

**UNIVERSIDAD FERMÍN TORO
VICERECTORADO ACADÉMICO
DECANATO DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA EN MANTENIMIENTO MECÁNICO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE CHASIS TIPO
FÓRMULA SAE, PARA LA UNIVERSIDAD FERMÍN TORO**

Autor: Br. Galaor Buoli
Tutor: Ing. Luis Rodriguez

CABUDARE, AGOSTO DEL 2013

**UNIVERSIDAD FERMÍN TORO
VICERECTORADO ACADÉMICO
DECANATO DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA EN MANTENIMIENTO MECÁNICO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE CHASIS TIPO
FÓRMULA SAE, PARA LA UNIVERSIDAD FERMÍN TORO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título
de Ingeniero en Mantenimiento Mecánico**

Autor: Br. Galaor Buoli
Tutor: Ing. Luis Rodríguez

CABUDARE, AGOSTO DEL 2013

DEDICATORIA

A mi abuelo Luis Antonio Méndez

que en paz descanse

A mis tíos Mercedes Y Thomas

A ellos por brindarme la oportunidad

de superarme a mí mismo

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios por darme la fuerza no para saltar montañas si no para escalarlas

A mis hermanos, Kay, Amadis, Elias, Diana y Carlos. Aunque estamos lejos unos de otros siempre nos apoyamos como si viviéramos todavía juntos, en especial a mi hermano Kay por ser siempre un ejemplo a seguir.

A mis Primos Cinthia, Stephanie, Daniela y Thomas por ser mis segundos hermanos.

A Felipe Giménez por ser más que un maestro o un jefe lo considero un gran amigo y en ocasiones un padre, a Eliezer Castañeda por ser un excelente amigo y compañero de trabajo.

A José molina, mecánico de Molcar, por brindarme ayuda en el momento más difícil de mi carrera universitaria

A mi sensei José Severino (Pin) por ser más que un guía marcial, un gran amigo, de él aprendí que en vida las cosas no son buenas ni malas sino que uno las hace o buenas o malas dependiendo de la dedicación que le coloques.

A todos mis compañeros de Akijutsu por ser una segunda familia.

A un gran amigo y hermano Juan Briceño por ser excelente persona y estar en

los momentos más necesitados, por ser un amigo de toda la vida.

A mi amiga Ericka Gatica por ser gran persona, por nunca olvidarse de mi y por qué siempre llegaba con un dulce.

A otro gran amigo y hermano Sergio Rodríguez, con el único que podía establecer una conversación sobre la interacción cuántica del universo.

A Franklin Linares hermano de filosofía y amigo, con él logre descifrar grandes secretos de la vida solo con una simple conversación.

A Martin Pacheco por ser gran persona y amigo, con el me asegure que no solo yo estoy loco.

A Pausides, keyliegh, Renato, Adrian y Emilio a ellos por todo su ayuda a la realización del proyecto.

A todo el Grupo de Formula SAE, por aprender más de la cuenta por seguir un sueño y trabajar en ello.

A mis compañeros y amigos de clases, Domenico, Marco roa, Luis Gallo, Daniel cortina, Ramon Alvarado, Toni Ros, Andrés Alarcón y a los demás que no me acuerdo, a ellos por compartir conocimientos muchas gracias.

A mis Profesorres de la carrera, Diego Bentancur, Milagro peña, Ángel Ortiz, Daniel Duque Aidza Chaviel, Eddín Gotera Elsy Romero, Flor Gonzales, Arturo

Lewi, Leidy Hernández, Ramón Rincones. Por compartir sus conocimientos y experiencias y crear de nosotros excelentes profesionales

A Jesús Guerrero no solo por ser el mejor director de escuela de la universidad, también por ser un gran amigo y confiar en nosotros, de mi parte y de parte del Grupo de Formula SAE UFT le damos las gracias por todo.

A mi tutor, profesor, consejero y amigo al Ingiero Luis Rodríguez, de él aprendí lo maravilloso del diseño mecánico,

A una amiga muy especial, la cual medio fuerzas y esperanzas de donde no tenía. Le dio las gracias a dios solo por el hecho de haberme cruzado con tan excelente persona, la cual aprendo todos los días algo diferente. Muchas Gracias Marianela Hurtado de ti nunca me olvidare.

A todos muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	vii
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCION.....	1
JUSTIFICACION.....	5
DESCRIPCION DEL PRODUCTO.....	7
Antecedentes de la Investigación.....	7
Bases Teóricas.....	10
CARACTERISTICAS DEL CHASIS.....	41
Características de los Materiales Para la Construcción del Chasis.....	41
Fines que se Destinan los Bienes y Servicios.....	45
Consumidores su Modo de Uso y Vida Útil del Chasis.....	45
PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA LA PRODUCCION.....	47
Técnica Utilizada.....	47
Componentes Usados para el Diseño del Chasis.....	48
MODELIZACION DEL CHASIS.....	53
Características del Chasis.....	53
Modelización de la parte Frontal.....	54
Modelización del Vuelque del Monoplaza.....	58
Modelización del Ensayo de Torsión.....	61

PROCESO DE FABRICACION.....	70
Método de Corte y Preparación de los Tubos.....	70
Método de Soldadura.....	72
Costos de Fabricación.....	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
Conclusiones.....	77
Recomendaciones.....	78
CRONOGRAMA DE TRABAJO.....	80
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	83

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

CUADRO	P.
1. Espesores de Acero en Protecciones	19
2. Espesores Alternativos de Acero	20
3. Perfiles de los tubos Seleccionados Diámetro x Espesor	53
4. Tabla comparativa de Rigidez Torsional	68
5. Costos de Fabricación	76
FIGURAS	P.
1. Chasis de Fibra de Carbono del Porsche Carrera GT	12
2. Monocasco de Fibra de Carbono de un Fórmula 1	13
3. Chasis Tubular de Fsaе	15
4. Representación del Piloto	18
5. Croquis de Disposición de los Arcos de Seguridad	21
6. Estructura de Seguridad Lateral	25
7. Representación de la Flexión del Chasis.	32
8. Dobladora de Rodillos	35
9. Croquis de la Distancia Entre Ejes	49
10. Croquis Completo del Chasis	50
11. Creación de los Perfiles Tubulares	51

12. Chasis con Todos los Perfiles Completados	51
13. Distancia Máxima de Deformación	56
14. Aplicación de Sujeciones y Cargas	57
15. Chasis ya Simulado	57
16. Distancia Máxima de Desplazamiento de los Arco	59
17. Aplicación de Sujeciones y Carga a los Arcos	60
18. Resultados de la Simulación de los Arcos	60
19. Colocación de Fijaciones y Cargas en el Chasis para la Torsión	62
20. Simulación de Torsión (esfuerzos)	63
21. Simulación de Torsión (Desplazamientos URES)	64
22. Desplazamiento en el Eje Y	65
23. Representación del Factor de Seguridad	66
24. Corte con Tronzadora	70
25. Preparación de los Perfiles	71
26. Tabla de Propiedades de Electrodo	73
27. Propiedades de la Soldadura por Filete	75

**UNIVERSIDAD FERMÍN TORO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MANTENIMIENTO MECÁNICO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE CHASIS TIPO
FÓRMULA SAE, PARA LA UNIVERSIDAD FERMÍN TORO**

Autor: Br. Galaor Buoli
Tutor: Ing. Luis Rodriguez
Año: 2013

RESUMEN

La finalidad de esta investigación es la de diseñar y construir un chasis tipo formula SAE, para la Universidad Fermín Toro el mismo se encuentra enfocado en la modalidad de proyecto de ingenio debido a que aporta la solución al problema del Grupo de Investigación de Formula SAE UFT en la construcción de un chasis para la competencia. Está apoyada en el Eje Rector: Hombre, Ciudad y Tamaño. La línea de investigación es “Diseño rediseño y optimización de sistemas productivos, máquinas, equipos y dispositivos que fomentan nuevas tecnologías, siguiendo las políticas de investigación de la Universidad Fermín Toro”. Las herramientas que se utilizaron para llevar a cabo este trabajo fueron las siguientes: la recolección de datos a través de las técnicas de observación directa, entrevista no estructurada y revisión bibliográfica. La investigación consta la conforma la introducción, justificación, descripción del producto, procedimientos utilizados para la producción y por último la modelización. **Descriptor:** prototipo de Chasis, Diseño

INTRODUCCIÓN

El diseño automotriz ha evolucionado de una manera exorbitante en los últimos años, donde hoy en día existen una diversidad de marcas y empresas que diseñan y fabrican automóviles para uso común, carga, transporte, finalidad militar y también un estilo muy particular de vehículos que engloban un género de deporte, como es el caso de los diferentes eventos o Fórmulas, las cuales buscan poner a prueba los diferentes diseños de autos y que estos cumplan los requerimientos pedidos en los circuitos establecidos. Estas exigencia ponen a prueba los componentes mecánicos, estructurales y dinámicos del vehículo y para ello usan una serie de cálculos basados en metodologías y teorías planteadas por diseño de elementos de máquina ya que los componentes y estructura de un vehículo tiene que soportar una variedad de cargas y esfuerzo, los cuales hay que calcular para poder elegir la mejor estrategia de diseño.

Entre estos eventos o competencia se encuentra la Fórmula S.A.E (Society Automotive Engineering, por su siglas en inglés) la cual se basa en el diseño y construcción de un carro monoplace tipo Fórmula, donde este está sujeto a cumplir ciertos requisitos de una serie de normas con las cuales se llevara a cabo el diseño y construcción del prototipo y cada uno de sus componentes, donde la verificación por un jurado determinara su posterior aprobación para poder competir. Tales normas como la Sociedad Americana de soldadura (AWS), Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) y la más importante de las normas y la cual regirá los

estándares de diseño del monoplaza, es la norma S.A.E, ya que esta explica los requerimientos de cada uno de los Fórmulas, como son: el diseño del bólido, sistema de suspensión, chasis, protección del piloto a colisiones, performance, y otras características con las que deben de cumplir los monoplazas concursantes, cabe destacar que este evento es netamente universitario.

