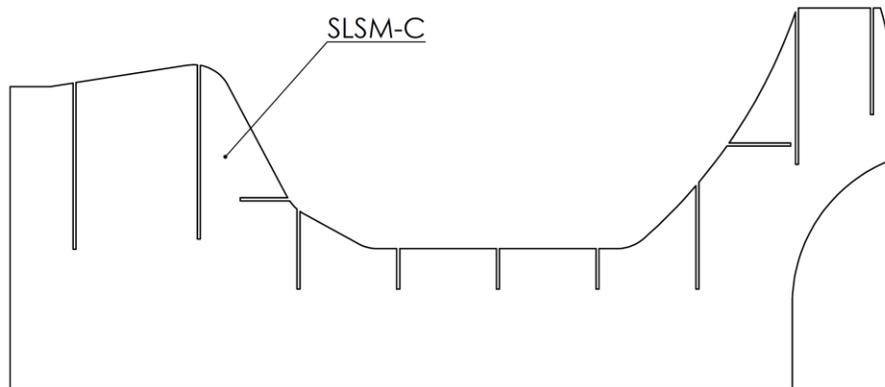
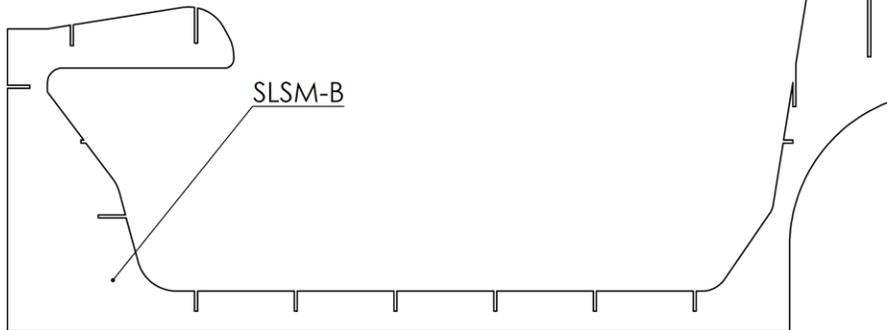


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>	
NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013		FIRMA	
DIBUJ. JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013		TÍTULO: PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO	
APROB. ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO		FECHA 13/09/2013		PIEZAS: STSM-G, STSM-H y STSM-I	
OBSERVACIONES: IMPRIMIR LAS PLANTILLAS A ESCALA 1:1		MATERIAL: Madera de 6 mm de espesor		ESCALA: 1:10	
				HOJA 3 DE 13	

x 2



x 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
IMPRIMIR LAS PLANTILLAS A ESCALA 1:1

MATERIAL:  
Madera de 6 mm de espesor

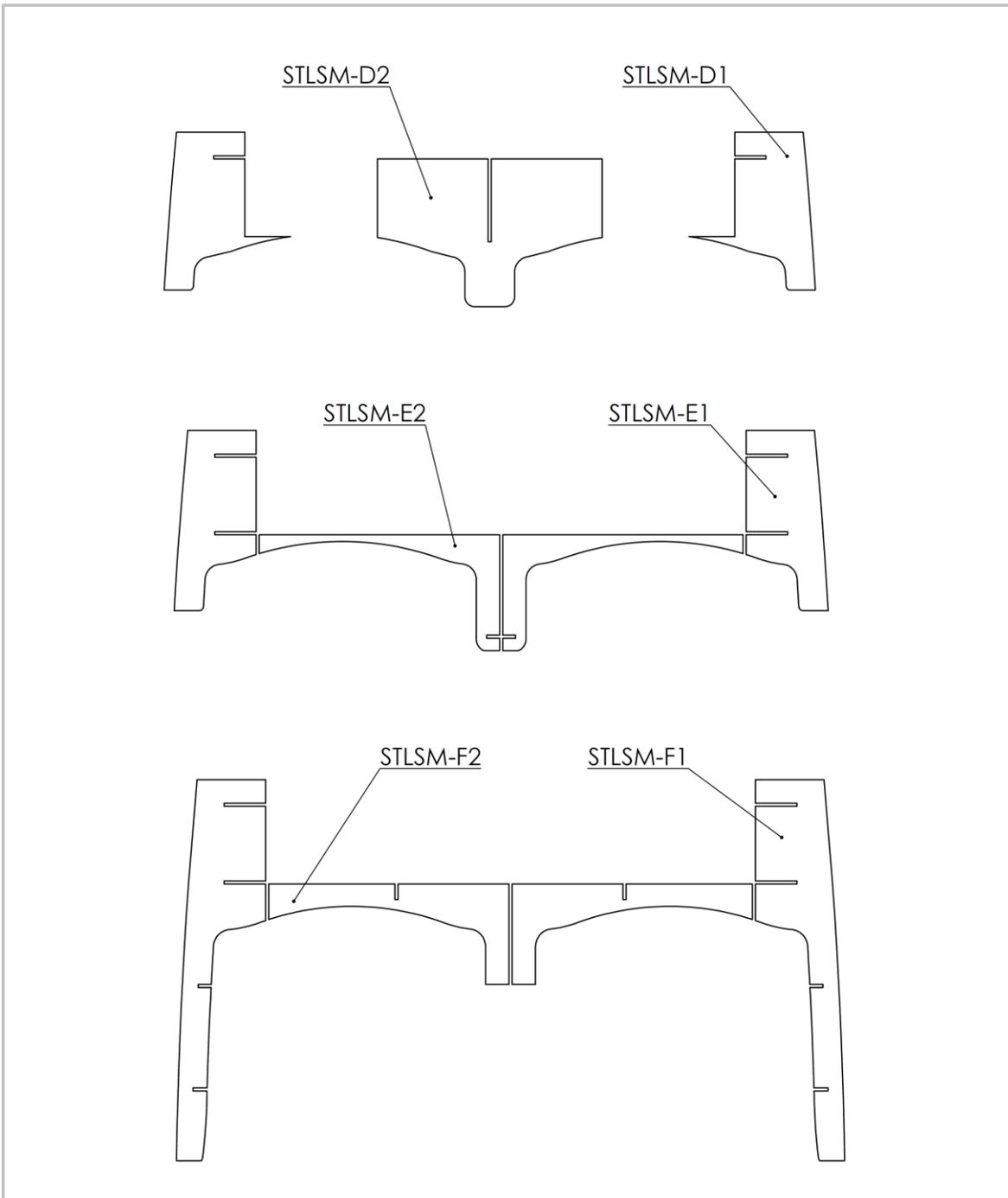
PIEZAS: SLSM-A, SLSM-B y SLSM-C

A4

ESCALA: 1:12

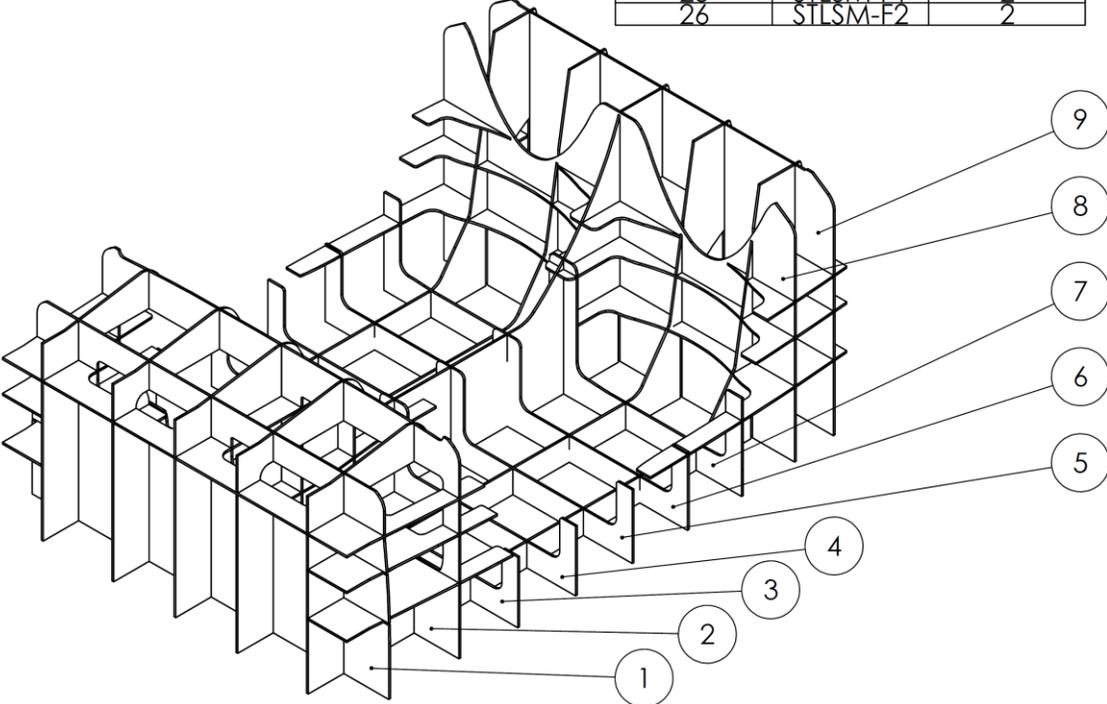
HOJA 4 DE 13

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	TÍTULO: <i>PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO</i>
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013		
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013		
OBSERVACIONES: IMPRIMIR LAS PLANTILLAS A ESCALA 1:1		MATERIAL: Madera de 6 mm de espesor		PIEZAS: STLSM-A1-A2, STLSM-B1-B2-B3 y STLSM-C1-C2-C3
			ESCALA: 1:10	HOJA 5 DE 13

