

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Diseño de un Vehículo de Competencia:
Fórmula SAE**

Juan Paúl Amores León

Alfredo Valarezo, Ph.D., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Quito, 16 de diciembre del 2013

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Diseño de un Vehículo de Competencia:
Fórmula SAE**

Juan Paúl Amores León

Alfredo Valarezo, Ph.D.
Director de Tesis

.....

Patricio Chiriboga, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

.....

Gonzalo Tayupanta, Msc.
Miembro del Comité de Tesis

.....

Ximena Córdova, PhD.
Decana de la Escuela de Ingeniería

.....

Quito, 16 de diciembre de 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: _____

Nombre: Juan Paúl Amores León

C. I.: 1715375877

Fecha: 16 de diciembre del 2013

DEDICATORIA

Este logro está dirigido hacia mi familia quien ha sido mi apoyo incondicional a través del tiempo. En especial, dedico este logro a quien soñó algún día verme formado como Ingeniero, mi abuelito, Bolívar Amores; paz en su tumba.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) por tener la apertura en iniciar la construcción de un auto tipo Fórmula estandarizado por la Society of Automotive Engineers (SAE).
- A Top-Car quien ayudó con su apoyo en la construcción de la herramienta necesaria para el desbaste de muelle.
- A Juan Espinosa Competiciones, que me permitió visitar sus instalaciones y aprender el funcionamiento de suspensiones de alto rendimiento.

RESUMEN

Esta tesis está enfocada en el diseño y construcción de tres conjuntos del Fórmula SAE-USFQ. El primer conjunto es el diseño y construcción del chasis, el mismo que se realizó de acuerdo a las reglas del Manual SAE 2013. El segundo conjunto es el diseño y construcción de las mesas de suspensión. Por último, el tercer componente es el anclaje de ruedas.

Todos los materiales que se usan en la construcción de los distintos componentes, con excepción de los terminales o ball joints, son asequibles en el mercado nacional. Los criterios de selección se detallan en cada sección pertinente del documento. Se requirió de la construcción de herramientas específicas, por ejemplo para el desbaste de los tubos del chasis.

En la sección de diseño se detalla cada parámetro que definió la geometría de los componentes a construir, estos fueron principalmente las reglas SAE y componentes adaptados (porta-masas, y terminales) Adicionalmente, se describe el análisis estático y dinámico que formaron parte principal del desarrollo del chasis final.

En el capítulo de manufactura se describen los diferentes procesos por los cuales se llegó al ensamblaje final. Se describe también las diferentes fases de construcción que se desarrollaron para el ensamblaje final del chasis. Se describe también las razones por las cuales se usó un conjunto pre-ensamblado.

Para control de las medidas obtenidas en el chasis se compararon con las medidas de los planos. A partir de los datos obtenidos se procedió a medir la exactitud con la cual se realizó la construcción del chasis. La evaluación se basó en medir diferentes partes que componen al chasis y mesas de suspensión

después de su construcción. También se añade una sección detallando el costo de todo el proyecto construido.

ABSTRACT

This project is focused in the construction and design of three Formula's SAE components. The first component is the chassis which was designed and built according to SAE's 2013 restrictions. The second component is suspension consisting of the upper and lower arms. The third component is the tire anchorage.

All the materials that were used in the assembly of the Project with exception of the ball joints were selected and found in local dealers. Every material chosen deserved a detailed selection focused in the use, mechanical properties and accuracy.

The design section describes all aspects to determine every component geometries for manufacturing, such as: ball joints, steering knuckle, etc. The static and dynamic analyses are important in this section, too.

The manufacturing chapter describes the different procedures for the manufacturing of the automotive SAE-USFQ chassis. Several stages of construction were developed to assembly the chassis appropriately. The main reasons for the use of pre-fabricated parts are also described.

For the control of the chassis dimensions, drawings were compared against the real structure. The error percentage was obtained by measuring different parts of chassis. The entire evaluation spanned chassis and suspension arms. The costs of the project are also described.

OBJETIVO GENERAL

- El objetivo principal del presente proyecto es construir los tres componentes del vehículo SAE. Estos son: chasis, mesas de suspensión y anclajes de ruedas. Los mismos están contruidos en base a los reglamentos definidos por SAE.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar procesos constructivos asequibles en el mercado nacional.
- Construir las herramientas necesarias para la construcción de la estructura, especialmente la herramienta de desbaste de muelle que facilitará el acople tubo-tubo.
- Desarrollar un plan de construcción sistemático.
- Desarrollar un mejor conocimiento teórico-práctico, especialmente en la iteración del proceso de diseño.
- Conocer qué tipo de tubos y materiales se encuentran en el mercado nacional y desarrollar habilidades en las cuales se pueda adaptar el diseño a la realidad nacional.
- Desarrollar manufactura personalizada para cumplir los requerimientos impuestos por SAE.
- Emplear software computacional que permita un mejor análisis mecánico y dinámico de la interacción de los diferentes componentes como chasis y brazos de suspensión.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
<i>Antecedentes.....</i>	<i>16</i>
MARCO TEÓRICO.....	18
<i>Suspensión:.....</i>	<i>18</i>
Suspensión de eje rígido:.....	19
Suspensiones independientes:.....	19
PROCESOS Y MATERIALES.....	22
<i>Selección de software:.....</i>	<i>22</i>
<i>Convergencia y caída del pivote:.....</i>	<i>22</i>
<i>Ball joints.....</i>	<i>25</i>
<i>Procesos de soldadura.....</i>	<i>26</i>
<i>Procedimiento de soldadura.....</i>	<i>27</i>
<i>Chasis.....</i>	<i>27</i>
DISEÑO.....	29
<i>Introducción.....</i>	<i>29</i>
<i>Componentes del chasis.....</i>	<i>29</i>
<i>Reglas para el diseño del chasis.....</i>	<i>30</i>
<i>Cargas Específicas.....</i>	<i>32</i>
<i>Ergonomía.....</i>	<i>37</i>
<i>Diseño de Mesas.....</i>	<i>38</i>
Restricciones de diseño.....	38
Ball joints.....	39
Restricción de diseño mesas Delanteras.....	42
<i>Mesas Traseras.....</i>	<i>44</i>
<i>Análisis estructural de mesas de suspensión.....</i>	<i>45</i>
Análisis estructural brazo superior de suspensión.....	46
Análisis estructural mesa inferior.....	48
Análisis estructural tercer Miembro.....	49
Análisis Dinámico de Mesas de suspensión.....	50
MANUFACTURA.....	56
<i>Chasis.....</i>	<i>56</i>
<i>Ensamblaje.....</i>	<i>61</i>
Base Chasis.....	61
Construcción Base chasis.....	61
Adición Main Hoop y Front Hoop.....	63
Segunda fase horizontales.....	65
<i>Mesas Delanteras.....</i>	<i>68</i>
<i>Mesas Traseras.....</i>	<i>69</i>
Evaluación.....	73

<i>Confirmación de medidas:</i>	73
<i>Confirmación recorrido suspensión:</i>	76
Costos	79
Recomendaciones	80
Conclusiones	82
Bibliografía	84
Anexos	85

TABLAS

Tabla 1: Definición Partes Chasis (International, 2013).....	30
Tabla 2: Detalle reglas SAE . (SAE INTERNACIONAL, 2013)	31
Tabla 3: Cargas estructurales definidas por SAE, todas las fuerzas están en Newtons.....	32
Tabla 4: SELECCIÓN DE DISEÑO	36
Tabla 5: Limitaciones Diseño Mesas.....	38
Tabla 6: Selección de Ball Joints.....	39
Tabla 7: Despiece Mesas, ball joints y porta-masas	41
Tabla 8: Limitaciones de diseño Mesas Delanteras.....	42
Tabla 9: Cuadro limitaciones diseño Mesas Traseras.....	44
Tabla 10: Partes de chasis con su respectiva medida	74
Tabla 11: Detalle evaluación suspensión en extensión como en compresión.....	77
Tabla 12: Cuadro de gastos Fórmula SAE.....	79

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Suspensión con ballestas eje rígido (Reid, 2000).....	19
Figura 2: Suspensión Trapecio articulado (Reid, 2000)	20
Figura 3: Suspensión MacPherson	21
Figura 4: Diagrama ilustrativo de Convergencia de la rueda (G. Hamm, 1992)	23
Figura 5: Diagrama ángulo de Caída	24
Figura 6: Ball joints y tuerca brazo de suspensión	25
Figura 7: Anclajes brazos de suspensión	26
Figura 8: Partes chasis	30
Figura 9: Chasis 1	33
Figura 10: Chasis 2	34
Figura 11: Chasis 2 con refuerzos laterales y posteriores intermedios Main Hoop	34
Figura 12: Front Hoop refuerzos	35
Figura 13: 95 percentil SAE 2013	37
Figura 14: Conjunto Mesas-Porta masas	40
Figura 15: Conjunto porta masas mesas de suspensión	43
Figura 16: Conjunto Mesa Trasera con mangueta.....	45
Figura 17: Fuerza axial 7000N eje y.....	46
Figura 18: Fuerza perpendicular al eje y.....	47
Figura 19: Carga Paralela al eje y 7000 N	48
Figura 20: Carga axial 7000 N paralela al eje x	49
Figura 21: Carga Lateral Tercer miembro paralelo al eje y 7000 N	49
Figura 22: Carga Axial Tercer miembro paralelo a eje X 700 N	50
Figura 23: Análisis desplazamiento mesas alrededor del eje z (perpendicular a la hoja)	52
Figura 24: Análisis de suspensión con brazos más ball joints	53
Figura 25: Mesas a compresión con ball joints	54
Figura 26: Conjunto placa y tubo guía.....	57
Figura 27: Ejemplo desbaste de muelle acoplado a mesa de la fresadora	58
Figura 28: Muestra desbaste de muelle en fresadora.....	59
Figura 29: Desbaste de acoplamiento tubo-tubo de aproximación vertical	59
Figura 30: Desbaste de muelle en aproximación horizontal	60
Figura 31: Junta desbaste de muelle en ensamblaje	61
Figura 32: Vigas paralelas base de chasis.....	62
Figura 33: base de chasis con transversales intermedios y centrales	63
Figura 34: Estructura SAEUSFQ001-01-5 con partes SAUSFQ001-01-2 y SAEUSFQ001-01-3	64
Figura 35: Plano SAEUSFQ001-01-6 terminado.....	64
Figura 36: Plano SAEUSFQ001-01-7 terminado.....	65
Figura 37: Chasis con refuerzos espalda Main Hoop y Front Hoop	65
Figura 38: Muestra de junta de tubos punteados.....	66
Figura 39: Operador realizando cordones de suelda definitivos en estructura	67
Figura 40: Chasis terminado SAEUSFQ001-01-8.	67
Figura 41: Brazo de suspensión superior	68
Figura 42: Mesa inferior, brazo superior y mangueta completa	69
Figura 43: Mesa trasera Vista superior con todos sus miembros	70

Figura 44: Chasis y mesas de suspensión completas.....	71
Figura 45: Fórmula SAE terminado completo	72
Figura 46: Análisis Bulk head carga frontal con refuerzos modificados.....	75
Figura 47: Simulación Bulk Head dimensiones iniciales	76

Antecedentes

El desarrollo del proyecto nació a partir del conocimiento de la Fórmula SAE la cual se desarrolla en diferentes países alrededor del mundo como Estados Unidos, Alemania, Brasil y en países asociados a la organización. El objetivo es construir un automóvil fórmula que sea confiable y cumpla todas las reglas impuestas. Este proyecto tiene la fortaleza de relacionar a diferentes carreras como Administración de empresas, Marketing, Ing. Industrial, Ing. Eléctrica, por mencionar algunos.

El inicio de este proyecto está enfocado en conseguir los recursos económicos y humanos para la construcción de las siguientes fases como lo es la construcción y diseño de suspensión, habitáculo, carrocería, sistema de frenos, sistema eléctrico, instalación de motor, caja, diferencial y dirección.

La fórmula SAE es una competencia organizada por la Society of Automotive Engineers con reglas específicas que deben cumplirse. El objetivo de los alumnos participantes es llegar a construir un auto de competencia de alto rendimiento y con alta confiabilidad. Esta competencia comenzó en el año 1978. Su inicio fue con autos diseñados para una competencia de Baja (automóviles offroad). (SAE INTERNACIONAL, 2013)

Pero en los años 80 después del contacto de Mike Best, Robert Edwards y John Tellkamp de la Universidad de Texas en conjunto con el Dr. Ron Matthews expusieron la idea de realizar una categoría más abierta a lo que se venía organizando hasta el momento. Esta idea fue presentada por Matthews al departamento de relaciones estudiantiles de SAE (Society of Automotive Engineers). Logrando captar la atención de esta organización se llegó a

desarrollar la Fórmula SAE, que se trata de la construcción de un mini Indy, el cual tiene un valor ingenieril sustancial. (SAE INTERNACIONAL, 2013)

Hoy en día la Fórmula SAE tiene dos eventos importantes en Estados Unidos que son los de mayor duración, estos se encuentran en California y Michigan. Hay diferentes divisiones de Fórmula SAE alrededor del mundo que son: Fórmula SAE Australasia, Fórmula SAE Brazil, Fórmula SAE Italy, Fórmula Student (UK), Fórmula Student Germany y Fórmula SAE Japan. En el año 2006 SAE en conjunto con Dartmouth College desarrolló la Fórmula SAE con autos híbridos. (SAE INTERNACIONAL, 2013)

MARCO TEÓRICO

El proyecto de tesis se detalla en los capítulos siguientes, donde se detallarán cada uno de los conceptos y procesos que se debieron realizar para llegar a la construcción completa del chasis, mesas de suspensión y anclajes de ruedas del Fórmula SAE-USFQ.

En esta parte se detalla cada concepto primordial para mejor entendimiento de lo que se expondrá posteriormente.