A lo largo de los últimos años se ha apreciado un aumento en la cantidad de participación de universidades donde en los últimos registros se contaron con la intervención de más de ciento cuarenta (140) universidades de países como: Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Corea, Puerto Rico, México, y algunas pocas en Latinoamérica donde Venezuela ha participado en los últimos doce (12) años, siendo representada por la Universidad Simón Bolívar (U.S.B.). La competencia de la Fórmula SAE consiste en varias pruebas, donde se evalúa el diseño, la ingeniería aplicada para la construcción y el desempeño del carro en la pista. Las pruebas permiten medir la aceleración, la capacidad de frenado, el nivel de ruido, el peso del carro, el consumo de gasolina, entre otros aspectos, los cuales son evaluados y puntuados por separado y la institución que obtenga la mayor cantidad de puntos acumulados es la ganadora, en donde no solo gana beneficios económicos, sino mejor aún, eleva el prestigio tanto nacional como internacional de la universidad. La Universidad Fermín Toro (U.F.T) actualmente formo un grupo de investigación con el fin de construir un prototipo de Fórmula SAE, para unirse a esta competencia, con la ayuda de la iniciativa de los mismos estudiantes, tutoriados por docentes

capacitados y apoyados por la misma institución. Actualmente posee diferentes propuestas de alguno de los componentes del Fórmula, tales como sistema de frenos suspensión, matriz de ensamblaje y otros equipos que sirven para la construcción de este, pero hasta ahora no se ha concretado y construido ninguno de los diseños propuestos.

En este momento la competencia Fórmula SAE ha llamado la atención de muchas instituciones universitarias a nivel mundial, ya que como se dijo anteriormente es una competencia donde las universidades se hacen reconocer mundialmente. Esto ha hecho que se formen grupos multidisciplinarios en las instituciones para lograr la construcción del prototipo y así poder competir en los circuitos de Fórmula SAE. Como es el caso de la Universidad Pontificia de Comillas Madrid- España la cual posee hace diez (10) años un grupo disciplinario encargado en desarrollar el prototipo tipo Fórmula SAE. Así mismo un grupo de estudiantes de distintas facultades de la Universidad Central de Venezuela (UCV), han logrado sus objetivos en diseñar y construir y competir en los eventos de Fórmula SAE, actualmente en el estado Lara la Universidad Politécnica Experimental Antonio José de Sucre (UNEXPO) también formó un grupo multidisciplinario encargado en el desarrollo de un prototipo, aunque no han alcanzado la construcción de un Fórmula SAE, si lograron desarrollar un Baja SAE el cual es un vehículo rustico.

Ante la situación planteada nace la necesidad del grupo de investigación, empezar a desarrollar los diferentes componentes del prototipo Fórmula SAE, como los son: el

sistema de frenos, suspensión, transmisión, chasis y aerodinámica. Donde en busca de diferentes propuestas surge la idea de realizar la presente investigación, la cual está destinada a elaborar el diseño y construcción de un chasis, siendo este el elemento más importante del prototipo, ya que es el esqueleto del auto donde los demás componentes se acoplan. Para dar por concluido lo expuesto anterior se puede decir: que el impacto de la presente investigación radica en la necesidad que tiene el grupo de innovar un chasis que sea: moderno, liviano, que cumpla con todos los requerimientos de cálculos de diseño y que se acople a las normas de Fórmula SAE.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, a nivel mundial las universidades buscan una forma de competir unas con otras para demostrar las habilidades que poseen los estudiantes que están siendo formados académicamente bajo su casa de estudio, por ello existen competencias como la Fórmula SAE, que coloca como objetivo desarrollar y construir un prototipo de automóvil el cual está sujeto a normas establecidas por dicha competencia y posteriormente competir en varias pruebas para verificar que prototipo es más eficiente en pista. Esta casa de estudio está iniciando el proyecto Fórmula SAE UFT, en el cual la universidad está decidida en ser parte de esta maravillosa competencia, por ello surge la importancia de crear varias propuestas de los diferentes componentes del vehículo y así nace la idea de diseñar y construir el chasis del monoplaza, ya que este es el elemento primordial del prototipo. El chasis se asemeja al esqueleto del auto y es el que soporta todos los pesos y cargas generadas por el auto y además de ser la protección del piloto si ocurre algún choque, por ello su diseño tiene que ser meticuloso.

Se quiere innovar un chasis que cumpla con las restricciones establecidas por la norma SAE, pero que sea innovador, liviano y que soporte todas las cargas ejercidas en pista. Para ello se usarán software especializados en diseño de ingeniería ya que son una herramienta poderosa en donde no hay que construir un prototipo para verificar si este soporta los esfuerzos calculados sino que se simulan en el software elegido y este arroja todos los datos necesarios para saber si hay que modificar las

dimensiones o si el diseño del chasis realizado es óptimo. La realización de este proyecto es el primer paso para construir el primer monoplaza de la universidad Fermín Toro para así llevar nuestra casa de estudio a los niveles más altos de competencias interuniversitarias del mundo.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

En este espacio se describe el contexto teórico y las características del producto. El contexto teórico está constituido por los antecedentes de la investigación y las teorías usadas para el desarrollo de la misma. Las características del producto se refiere a las bondades del producto y todas sus particularidades, se indican los, fines, modo de uso, vida útil entre otros aspectos.

Antecedentes de la Investigación

Para realizar la presente investigación se optó por la recopilación de información técnica y metodológica de diferentes autores, que han investigado el tema y otros que aportan información o tienen alguna relación. Donde se destacan los siguientes:

Álvarez, A (2012) presento un proyecto como requisito para optar el título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Carlos III de Madrid, ubicada en Madrid, España, y el cual tiene como título. Diseño de chasis para vehículo Formula SAE. Esta investigación tiene como objetivo diseñar un chasis para un vehículo monoplace perteneciente a una competición internacional entre universidades de ingeniería, la Fórmula SAE, bajo las premisas marcadas por la normativa de la organización. Ésta propone medidas que garantizan la seguridad del piloto imponiendo unas cotas mínimas para disposición de los tubos y sus espesores. Este trabajo aporta a la investigación una guía tanto de diseño como metodológica para tener un modelo más claro a seguir y así poder llegar a los resultados deseados.

A su vez también se encuentra el trabajo de grado de Hidalgo, C (2006) el cual presento un proyecto como requisito para optar el título de ingeniero industrial de la Universidad Católica Andrés Bello ubicada en Caracas, estado Distrito Capital. Venezuela, y cual lleva el título de. Plan de negocio para la fabricación de vehículos recreacionales todo terreno. Tiene como objetivo el desarrollo económico y en la mejor selección de materiales y procesos de fabricación para la construcción de chasis tubulares para vehículos todo terreno. Donde el estudio de Hidalgo aporta un factor muy importante el cual es la selección de materiales para el diseño del prototipo donde también es una guía básica para determinar el costo del prototipo Formula SAE a diseñar.

De igual manera se encuentra el proyecto de Romero, J (2008) presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Simón Bolívar ubicada en Caracas, estado Distrito Capital. Venezuela, titulada Diseño y Construcción de un Prototipo de Amortiguador para un vehículo Formula SAE. El cual tiene como objetivo diseñar y construir un prototipo de amortiguador que se adapte a las necesidades de un vehículo formula SAE en cuanto a su desempeño, ajustabilidad, confiabilidad, costo y peso. Se extraerá el modelo de suspensión seleccionado en esta investigación para tener una referencia del peso, ya que este es fundamental para colocar la distribución de las masas en conjunto con la del piloto, la del motor, batería y el tanque de gasolina, las cuales influyen a la deformación por flexión en el chasis.

Así mismo está el proyecto de Pérez, J (2011) presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO) ubicada en Barquisimeto estado Lara. Venezuela, la cual tiene el título. Procedimiento Para el Diseño de Vehículo Categoría Mini. El cual es un trabajo de campo y una investigación documental, cuyo objetivo es crear un procedimiento a seguir para el diseño de un vehículo categoría Mini Baja-SAE bajo las normas del año 2011. El proyecto tiene como finalidad implícita dar el poder para que los miembros más jóvenes del equipo SAE UNEXPO, puedan conocer todos los sistemas que componen un vehículo y un procedimiento a seguir para el diseño de los mismos. El proyecto se desarrolló en tres fases, las cuales serán: Fase I: Diagnóstico, Fase II Análisis de la información, Fase III: Elaboración del proyecto. Para el debido cumplimiento de los objetivos se requirió de un adecuado análisis del reglamento 2011 para vehículos de la categoría Baja SAE. Donde este trabajo aportara una metodología a seguir para el desarrollo del proyecto y el análisis de la norma SAE como tal.

Por último se encuentra la investigación de Castellano, J (2009) el cual presento un proyecto para optar el título de Ingeniero en Mantenimiento Mecánico en la Universidad Fermín Toro, Facultad de Ingeniería. Cabudare estado Lara. Venezuela con el título de Diseño de un Sistema de Frenos para un Monoplaza Tipo Formula SAE. Donde según los lineamientos de Universidad Fermín Toro la investigación se

en marca dentro del polo III: identidad y Multiculturalismo en un mundo globalizado, eje II de proyecto de elemento de maquina cuyo objetivo es proponer un sistema de frenos para un monoplaza tipo Formula SAE bajo lineamientos establecidos por la norma SAE que gobierna la competencia. Los aportes de este proyecto para la investigación que se está llevando acabo son de tipo metodológico ya que proporciona información generalizada sobre la norma Formula SAE y esta es fundamental para la elaboración de presente investigación.

Bases Teóricas

Pérez (2009) se refiere a las bases teóricas como: “conjunto actualizado de conceptos, definiciones, nociones, principios, que explican la teoría principal del tópico a investigar. Surgen de la revisión bibliográfica vinculada con el tema seleccionado” (p.65). En ese mismo sentido se puede expresar que las bases teóricas forman una aglomeración de teorías tanto elementales como primordiales para poder entender y aplicar los conceptos que acompañan la investigación.

Historia del Chasis

El chasis es una estructura metálica completa o tubular, esta estructura es el esqueleto del auto y tiene la función de soportar todos los pesos de los componentes que conforman el automóvil, los esfuerzos producidos por las diferentes cargas que se ejercen y además de servir como protección a los pasajeros y pilotos. García (2009) describe en su tesis que el chasis es “El componente estructural del vehículo, sobre el

cual están montados otros componentes importantes como son: Motor, Caja de cambios, sistema de dirección, sistema de suspensión y otros” (p.6). En el comienzo de la industria del automóvil con motores de combustión interna, el diseño de la estructura del chasis se consideraba un factor secundario, debido a las bajas potencias de los automóviles de la época. Poco a poco y con el desarrollo de motores más potentes, el estudio de la estructura principal de los autos toma una vital importancia en la evolución del automóvil. Este breve paso por la historia ayudará a entender la tendencia actual en el diseño de chasis y carrocerías tanto en los autos de serie como en los automóviles de competición. En mil novecientos diez (1910), tanto la estructura como carrocería de los coches de la época eran de madera, muy similares a los coches de caballos. A partir de esa fecha se comienza a trabajar con acero y aluminio en las estructuras de coches.