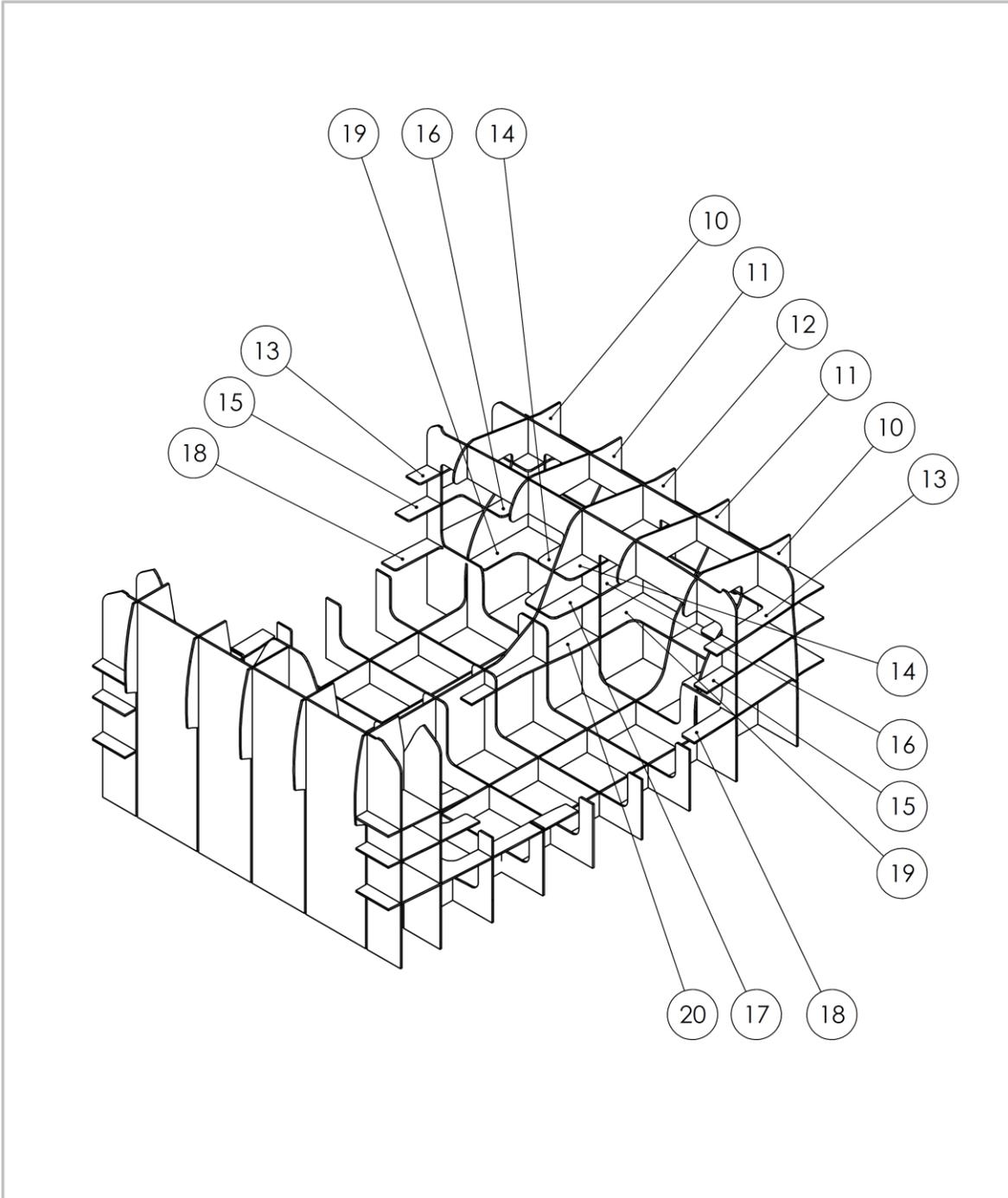


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>	
NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013		FIRMA	
APROB. ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO		13/09/2013		TÍTULO: PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO	
OBSERVACIONES: IMPRIMIR LAS PLANTILLAS A ESCALA 1:1		MATERIAL: Madera de 6 mm de espesor		PIEZAS: STLSM-D1-D2, STLSM-E1-E2 y STLSM-F1-F2	
				ESCALA: 1:10	
				HOJA 6 DE 13	

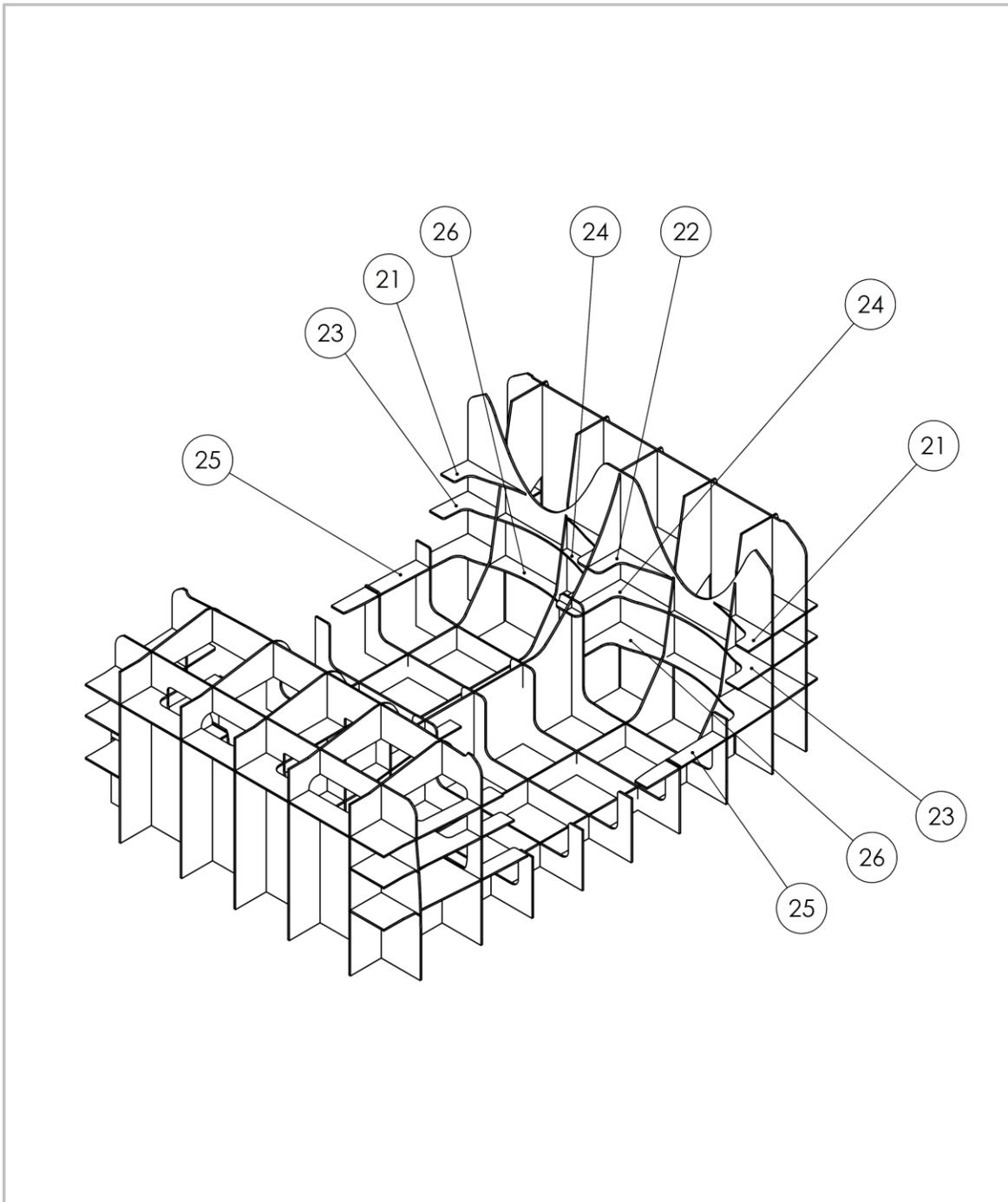
ITEM	PIEZA	CANTIDAD
1	STLSM-A	
2	STLSM-B	
3	STLSM-C	
4	STLSM-D	
5	STLSM-E	
6	STLSM-F	
7	STLSM-G	
8	STLSM-H	
9	STLSM-I	
10	STLSM-A	2
11	STLSM-B	2
12	STLSM-C	1
13	STLSM-A1	2
14	STLSM-A2	2
15	STLSM-B1	2
16	STLSM-B2	2
17	STLSM-B3	1
18	STLSM-C1	2
19	STLSM-C2	2
20	STLSM-C3	2
21	STLSM-D1	2
22	STLSM-D2	1
23	STLSM-E1	2
24	STLSM-E2	2
25	STLSM-F1	2
26	STLSM-F2	2