Suspensión:

El objetivo principal del sistema de suspensión es transmitir el peso del auto y las fuerzas de inercia a las ruedas, reducir movimientos laterales al tomar curvas, compensar irregularidades en el camino, limitar sacudidas producidas por las masas no suspendidas y evitar que sea afectada la posición de las ruedas direccionales por efecto de la suspensión. (G. Hamm, 1992)

Existen dos tipos de suspensiones: de eje rígido y eje no rígido. Existen diferentes ventajas y desventajas en estos tipos de suspensiones que se detallan a continuación.

Suspensión de eje rígido:

Este tipo de suspensiones está compuesta por ballestas y amortiguadores. Sus beneficios son sus bajos costos, simplicidad y su baja necesidad de mantenimiento. Su defecto es la transmisión de movimiento hacia el extremo opuesto de la suspensión debido a su eje solidario. (Reid, 2000)

A continuación, se presenta un ejemplo de suspensión de eje rígido con ballestas en la Figura 1. También existen con muelles helicoidales.

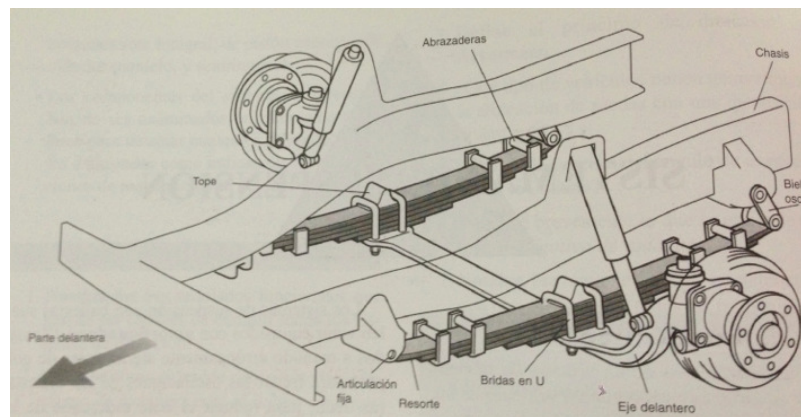


Figura 1: Suspensión con ballestas eje rígido (Reid, 2000)

Suspensiones independientes:

Este tipo de suspensiones tiene la ventaja que el movimiento de sus ruedas es libre sin afectar al resto del sistema, por lo cual es más estable. Existen dos tipos de suspensiones muy populares que son: tipo MacPherson y tipo trapecio articulado. (Reid, 2000)

La suspensión de trapecio articulado normalmente tiene forma de V en cada uno de los brazos y en su vértice tienen un pivote que permite el movimiento rotacional de la rueda. La unión entre éstas se da por medio de la pieza llamada mangueta. Habitualmente el brazo superior es más corto que el inferior para minimizar el desgaste de neumáticos debido al cambio de direcciones del

automóvil. Normalmente este tipo de suspensiones tienen muelles helicoidales y amortiguadores que estabiliza el movimiento de las ruedas. (Reid, 2000)

A continuación en la Figura 2 se muestra la suspensión de trapecio articulado con cada una de sus partes.

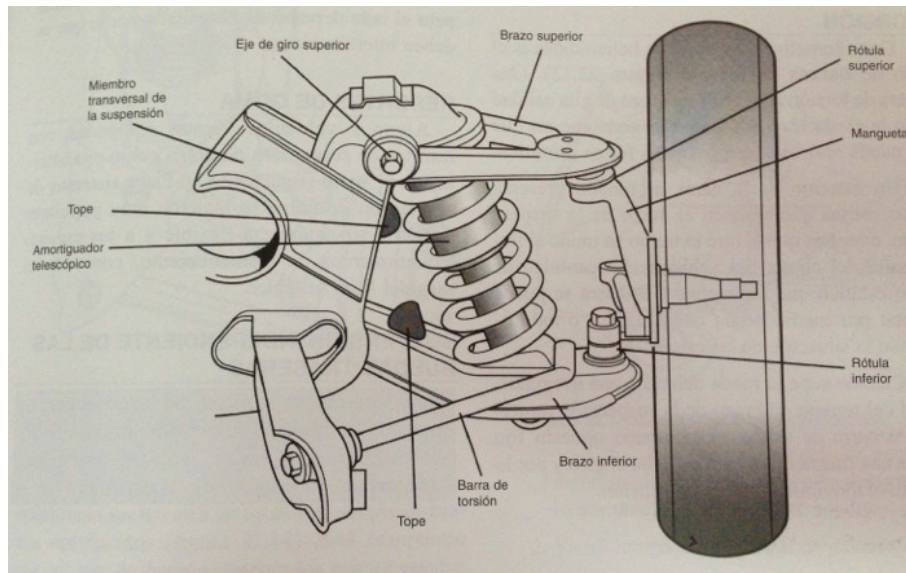


Figura 2: Suspensión Trapecio articulado (Reid, 2000)

La suspensión MacPherson está constituida por solo una mesa que va en la parte inferior de la mangueta. En la parte superior se usa el conjunto amortiguador-muelle helicoidal para sostener a los muelles en el chasis. (Reid, 2000)

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de suspensión MacPherson con su diagrama de partes.

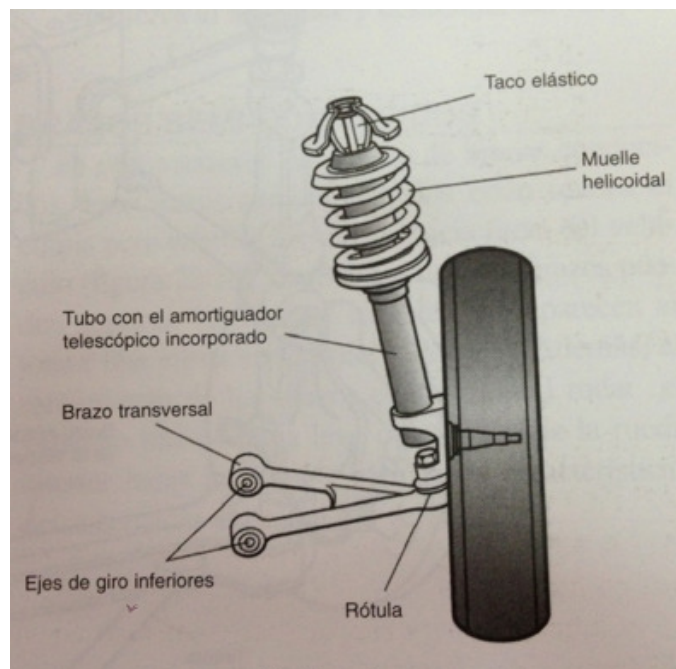


Figura 3: Suspensión MacPherson

Para el diseño de la suspensión del fórmula SAE se usó la suspensión de trapecio invertido debido a que las dimensiones y estructura del chasis son las adecuadas para este tipo de sistema de suspensión. El sistema MacPherson no pudo ser usado debido a que por la orientación del amortiguador es imposible de ubicarlo en la estructura del chasis.

PROCESOS Y MATERIALES

En este capítulo se detalla cada uno de los procedimientos que se usaron en la construcción del chasis y componentes. Además, se describe la selección de los materiales en base a su uso y propiedades mecánicas. Se mencionan también las herramientas que se utilizaron para el análisis estructural y dinámico de los diferentes componentes.

Selección de software:

El diseño virtual del chasis SAE-USFQ se realizó en la plataforma CATIA 5.0 R21. La selección del Software de diseño se basó en la capacidad que éste tiene en el análisis estructural para estructuras en movimiento, aunque no se llega a hacer pruebas de modelado aerodinámico.

Para el análisis dinámico de las mesas se usó el software Working Model 2D, el cual permite modelar la forma estructural y movimiento del mecanismo que se desea analizar. Este programa tiene la ventaja que permite calcular el desplazamiento máximo, velocidades y aceleraciones del mecanismo.

Convergencia y caída del pivote:

La convergencia y caída es primordial para el diseño de las mesas, ya que se debe tener en cuenta estos parámetros para obtener libertad de alinear la rueda respecto a la trayectoria del auto, o para calibraciones especiales dependiendo del rendimiento que se quiera dar al auto. Si no se llega a tener estos grados de libertad en los anclajes de las ruedas se podría llegar a tener las

ruedas inclinadas, lo que causaría excesivo desgaste de las mismas, movimiento no rectilíneo, sonido en las ruedas y hasta pérdida de potencia.

Convergencia es el ángulo que genera la rueda respecto a la trayectoria del automóvil, también llamado "caster". Una incorrecta convergencia en avance produce resistencia a rodadura, desgaste elevado de llantas y marcha oblicua. (G. Hamm, 1992)

En la Figura 4 se muestra el diagrama gráfico de convergencia. Como se puede observar es necesario diseñar el mecanismo que permita calibrar el ángulo de la rueda.

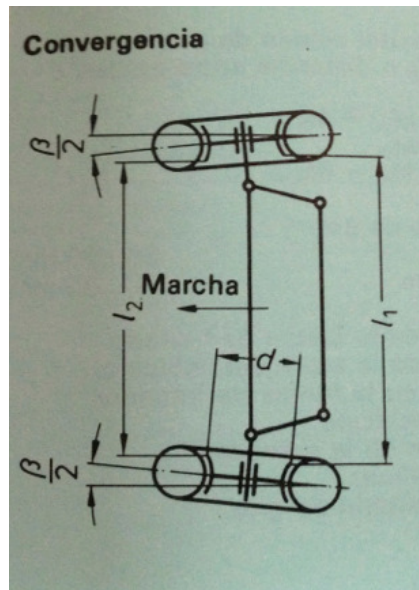


Figura 4: Diagrama ilustrativo de Convergencia de la rueda (G. Hamm, 1992)

Caída o “camber” es el ángulo que se forma entre el eje vertical de la rueda respecto al eje vertical absoluto. Un incorrecto ángulo de caída produce desgaste elevado de los neumáticos, momento giroscópico y abaniquo. (G. Hamm, 1992)

En la Figura 5 se muestra gráficamente la caída de ruedas.

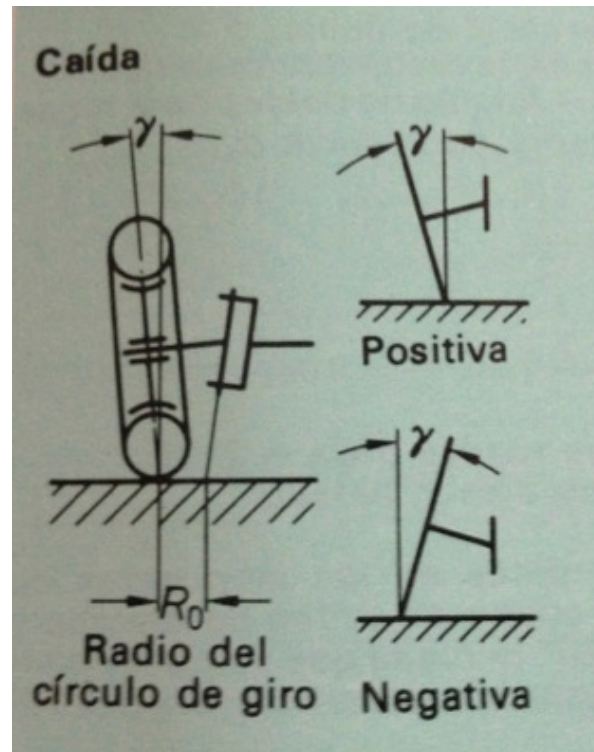


Figura 5: Diagrama ángulo de Caída

Ball joints

Estas partes son piezas que permiten ajustar los brazos de suspensión a los porta masas usados en el automóvil, estas piezas funcionan como articulaciones dependiendo el sentido en el que se ubiquen. Debido a temas de seguridad se prefirió adquirir ball joints pre-fabricados.

En la Figura 6 se pueden apreciar los ball joints que fueron importados para los brazos de suspensión. En la imagen se muestra los ball joints. El giro de la tuerca es izquierdo o derecho dependiendo del lado al que pertenecen.



Figura 6: Ball joints y tuerca brazo de suspensión

En la Figura 7 se muestra el anclaje de los brazos de suspensión el cual es un tubo de 2 mm de espesor y una pulgada de diámetro. A través de este tubo pasa el buje de caucho vulcanizado y el perno que funciona de pasador y ajuste hacia las aretas (bases de suspensión) ubicadas en el chasis.



Figura 7: Anclajes brazos de suspensión

Procesos de soldadura

Para el proceso de soldadura se tomó en cuenta principalmente la calidad del cordón de la suelda, la minimización de las impurezas en el cordón de la suelda y las habilidades del operador. En este caso se decidió usar el proceso MIG ya que el proceso por arco eléctrico con electrodo revestido tiende a causar quemaduras (huecos) al soldar tubos de espesores pequeños. Se descartó además el proceso TIG debido a que no se contaba con un operador calificado para realizar las juntas.

En detalle el proceso MIG es la soldadura por arco con aporte de hilo electrodo fusible automático y protección gaseosa. Las ventajas de este proceso son la aparición escasa de escoria, simplificación de operaciones de limpieza,

fácil especialización en técnica y gran extensión en cordón continuo. (Joseph W. Giachino, 1988)

Procedimiento de soldadura

Para realizar el procedimiento de soldadura se siguieron los siguientes pasos:

- Verificar que el equipo se encuentre correctamente conectado.
- Verificar polaridad de la máquina.
- Prender la máquina.
- Probar que funcione el alimentador de alambre.
- Comprobar presión en los manómetros de gas.
- Calibrar la velocidad (alrededor de la mitad de la velocidad máxima).
- Verificar que la pinza de masa esté en su lugar de trabajo.
- Seleccionar amperaje.
- Tratar de generar arco. En caso de que no genere arco, variar la velocidad del alambre hasta obtener uno.