Es en estos años cuando se empieza a evolucionar buscando una mayor rigidez torsional del chasis. En mil novecientos treinta y cuatro (1934) Citroën es la primera marca que introduce el monocasco en un modelo fabricado en serie (Traction avant). Tras la Segunda Guerra Mundial y con una gran carencia de acero en Europa, se desarrollan aleaciones de aluminio y se aumenta su uso en los chasis de la época. En mil novecientos cincuenta y tres (1953) Chevrolet, saca al mercado su Corvette, con un chasis tubular y carrocería completa de fibra de vidrio. Durante los años sesenta, mientras que en Estados Unidos se seguía utilizando el chasis y montado sobre él la carrocería, en Europa se empieza a investigar sobre materiales compuestos, y cada

vez más se busca un diseño integrado de carrocería y chasis. Con la crisis energética a finales de los sesenta, las compañías dirigen sus esfuerzos a la reducción de peso, llegando en algunos casos a rebajarlo en quinientos kilogramos (500 kg). En mil novecientos setenta y nueve (1979) Ford termina su primer vehículo fabricado totalmente en fibra de carbono. A partir de estos años el objetivo de las empresas es mejorar las ideas existentes para reducir peso, la meta ahora es reducir consumos y emisiones.

Tipos de Chasis en la Actualidad

El modelo de mayor implantación en la actualidad, es el que integra chasis y carrocería, el llamado monocasco. Puede encontrarse de distintos materiales, como acero, aluminio o materiales compuestos (Figura 1), dándose éstos últimos sólo en algunos coches de lujo debido a su alto coste y en coches de competición como los Fórmula 1. Sin duda el modelo más utilizado en la actualidad es el monocasco de acero.



Fuente: Calvo. A (2012)

Figura 1
Chasis de Fibra de Carbono del Porsche Carrera GT

Otro tipo de chasis desarrollado en la actualidad, es el basado en la tecnología llamada Space Frame. Este tipo de estudio se basa en una estructura teórica de enlaces infinitamente fuertes unidos en nodos libres para rotar. Es una estructura que hace la función de soportar y de aportar rigidez al vehículo, a la vez que protege a los ocupantes. La estructura forma un marco, en el que luego se fijan los paneles. Éstos tienen también una función activa en el soporte de las cargas del coche. Audi es una de las marcas que más ha desarrollado esta tecnología, fabricando muchos de sus modelos en aluminio, reduciendo en algunos casos el peso en un 40%, con las ventajas que eso conlleva de maniobrabilidad y consumo. Estos son dos ejemplos de chasis de uso común es decir para automóviles que se venden en el mercado para el uso de personas ordinarias.

El Chasis en los Automóviles de Competición

Los chasis de competición son en su inmensa mayoría (siempre que el presupuesto y las normas lo permitan) monocascos de materiales compuestos. Éste es el caso de la Fórmula 1 (Figura 2) y de competiciones inferiores a ésta, pero similares en cuanto a diseño y funcionamiento del vehículo.



Fuente: Calvo. A (2009)

Figura 2
Monocasco de Fibra de Carbono de un Fórmula 1

En la (Figura 2) se pueden observar las distintas capas de fibra de carbono, con un interior de aluminio que aporta rigidez. Si se observan competiciones de Rally o de Fórmulas con un nivel inferior se utilizan en muchos casos chasis convencionales, y se refuerzan con estructuras internas tubulares, con protecciones más resistentes para vuelco o colisiones, como es el caso de la competiciones de NASCAR donde el automóvil se encuentra reforzado por el interior con una jaula de tubos los cuales sirven de protección al piloto en caso de una colisión o volcamiento.

El Chasis en la Competencia Fórmula SAE

En las competiciones de Fórmula SAE, se encuentran diversos tipos de chasis. Las universidades que disponen de un presupuesto alto y que cuentan con una experiencia de varios años en competición optan en algunos casos por el monocasco de fibra de carbono. De todos modos, este tipo de chasis tiene una participación minoritaria en los monoplazas de esta competición. Los equipos que tienen los recursos económicos y técnicos necesarios para fabricar este tipo de chasis tienen la ventaja de obtener una estructura muy resistente y con un comportamiento excelente en pista, ya que este tipo de estructuras ofrecen gran resistencia a torsión y su peso es menor que el de las estructuras de acero. Por otro lado las estructuras más comunes en la Fórmula SAE son las tubulares de acero (Figura 3) este tipo de estructuras ofrecen una buena respuesta a los esfuerzos aunque su principal inconveniente es el aumento del peso respecto a los anteriores con la ventaja de un coste mucho más reducido. En donde los espesores de tubo de algunas partes de la estructura vienen especificados por la

normativa SAE, así como la geometría de las protecciones del piloto.



Fuente: García. A (2012)

Figura 3
Chasis Tubular de Fsaе

Dentro de las estructuras de acero tubulares, la mayoría de ellas son soldadas aunque existe la posibilidad de optar por uniones atornilladas en ciertas partes del chasis, pero normalmente los equipos no utilizan este tipo de uniones. Otra posibilidad a tener en cuenta es la opción de incluir partes de aluminio en el chasis con la ventaja de la reducción de peso que esto supone, aunque con los inconvenientes de incurrir en otro coste al incluir un nuevo material tanto en los costes como en el diseño. Aunque la mayoría de los grupos se dedican al estudio de un chasis tubular en cuanto a la disposición y geometría de materiales, hay algunos equipos que han ido más allá utilizando tubos de secciones variadas tales como, cuadradas, circulares y en algunos casos chapas enfrentadas rellenas de ciertos materiales para conseguir siempre el

mismo objetivo, mayor rigidez a torsión con el menor peso y coste posible. De esta forma se adquiere una idea general de hacia qué punto se enfocan los estudios de chasis en la Fórmula SAE y las posibilidades que se barajan en esta competición.

Restricciones que Afectan al Chasis en la Fórmula SAE

Como en toda competición, en la Fórmula SAE existen una serie de especificaciones que vienen dadas por parte de la organización para brindar a los participantes una guía básica de cómo deben de diseñar ciertos aspectos del fórmula para hacerlo seguro. También hay cargas que derivan de las diferentes pruebas a las que el vehículo va a ser sometido, y que deben de tenerse en cuenta a la hora de abordar el problema de diseño del chasis. Estas cargas serán transmitidas al chasis por medio de los apoyos en los que se fijan las distintas partes que forman el automóvil.

Especificaciones de la Organización SAE

Aunque la competencia Fórmula SAE deja cierta libertad para que cada grupo diseñe y construya un prototipo original según sus propios criterios y habilidades aun así la organización SAE tiene unas series de restricciones o especificaciones que se darán a continuación:

a) La distancia mínima entre ejes o batalla, será de mil quinientos veinticinco milímetros (1525 mm) (midiendo esa distancia desde el centro del contacto de la rueda delantera con el suelo, al centro del contacto de la rueda trasera con el suelo,

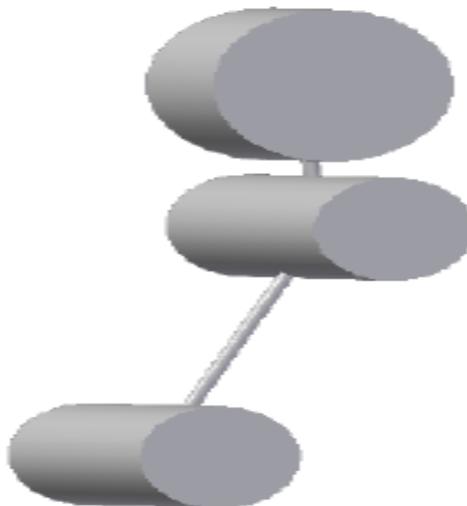
con las ruedas delanteras rectas).

b) La vía (distancia entre ruedas del mismo eje) del vehículo más pequeña, no ha de ser en ningún caso inferior al setenta y cinco por ciento (75%) de la vía mayor.

c) La distancia al suelo de la parte inferior del chasis ha de ser la suficiente para no contactar en ningún momento con la pista, o partes de ella (pianos...). Para ello se deberá tener en cuenta que las ruedas han de ser de un diámetro superior a doscientos tres coma dos milímetros (203.2 mm) (esta medida no tiene en cuenta el neumático).

d) En la parte posterior del coche se debe facilitar un punto de enganche que debe soportar el peso del vehículo. Debe estar orientado perpendicularmente a la línea longitudinal del vehículo, y debe ser horizontal. Debe ser de forma tubular de un diámetro de veinticinco coma cuatro milímetros (25.4 mm). La longitud debe ser mayor que trescientos milímetros (300 mm), y la altura mínima al suelo debe superar los setenta y cinco milímetros (75mm) medida desde la parte más baja del tubo de enganche. Por otro lado los ciento ochenta grados (180°) inferiores del tubo deben de estar descubiertos a lo largo de una distancia mínima de doscientos ochenta milímetros (280 mm). Esto es necesario para la sujeción y remolque del vehículo por parte de los jueces o empleados de la pista en caso de ser necesario. En coordinación con la suspensión del vehículo, se debe tener en cuenta que a una altura de doscientos milímetros (200 mm) medida desde el suelo al punto más bajo del enganche, las ruedas en rebote completo no deben tocar el suelo.

e) El diseño se realizará para que sea válido para el piloto más alto del equipo y para un hombre elegido entre la población al azar en el noventa y cinco por ciento (95%) de los casos. La plantilla de este hombre en 2D viene dada por la norma de la organización SAE (Figura 4). Un círculo de trescientos milímetros (300 mm) representará la cabeza con el casco del piloto. Otro círculo de doscientos milímetros (200 mm) representará los hombros y las cervicales. Otro de doscientos milímetros (200 mm) es el que simulará las caderas. Una línea recta de cuatrocientos noventa milímetros (490 mm) unirá los centros de los dos círculos de doscientos milímetros (200 mm), y una línea recta de doscientos ochenta milímetros (280 mm) conectará los hombros con la cabeza y el casco. Este modelo debe estar situado en la posición normal de conducción, con la espalda en el respaldo, y con la cabeza a veinticinco coma cuatro milímetros (25.4 mm) del acolchado posterior al casco.



Fuente: Calvo. A (2019)

Figura 4
Representación del Piloto

Espesores de Protección

Así mismo los espesores de protección están restringidos y donde la estructura principal del Fórmula ha de ser construida de acero bajo en carbono o aleado, en tubos (mínimo 0.1% de carbono), con las dimensiones especificadas en el cuadro 1.