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	FECHA	10/09/2013	TÍTULO: PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	FECHA	13/09/2013	
OBSERVACIONES:		MATERIAL: Madera de 6 mm de espesor		PIEZAS: ENSAMBLE ESTEREOTOMÍA 1
				ESCALA: 1:15
				HOJA 7 DE 13



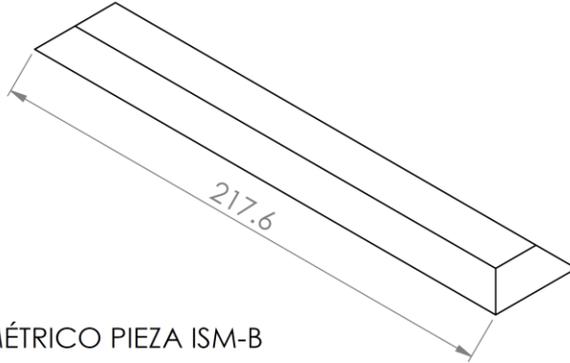
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>	
NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013		FIRMA	
DIBUJ.		APROB.		TÍTULO: PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO	
OBSERVACIONES:		MATERIAL: Madera de 6 mm de espesor		PIEZAS: ENSAMBLE ESTEREOTOMÍA 2	
				ESCALA: 1:15	
				HOJA 8 DE 13	
					A4



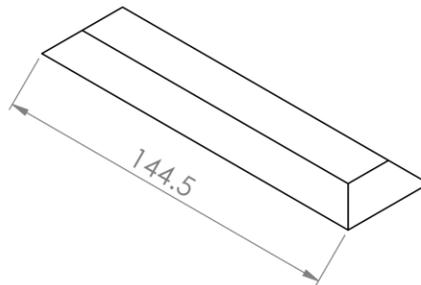
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>
	NOMBRE	FECHA	FIRMA	TÍTULO: <i>PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO</i>
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013		
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013		
OBSERVACIONES:		MATERIAL: Madera de 6 mm de espesor		PIEZAS: ENSAMBLE ESTEREOTOMÍA 3
			ESCALA: 1:15	HOJA 9 DE 13

A4

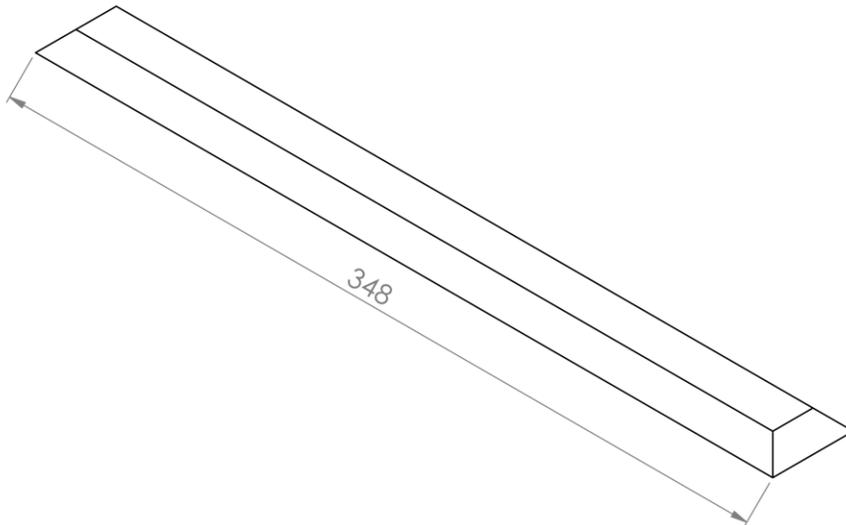
x 4 VISTA EN ISOMÉTRICO PIEZA ISM-A



x 4 VISTA EN ISOMÉTRICO PIEZA ISM-B

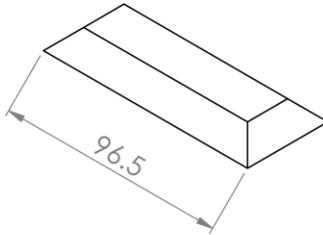


x 2 VISTA EN ISOMÉTRICO PIEZA ISM-C



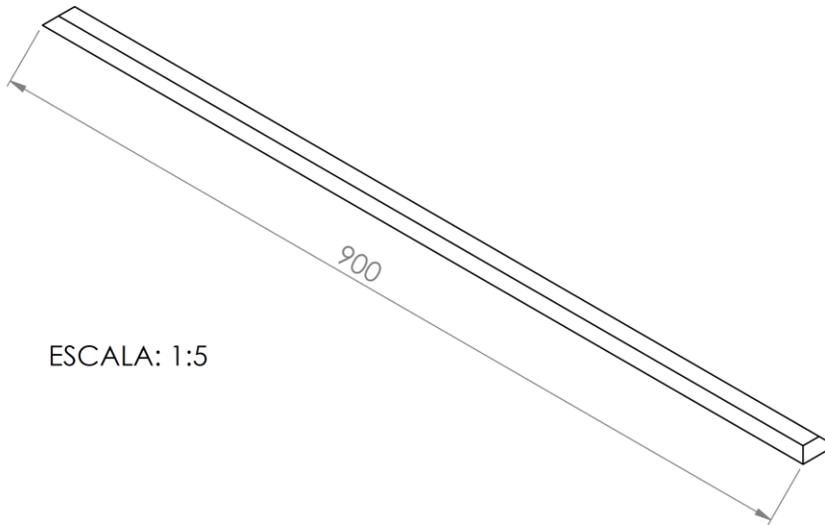
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: "DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"	
NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013	FIRMA		
APROB. ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO		13/09/2013	TÍTULO: PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO		
OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - TOLERANCIA: ± 0.5 mm - CHAFLAN A 45°		MATERIAL: Solera de aluminio 6061-T6 CUPRUM Dado No. 17595		PIEZAS: ISM-A, ISM-B y ISM-C	
				ESCALA: 1:2	HOJA 10 DE 13
					A4

x 2 VISTA EN ISOMÉTRICO PIEZA ISM-D



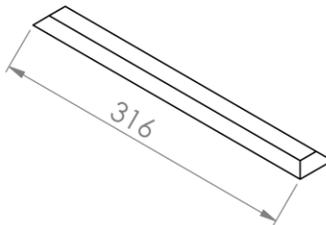
ESCALA: 1:2

x 1 VISTA EN ISOMÉTRICO PIEZA ISM-E



ESCALA: 1:5

x 2 VISTA EN ISOMÉTRICO PIEZA ISM-F



ESCALA: 1:5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- TOLERANCIA:  $\pm 0.5$  mm  
- CHARLAN A 45°