(Henry Horwitz, 1976)

Chasis

Es recomendable para la construcción de chasis de competencia el desarrollo de materiales compuestos que ayuden a tener mejor performance del auto en sus suspensiones: delantera y trasera. Un ejemplo del desarrollo de

materiales compuestos hoy en día es la Fórmula 1, la cual ha sido la pionera en el desarrollo de materiales livianos, resistentes y dúctiles. (Davies, 2004)

Adicionalmente, se debe tomar en cuenta que la eficiencia de diseño se enfoca en tres partes primordiales, a saber: optimización geométrica de la estructura, método eficiente de construcción y uso de materiales eficientes. (Davies, 2004)

Para la construcción de un chasis se puede usar cualquier tipo de material que genere una estructura que cumpla los requerimientos necesarios. Los materiales que se pueden usar dependerán de las propiedades mecánicas que requiera la estructura. En la construcción del chasis SAE-USFQ se enfocó en la selección de materiales que se encuentran en el mercado nacional. A partir de esto, se descartaron las aleaciones de cromo-molibdeno ya que son escasas, por lo cual para conseguirlas se debe importar el material al país elevando su costo.

El material que cumplió con las características de resistencia fue la tubería de alta presión sin costura. Se seleccionó tubo redondo para la construcción del chasis ya que se puede encontrar hasta un espesor de 3.3 mm y una pulgada de diámetro. Se intentó realizar una optimización en el diseño a partir de diseño con estructuras triangulares que permitieran tener mayor disipación de energía al momento de aplicar cargas. Esto también ayuda a otorgar rigidez al chasis, lo cual posteriormente se traduce en estabilidad.

DISEÑO

Introducción

El diseño se justificó a través de distintas simulaciones del chasis de acuerdo a las cargas especificadas en el manual de Fórmula SAE 2013. (SAE INTERNACIONAL, 2013)

Las dimensiones que se usaron en el diseño se basaron en un estudio ergonómico que definió las medidas para el 95 percentil de la población establecidas en el estándar T3.10.4. En este estándar se definen las distancias del espacio del habitáculo mediante círculos de diferentes diámetros que equivalen a la figura de una persona. Las medidas se detallan en la sección de ergonomía de la presente tesis. (SAE INTERNACIONAL, 2013)

El diseño del chasis SAE-USFQ está limitado por los requerimientos de desplazamiento máximo con respecto a las cargas definidas y esfuerzo de ruptura establecidos en las reglas del manual. Adicionalmente, otra restricción de diseño es el tipo de material que se puede adquirir en el mercado nacional ya que las propiedades mecánicas de los materiales encontrados no fueron del rendimiento esperado.

Componentes del chasis

En la Figura 8 se muestran las diferentes partes que conforman el chasis SAE-USFQ. La importancia de cada uno de estos componentes se detalla en la Tabla 1.

Definiciones	Significado
Main Hoop	Barra circular que se encuentra alrededor de la espalda del piloto
Front Hoop	Barra circular localizada sobre las piernas del piloto cercana al volante
Roll Hoop	Front Hoop y Main Hoop son clasificados como "Roll Hoops"
Suport Front BulkHead	Soporte del frente al Front Bulkhead
Front Bulkhead	Frente de impacto de la estructura
Side Impact Structure	Estructura de impacto lateral

Tabla 1: Definición Partes Chasis (International, 2013)

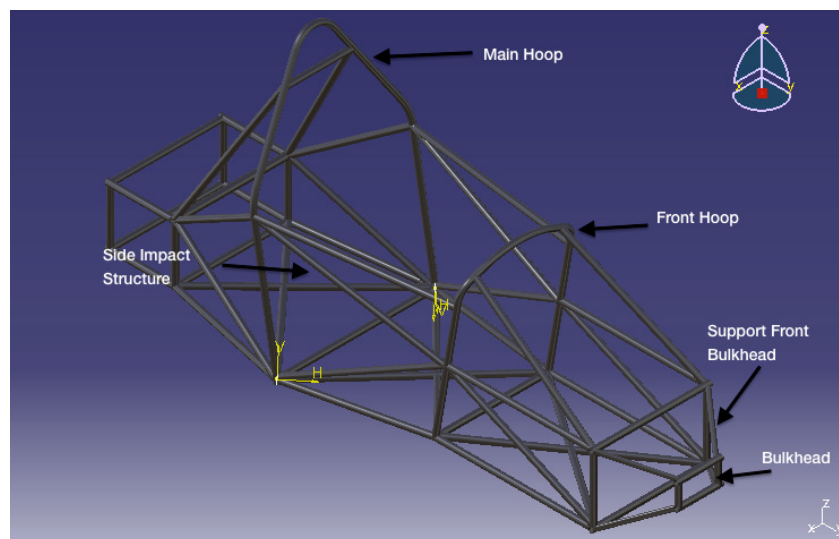


Figura 8: Partes chasis

Reglas para el diseño del chasis

A continuación en la tabla 2 se detallan las reglas que limitan el diseño del chasis y su respectiva sección a la que pertenece.

Reglas	Seccion	Detalle
T3.4	Requerimientos Minimos de Material	Especifica cada espesor de tubo para las diferentes partes que componen el chasis, se define como primordial que el material no llegue a ruptura.
T3.11	Requerimientos especificos de Main Hoop	Define la estructura y la manera en la que debe ser construida esta pieza en un solo tubo del diametro que se defina en espesor definido. En este caso 3.3 mm.
T3.12	Requerimientos especificos de Front Hoop	Define estructura y posición en el chasis. Debe tener inclinación de al menos 10 grados con la horizontal y debe estar construido en una sola pieza. Se uso un tubo de espesor de 3.3 mm
T3.13	Requerimientos especificos de Main Hoop Bracing	Define la manera de soporte de la estructura, debe ser soldada.
T3.14	Requerimientos esespecificos Front Hoop Bracing	Forma de soporte y posición de la misma en el chasis. Debe ser soldada a la estructura.
T3.18	Requerimientos especificos para Frontal Impact Structure	Define frontera en la cual debe ser construido. Dimensiones que debe tener y cargas que debe soportar
T3.19	Requerimeintos Bulkhead	Define posición y material del componente. Va al frente de la estructura y esta definido en tubo de una pulgada de diametro y espesor 3.3 mm y 2.0 mm.
T3.20	Requerimiendo especificos Front Bulkhead Support	Define posicion del componente y un mínimo de anclajes del mismo a la estructura principal. Debe ser soldado y con soportes de tubo de una pulgada de espesor y 3.3 mm de espesor
T3.21	Requerimeintos Impact Attenuator	Define dimensiones y material del componente. Se definio espesor de 3.3 mm de espesor

Tabla 2: Detalle reglas SAE. (SAE INTERNACIONAL, 2013)

Cargas Específicas

Para el análisis estático se recurrió a los requerimientos estructurales definidos por el manual de SAE 2013. Es primordial tener en cuenta los resultados de las cargas aplicadas para poder dimensionar refuerzos en diferentes partes del chasis. A continuación se muestra las cargas requeridas para cada parte de la estructura, donde se observa que los ejes referenciales estas definidos por x producto cruz y dando como resultado el eje z en dirección vertical.

Parte	Detalle de carga	Ejemplo
Main Hoop	Carga esta definidas $F_x=-5000, F_y=-6000, F_z=-9000$	
Front Hoop	Carga esta definidas $F_x=-5000, F_y=-6000, F_z=-9000$	
Side Impact	Carga lateral de 7000 N	
Front Bulk Head	Carga frontal Bulk-Head 150 KN	

Tabla 3: Cargas estructurales definidas por SAE, todas las fuerzas están en Newtons.

En las siguientes imágenes se muestran dos casos puntuales en los cuales se debieron realizar correcciones estructurales para poder soportar de forma adecuada las cargas que SAE exige en el diseño.

Un ejemplo de los refuerzos que fueron requeridos en la parte lateral del chasis para soportar las cargas, definidas anteriormente, se muestran en el chasis 1 y chasis 2, en la Figura 9 y Figura 10 respectivamente.

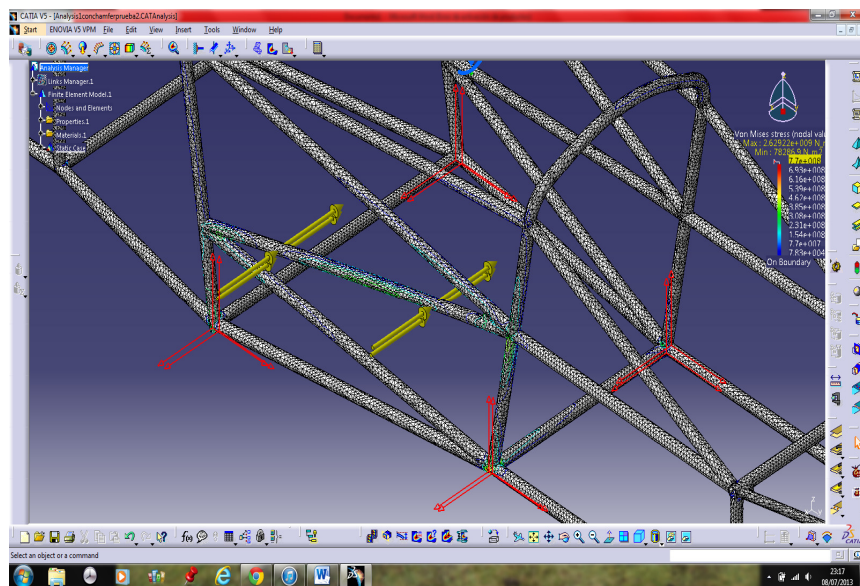


Figura 9: Chasis 1

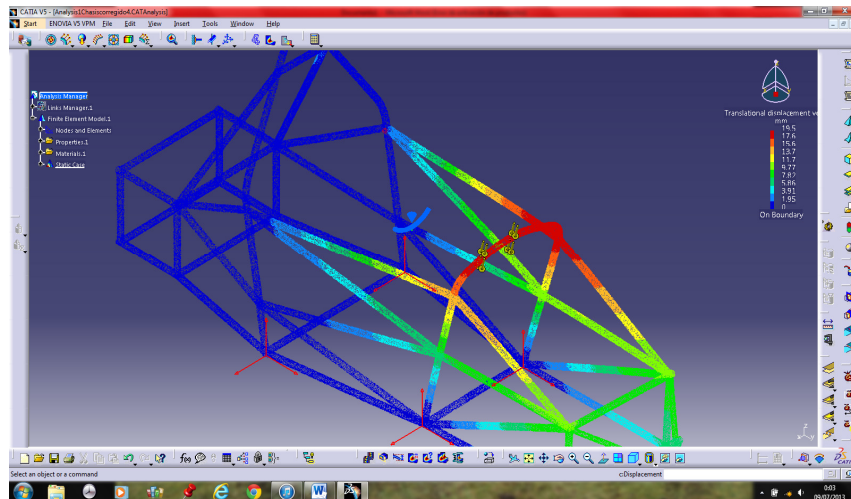


Figura 10: Chasis 2

En la Figura 11 se pueden observar los refuerzos que se agregaron en las distintas partes del chasis para mejorar la resistencia del mismo.

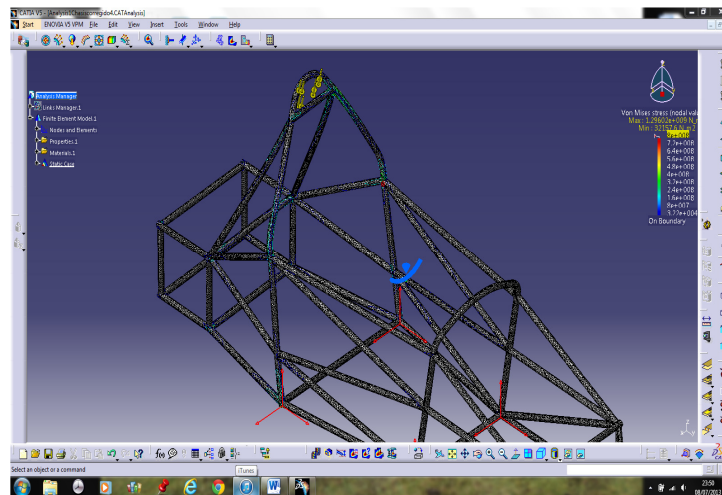


Figura 11: Chasis 2 con refuerzos laterales y posteriores intermedios Main Hoop

Asimismo, en la Figura 12 se muestra al chasis 3, el cual hace énfasis en el refuerzo que se agregó en la parte inferior del Front Hoop.

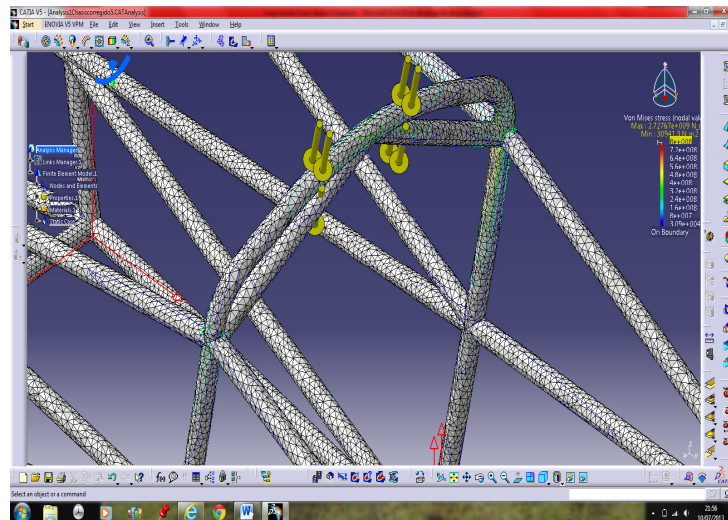


Figura 12: Front Hoop refuerzos

Por último, en la tabla 4 se muestra a detalle los esfuerzos obtenidos en el análisis estructural de cada caso estudiado.