Cuadro 1
Espesores de Acero en Protecciones

TEMA o APLICACION	DIMENSIÓN EXTERIOR POR ESPESOR DE LA PARED
Arcos principal y frontal, Soportes del arnés de hombre	Diámetro 1" (24.5mm) por 0.095 inch (2.4 mm) o diámetro de 25.0 mm x 2.50 mm metros
Estructura de impactos laterales. mampara frontal, tirantes de los arcos, sujeción de arnés de restricción del piloto, EV: estructura de protección de la batería	Redondos: 1.0 inch (25.4 mm) x 0.065 inch (1.65 mm) o 25.0 mm x 1.75 mm, o 25.4 mm x 1.60 mm Cuadrados: 1.00 inch x 1.00 inch x 0.049 inch o 25.0 mm x 25.0 mm x 1.25 mm o 26.0 mm x 26.0 mm x 1.2 mm
Soportes del mamparo frontal. Brazos del arco principal Componentes del sistema de tracción	Redondo: 1.0 inch (25.4 mm) x 0.049 inch (1.25 mm) o 25.0 mm x 1.5 mm o 26.0 mm x 1.2 mm

Fuente: Norma SAE (2013)

El uso de aleaciones no permite utilizar un grosor de pared menor que el especificado para acero bajo en carbono. También podrán ser utilizados otros materiales bajo las siguientes condiciones:

- a) Que la disposición de materiales alternativos adoptada tenga un E·I mayor o equivalente sobre el eje más débil.
- b) El grosor no podrá ser más fino. El tubo no podrá ser de un grosor más fino de lo

especificado en el cuadro 1, el cuadro 2 y cuadro 3.

c) El arco principal y su apoyo deben estar hechos de acero.

Los tubos de aluminio deben ser tratados térmicamente y endurecidos tras la soldadura. El equipo deberá presentar en este caso un informe completo del proceso que se realizó a los materiales.

Cuadro 2
Espesores Alternativos de Acero

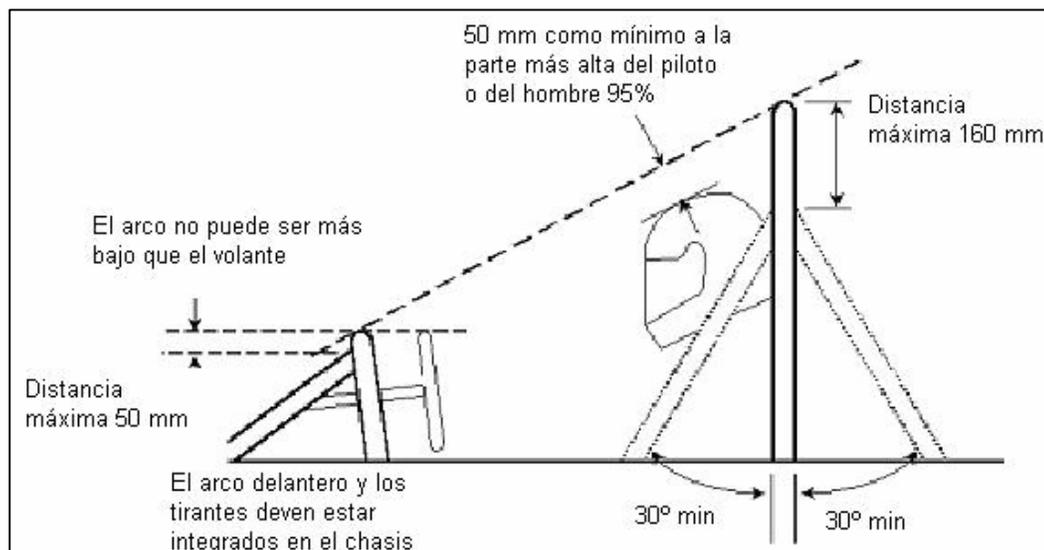
MATERIAL Y APLICACIÓN	Espesor mínimo de pared
Tubos de acero para el arco principal frontal y barra de montaje del arnés	2.0 mm (0.079 inch)
Tubos de aceros para los brazos de los arcos. Para los soportes de los brazos de los arcos. Estructura de impacto lateral. Mamparo frontal. Soportes del mamparo frontal. Sujeción de arnés de restricción del piloto (excepto como se señaló anteriormente). Protección de los acumuladores de alto voltaje. Protección de los sistemas de tracción de alta tensión	1.2 mm (0.047 inch)

Fuente: Norma SAE (2013)

Arcos de Seguridad

La estructura de protección del piloto consta entre otras partes de dos arcos de seguridad, uno frontal justo antes del volante de dirección, y el principal colocado

detrás de la cabeza y espalda del piloto. La cabeza del conductor debe estar protegida del suelo en todo momento en caso de vuelco ya que esto sería fatal para el piloto por ello la Norma SAE se vuelve enfática en cuestiones de seguridad y protección. Por ello teniendo en cuenta el piloto más alto, o el modelo de piloto que se ha dado anteriormente, en ningún caso debe quedar una distancia menor a cincuenta coma ocho milímetros (50.8 mm) entre la parte superior del casco del piloto y la tangente a los dos arcos de seguridad (como se muestra en el croquis de la Figura 5).



Fuente: Norma SAE (2013)

Figura 5

Croquis de Disposición de los Arcos de Seguridad

Restricciones del Arco Principal

- a) El arco principal debe estar construido de una sola pieza de acero de las características (espesor y diámetro) especificadas para tubos de acero anteriormente.
- b) El arco principal debe prolongarse desde la parte más baja de un lado del chasis

hasta la parte más baja del otro lado.

c) En una vista lateral del vehículo, la parte del arco principal que asoma por encima del punto de unión de éste con el chasis ha de tener una inclinación menor de diez grados (10°) con la vertical.

d) En una vista frontal del vehículo, los miembros verticales del arco principal de seguridad, deben de estar al menos trescientos ochenta (380 mm) separados del lugar en el que el arco principal se une con el resto del chasis.

Restricciones del Arco Frontal

a) El arco frontal debe estar construido de acero de las mismas características dimensionales que el arco principal.

b) Por otro lado con un buen estudio, triangulación, y refuerzos, este arco no será obligatoriamente de una pieza.

c) El arco debe ir desde la parte más baja de un lado del chasis hasta la parte más baja del otro lado.

d) En ningún momento la parte más alta del arco frontal ha de ser más baja que la parte más alta del volante (en cualquier posición de éste).

e) En una vista lateral el arco frontal no podrá tener una inclinación mayor de 20° sobre la vertical.

Restricciones de los Tirantes del Arco Principal

a) Deben ser construidos en acero de la sección antes mencionada en los dos arcos

- b) El arco principal debe ir reforzado con dos tirantes, hacia delante o hacia atrás, pero éstos no podrán estar al mismo lado al que se inclina (en caso de que se incline) el arco principal.
- c) Los tirantes deben estar soldados a la parte más alta posible del arco principal, nunca en un lugar más bajo que 160 mm desde la parte superior del arco.
- d) Los tirantes deben ser rectos.

Restricciones de los Tirantes del Arco Delantero

- a) Los tirantes del arco frontal deben ser de la misma sección que los del arco principal.
- b) Los tirantes han de proteger las piernas del conductor, por lo que deberán estar a ambos lados y han de llegar hasta la estructura de protección de los pies del piloto.
- c) Han de ser soldados lo más cerca de la parte superior del arco posible, nunca más bajos de cincuenta milímetros (50 mm) de la parte superior del arco.

Restricciones del Plano Frontal Encargado de Proteger los Pies del Piloto

Estas son las principales restricciones impuestas por la Norma SAE para proteger los pies del piloto por si llega el caso de haber una colisión directa con el frente del automóvil, en donde las restricciones son:

- a) Por delante del plano frontal debe de haber un atenuador de impacto que absorba de energía.
- b) El plano frontal debe estar construido con tubos de las mismas características

geométricas que los usados para los arcos de seguridad.

c) Debe estar situado de tal forma que los pies del piloto (sin estar presionando los pedales) queden protegidos por él.

d) Como mínimo debe tener tirantes en la parte más alta (no más bajos de cincuenta milímetros (50mm) hacia el arco frontal, así como en la parte más baja.

e) Debe estar sujeto, nodo a nodo, triangulando, con al menos una diagonal por lado.

Restricciones para Protecciones de Impactos Laterales

Las protecciones laterales están ubicadas a los lados del piloto y estas sirven de protección en caso de un choque lateral donde la Norma SAE exige que se cumplan los siguientes puntos:

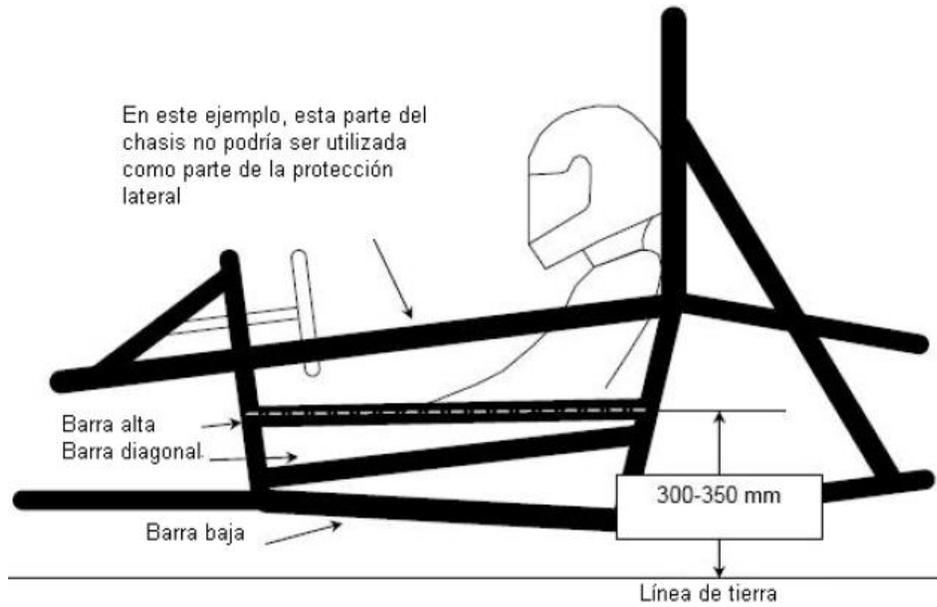
a) La protección lateral está formada al menos por tres piezas tubulares de sección igual a la de los arcos de seguridad.

b) Con un piloto de setenta y siete kilogramos (77 kg) sentado en el coche, la pieza más alta de la protección lateral, debe unir el arco frontal y el principal a una altura del suelo mayor de trescientos milímetros (300 mm) y menor de trescientos cincuenta milímetros (350 mm). En el caso de que hubiese otra pieza del chasis que cumpla estas características, podría ser utilizada como protección.

c) La pieza inferior de la protección lateral, debe conectar la base del arco frontal con la base del arco principal.

d) Con la adecuada triangulación y estudio es posible construir las piezas con más de un tubo.

e) Se deberá poner una diagonal que complete la protección como muestra el croquis de la Figura 6.