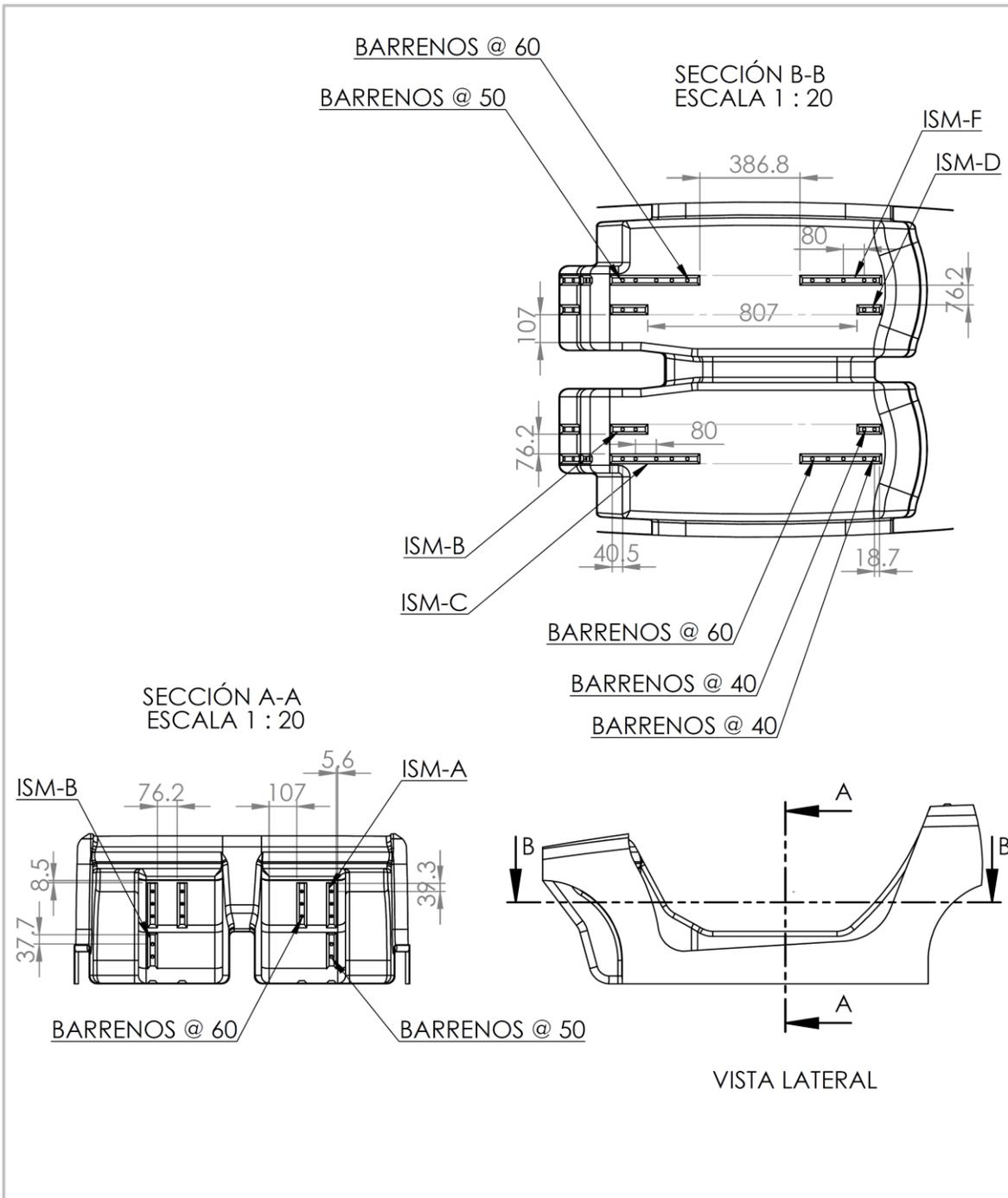
MATERIAL:  
Solera de aluminio 6061-T6  
CUPRUM  
Dado No. 17595

PIEZAS:

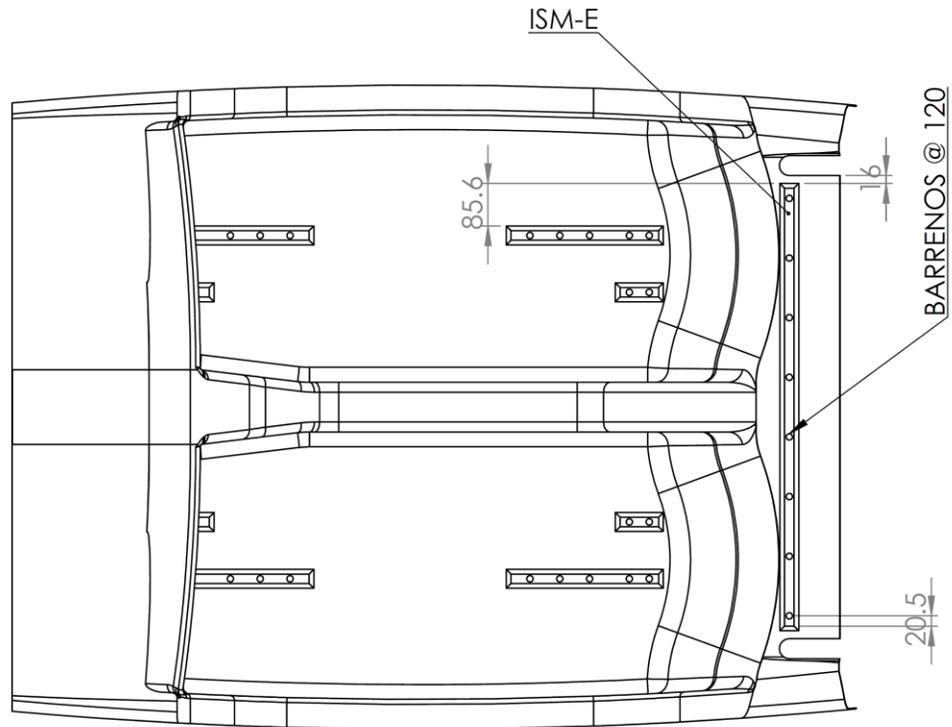
ISM-D, ISM-E y ISM-F

A4

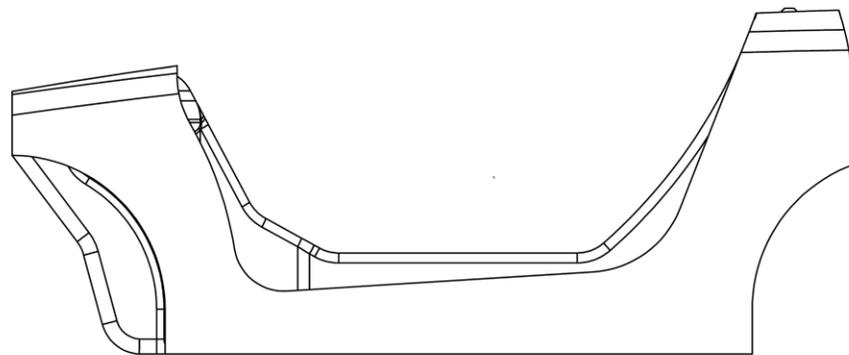
HOJA 11 DE 13



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: "DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"			
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	FECHA	10/09/2013	FIRMA		TÍTULO:	SEMI-MONOCASCO
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	FECHA	13/09/2013	FIRMA			
OBSERVACIONES: * SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - BARRENOS DE 1/2" DE DIÁMETRO (BARRENAR DESPUÉS DE TERMINADA LA PARTE CENTRAL DEL SEMI-MONOCASCO) - TOLERANCIA: ± 0.5 mm		MATERIAL: Especificado en planos de cada pieza		UBICACIÓN DE INJERTOS 1		A4	
ESCALA: 1:20				HOJA 12 DE 13			



VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:  
- SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm  
- BARRENOS DE 1/2" DE DIÁMETRO  
- (BARREÑAR DESPUÉS DE TERMINADA LA PARTE CENTRAL DEL TERMINOCASCO)  
- TOLERANCIA: ±0.5 mm