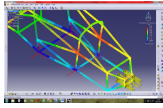
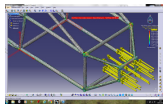
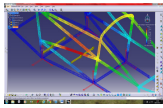
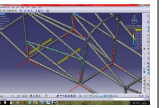
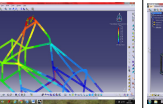
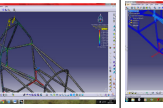
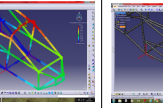
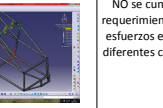
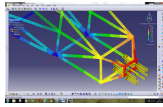
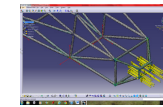
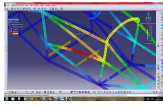
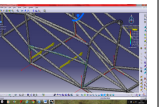
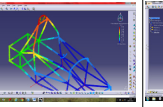
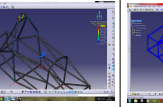
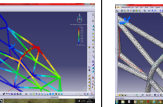

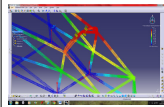

Análisis Estructural										Problemas	Soluciones	
Diseño	Carga Frontal Fy= -150kN		Carga Lateral Fx=7kN		Carga Main Hoop Fx=-5kN, Fy=-6kN, Fz=-9kN		Carga Front Hoop Fx=5kN, Fy=6kN, Fz=9kN		O			X
	Desplazamiento	Esfuerzo	Desplazamiento	Esfuerzo	Desplazamiento	Esfuerzo	Desplazamiento	Esfuerzo				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8				
1											NO se cumple requerimiento de esfuerzos en las diferentes cargas	Se incorporan refuerzos en las estructuras críticas, como tamb se cambia de tubo de espesor 2mm a 3.3mm
2										X	Frot Hoop persiste con problemas en soportar carga	Se realiza la adición de refuerzos de 2mm de espesor
3	Previamente Aprobado	Previamente Aprobado	Previamente Aprobado	Previamente Aprobado	Previamente Aprobado	Previamente Aprobado						SE CUMPLEN TODOS LOS REQUERIMIENTOS
Aprobado	Esfuerzo Menor a 480 MPa Desplazamiento menor a 25mm	O										
Desaprobado	NO Cumple requerimientos	X										

Tabla 4: SELECCIÓN DE DISEÑO

Ergonomía

Para dimensionar la cabina, está definido en las reglas del manual SAE 2013 que se debe considerar un piloto de una estatura catalogada en el 95 percentil obtenido en análisis de ergonomía ocupacional. Para este efecto, se usó un margen de 1.67-1.75 metros de altura. Por otro lado, las dimensiones de una persona sentada oscilan entre 0.87-0.91 metros, que corresponden a las medidas de la espalda. (J.e Fernández, 2008)

Adicionalmente, se usó un margen de seguridad de aproximadamente 8 centímetros que se sumaron a la medida de la altura del piloto, debido a que no se tiene definido el piloto que conducirá este fórmula SAE. En el manual también se tienen definidas medidas estándares mediante círculos los cuales se aproximan al dato obtenido anteriormente. En la Figura 13 se muestra el equivalente de SAE en medidas de ergonomía.

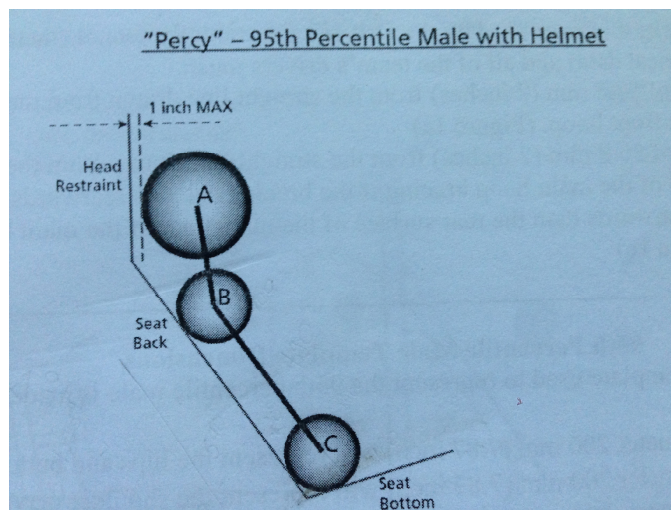


Figura 13: 95 percentil SAE 2013

Diseño de Mesas

Restricciones de diseño

Considerar que las limitaciones son parte primordial para el diseño de las mesas, por lo cual para el desarrollo de las mismas se debe tener definido qué piezas restringirá la elaboración del componente. Cabe recalcar que debido a restricciones de presupuesto y reciclaje de proyectos pasados se decidió usar porta masas de automóviles comerciales en cada una de las mesas del fórmula SAE-USFQ. Para el eje trasero y delantero se usaron los porta masas que se obtuvieron del buggy construido en la tesis Ponce-Guijarro correspondientes a un Suzuki Forza 1.

Otra limitación fue la cantidad de Ball Joints que se usarán en el ensamblaje de mesas-porta masas debido a su costo. En la tabla 4 se detalla las limitaciones con su respectiva descripción y a su vez a que pieza limita sus dimensiones de diseño.

Diseño mesas chasis			
Limitaciones	Detalles	Pieza	Uso
Ball Joins	Depende de la definición de presupuesto para la cantidad de joins que se usa se podrá tener diferentes grados de libertad en la calibración de Camber, Caster y TOE	Conjunto de mesas	Calibración ruedas
Regla T2.4	El eje menor debe ser de al menos el 75% de la longitud del eje mayor del auto	Mesas	Longitudes brazos de mesas
Porta masas	Debido a la falta de una de las mesas del Buggy realizado por la tesis Ponce-Guijarro, se procede a usar solo 2 porta masas de Suzuki Forza 1 y las otras dos esta por definirse.	Mesas Traseras	Porta Masas Suzuki Forza 1

Tabla 5: Limitaciones Diseño Mesas

Ball Joints

Para la selección de los ball joints se escogieron todos de diámetro 7/16” debido a que se tiene orificios de sujeción en los porta masas de Suzuki Forza 1 de la misma medida. A partir de esto se determinó la opción más económica que cumpla con las medidas que se necesitan para los pasadores de los porta masas-mesas.

En la Tabla 5 se muestra el análisis económico y las características de las diferentes opciones de ball joints.

Selección Ball Joints							
Tipo	Carga Radial (lbf)	Precio	Paso Roscado	Grados de movilidad	Abundancia	Accesibilidad	Resultado
AB-AMT-7	10285	23.55-25	7/16-20	14	Alto	Conveniente	Primera Opcion
3062-7	9653	44.61-47.99	7/16-20	14	Alto	Costoso	Segunda Opcion
3063-7	22760	42.97-45.99	1/2-20	12	Media	Costoso	Descartada
3065T-7	9620	20.14-22	1/2-20	12	Media	Conveniente	Descartada

Tabla 6: Selección de Ball Joints

El principal beneficio de realizar las mesas con ball joints es la capacidad que tienen para permitir la alineación de la rueda por medio de su desplazamiento axial. Estos tienen la función de terminal en cada punta de la mesas de esta manera se puede calibrar tanto caída como convergencia de la rueda.

Es primordial como elemento de seguridad debido a su resistencia radial y axial, en el anexo se puede observar adjuntada la hoja de especificaciones mecánicas del mismo. Estos elementos permiten aparte de una rotación completa de 360 grados también permite moverse en 14 grados perpendicular al movimiento de rotación.

En la Figura 14 se muestra el ejemplo de cómo se vería el conjunto completo de suspensión trasero con sus brazos de suspensión, porta-masas y

ball-joints.

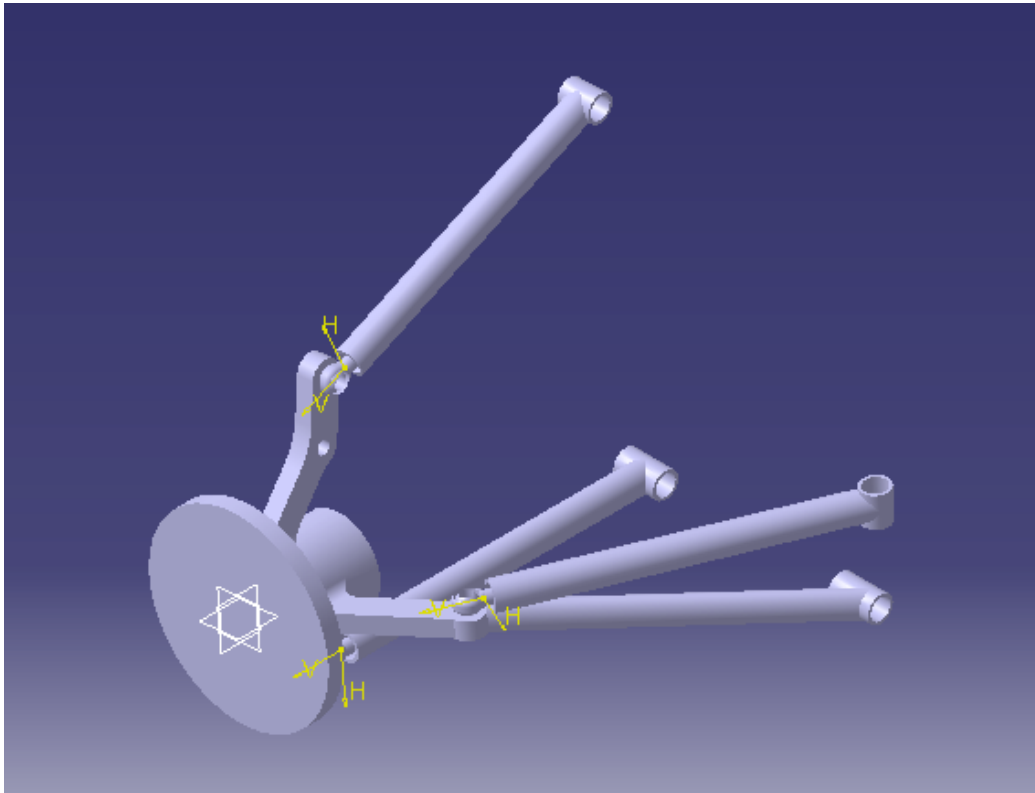


Figura 14: Conjunto Mesas-Porta masas

Los brazos de suspensión poseen su respectivo Ball Joint. El porta-masas es fundamental para sujetar conjunto de freno y punta de eje que a su vez sostiene la rueda. En la Figura 14 se muestra el conjunto ensamblado posteriormente y detallado en la tabla 7.

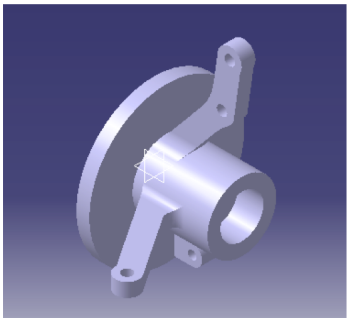
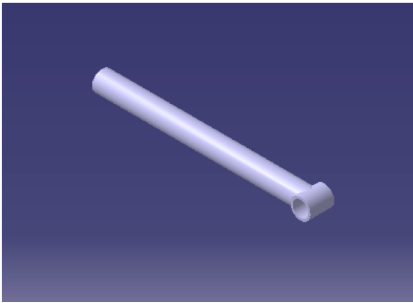
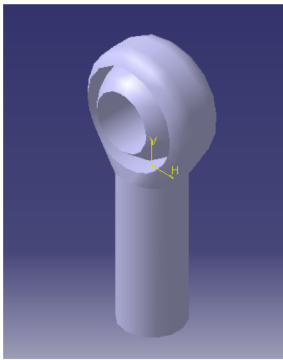
Parte	Imagen	Detalle
Porta Masas		Pieza que sujeta Mordaza de frenos, Disco de freno, Manzana de diferencial y porta ejes
Brazo de suspension		Pieza que une porta masas al Chasis
Ball Joint		Parte que permite el movimiento axial y angular de los brazos de suspension. Primordial para alinear la rueda.

Tabla 7: Despiece Mesas, ball joints y porta-masas

Restricción de diseño mesas Delanteras

Para el diseño de las mesas delanteras se tomaron en cuenta las restricciones que se mencionan en el artículo T6.1; el cual menciona que se debe tener al menos un recorrido de suspensión de 50.8 mm con el piloto sentado en el auto. (SAE INTERNACIONAL, 2013)

A continuación, se detalla todas las restricciones de diseño que se tomó en cuenta en el diseño de las mesas delanteras.

Limitaciones de diseño Mesas delanteras	
Parte	Descripción
Grados de libertad	Se necesitan 2 Grados de libertad en las mesas delanteras los cuales permitan el trabajo de la suspensión y también la rotación para la dirección
Ball joints	Calibración de Camber y Caster debido al movimiento axial que permite este mecanismo.
Porta Masas	Dimensiones definen extensiones de brazos y trabajo de suspensión

Tabla 8: Limitaciones de diseño Mesas Delanteras

Una vez definidas las condiciones limitantes de diseño se procedió a realizar el diseño electrónico en el mismo programa que se usó para el desarrollo del chasis. El material que se utilizó para este diseño es tubo sin costura de 2.7mm de espesor y 12.7mm de diámetro.

En la Figura 15 se muestra uno de los cuatro conjuntos que compondrían el fórmula SAE con la mangueta y brazos de suspensión.