Fuente: Norma SAE (2013)

Figura 6
Estructura de Seguridad Lateral

Otras Consideraciones

Si algún tirante o tubo queda a la altura del cuello del conductor, se fijará una chapa o protección firmemente al chasis para evitar que el hombro del conductor pase por debajo del tubo y su cuello pueda contactar con él.

Cargas Ejercidas en la Competición

Aparte de la cantidad de restricciones impuestas por los organizadores, se deben tener en cuenta cargas muy importantes que derivan directamente de la competición. Una muy importante para el diseño del chasis, es que hay que tener en cuenta que en un

plano inclinado lateralmente de 60°, y con el piloto más alto dentro del coche, el vehículo no podrá volcar. Otra carga importante será la fuerza lateral ejercida sobre el chasis, se debe tener en cuenta que hay una prueba en la que se mide precisamente la aceleración lateral que el vehículo es capaz de soportar sin perder el control. Estas aceleraciones rondan valores superiores a una fuerza de gravedad (1 g) (0.9 g valor mínimo para puntuar).

Cargas Ejercidas Sobre el Chasis y por Otras Partes del Vehículo

El chasis es la estructura principal del vehículo y por lo tanto es la parte que tiene que soportar los esfuerzos que ejercen el resto de los componentes. Al analizar a fondo un chasis y su comportamiento real, hay que prestar atención a la serie de reacciones que en él se ejercen, en situaciones estáticas y en comportamiento dinámico en pista donde las principales cargas son de la suspensión y las masas que hay que considerar.

Carga Ejercida por la Suspensión

Las ruedas, por medio de las suspensiones son unas de las principales cargas que tiene que soportar un chasis. Muchas veces estas cargas ejercen un par torsor en el chasis, y la rigidez de la estructura a esta torsión condicionará en gran parte el comportamiento del vehículo en la pista. Las suspensiones son un conjunto que se puede modelar por un sistema muelle-amortiguador. Las constantes del elemento elástico y del amortiguador serán las que determinen en parte las reacciones en la estructura, sus cargas y vibraciones. Para ello será necesario trabajar

conjuntamente con los responsables de esta parte del vehículo para intentar alcanzar un buen resultado en conjunto. Siendo básico para el diseño del chasis conocer las constantes del citado muelle, amortiguador, de la masa no suspendida (al otro lado de la suspensión, ruedas, llantas), así como de la masa de los elementos de la suspensión. Ya que esto es clave para calcular los distintos esfuerzos en el chasis tubular al someterlo a distintas pruebas.

Masas a Considerar para el Diseño del Chasis Fórmula SAE

Las masas que influyen directamente en el chasis hay que tenerlas muy en cuenta ya que estas van equilibrar el peso total del automóvil, donde en este capítulo se describirán y posteriormente se tomaran teniendo como referencia la masa de otros prototipos ya construidos por las diferentes instituciones que ya han participado en la competencia Fórmula SAE.

Masa del Motor

El motor es una de las mayores masas en el vehículo. Por ello hay que tener en cuenta su peso, y las reacciones que esta masa pueda ejercer en el chasis cuando el vehículo entre en una curva, frene o acelere (se alcanzarán valores en curva cercanos a uno punto tres fuerza de gravedad (1.3g) laterales, uno punto dos fuerza de gravedad (1.2g) en frenada y cero punto siete fuerza de gravedad (0.7g) en la aceleración). Por otro lado el motor hace de elemento de unión en la estructura entre la parte posterior del piloto y el final del chasis, dónde va instalado el eje trasero, diferencial, y el punto

de agarre exigido por la organización para una posible retirada del vehículo de la pista en caso de que quedase inmovilizado.

Masa de la Batería

La masa de la batería tendrá un peso aproximado de nueve kilogramos (9 kg), e irá situada en la parte baja del arco de seguridad principal, justo detrás del asiento del piloto.

Masa del Depósito de Combustible

Para estimar cuál es el máximo peso de combustible que el vehículo va a necesitar, se mide la cantidad de combustible necesaria en la prueba más larga y se realizan los cálculos con ese dato la colocación del tanque es libre teniendo siempre en cuenta la seguridad.

Masa del Piloto

Los cálculos se realizarán con un piloto de setenta y cinco kilogramos (75 kg), aproximadamente donde esta supone la masa más importante del vehículo.

Masa del Diferencial

Esta masa hay que tenerla en cuenta donde hay que hacer estudios y hacer comparaciones con otros prototipos para seleccionar el tipo de diferencial adecuado

este estará situado en la parte posterior del vehículo por ello el estudio de la masa es de gran importancia.

Diseños de chasis Tubulares

Antes de comenzar a diseñar cualquier tipo de chasis hay que tener previsto que es lo que se quiere conseguir con el diseño final, para un carro tipo Formula SAE siempre se busca un diseño liviano con una buena rigidez torsional y de bajo costo de fabricación. Para conseguir estas cualidades hay que elegir los criterios de diseños más apropiados a la hora de hacer los cálculos para la elección de las secciones transversales de los tubos del chasis. En el caso del Formula SAE es un poco diferente ya que las secciones transversales están sujetas a la norma que proporciona la organización, y además que solo con cumplir las restricciones que se describen anteriormente, así los jueces solo con una inspección técnica del chasis comprueban que este cumple con la rigidez mínima para la competencia. En una entrevista por correo que se le hizo al vicepresidente del equipo FsaE de la Universidad Central de Venezuela UCV Javier Hernández (2013) comenta que:

“Las reglas generales técnicas son reglas que coloca la organización con ciertas restricciones sobre cómo se debe hacer el chasis tubular, si se cumple tal como la organización lo pide, esta asume que tu carro cumple con todas las condiciones de rigidez torsional, axial y a flexión, mínimas para proveer seguridad a un piloto y por ello no te piden ningún tipo de estudio de rigidez, ojo eso con las reglas generales”.

Aun sabiendo esto se le harán ciertas pruebas de resistencia al chasis mediante el software Solidworks con la finalidad de estar seguro de que el diseño final aguante

los esfuerzos en la pista. Para ello se describirán dos criterios particulares, pero se enfocara en la simulación y el cálculo de un solo criterio el cual es el criterio de rigidez torsional, de igual forma se definirán los dos criterios más usados en diseño automotriz de chasis.

Criterios de Rigidez para la Fabricación del Chasis

Como se mencionaba anterior mente se describirán los dos criterios usados para el diseño de chasis, donde se puede estimar que la rigidez es una función lineal que se podría definir según la Fórmula:

$$K = \frac{P}{\Delta} \quad Ec(1)$$

Dónde K representa el parámetro de rigidez, P la fuerza ejercida y Δ el desplazamiento. En el mundo del automóvil se emplea la rigidez a torsión, quedando la Fórmula como sigue:

$$K = \frac{M}{\phi} \quad Ec(2)$$

Dónde:

K = rigidez torsional

M = momento torsor

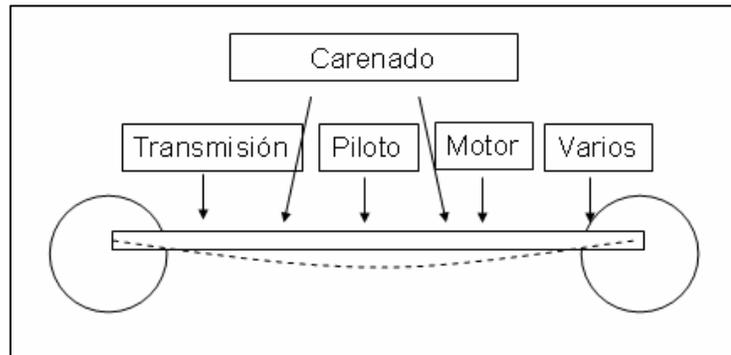
Φ = grados de deformación

Es el caso más común y normalmente se utilizan las unidades de newton por metros entre el grado de deformación ($N \times mts/grad$ o def), siendo lo más habitual expresar el par ejercido para un grado (1°) de deformación. Es cierto que esta relación puede no ser lineal y variar dependiendo de la ϕ , pero en este caso ϕ se considera pequeño, con lo que K se tomará simplemente como un parámetro que mide el comportamiento del chasis, no como un valor que se pueda extrapolar a momentos o a ϕ mayores.

En un principio se podría pensar en estudiar dos tipos de rigidez en un chasis, la rigidez a flexión y la rigidez a torsión.

Rigidez Flexional

Este término se refiere a cuánto se deforma el chasis debido al peso de los diferentes elementos que conforman el vehículo. Aunque este realmente no es un problema a la hora de diseñar el chasis ya que al ser más restrictivas las condiciones de rigidez torsional, si se sobrepasan éstas, se superan también los requisitos de rigidez a flexión. Donde esto quiere decir que hay que hacer hincapié a la hora de calcular la rigidez torsional ya que esta influye directamente con la rigidez de flexión. El automóvil estará sometido a cargas que tenderán a deformar el chasis cuando el auto se apoya en las suspensiones como muestra la Figura 7, como se mencionó anteriormente solo se hará el cálculo de rigidez torsional ya que este es el verdaderamente significativo para el diseño final ya que la estructura estará sometida constantemente a esfuerzos de torsión, con respecto a la flexión solo se buscara colocar todos los pesos más equitativamente distribuidos.



Fuente: Calvo. A (2012)

Figura 7
Representación de la Flexión del Chasis.

Rigidez Torsional

Se refiere a cuánto se deforma un chasis debido a una carga asimétrica, por ejemplo, se da cuando una de las ruedas delanteras pasa por una irregularidad en la vía mientras que las demás no. Esta es la característica que se debe cuidar para poder validar un chasis en cuanto a rigidez. Según la competición a la que esté dirigida el vehículo diseñado, le corresponderá una rigidez torsional u otra. Esto depende del par torsor máximo al que pueda estar sometido. Este par torsor proviene del conjunto de las fuerzas de los amortiguadores. Se suele expresar en Newton por metros de par por grado de deformación ($N \times mts/ \text{grado de deformación}$). En el caso de la Fórmula SAE los resultados de los equipos que llevan más tiempo en la competición se sitúan alrededor de los tres mil Newton por metros entre grado de deformación ($3000 N \times mts/ \text{grado}$). Esto en promedio de 50 Kg de peso del chasis esta medida se toma al ejercer un par torsor en una de las suspensiones mientras que se fijan los

desplazamientos de la otra. También hay elementos como el motor que le proporcionan más rigidez al chasis esto por ser un elemento sólido unido al cuerpo del chasis.