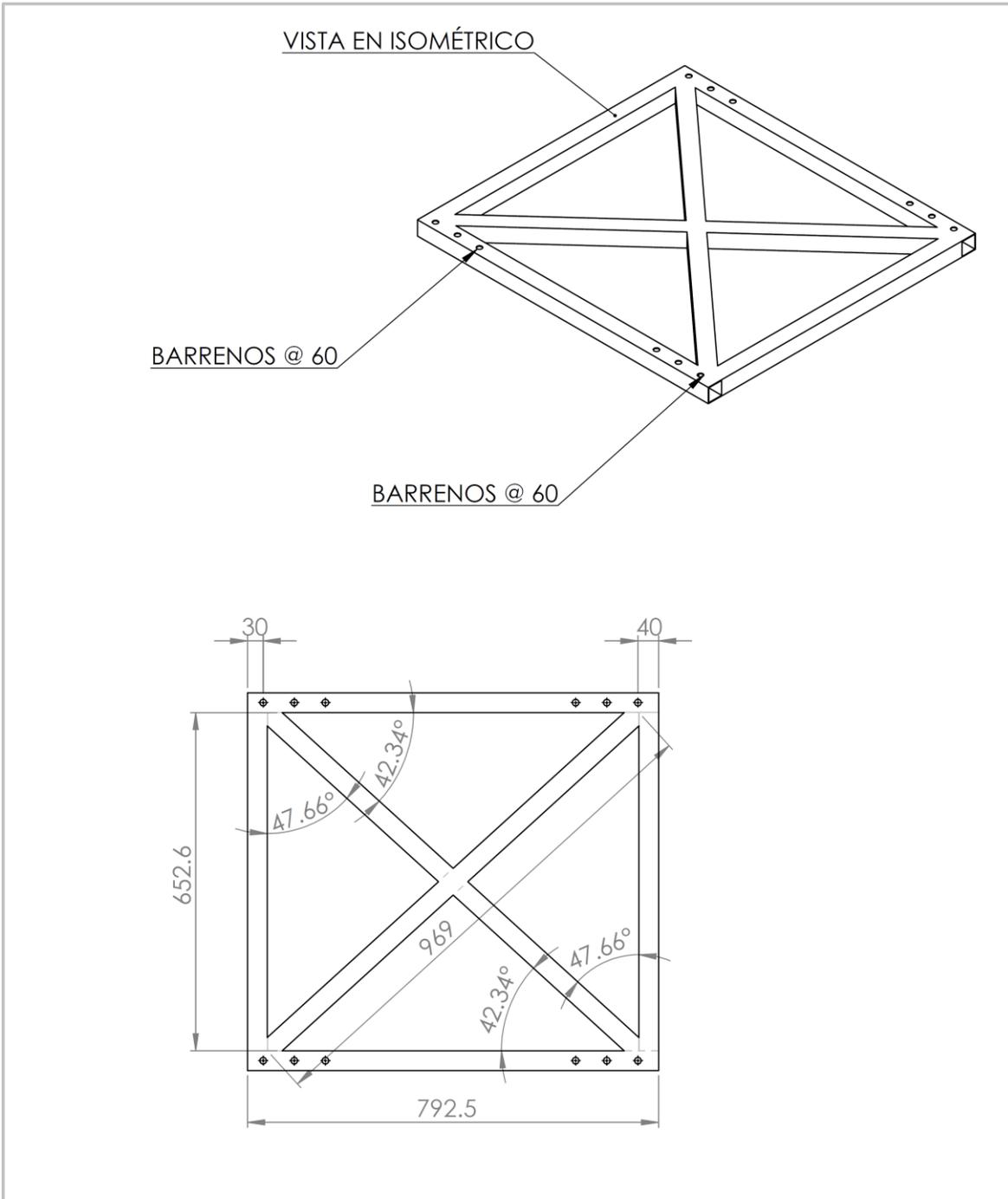
MATERIAL:  
Especificado en planos de cada pieza