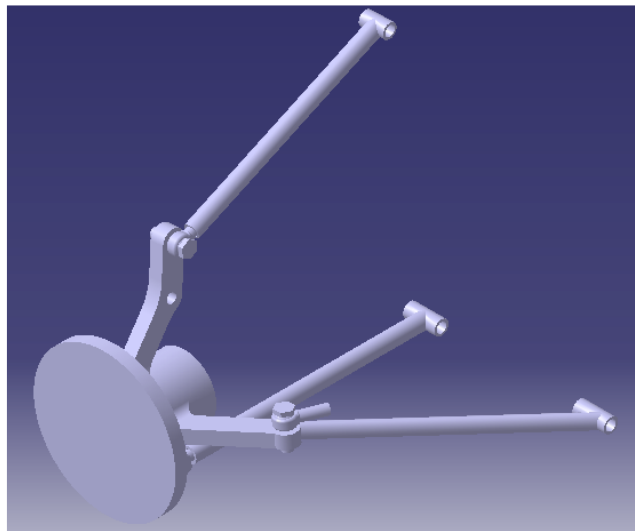


Figura 15: Conjunto porta masas mesas de suspensión

Mesas Traseras

Para el diseño de las mesas traseras se tomaron en cuenta las siguientes limitaciones que se detallan en la tabla 9:

Limitaciones de diseño Mesas Traseras	
Parte	Descripción
Grados de libertad	Se necesita 1 grado de libertad en las mesas traseras para que la suspensión trabaje
Ball joints	Calibración de Camber y Caster
Porta Masas	Dimensiones definen extensiones de brazos y trabajo de suspensión

Tabla 9: Cuadro limitaciones diseño Mesas Traseras

Para el diseño de la mesa trasera se añadió un tercer miembro debido a que se debe anular el movimiento que equivale a la dirección delantera. Es primordial que esté no anule el trabajo de la suspensión. Se debió dimensionar este brazo con una gran longitud para que su movimiento se aproxime al desplazamiento de las mesas.

Se muestra el conjunto de mesas traseras en la Figura 16:

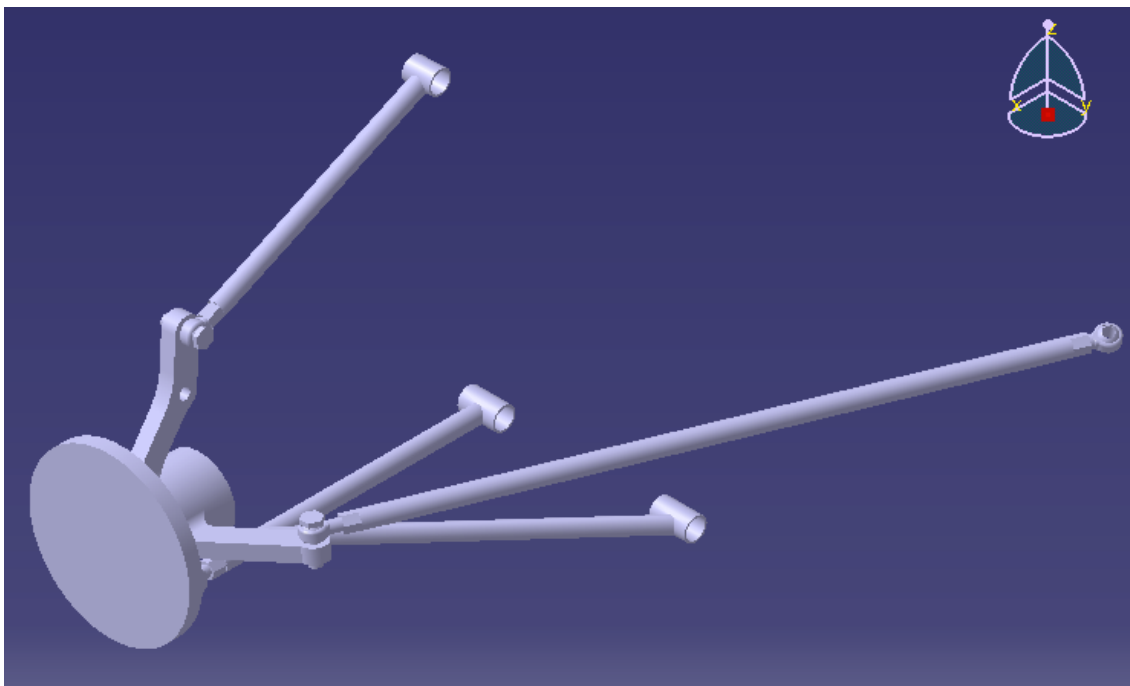


Figura 16: Conjunto Mesa Trasera con mangueta

Análisis estructural de mesas de suspensión

Fue necesario realizar el análisis estructural de cada uno de los componentes de las mesas de suspensión para asegurar la fiabilidad del vehículo. En el siguiente análisis se tiene como condiciones establecidas el

material que se usó que es tubo sin costura ASTM- A53. Este tiene propiedades mecánicas que establecen que su esfuerzo último es de 430 MPa. (Dipac, 2012)

Adicionalmente, se estableció como condición, una carga lateral de 7000 N, la misma que se usó en el análisis de carga estática del chasis en impactos laterales. Para cada uno de los componentes analizados se aplicará la carga axial y perpendicular a la pieza.

Análisis estructural brazo superior de suspensión

Para el análisis del brazo superior se estableció una carga de 7000N y se aplicó una fuerza axial como se muestra en la Figura 17 y un empotramiento rotacional en los 2 ejes y se dejaría libre la rotación en el eje x debido a movilidad del componente al momento de trabajar la suspensión. Los ejes están descritos en la figura mencionada.

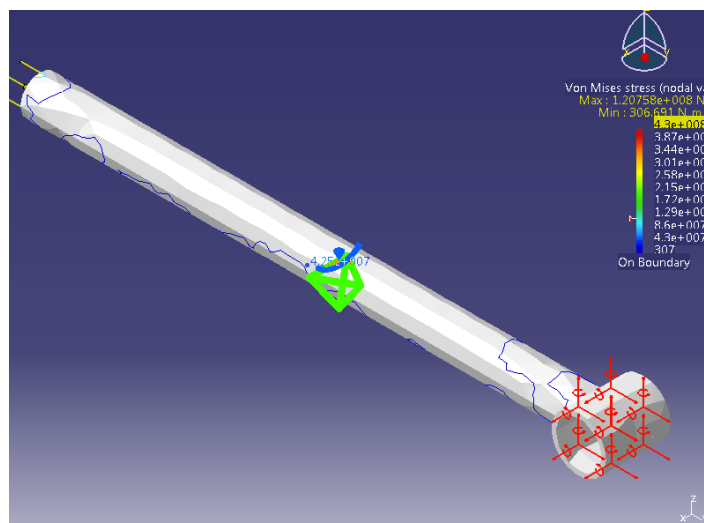


Figura 17: Fuerza axial 7000N eje y

Figura 18 En la Figura 18 se muestra la carga perpendicular al eje y, en la imagen se puede observar el punto de aplicación en el extremo opuesto al empotramiento. El cuadro de resultados está limitado a 430 MPa por propiedades

mecánicas del material como se puede apreciar el material sufriría daño permanente en su estructura.

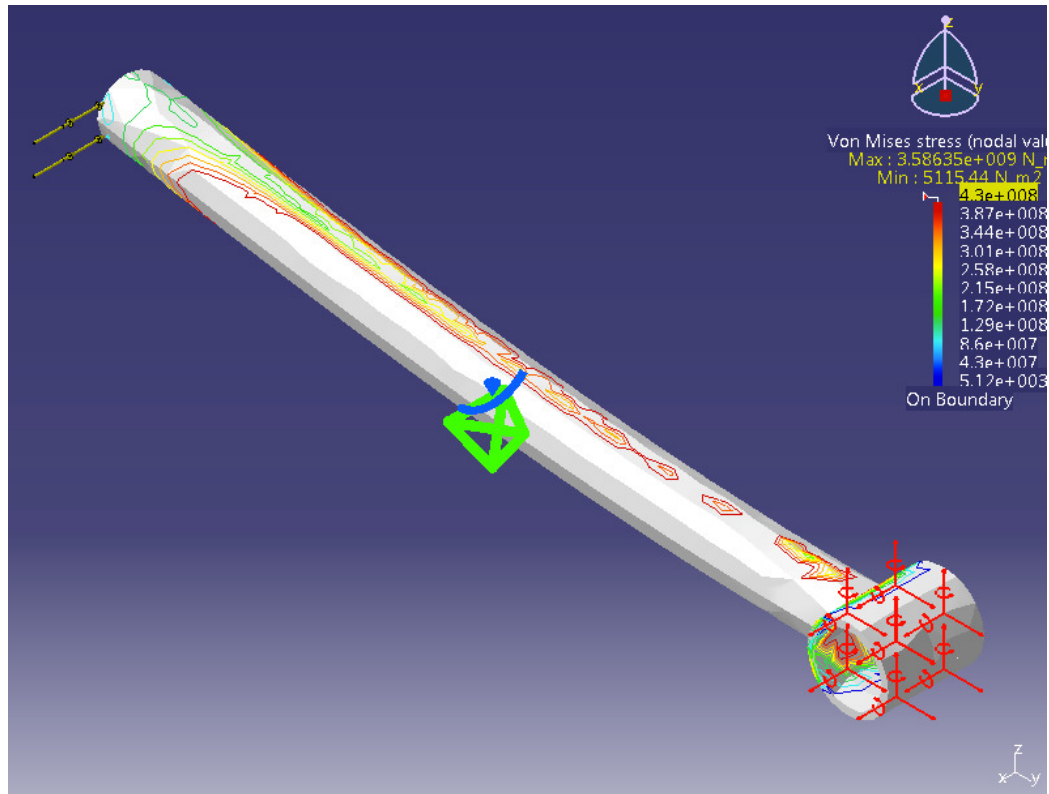


Figura 18: Fuerza perpendicular al eje y

Análisis estructural mesa inferior

Para el análisis de las mesas inferiores se procedió a definir los anclajes limitados a un solo grado de libertad que sería alrededor del eje y, el cual simularía el movimiento de la suspensión en funcionamiento. Para la Figura 19 se muestra la carga lateral a la estructura. En la Figura 20 se puede apreciar la carga axial.

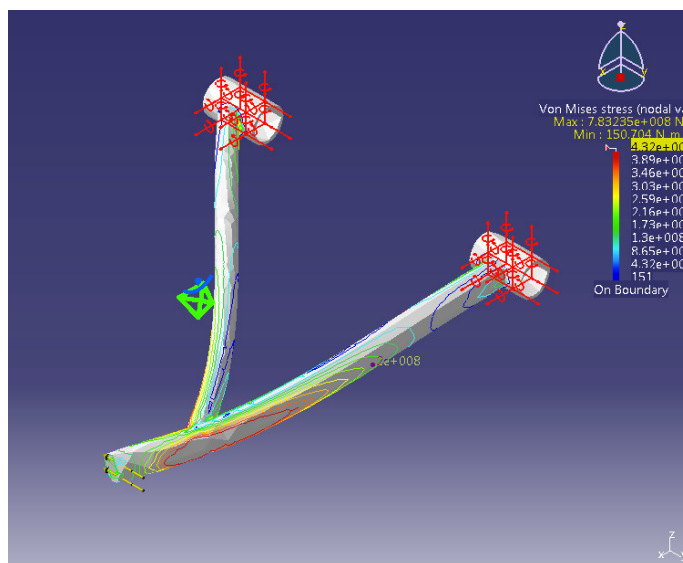


Figura 19: Carga Paralela al eje y 7000 N

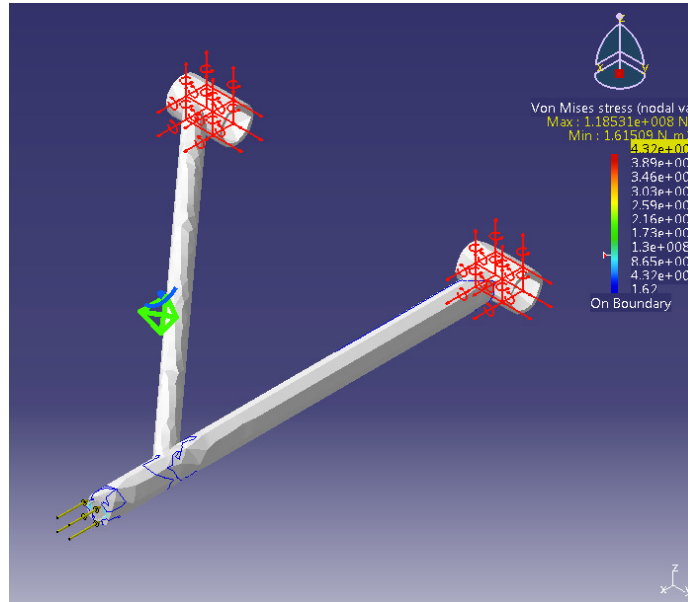


Figura 20: Carga axial 7000 N paralela al eje x

Análisis estructural tercer Miembro

El análisis del tercer miembro de suspensión que pertenece al eje trasero se muestra en la Figura 21 y Figura 22 la carga lateral y axial respectivamente de 7000N.