Técnicas de Fabricación

En esta sección hace referencia a los métodos que se usaran para la construcción del chasis como son la técnica de curvado, el método de corte que se usara, los tipos de soldaduras más recomendados para la fabricación de chasis.

Curvado de Tubos

Alvares (2012) define que el “curvado se entiende como deformación plástica de piezas metálicas alrededor de un eje recto. Cuando se realizan simultáneamente dos curvados más, la operación se llama conformado” (p.111). Cuando se realiza este proceso pueden aparecer pliegues en la parte interna del material y reducirse el espesor de la parte externa. El material utilizado influye directamente en la formación de estos defectos para ello hay que elegir la mejor técnica de doblado.

Parámetros del material que influyen en los defectos de este proceso

Estos son los parámetros principales que hay que tener en cuenta a la hora de realizar el doblado de tubos por rodillos para disminuir los defectos y deformaciones no deseadas en los tubos.

- a) Bajo límite elástico.
- b) Alta resistencia última del material.
- c) Considerable alargamiento en la rotura a tracción.

Factores Geométricos

A continuación se presentan los factores geométricos más importantes a considerar a la hora de realizar el doblado.

- a) Espesor del perfil con respecto al diámetro del perfil de sección circular hueca.
- b) Relación del radio de curvado con respecto al diámetro del perfil (radio mínimo regulado por las normas SAE, radio de curvado mínimo, a tres veces (3) mayor que el diámetro exterior del tubo).

Técnicas de Curvado

Existen diferentes formas de curvar tubos tales como el curvado angular, curvado por tracción y compresión, curvado por ingletes y el curvado por rodillos (Figura 8), siendo esta última técnica la elegida para doblar los tubos ya que el grupo Formula SAE UFT posee una máquina para este fin. A continuación se describe el proceso por dobles con rodillos.

Doblez de los Tubos por Rodillo Giratorios

Es una de las técnicas más utilizadas por los fabricantes que necesitan curvar tubos. El radio de los rodillos depende del radio del perfil y para obtener el radio de curvatura se debe tener en cuenta la separación de los rodillos. Para conformado en

frío, el límite mínimo de radio de curvatura es aproximadamente igual a cinco veces (5) el diámetro exterior del perfil. Por lo tanto, si se quiere hacer una curvatura de radio tres veces (3) el diámetro exterior (límite mínimo de las normas SAE) habrá que pensar en utilizar este método sin ser en frío.



Fuente: Alvarez A (2012)

Figura 8
Dobladora de Rodillos

Métodos de Corte

Se suelen utilizar dos métodos para el corte de perfiles tubulares, el corte por aserrado y el corte por soplete. Así mismo Calvo (2009) comenta que:

El corte por aserrado presenta la ventaja de que es más barato y su ejecución es más sencilla. Con el corte por soplete se puede obtener un acabado mejor en la zona de corte, pero en este caso no es necesario porque al final siempre se tendrá que realizar una preparación de los extremos de los tubos para la soldadura (p.67)

Se pueden utilizar distintas herramientas para el corte de los tubos de sección circular, siendo una de las más comunes la sierra circular, de avance hidráulico o manual.

Otras posibles herramientas de corte son la fresadora, la muela de rectificar o

cortadoras de plasma. La elección para el proceso de fabricación dependerá sobre todo de la disponibilidad de herramientas y no tanto de las ventajas o inconvenientes de cada una donde posiblemente se optara por corte con tronzadora o con plasma.

Uniones Soldadas para la Fabricación de Un Chasis

Tipos de Soldaduras

A lo referente con la soldadura Calvo (2009) comenta que “la soldadura puede ser manual, con máquina semiautomática o completamente automática. Las dos primeras predominan en la unión de los perfiles tubulares. Donde la unión de perfiles tubulares la técnica de soldadura más utilizada es la soldadura por arco” (p.71). Al igual que el corte se elijara el método de soldadura dependiendo de la disponibilidad de equipos que se encuentren en la fabricación del chasis de igual forma se definirán los tipos de soldadura más usadas en actualidad.

Soldadura SMAW

La soldadura por electrodos revestidos, shield metal arc welding (SMAW) se caracteriza porque se produce un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico recubierto. Con el calor producido por el arco se funde el electrodo y se quema el revestimiento produciéndose la atmosfera para que tenga lugar la transferencia de las gotas de metal fundido desde el alma del electrodo hasta el baño de fusión en el metal base. La soldadura con electrodos revestidos es ampliamente usada en la fabricación de numerosos productos, desde grandes fabricaciones como

barcos, locomotoras, automóviles o grandes depósitos.

Ventajas de la Soldadura SMAW

- a) Bajo costo
- b) Versatilidad en el mercado
- c) De fácil uso

Desventajas de la Soldadura SMAW

- a) Soldaduras con variedad de defectos

Soldadura TIG

Se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, aleado a veces con torio o zirconio en porcentajes no superiores a un 2%. Dada la elevada resistencia a la temperatura del tungsteno (funde a 3410 °C), acompañada de la protección del gas, la punta del electrodo apenas se desgasta tras un uso prolongado. Los gases más utilizados para la protección del arco en esta soldadura son el argón y el helio, o mezclas de ambos.

Las soldaduras hechas con sistema TIG son más fuertes, más resistentes a la corrosión y más dúctiles que las realizadas con electrodos convencionales. Cuando se necesita alta calidad y mayores requerimientos de terminación, es necesario utilizar el sistema TIG para lograr soldaduras homogéneas, de buena apariencia y con un acabado completamente liso. El libro de Joseph (2009) con el título Técnicas y

práctica de la soldadura donde dice los beneficios de esta soldadura:

Puesto que el gas protector impide el contacto entre la atmosfera y el baño de fusión, las uniones obtenidas son más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión, que las que se obtiene con la mayor parte de los procedimientos, otra ventaja de la soldadura por arco con protección gaseosa es la de que permite obtener soldaduras más limpias, sanas y uniformes. (p.166)

Características y Ventajas del Sistema TIG

Estas son las características y las ventajas más importantes que posee la soldadura TIG

- a) No se requiere de fundente y no hay necesidad de limpieza posterior en la soldadura
- b) No hay salpicadura, chispas ni emanaciones, al no circular metal de aporte a través del arco
- c) Brinda soldaduras de alta calidad en todas las posiciones, sin distorsión
- d) Al igual que todos los sistemas de soldadura con protección gaseosa, el área de soldadura es claramente visible
- e) El sistema puede ser automatizado, controlando mecánicamente la pistola y/o el metal de aporte

Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible (GMAW).

El principio de la soldadura por gases inertes (MIG), y la de gases activos (MAG).

En este proceso se produce un arco entre el electrodo de hilo continuo y la pieza a

soldar, mientras que el entorno se encuentra protegido por uno de los gases mencionados anteriormente. Este proceso puede ser semiautomático, automático o robotizado. En el último caso se determinan las coordenadas y todos los parámetros de la soldadura tales como velocidades, temperaturas y posteriormente es un brazo robotizado el que realiza el trabajo. El gas inerte más empleado en Europa es el Argón mientras que en Estados Unidos se utiliza más el Helio. Al realizar una soldadura MAG, el gas activo utilizado va a desprender Oxígeno (O_2) con lo que podría oxidar la soldadura, en este caso es importante utilizar en el material de aporte elementos desoxidantes.

Las ventajas de este proceso se presentan a continuación

- a) Ausencia de escoria.
- b) Alimentación automática del hilo.
- c) La gran densidad de corriente que admite.
- d) Gran flexibilidad de regulación.

Tipo de Software que se Usara para Realizar el Diseño y los Cálculos del Chasis

Para realizar el diseño del chasis se optara por usar un software avanzado para el diseñar y probar que el chasis no supere los esfuerzos establecidos por la norma. Uno de los software más usados es solidwork ya que este presenta una gran disponibilidad en relaciones diseño y de cálculos además que existen muchos manuales para diseñar componentes del Formula SAE en Solidwork.

Software Solidwork

El software Solidwork es uno de los programas de diseño más usado para diseñar los componentes del Formula SAE, así mismo el manual Proyecto de Análisis y Diseño de SAE con el software SolidWorks (2011) describe este programa de computadora como:

Un software de automatización de diseño. En SolidWorks, puede croquizar ideas y experimentar con diferentes diseños para crear modelos 3D mediante la sencilla interfaz gráfica de usuario de Windows. SolidWorks es utilizado por estudiantes, diseñadores, ingenieros y otros profesionales para producir piezas, ensamblajes, y dibujos simples y complejos (p.2).

Con lo referente a lo anterior esta es una gran herramienta de diseño donde se pueden hasta simular todos los esfuerzos que se generan en cualquier componente que se dibuje en el software ahorrando así gran tiempo en comprobación de los cálculos.

CARACTERÍSTICAS DEL CHASIS

Este punto tiene como objetivo describir las características más relevantes del chasis, como son el tipo de material y el método que se usara para unir los tramos del chasis, y las dimensiones que este tendrá

Características de los Materiales Para la Construcción del Chasis

En esta fase se explica el posible material escogido para la construcción del chasis basándose en propiedades del material y en experiencias de otros equipos de Formula SAE.

Material para la Construcción del Chasis

La norma de Formula SAE recomienda que el chasis debe construirse con tubos tubulares de acero con un mínimo de cero coma diez (0,10) por ciento de carbono, aunque también da opciones de usar otros tipos de aleaciones para construir el chasis. La norma específica como se dijo anteriormente una recomendación del acero a usar esto se puede apreciar en la página veinte siete (27) en la tabla (T3.4) de la norma Formula SAE dos mil trece (2013). También muestra en la página veinte ocho (28) las características que se tienen que tener en cuenta a la hora de seleccionar un acero diferente al recomendado.