UBICACIÓN DE INJERTOS 2

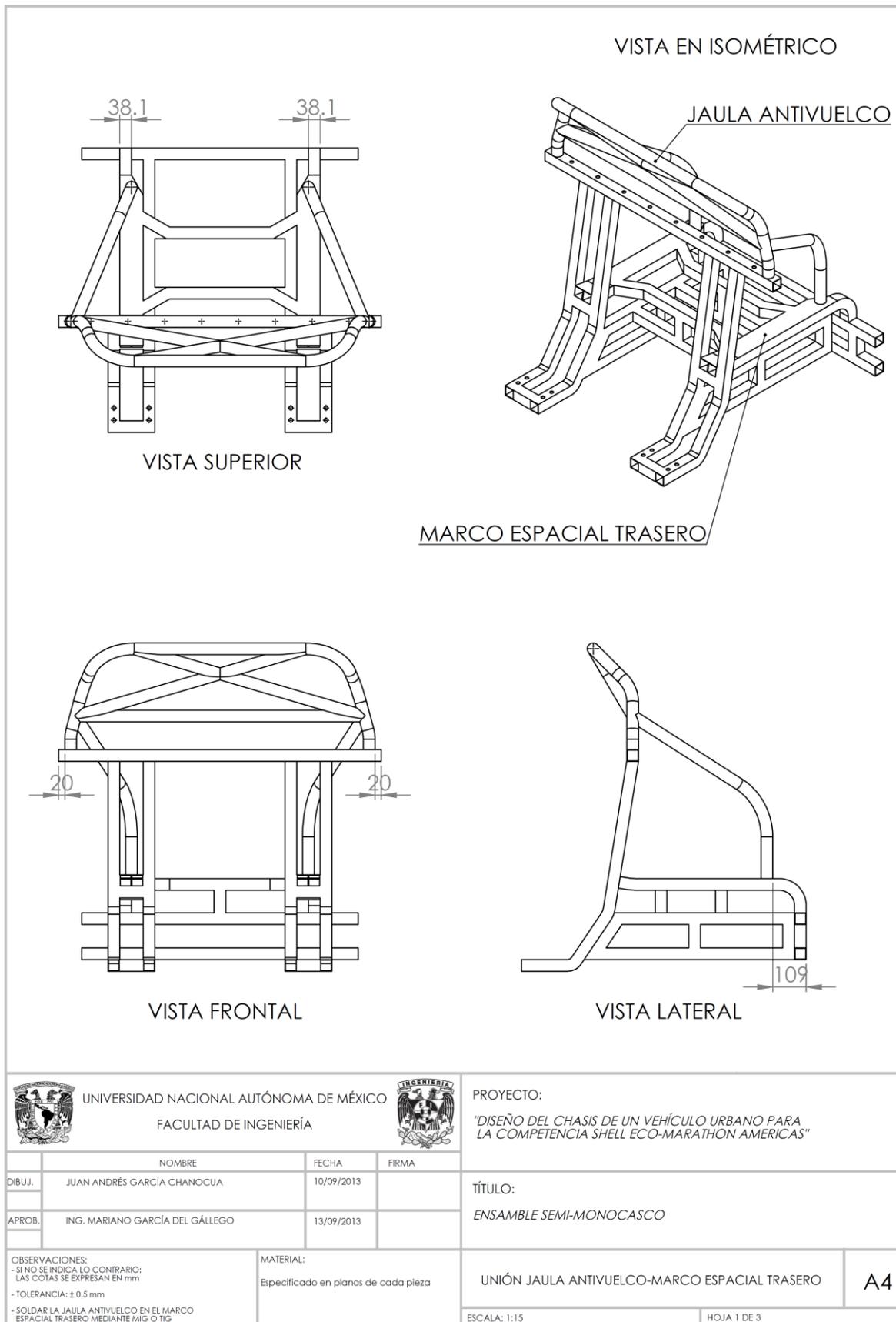
A4

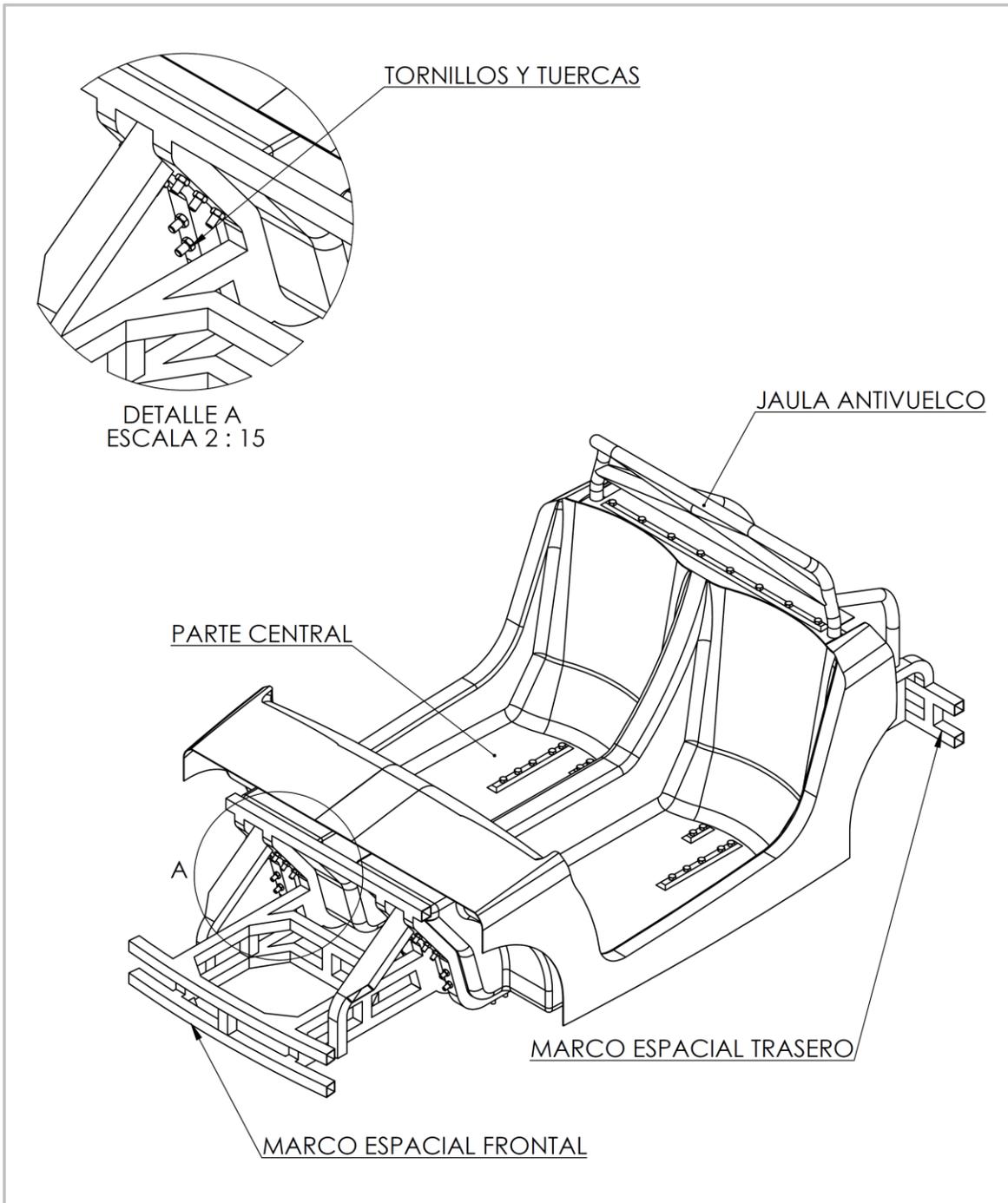
ESCALA: 1:12

HOJA 13 DE 13

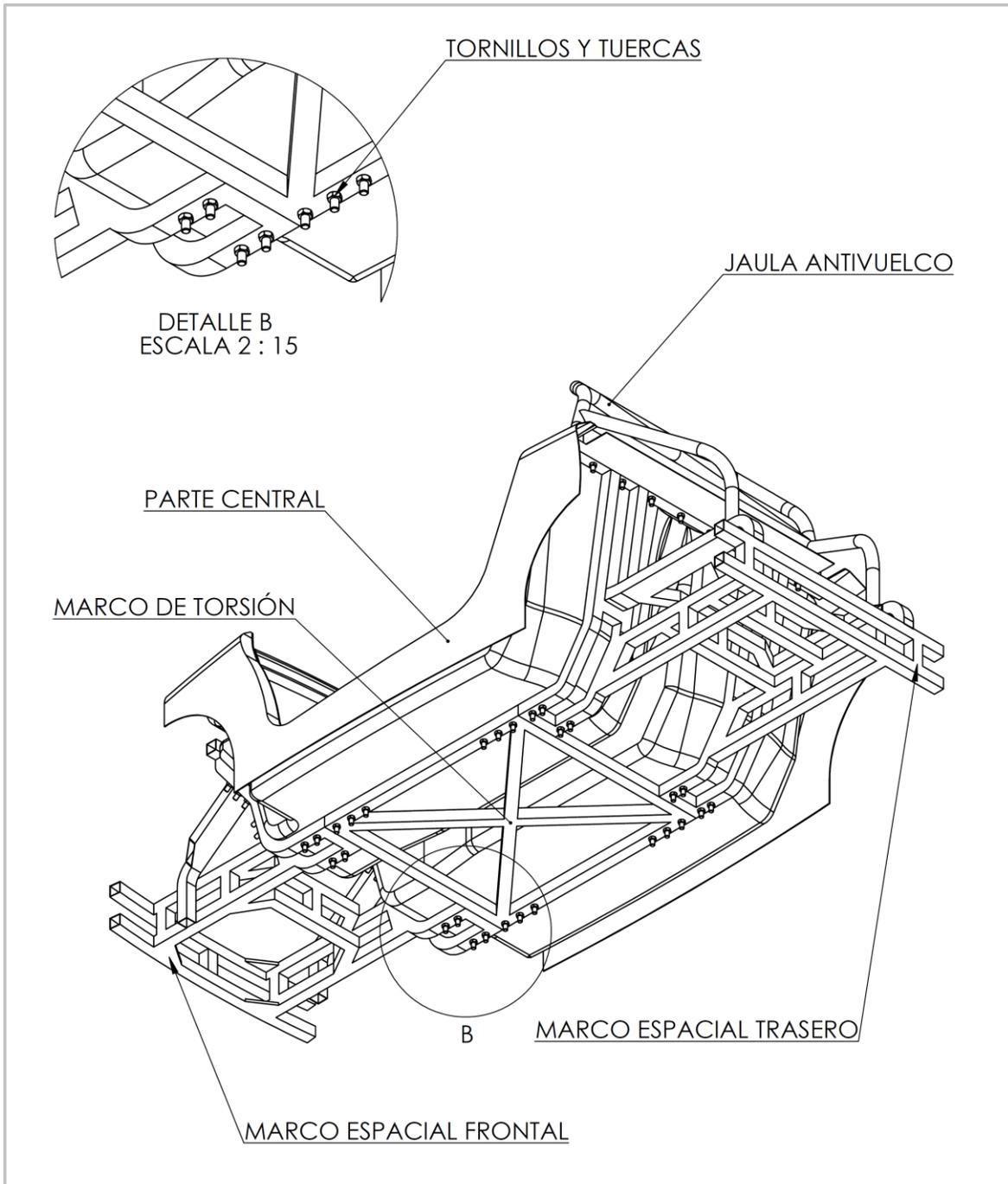


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA			 PROYECTO: "DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"		
NOMBRE		FECHA	FIRMA		
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013			
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013			
OBSERVACIONES: - SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm - TOLERANCIA: ± 0.5 mm			MATERIAL: Perfil de aluminio 6063-T5 cuadrado esquinas cuadradas CUPRUM Dado No. 2355		TÍTULO: MARCO DE TORSIÓN
			PIEZA: <b>MARCO DE TORSIÓN</b>		A4
			ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1





 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: "DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"	
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	FECHA	10/09/2013	FIRMA	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	FECHA	13/09/2013	FIRMA	
OBSERVACIONES: UNIR LOS MARCOS ESPACIALES CON EL CENTRO DEL SEMI-MONOCASCO CON TORNILLOS Y TUERCAS DE ACERO ESTRUCTURAL GRADO 8. LOS TORNILLOS DE 1/2" DE DIÁMETRO POR 3" DE LONGITUD.		MATERIAL: Especificado en planos de cada pieza		TÍTULO: ENSAMBLE SEMI-MONOCASCO	
PLANO DE ENSAMBLE				A4	
ESCALA: 1:15				HOJA 2 DE 3	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMÉRICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

ENSAMBLE SEMI-MONOCASCO

OBSERVACIONES:

UNIR EL MARCO DE TORSIÓN CON EL CENTRO DEL SEMI-MONOCASCO CON TORNILLOS Y TUERCAS DE ACERO ESTRUCTURAL GRADO 8, LOS TORNILLOS DE 1/2" DE DIÁMETRO POR 3" DE LONGITUD.