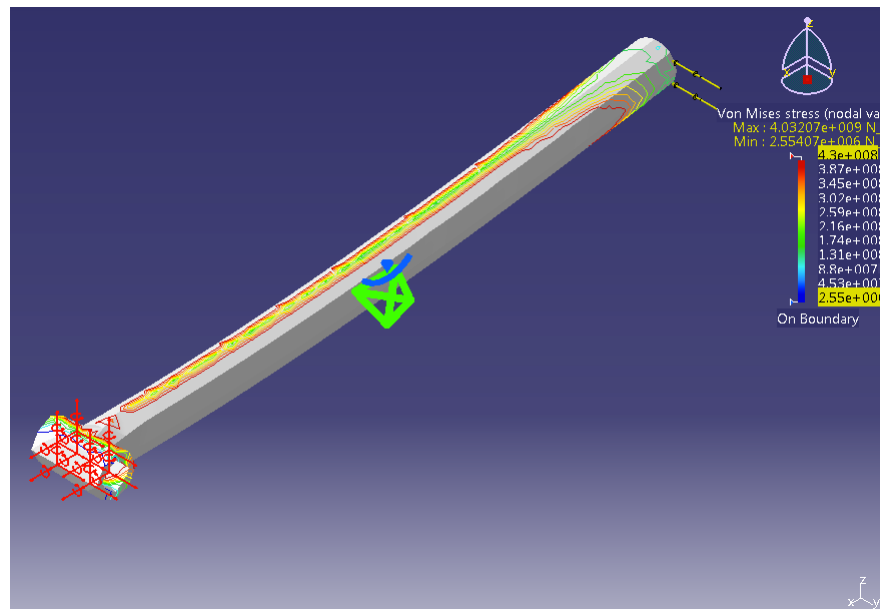


Figura 21: Carga Lateral Tercer miembro paralelo al eje y 7000 N

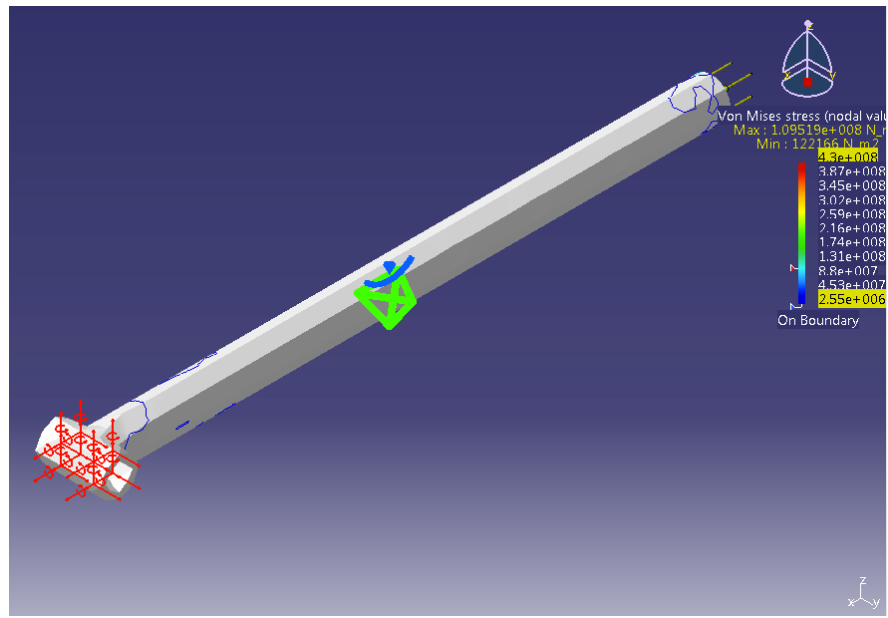


Figura 22: Carga Axial Tercer miembro paralelo a eje X 700 N

Como se puede observar en cada una de las figuras de los diferentes análisis estáticos, se demostró la resistencia de los componentes en dos casos en especial que son: cargas axiales y cargas penpendiculares a la pieza. El reglamento definido por SAE, no toma en cuenta un análisis estructural para las partes que componen la suspensión del fórmula, debido a esto se decidió usar como referencia la caraga lateral en el análisis del chasis.

Los resultados obtenidos muestran que los componentes en un impacto axial (paralelo a la pieza) soportan la carga, esto está demostrado en la Figura 18, Figura 19 y Figura 21. Lo que se muestra es importante ya que estos elementos estructurales sirven para aliviar energía de un impacto al piloto de fórmula SAE.

Análisis Dinámico de Mesas de suspensión

Se analizó el mecanismo previo a construcción porque se debía tener la certeza de que el movimiento de esté sea normal sin ningún problema.

Para el análisis dinámico se utilizó el software de simulación Working Model 2D, descrito en la selección de programas. Esta herramienta informática toma en cuenta el movimiento del mecanismo con parámetros como aceleración, gravedad, articulaciones, empotramientos y fuerzas aplicadas. El mecanismo que se usó es de 4 barras. (John J. Uicker, Pennock, & Shigley, 2003)

El empotramiento estático se dispone en la barra vertical que representa al elemento vertical que sostiene a las mesas de suspensión en el chasis. Las simulaciones dinámicas fueron realizadas solo con fuerza gravitacional para determinar el desplazamiento en extensión de las mesas y en compresión se aplicó una fuerza de 1000 N.

En la Figura 23 se muestra los desplazamientos de todas las barras móviles, el recorrido en el que se enfoca el análisis es la barra inferior a la barra vertical. Los datos suministrados por el programa se muestran en el tercer cuadro de la ilustración, su recorrido de -33 mm en el eje y será el desplazamiento de la suspensión en extensión. Se puede apreciar las partes del conjunto también eso es constante en todas las pruebas realizadas.

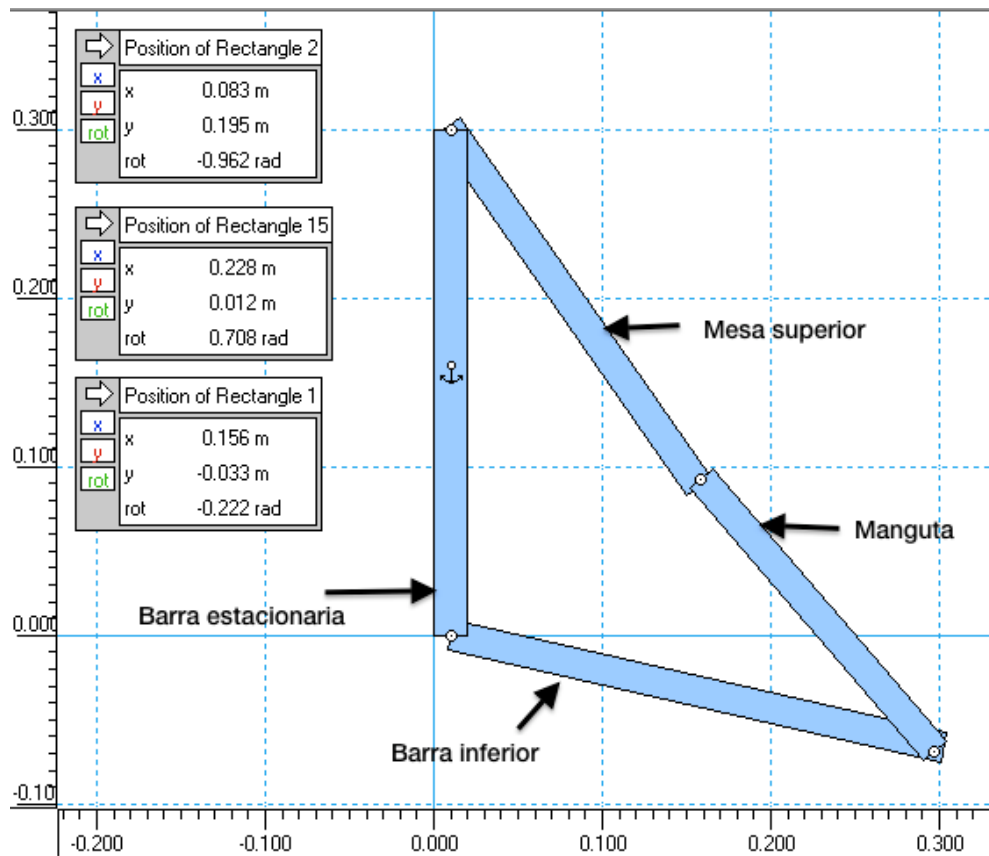


Figura 23: Análisis desplazamiento mesas alrededor del eje z (perpendicular a la hoja)

Para el segundo análisis se procedió a analizar las mesas con tuercas y ball joints donde la longitud de los brazos de suspensión aumenta, lo cual proporciona mayor desplazamiento del conjunto en extensión. La longitud en extensión del brazo inferior pasa de 0.033 a 0.044 m esta información es obtenida por el programa al aumentar las dimensiones en 55mm en longitud para cada extremo de la barra inferior como de la mesa superior. Al trabajar las mesas con las mismas condiciones definidas al inicio del análisis los resultados se muestran en la Figura 24 en el tercer recuadro.

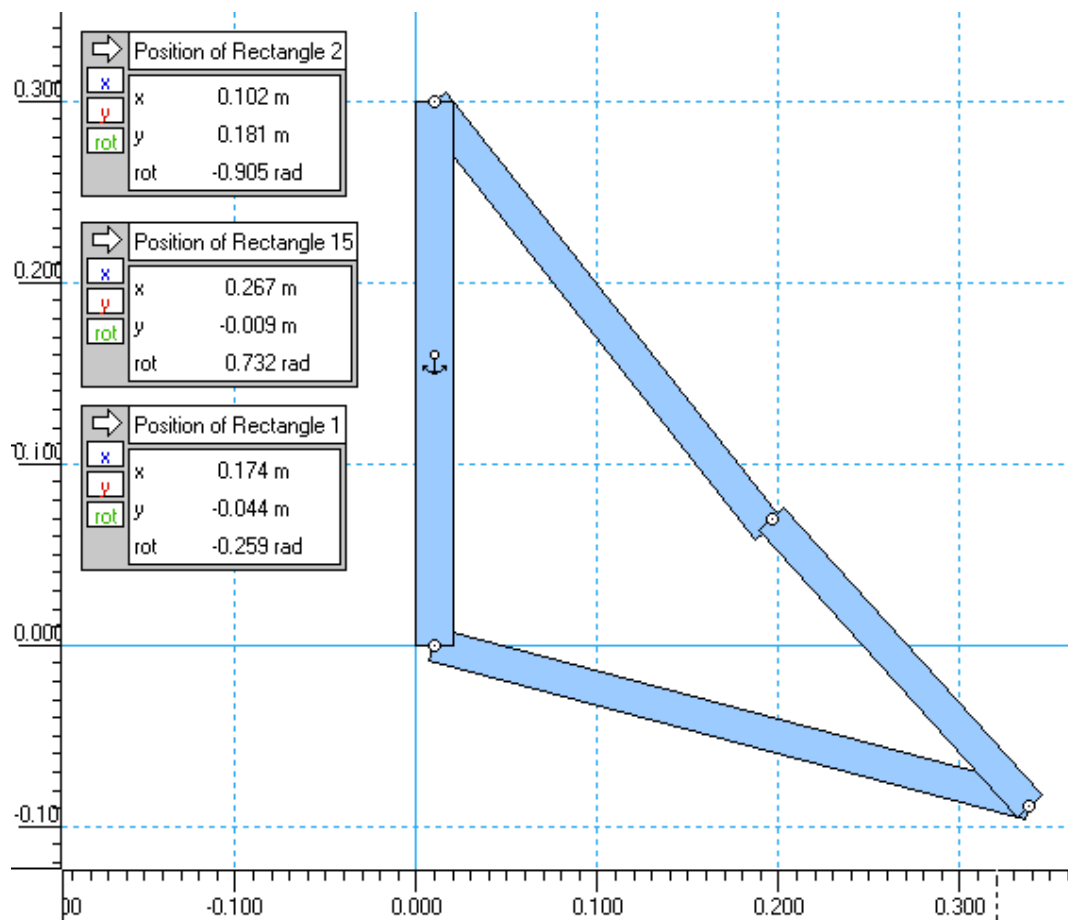


Figura 24: Análisis de suspensión con brazos más ball joints

En la Figura 25 se muestra el recorrido de la suspensión en compresión con las condiciones impuestas en el primer análisis y las dimensiones del Segundo, lo cual sería el sistema real que se usará. Como se muestra en el tercer cuadro el desplazamiento de la barra es de 156 mm el cual está sobre el mínimo exigido por SAE de 25.4 mm. A continuación se muestra los resultados mencionados.

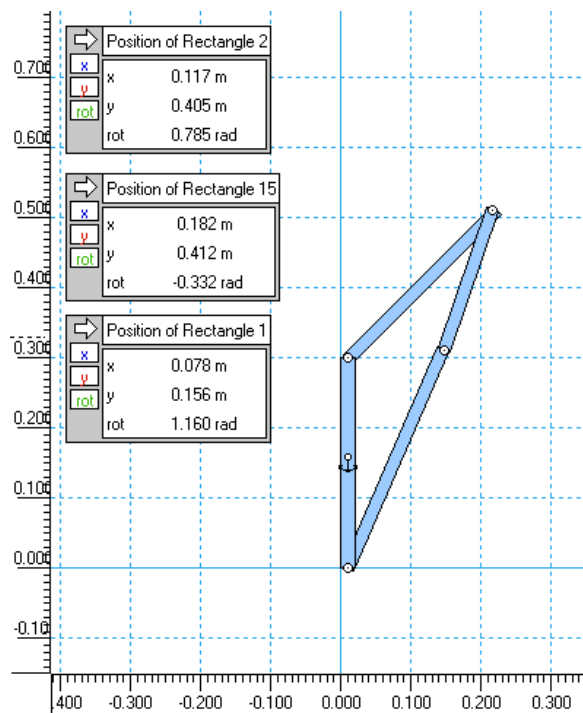


Figura 25: Mesas a compresión con ball joints

Las dimensiones en los brazos de suspensión se construirán con las dimensiones definidas, los ball joints permiten la libertad de aumentar su longitud en 15mm y reducir su longitud en 20mm a partir de su punto medio. Para el análisis de las mesas traseras, se aplica el mismo criterio que para las mesas delanteras antes mencionadas, la diferencia es la configuración que se tiene con el tercer miembro de suspensión. La longitud de la barra que une el chasis con el porta-masas es el doble en longitud en relación al resto de brazos, esto debido a

que el arco que realiza al trabajar la suspensión respecto al movimiento al anclaje del brazo en el chasis. Por lo cual la extensión de este es primordial para que se aproxime al movimiento de rotación de las mesas. Los grados de libertad de los ball joints son importantes para permitir la adaptación del brazo al movimiento hasta en un intervalo de ± 14 grados respecto a la horizontal.