Como se ha dicho anteriormente se quiere diseñar un chasis que sea liviano y resistente a todos los esfuerzos presente en pista y a posibles choques, y uno de los

aceros más usados para diseños de chasis tubulares es el acero cromo-molibdeno o (SAE-4130H) donde el catalogo para aceros de la empresa Ferrum C.A., especifica las propiedades de este material en donde describe que es un: “acero especial para componentes grandes y medianos diámetros en los cuales se requiere alta resistencia a la tracción y tenacidad donde el bajo contenido de carbono le da a este acero buenas características de soldabilidad, es liviano en su presentación tubular” (p.32) además el mismo catalogo define algunas de sus aplicaciones industriales donde comenta que tiene una: “amplia aplicación en la ingeniería automotriz, en engranajes y construcción de motores” (p. 32). En la actualidad muchas de las instituciones universitarias que participan en este evento seleccionan a este acero para la construcción del chasis, como es el caso del grupo de Formula SAE de la Universidad Central de Venezuela (UCV), en donde el chasis que diseñaron y construyeron en el dos mil doce (2012) lo hicieron con ese material en la página web que realizo este equipo (<http://www.teamhardwarevzla.com/2012/10/conociendo-al-equipo-de-formula-sae-ucv/>) tienen la descripción general del chasis en donde usaron el acero cromo-molibdeno, como resultado obtuvieron un chasis que pesa veinte ocho kilogramos (28 Kg).

Otra universidad que usa este tipo de material para la construcción de su monoplaza tipo Formula SAE es la Universidad Técnica de Praga en donde en un artículo de la revista tecnológica de soldadura Weld+visión edición número veinte siete (27) año dos mil doce (2012) describe que: “el bastidor (chasis) se compone de tubos de acero

de cromo-mol de pared fina. Ofrece protección al piloto y soporta cargas extremas durante las condiciones de carrera” (p.16). En base a todo lo anterior se quiere seleccionar el acero Cromo-Mol para la construcción del chasis del Grupo Formula SAE UFT. Actualmente no se puede concretar las dimensiones que tendrán los tubos, aunque la norma Formula SAE especifica los diámetros y espesores de pared mínimos que se pueden usar en el diseño del chasis cuando se usan aceros distintos a los recomendados (p.27) y (p.28), los cuales son un diámetro de veinte cinco coma cuatro milímetros (25,4 mm) con un espesor de dos milímetros (2 mm), en donde los diámetros pueden aumentar de tamaño pero siempre tienen que tener la misma relación de espesor. El único problema de este tipo de material su difícil obtención ya que muy raro en el mercado venezolano, por ello se tendrá en cuenta una segunda opción.

Como se segunda opción está el acero AISI 1020 este es un acero con 0.18 a 0.22 % de carbono es aprobado por la norma FSAE para su uso, posee un límite elástico de 351 MPa (mega pascales) y un límite de tracción de 420,51 MPa, es de fácil obtención y mucho más económico que cromo-molibdeno y tiene una buena soldabilidad con arco eléctrico.

Técnica a Usar para la Unión de los Tramos o Tubos del Chasis.

Como se especificó anteriormente el tipo de acero que se quiere usar para la construcción del chasis, si es Cromo-Mol, debido a esto hay que seleccionar un

método de soldadura, como se dijo anteriormente el acero SAE 4130H tiene una excelente soldabilidad, donde se podría usar una soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido, pero este tiende a tener defectos como mordeduras y pegaduras como lo indica el libro de Joseph W con el título Técnicas y práctica de la soldadura donde describe que:

Las mordeduras son un tipo de defecto que produce cuando se suelda con corriente excesiva donde se origina pequeños surcos en el metal base, las mordeduras también pueden producirse cuando se suelda uniones con ángulos, por otro lado las pegaduras se presentan cuando la corriente de soldadura es demasiado baja o el metal no asimila bien la fusión del material de aporte con la base (p.93)

Con referencia a lo expuesto anteriormente si usa una soldadura de este tipo se correrá el riesgo de tener estos defectos, por el hecho que casi toda la estructura del chasis tiene que estar triangulada se tendrán que hacer soldaduras de filete. Ya teniendo esto claro se prosigue a seleccionar otro tipo de soldadura, en donde la más recomendada para soldar el acero Cromo-Mol es la TIG (Tungsteno Inerte Gas) esto debido a sus altas propiedades. La soldadura TIG utiliza como medio protector un chorro de gas inerte y un electrodo no consumible el cual impide la contaminación de la soldadura así crea un cordón limpio, es decir libre de escoria, donde la fusión de los metales es de alta calidad, como lo describe el libro de Joseph W con el título Técnicas y práctica de la soldadura donde dice los beneficios de esta soldadura:

Puesto que el gas protector impide el contacto entre la atmosfera y el baño de fusión, las uniones obtenidas son más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión, que las que se obtiene con la mayor parte de los procedimientos, otra ventaja de la soldadura por arco con protección gaseosa es la de que permite obtener soldaduras más limpias, sanas y uniformes. (p.166)

Debido a estas características se seleccionó la soldadura TIG o MIG si se emplea el acero Cromo-Mol, si en contrario se escoge un acero AISI 1020 se optara por una soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido, aunque si esta la disponibilidad de soldar con alguno de los dos tipo de soldadura mencionados anteriormente se usaran en el proceso

Fines que se Destinan los Bienes y Servicios

En esta fase se describen a que sector se destina el chasis y que servicio brinda a la sociedad. Por ser un proyecto que está enfocado en solventar la necesidad del Grupo de Formula SAE UFT se puede concretar de una vez que el chasis está destinado a cumplir el servicio de satisfacer la necesidad del grupo de construir un chasis, además a largo plazo la misma Universidad Fermín Toro se beneficiara de este proyecto, además está destinado a ser un modelo a seguir de por generaciones futuras que se embarquen en proyectos parecidos.

Consumidores su Modo de Uso y Vida Útil del Chasis

Se proseguirá a describir los posibles consumidores, el modo de uso que tiene el chasis y la estimación de vida útil de este mismo.

Consumidores

Los posibles consumidores de este producto son todas aquellas personas, estudiantes e instituciones que quieran tener un modelo de referencia para la producción de sus chasis, claro que este chasis está restringido por las normas de Formula SAE y por ello solo la población consumidora será aquella que tenga relación con la competencia.

Vida Útil

Para mantener la vida útil del chasis se usaran pinturas anticorrosivas o pintura de fondo esto si el chasis es construido en acero AISI 1020, por otro lado si se construye en acero al Cromo-Molibdeno este presenta una gran resistencia a la corrosión. Otra cosa que hay que tener presente es que en la competición de Formula SAE los equipos que van por segunda vez no pueden llevar el mismo chasis de la competición pasada esto para hacer que los diferentes equipos construyan un nuevo chasis por cada año e innoven en el diseño y construcción del mismo, con esto la organización asegura que los equipos trabajen con el fin de construir siempre un mejor chasis que el anterior.

PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA LA PRODUCCION

En este contexto se describe el camino que se ha elegido, la manera de cómo se consiguió alcanzar los objetivos propuestos, este paso se establece dos puntos importantes el primera son las técnicas utilizadas para el desarrollo del proyecto y el segundo son los componentes utilizados para llegar al diseño final.

Técnica Utilizada

A continuación se describirá la metodología usada para conseguir los datos bases para el desarrollo del diseño del chasis, donde se puntualizara los métodos usados.

Recopilación de Información

Para el desarrollo de la investigación se utilizó un tipo de recopilación de información que se basó en una investigación de tipo documental y de campo con la finalidad de captar una selección de diseños de otros chasis elaborados por otras universidades de todo el mundo esto con el fin de estudiar el diseño y compararlos unos con otros para establecer ciertas diferencias que ayuden establecer que tanto la norma de la organización FSAE estandariza el diseño del chasis. Otro tipo de técnica usada fue la entrevista no estructurada a otros equipos de FSAE en Venezuela, como es el caso de FSAE UCV, donde se le realizó una entrevista al vicepresidente del equipo Javier Hernández. Como resultado se llegó a ciertas conclusiones sobre el diseño y los parámetros que se deben de cumplir para que la organización FSAE acepte el diseño

del chasis del equipo FSAE UFT.

Componentes Usados para el Diseño del Chasis

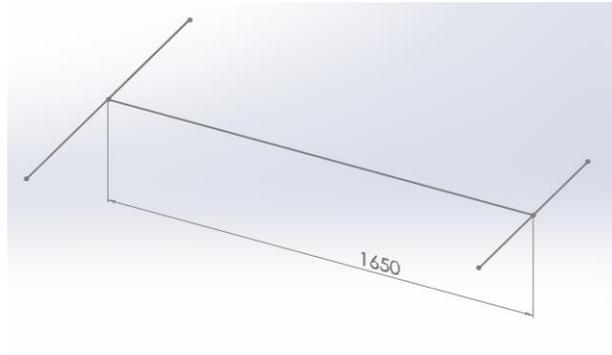
En este punto se establecerá una descripción de los aspectos técnicos de los elementos usados para el diseño del chasis. Para este proceso se usó el software Solidworks.

Utilización de Solidworks

El software solidworks es una herramienta muy versátil a la hora de diseñar, ya que con unos simples pasos uno puede tener un diseño final y realizar modificación si se ameritan. Para el diseño del chasis se pueden plantear tres etapas.

Croquis del Chasis

Después de estudiar varios modelos de chasis, se prosiguió a la esquematización del chasis final en el software, para ello primero se establece un croquis del chasis en 3D en el software. Como referencia lo primero que se hace es trazar una distancia entre ejes representativa esto para tener una guía y una perspectiva de las diferentes medidas de los componentes del chasis, ya que cuando se esté realizando el croquis de las diferentes partes que conforman el chasis hay que tener en cuenta estas distancias ya que esa posición es donde se colocaran los soportes para las tijeras de los cauchos además de la dirección mecánica que se va emplear en el monoplaza. Esta distancia inicial entre ejes puede estar sometida a cambio a medida que se va diseñando el chasis.