MATERIAL:

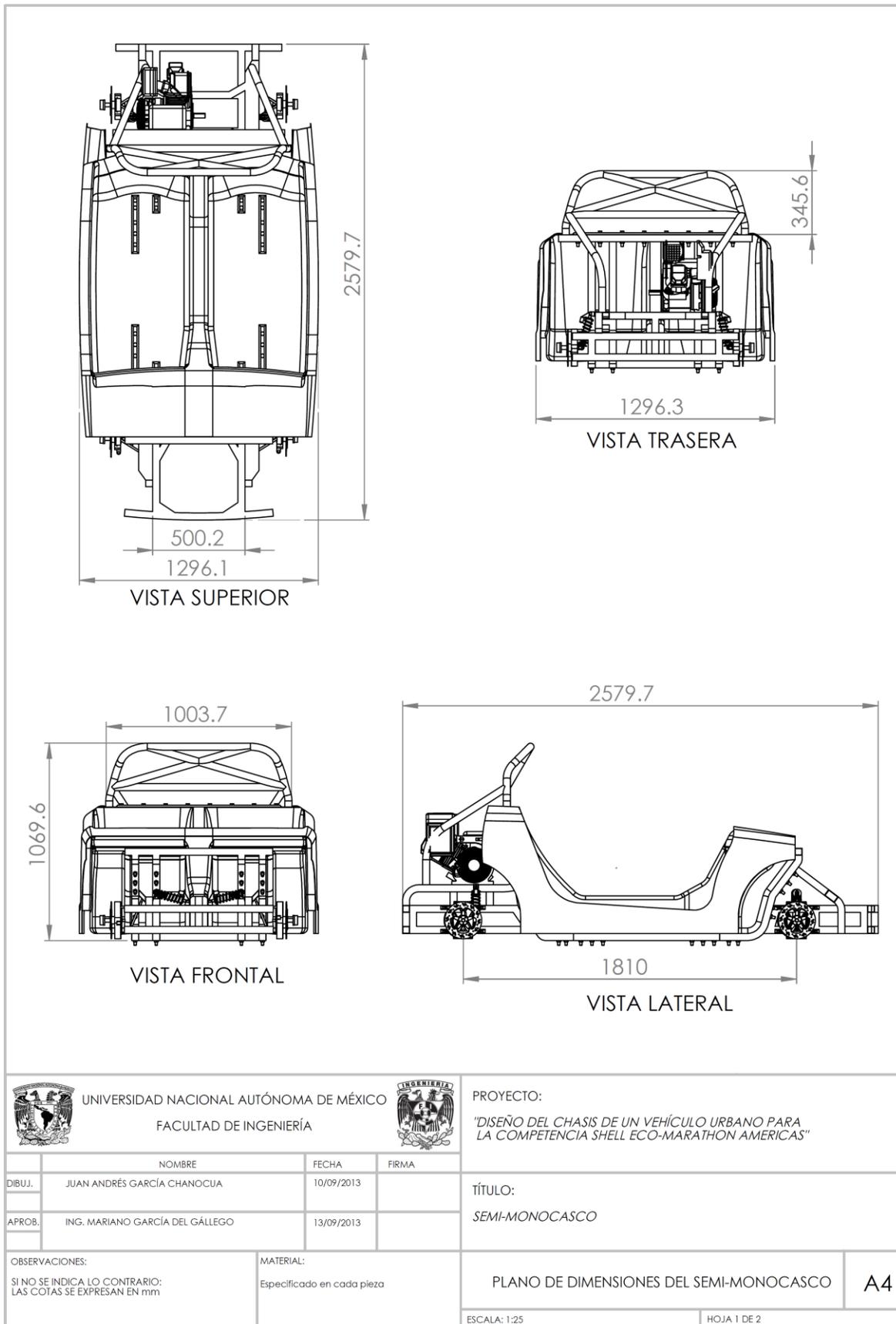
Especificado en planos de cada pieza

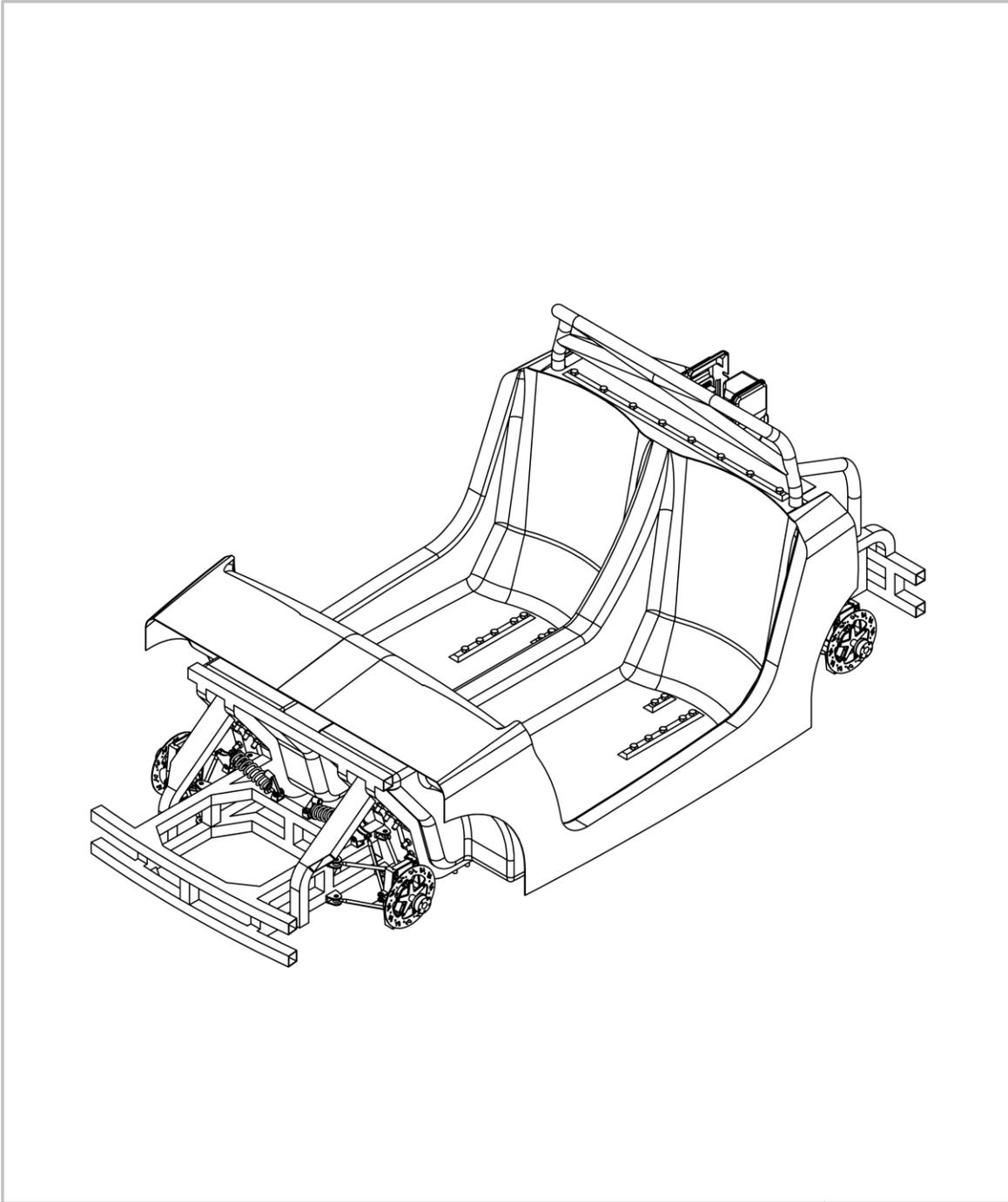
PLANO DE ENSAMBLE 2

A4

ESCALA: 1:15

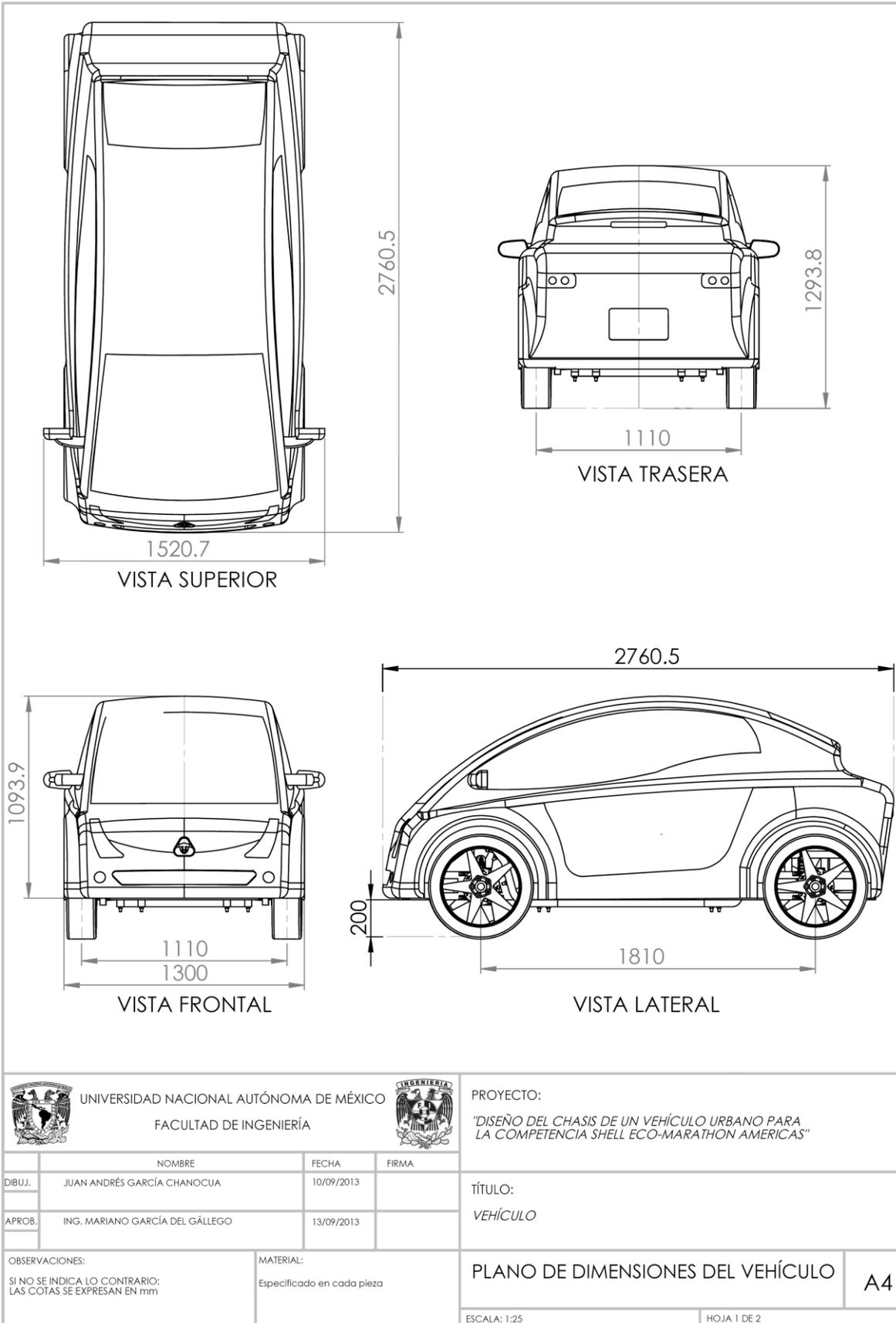
HOJA 3 DE 3





 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>	
DIBUJ.	NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	FECHA 10/09/2013	FIRMA	TÍTULO: SEMI-MONOCASCO	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013			
OBSERVACIONES: SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm		MATERIAL: Especificado en cada pieza		VISTA EN ISOMÉTRICO DEL SEMI-MONOCASCO	
				ESCALA: 1:15	HOJA 2 DE 2

A4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROYECTO:

"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"

	NOMBRE	FECHA	FIRMA
DIBUJ.	JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA	10/09/2013	