MANUFACTURA

A continuación se procede a detallar cada uno de los procedimientos para la manufactura que se usó en la construcción del chasis y sus componentes. Los procesos de soldadura, dobleces y cortes que se realizaron en cada parte están definidos por el segmento del chasis en el que se ensamblan.

Chasis

Para la construcción de chasises se usan herramientas especializadas para el acople de los diferentes tubos que lo componen. Es así que una de las herramientas que tiene gran importancia en la construcción de chasises circulares es la cortadora o desbastadora de muelles, la cual permite tener un mejor acople entre tubos circulares al momento de soldar. Por lo cual se procedió a construir esta herramienta para la construcción del chasis.

El diseño de la herramienta de desbaste de muelle para tubo redondo fue prioridad para poder realizar el chasis. Esta herramienta está compuesta por un arco de 270 grados que permite graduar el tubo dependiendo del ángulo que se desee desbastar, para lograr mayor exactitud en el corte del graduador inscrito se procedió a realizar los cortes en CNC plasma. Los materiales que se usaron fueron plancha de acero de 8 mm de espesor, dos pernos y un tubo guía de 1 pulgada y media.

En la Figura 26 se muestra el conjunto placa graduada, tubo guía y tornillos pivotes en la parte posterior del tubo guía.



Figura 26: Conjunto placa y tubo guía

En la Figura 27 se muestra el conjunto de desbaste de muelle acoplado a la fresadora con 10 grados de inclinación, el procedimiento utilizado se describe de la siguiente manera:

1. Se sostiene el tubo en la herramienta desbastadora de muelle.
2. Se verifica que el extremo a desbastarse esté sujetado por la antena.
3. Se enciende la fresadora en sentido horario.
4. Se realiza el corte.
5. Se desmonta el tubo.



Figura 27: Ejemplo desbaste de muelle acoplado a mesa de la fresadora

El conjunto se ensambló en la de fresadora donde se sostiene una fresa de una pulgada de diámetro para el desbaste de tubos. La fresadora permite mantener la perpendicularidad de la broca y así evitar su rotura. Está operación no se puede realizar en un taladro de bancada por la falta de rigidez.

En la Figura 28 se muestra el resultado del desbaste con la herramienta construida, como se puede apreciar el acabado es de muy buena calidad y la forma es perfecta para tener una junta perfecta.



Figura 28: Muestra desbaste de muelle en fresadora

En la Figura 29 se muestra el desbaste de avance vertical.



Figura 29: Desbaste de acoplamiento tubo-tubo de aproximación vertical

Se realizaron dos tipos de avance para realizar el desbaste de muelle, vertical y horizontal en los cuales el desbaste con mejor resultado fue el segundo mencionado, ya que se puede realizar con mayor velocidad y menos riesgo para la fresa. En la Figura 30 se muestra un ejemplo.



Figura 30: Desbaste de muelle en aproximación horizontal

En la Figura 30 se puede apreciar también la graduación que permite la herramienta para el desbaste que se presenta en las diferentes configuraciones en la construcción del chasis.

En la Figura 31 se puede apreciar el resultado del desbaste de muelle a medida, como se muestra en la imagen la junta es lo más exacta posible.



Figura 31: Junta desbaste de muelle en ensamblaje

Ensamblaje

Base Chasis

Para la construcción de la base del chasis del prototipo SAE-USFQ se procedió a trazar ejes horizontales y verticales en el piso. Esto serviría de ejes referenciales para la posición, simetría y exactitud de las medidas del chasis.

Construcción Base chasis

La estructura se realizó desde la base hacia arriba, lo que se buscaba con esta manera era lograr la simetría más exacta posible, en la Figura 32 se inició la posición de las vigas paralelas que fueron dobladas previamente. En la parte media para lograr la medida que se indicó en los planos SAEUSFQ001-001-004, se procedió a añadir primero los tubos externos y como segundo paso se procedió a soldar los tubos intermedios como se muestra en la Figura 33.



Figura 32: Vigas paralelas base de chasis



Figura 33: base de chasis con transversales intermedios y centrales

Siempre se usó escuadras para garantizar la perpendicularidad entre los tubos, también se usó cinta métrica para verificación de medidas con apreciación de mm. Como se definió en el marco teórico el proceso que se usó realizar los puntos y cordones definitivos en la estructura fue suelda MIG.

Adición Main Hoop y Front Hoop

En la Figura 34 se muestra las estructuras SAEUSFQ001-01-5 con las partes verticales SAUSFQ001-01-2 y SAEUSFQ001-01-3, éstas partes como se pueden ver en el plano SAEUSFQ001-01-6 las estructuras tienen ángulo de inclinación, la cual fue realizada en la herramienta desbaste de muelle, por lo cual es primordial regirse a los planos mencionados anteriormente.



Figura 34: Estructura SAEUSFQ001-01-5 con partes SAUSFQ001-01-2 y SAEUSFQ001-01-3

Como se puede observar en la Figura 35 se soldaron las estructuras verticales a la base del chasis previamente terminada.



Figura 35: Plano SAEUSFQ001-01-6 terminado

Segunda fase horizontales

En esta parte de la construcción del chasis se refirió al plano SAEUSFQ001-01-7 en el cual está detallado que tipo de tubos se necesitan y sus longitudes para la construcción de esta fase. En la Figura 36 se muestra la adición de tubos horizontales superiores, fase terminada.



Figura 36: Plano SAEUSFQ001-01-7 terminado

En la Figura 37 se puede apreciar el chasis semi-terminado, todo la parte posterior al Front hoop posee sus refuerzos respectivos tal cual está definido en el plano SAEUSFQ001-01-8.



Figura 37: Chasis con refuerzos espalda Main Hoop y Front Hoop

En la construcción se procederá primero a puntear las partes del chasis previas a realizar el cordón definitivo de suelda. Esto con el fin de facilitar cambios o correcciones previas al finalizar cada suelda.

En la Figura 38 se procede a mostrar el proceso de realizar puntos de suelda en las uniones de cada tubo previas a su finalización.

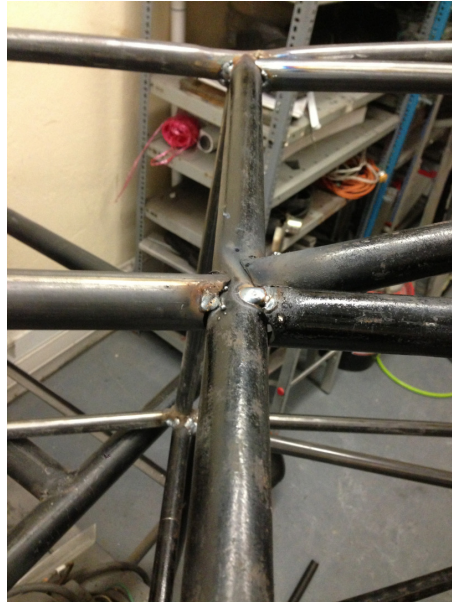


Figura 38: Muestra de junta de tubos punteados

Una vez realizados todos los refuerzos de la estructura se procedió a realizar los cordones definitivos de la estructura, en la cual se intentó siempre tener en una manera cómoda para el soldador, de esta forma se logró tener buena calidad en los cordones y la penetración deseada. Una vez terminada la fase de soldadura, se procedió a realizar el proceso de acabado de las juntas en las cuales se procedió a lijar el cordón de soldadura.

En la Figura 39 se muestra al operador en una posición cómoda para realizar los procesos de suelda, la estructura del chasis fue movida cada vez que se cambiaba de sitio de suelta.



Figura 39: Operador realizando cordones de suelda definitivos en estructura

En la Figura 40 se procede a mostrar el chasis terminado por completo con cada una de sus partes de acuerdo al plano SAEUSFQ001-01-8.



Figura 40: Chasis terminado SAEUSFQ001-01-8.

Mesas Delanteras

En la construcción de las mesas delanteras se procedió a usar los planos SAEUSFQ001-02-1 para los brazos superiores y para los brazos inferiores se usó los planos SAUSFQ001-02-2.

En la Figura 41 se muestra el ensamblaje del brazo superior previo a ser soldado, está compuesto por tuerca, anclaje y tubo. Este se usará en las cuatro mesas.



Figura 41: Brazo de suspensión superior

En la Figura 42 se muestra el conjunto completo previo a ser ensamblado, brazo y mesa de suspensión tiene su respectivo par de buges y pernos.



Figura 42: Mesa inferior, brazo superior y mangueta completa

Mesas Traseras

En la construcción de las mesas traseras se realizó el mismo proceso que en las mesas delanteras, se usó el mismo método de construcción para realizar los brazos de suspensión y los anclajes al chasis. La diferencia es el tercer brazo que se usó en esta configuración.

En la Figura 43 se muestra la vista superior de la mesa trasera, la única diferencia en cuanto a la mesa delantera es la adición del tercer miembro que ayuda a sostener el porta masas en su lugar, es el brazo más largo que se puede apreciar en la figura.



Figura 43: Mesa trasera Vista superior con todos sus miembros

Se muestra en la Figura 44 todo el conjunto ensamblado con suspensión independiente. Cada uno de sus lados tiene su respectiva mesa de suspensión, porta masas con manzana, mordaza de frenos, discos de frenos y ball joints.



Figura 44: Chasis y mesas de suspensión completas

Cabe mencionar que el sistema de frenos observado en la Figura 44 se aprecia que en la estructura de los porta-masas vino incluido los discos de frenos con sus mordazas correspondientes.

Como se puede observar en la Figura 45 se tiene todo el proyecto terminado por completo con cada uno de sus componentes, inclusive con aros y llantas.



Figura 45: Fórmula SAE terminado completo

EVALUACIÓN

El objetivo de esta parte es comprobar las dimensiones más importantes del chasis y así encontrar la diferencia entre los planos de construcción respecto a las medidas reales del chasis. La segunda parte se enfoca en medir el recorrido de la suspensión desde el punto en el cual las mesas inferiores traseras estén paralelas al piso.

Las medidas del recorrido de la suspensión se darán a partir del punto de reposo teórico que son 22 cm sobre el piso hasta el punto central de la base del chasis. Todas las mediciones se realizaron en las instalaciones del taller mecánico bajo supervisión.

Confirmación de medidas:

Se procede a recolectar medidas de las principales partes del chasis como lo son las distancias de la base del chasis, altura de transversales y componentes importantes del mismo que determinan simetría del chasis. En la Tabla 10 se muestra a detalle las medidas que se obtuvieron en el plano contrastando con las medidas reales que se mostraron en el chasis. Las mediciones se realizaron con la supervisión del asesor y director de este proyecto de titulación, quien constató cada medida mostrada en la siguiente tabla. El resultado de estas medidas es primordial para determinar medidas de recalcuulo estructural o inclusive correcciones físicas del chasis.

Parte	Figura	Medida Planos [mm]	Medida real [mm]	Porcentaje de error [%]
Base Chasis		312,7	325	3,78
		575,4	575	0,07
		674,6	670	0,69
		725,4	700	3,63
		2262,7	2225	1,69
Bases de suspensión		325,4	325	0,12
		325,4	320	1,69
		574,66	560	2,62
Front Hoop		700	730	4,11
		500	524	4,58
Main Hoop		725,4	730	0,63
		1113,7	1116	0,21
Front Bulk Head		213	250	14,80
		230,5	230	0,22

Tabla 10: Partes de chasis con su respectiva medida

Se constató que existe un valor alto en el porcentaje de error en las medidas tanto reales con la de los planos para el Front Bulk head, por lo tanto se

procedió a realizar el análisis estructural con las dimensiones reales, para descartar posibles fallas en la estructura.