APROB.	ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO	13/09/2013	

TÍTULO:

VEHÍCULO

OBSERVACIONES:

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm

MATERIAL:

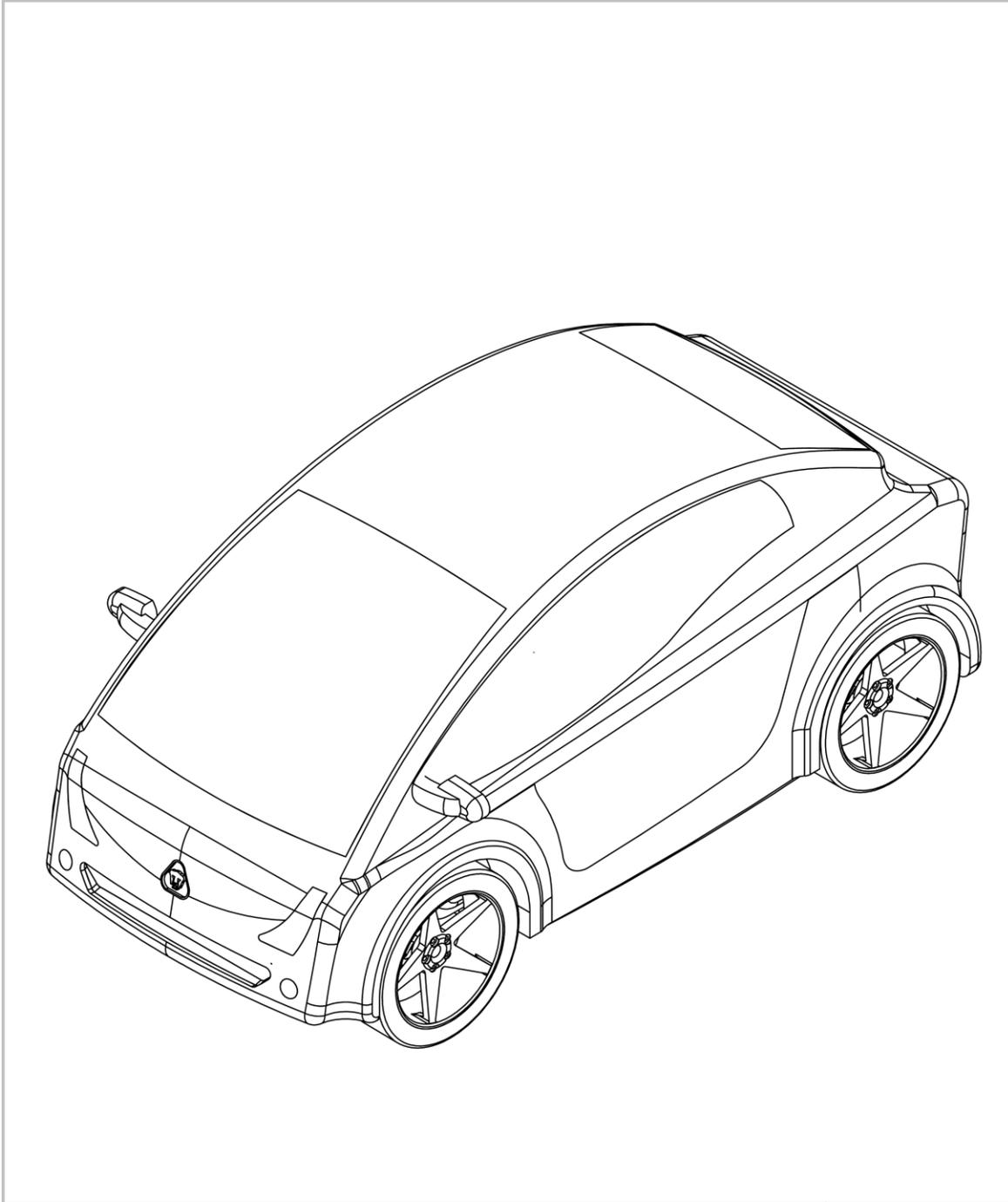
Especificado en cada pieza

PLANO DE DIMENSIONES DEL VEHÍCULO

A4

ESCALA: 1:25

HOJA 1 DE 2



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		 INGENIERÍA		PROYECTO: <i>"DISEÑO DEL CHASIS DE UN VEHÍCULO URBANO PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMERICAS"</i>	
NOMBRE JUAN ANDRÉS GARCÍA CHANOCUA		FECHA 10/09/2013		FIRMA	
DIBUJ.		APROB.		TÍTULO: VEHÍCULO	
OBSERVACIONES: SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm		MATERIAL: Especificado en cada pieza		VISTA EN ISOMÉTRICO DEL VEHÍCULO	
				ESCALA: 1:15	
				HOJA 2 DE 2	
				A4	