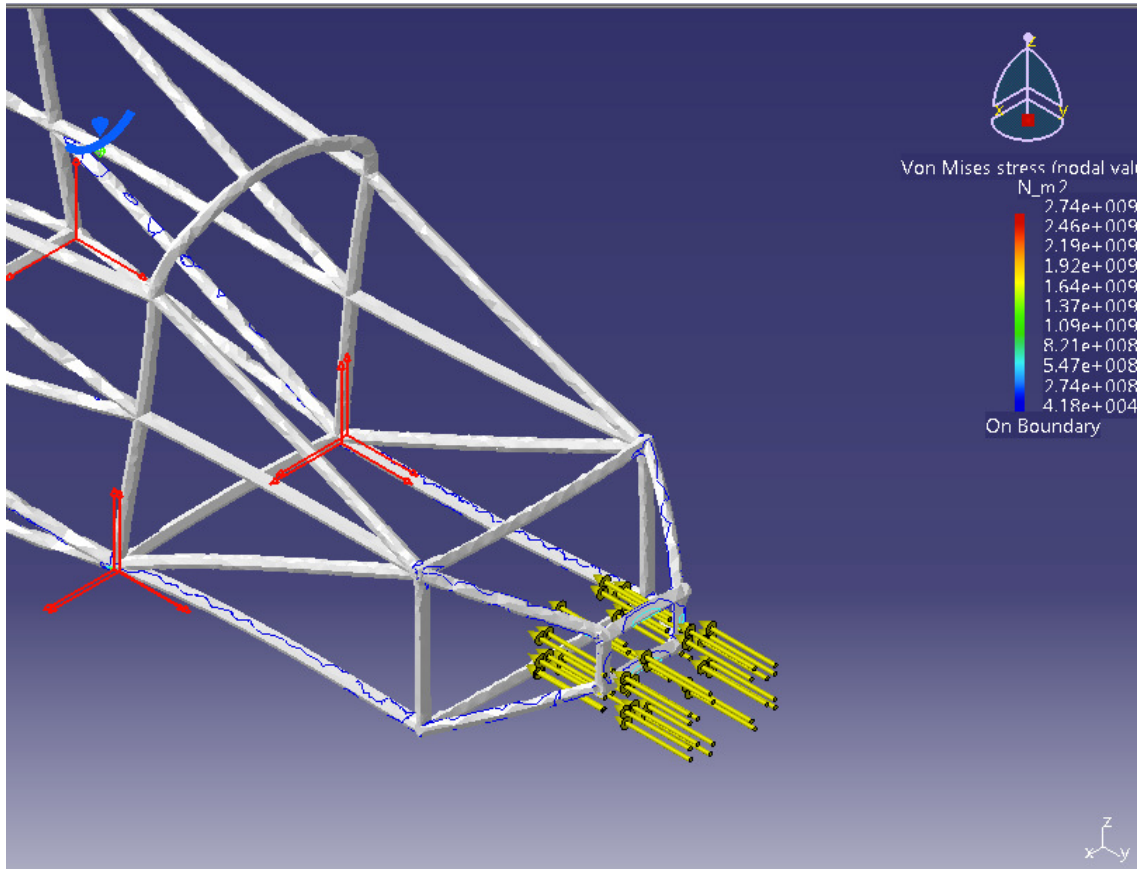


Figura 46: Análisis Bulk head carga frontal con refuerzos modificados

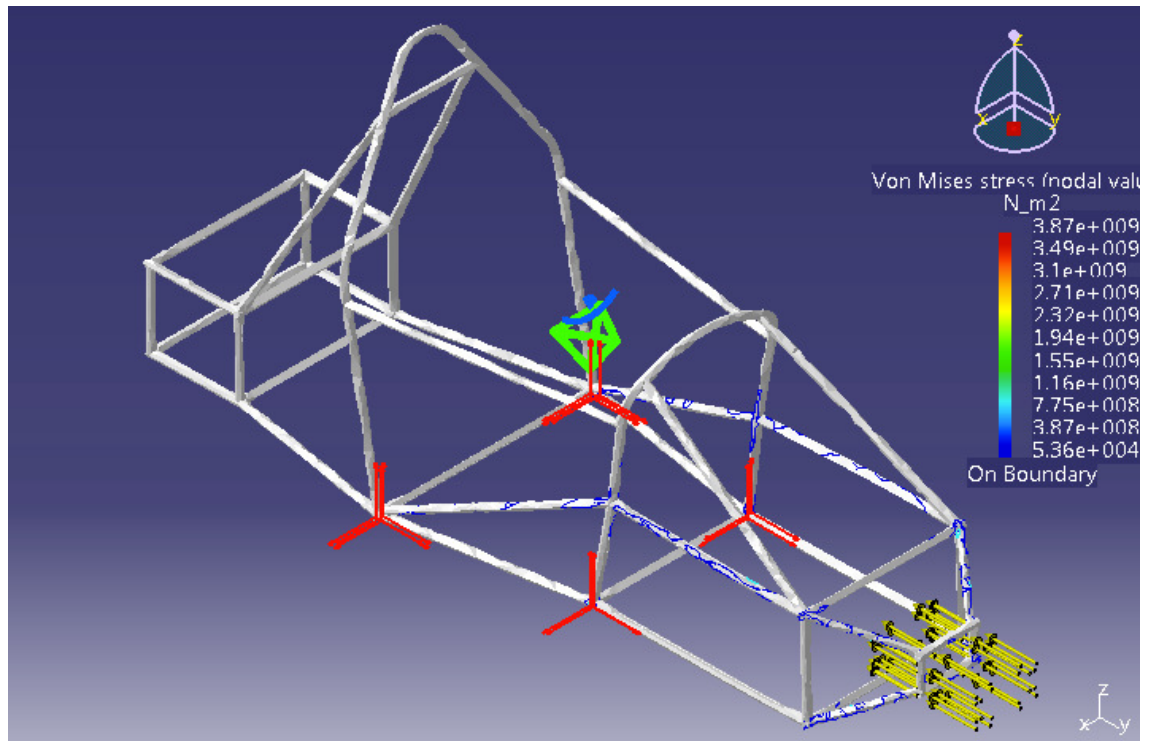


Figura 47: Simulación Bulk Head dimensiones iniciales

Los esfuerzos como se pueden observar están en los 47.8 KPa, por lo tanto la estructura si pasa la prueba estructural.

Confirmación recorrido suspensión:

Se demostrará la magnitud del recorrido de la suspensión de acuerdo al análisis teórico realizado en “working model 2d” respecto al real. Es importante realizar esta comprobación para de esta manera tener la certeza que el recorrido de suspensión se encuentra dentro de los parámetros requeridos por SAE. Para esta prueba, se procedió a analizar las mesas suspendidas mediante dos gatos hidráulicos que elevaban al chasis en 22 cm del piso. El primer paso fue verificar que los recorridos de suspensión sean los requeridos de al menos 25 mm en compresión y en extensión, como se muestra en la Tabla 11. El segundo paso fue verificar las máximas distancias tanto en las mesas delanteras como en las

traseras.









Análisis Recorrido suspensión							
Parte	Criterio a analizar	Detalle	Cumplimiento de norma	Aceptación	Maximo Recorrido	DISTANCIA [cm]	Recorrido Máximo Neto [cm]
Mesa Delantera	Compresión	2.5 cm de recorrido		SI		14.5	7.5
	Extensión	2.5 cm de recorrido		SI		25	3
Mesa trasera	Compresión	2.5 cm de recorrido		SI		14.5	7.5
	Extensión	2.5 cm de recorrido		SI		28	6

Tabla 11: Detalle evaluación suspensión en extensión como en compresión

La evaluación en dimensiones y recorridos de suspensión es aceptable ya que los porcentajes de error son relativamente bajos. Además en el caso donde se presentó el máximo error (con respecto al diseño CAD) fue demostrado que la simulación de cargas estáticas soporta la prueba con las dimensiones reales.

COSTOS

El proyecto SAE-USFQ empezó con los siguientes gastos que son detallados en la Tabla 12. El costo es relativamente bajo para lo que se hubiese llegado a gastar si se hubiese diseñado nuevos porta-masas para cada rueda. Además existe un ahorro substancial, al usar herramientas y maquinas del taller de ingeniería mecánica de la USFQ. Tampoco se considera en el presupuesto las horas hombre invertidas en su desarrollo.

Gastos Formula SAE		
Descripción	Detalle	Valor
La Casa del Perno (Proyecto Fórmula SAE)	Pernos, tuercas arandelas de presión	3,65
JP Distribuciones (Proyecto Fórmula SAE)	Movilización de material y buges suspensión	78,4
ProviAceros (Proyecto Fórmula SAE)	Tubos	26,63
Reindauto (Proyecto Fórmula SAE)	Pernos, tuercas arandelas de presión	34,14
Reindauto (Proyecto Fórmula SAE)	Pernos, tuercas arandelas de presión	1,5
Reindauto (Proyecto Fórmula SAE)	Pernos, tuercas arandelas de presión	2,00
La Casa del Perno (Proyecto Fórmula SAE)	Pernos, tuercas arandelas de presión	5,14
La Casa del Perno (Proyecto Fórmula SAE)	Pernos, tuercas arandelas de presión	5,31
Fernando Montalvo (Proyecto Fórmula SAE)	Porta masas delantero izquierdo	89,60
ProviAceros (Proyecto Fórmula SAE)	Tubos	26,74
Dipac (Proyecto fórmula SAE)	Tubos, cierras	60,08
Dipac (Proyecto fórmula SAE)	Cable para soldadora MIG	82,32
Dipac (Proyecto fórmula SAE)	Tubos	47,36
Taller "El Gran Escape" (Proyecto fórmula SAE)	Dobleces de tubos	15,12
Pegasus Racing	Ball joints	400
	TOTAL	877,99

Tabla 12: Cuadro de gastos Fórmula SAE

RECOMENDACIONES

La adquisición de piezas en el extranjero debe ser tomada en cuenta con el tiempo de espera y cuanto esto afecta en la ruta crítica del proyecto, el análisis debe ser realizado previo al desarrollo del proyecto.

El área de diseño siempre tiene que tomar en cuenta los limitantes de cada componente que conforma su producto, de lo contrario todo lo diseñado queda sin sentido y posiblemente sea irrealizable. Todo lo que se quiera diseñar debe ser adaptado a las condiciones locales y a sus recursos.

Se debe tomar en cuenta que mucho del material que se usó en el chasis es de tubería de alta presión, esto ayudó a mantener los esfuerzos del chasis dentro del límite de ruptura del chasis 430 MPa. Se podría alivianar el peso del chasis. Para esto se necesitaría la importación de materiales que posean esfuerzos últimos elevados que habitualmente son aleaciones de cromo molibdeno que reducir el peso y mejorar las propiedades mecánicas. Este tipo de acero puede llegar hasta 1.3 GPa en esfuerzo de ruptura.

Si se procede a realizar un nuevo chasis, se deberá modificar la herramienta de desbaste de muelle con observaciones puntuales como disminuir el tamaño de la placa que tiene graduado el movimiento, mejorar el empotramiento de la herramienta a la mesa de la fresadora y la manera en la que se sujete la sección que se vaya a desbastar.

En un siguiente chasis se recomendaría usar toda la tubería de tipo cedula 40, la cual tiene mejores propiedades mecánicas debido que está diseñada para soportar gases a alta presión sus espesores van desde 1 mm hasta 3.3 mm varían dependiendo del diámetro del tubo. Por ejemplo el tubo de media pulgada

de diámetro sería muy buena opción debido a que tiene un espesor de 2.7 mm y es más liviano que el tubo de una pulgada con pared de 3.3 mm de espesor.

Para posibles modificaciones se recomienda que la platina de dirección, que sostiene la parte superior de la mangueta delantera que permite el movimiento de la dirección, descrita en el plano SAE-USFQ001-02-A se tenga doble anclaje al porta-masas para impedir que se genere momento con las barras de dirección. Siempre y cuando se mantenga el ball joint en estado de reposo para que tenga su mayor recorrido en compresión y extensión de la suspensión.

Se recomienda que la parte trasera del Fórmula SAE-USFQ se fabrique un porta masas como el recomendado en el plano SAE-USFQ001-03-1 para tener una estructura mucho más firme. Los buges para los brazos de suspensión se recomienda que sean hechos en poliuretano debido a sus resistencia, ya que lo vulcanizados (usados en este proyecto) no son tan resistentes, esto se podría definir considerando la masa total del vehículo.

El proyecto tuvo problemas económicos al tener que depender de dinero de caja chica para poder adquirir los diferentes componentes que fueron necesarios para completar el producto final. La importación de componentes seleccionados detalladamente aportó con ahorro de tiempo y dinero.

Se debió depender de terceros para realizar los dobleces requeridos en la base del chasis, main hoop y front hoop. Se debió realizar dos veces las partes main hoop y base de chasis debido a errores en medidas. Existieron medidas que ocasionaron pérdida de tiempo ya que existía un error entre el diseño virtual y el real.

CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo de construir un chasis completo de un automóvil fórmula SAE, con sus mesas de suspensión completas. Las cargas que se usaron son las definidas por la organización las cuales fueron detalladas para cada sección que se analizó.

Se logró conocer qué se ofrece en el mercado nacional y cuáles son las opciones que se pueden adquirir. En el caso de los porta-masas se tuvo que adaptar a lo que se tenía al alcance. Los porta-masas que se reciclaron fueron de Suzuki Forsa Uno.

Los ball joints que se usaron fueron los más económicos del mercado Americano. El uso de ball joints es primordial para la dinámica de la suspensión. El resto de componentes se logró conseguir en diferentes lugares de la ciudad como pernos, tuercas y buges.

La comunicación entre diseño y construcción es fundamental para evitar errores o falta de información en los planos. De esta manera cabe recalcar que mientras más detalles posea el plano de construcción un mejor producto se va a lograr construir.

El desarrollo de un sistema de construcción fue exitoso al poder contar con fases de ensamblaje, de esta manera fue menos complicada la construcción de los elementos de esta tesis.

Se logró cumplir todas las reglas anexadas y mencionadas en la sección de diseño que limitaron la construcción de mesas y estructura de chasis. Sin embargo es importante aclarar que se puede realizar modificaciones posteriores dependiendo de los requerimientos de los diferentes componentes del fórmula.

Para el desarrollo del proyecto y la construcción de piezas personalizadas sería de gran ayuda tener en el taller de Ingeniería Mecánica una fresa de tres ejes que permita elaborar piezas a medida.

BIBLIOGRAFÍA

- SAE INTERNACIONAL. (1 de 1 de 2013). *SAE*. Retrieved 2 de 1 de 2013 from SAE INTERNATIONAL: www.students.sae.org
- International, S. (2013). *2013 Formula SAE Rules*. Washington: 2012 SAE International.
- Dipac. (2012). *Dipac Productos de Acero*. Retrieved 02 de Febrero de 2013 from dipacmanta: http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3801
- Reid, P. R. (2000). *MANUAL TECNICO DEL AUTOMOVIL*. MADRID: ISBN.
- G. Hamm, G. B. (1992). *TABLAS DE LA TECNICA DEL AUTOMOVIL*. Stuttgart: DIORKI, Traductores.
- J.e Fernández, R. M. (2008). *ERGONOMIA OCUPACIONAL: Diseño y Administración del trabajo*. Mexico: International Journal of Industrial Engineering.
- Joseph W. Giachino, W. W. (1988). *TECNICA Y PRACTICA DE LA SOLDADURA*. Kalamazoo: EDITORIAL REVERTE S.A.
- Henry Horwitz, P. (1976). *SOLDADURA: APLICACIONES Y PRACTICA*. BOSTON: Houghton Mifflin Company.
- Davies, G. (2004). *Materials for Automobile Bodies*. Jordan Hill, GBR: Butterworth-Heinemann.
- John J. Uicker, J., Pennock, G. R., & Shigley, J. E. (2003). *Theory of MACHINES AND MECHANISMS*. New York: Oxford University Press. Inc.

ANEXOS