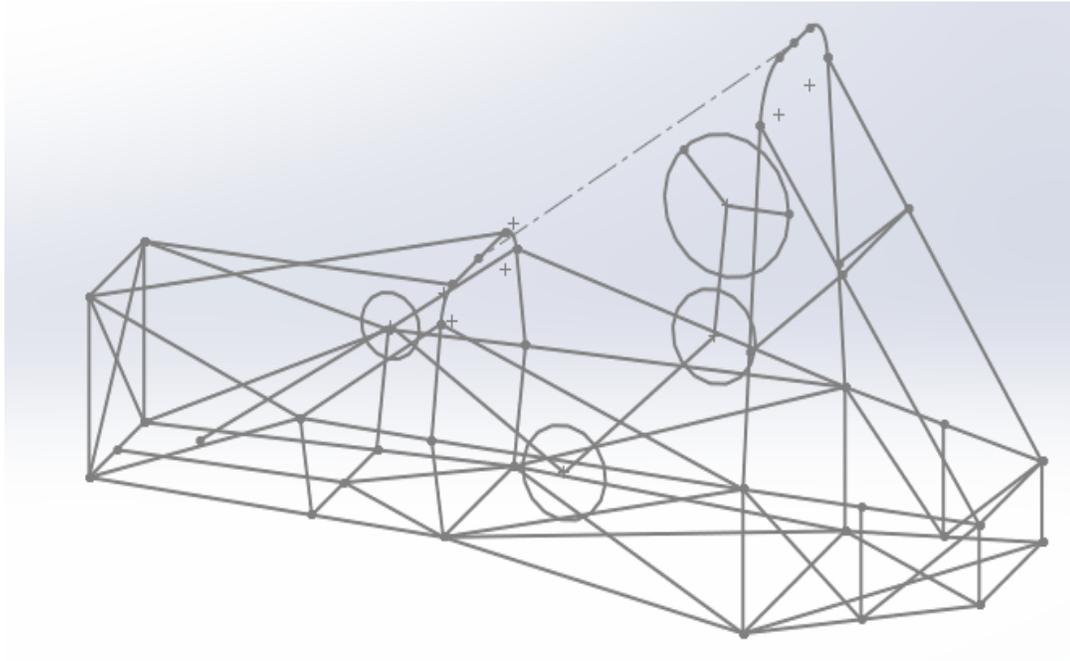
Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 9
Croquis de la distancia entre ejes

Posteriormente se prosigue a coquizar cada parte del chasis por separado, a continuación se establecen por orden la croquizacion del chasis.

- a) Piso delantero
- b) Mamparo
- c) Arco frontal
- d) Soportes del Mamparo
- e) Tirantes del arco frontal
- f) Piso del Piloto
- g) Arco Principal
- h) Croquis de la figura del piloto
- i) Protección Lateral
- j) Piso del motor
- k) Soportes de los tirantes del arco Principal

- l) Tirantes del arco principal
- m) Triangulación del piso y del mamparo

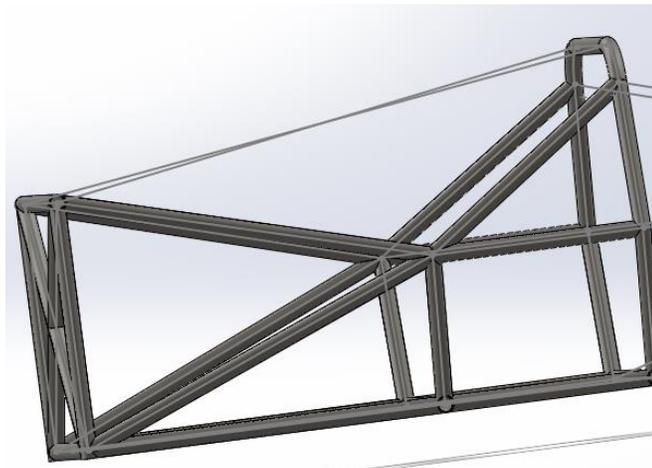


Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 10
Croquis completo del chasis

Creación de los Perfiles Tubulares del Chasis

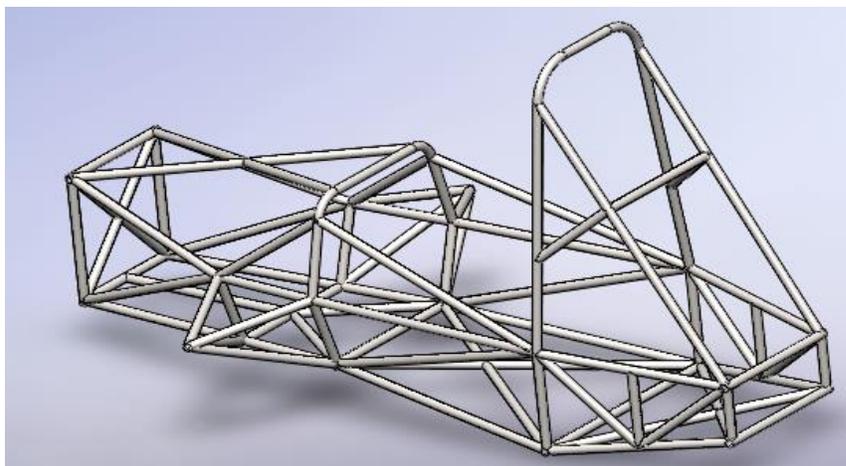
Esta etapa es donde se establecen los perfiles de los tubos con que se realizara el chasis donde las medidas mínimas se establecieron en la tabla 1. Solidworks mediante un herramienta llamada miembro estructural permite crear los perfiles de los tubos, donde estos se crean siguiendo la dirección de las líneas hechas en el croquis final del chasis, así creando la estructura final del esqueleto tubular. A continuación se mostrara por medio de dos figuras como se evoluciona en el armado de chasis.



Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 11
Creación de los perfiles Tubulares

Esta figura 11 se visualiza como se van formando los perfiles tubulares, donde se puede apreciar los tubos ya formados y las líneas a las cuales todavía no se ha colocado el perfil establecido.



Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 12
Chasis con todos los perfiles completado

Modelización del Chasis

La etapa de modelización es donde el chasis se expone a las diferentes simulaciones para comprobar que este aguanta los esfuerzos en la competencia, acá se comprueban que las dimensiones de los perfiles elegidos son los adecuados, donde se basa más en ensayo y error para probar diferentes perfiles y comprobar y comparar los esfuerzos, en el siguiente punto de este proyecto se profundizara esta etapa donde se describirá detalladamente las pruebas que se le hicieron al chasis para asegurar que este cumple con los mínimos requisitos en cuestiones de resistencia.

MODELIZACION DEL CHASIS

Este espacio se refiere a todas los ensayos técnicos a las que el producto es sometido para demostrar que es confiable. Se describirán cada una de las pruebas que se simularon en el chasis y los resultados que este arrojo. Estas pruebas fueron un choque frontal, la simulación de vuelque del carro y por último el ensayo más importante que se efectuara es el de torsión.

Características del Chasis

Antes de comenzar cualquier simulación se definirán ciertas características del chasis como son las medidas finales de los perfiles seleccionados y el material seleccionado para su fabricación. En la siguiente tabla se proporcionaran las medidas de los perfiles y el acero.

Cuadro 3
Perfiles de los tubos seleccionados Diámetro x Espesor

TEMA o APLICACION	DIAMETRO X ESPESOR DE PARED	TIPO DE ACERO
Arcos principal y frontal, Soportes del arnés de hombre	Diámetro 1" (24.5mm) por 0.095 inch (2.4 mm)	AISI 1020

Cont

Estructura de impactos laterales, mampara frontal, tirantes de los arcos, sujeción de arnés de restricción del piloto	Diámetro 25.4 mm x 1.60 mm	AISI 1020
Soportes del mamparo frontal, Brazos del arco principal, Componentes del sistema de tracción	Diámetro: 1.0 inch (25.4 mm) x 0.049 inch (1.25 mm)	AISI 1020

Fuente: Galaor B (2013)

Modelización de la Parte Frontal del Chasis

Descripción del Ensayo

Este ensayo simula un choque del monoplaza frontalmente y esta normalizado por la norma FSAE en la página 38 de dicha normativa, en particular se efectúa para la simulación del atenuador de impacto el cual es un componente que permite la absorción de la energía de choque si llegara a ocurrir una colisión frontal, por ello se simulara con estos parámetros ya que proporcionan la condición más crítica para este ensayo, donde se observaran los desplazamientos máximos de la parte frontal del chasis. Antes de realizar la simulación hay que calcular la fuerza de impacto según los datos que nos proporciona la norma los cuales son:

- a) Velocidad de impacto (V_{imp})= 7,0m/s

b) Masa del vehículo(M)= 300Kg

c) Desaceleración de (a)= 20G

Ya teniendo estos datos iniciales se prosigue a calcular la fuerza de choque mediante la ecuación de cantidad de movimiento, donde:

$$F = \frac{Im}{t} \quad \text{Ec 3}$$

Donde:

Im= cantidad de Movimiento

t= tiempo de choque

$$Im = M * Vimp \quad \text{Ec 4}$$

Calculando Im:

$$Im = 300Kg * \frac{7m}{s} = 2100Kg * \frac{m}{s}$$

Ahora calculando el tiempo de choque:

$$t = \frac{Vimp}{a} \quad \text{Ec 5}$$

Donde:

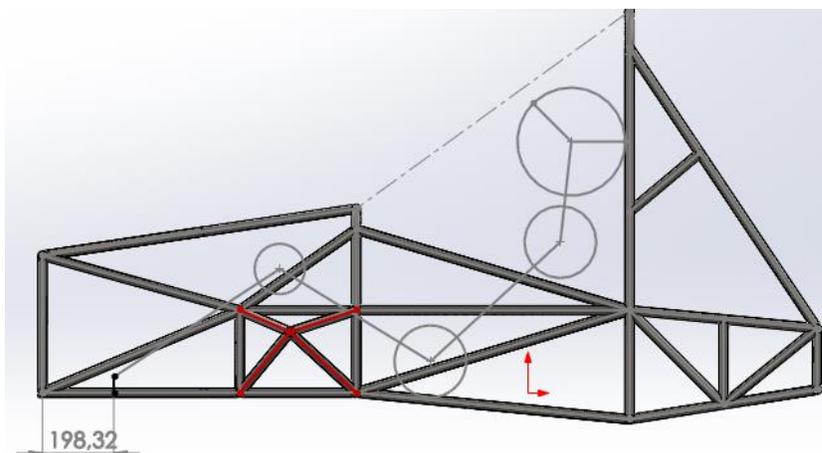
$$a = 20 * \frac{9.8m}{s^2} = 196 \frac{m}{s^2}$$

$$t = \frac{7 m/s}{196 \frac{m}{s^2}} = 0,0357 \approx 0,036 \text{ seg}$$

$$F = \frac{2100 Kg * m/s}{0.036 \text{ seg}} = 58333,33 \text{ New} \approx 58333 \text{ New}$$

Simulación del Choque Frontal

Antes de comenzar con la simulación debemos trazar un parámetro de desplazamiento de referencia, esto para tener ya previsto el límite máximo de deformación del chasis que puede alcanzar. Este parámetro será la distancia que hay desde el mamparo hasta los pies del piloto como se aprecia en la figura siguiente.



Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 13
Distancia Máxima de Deformación

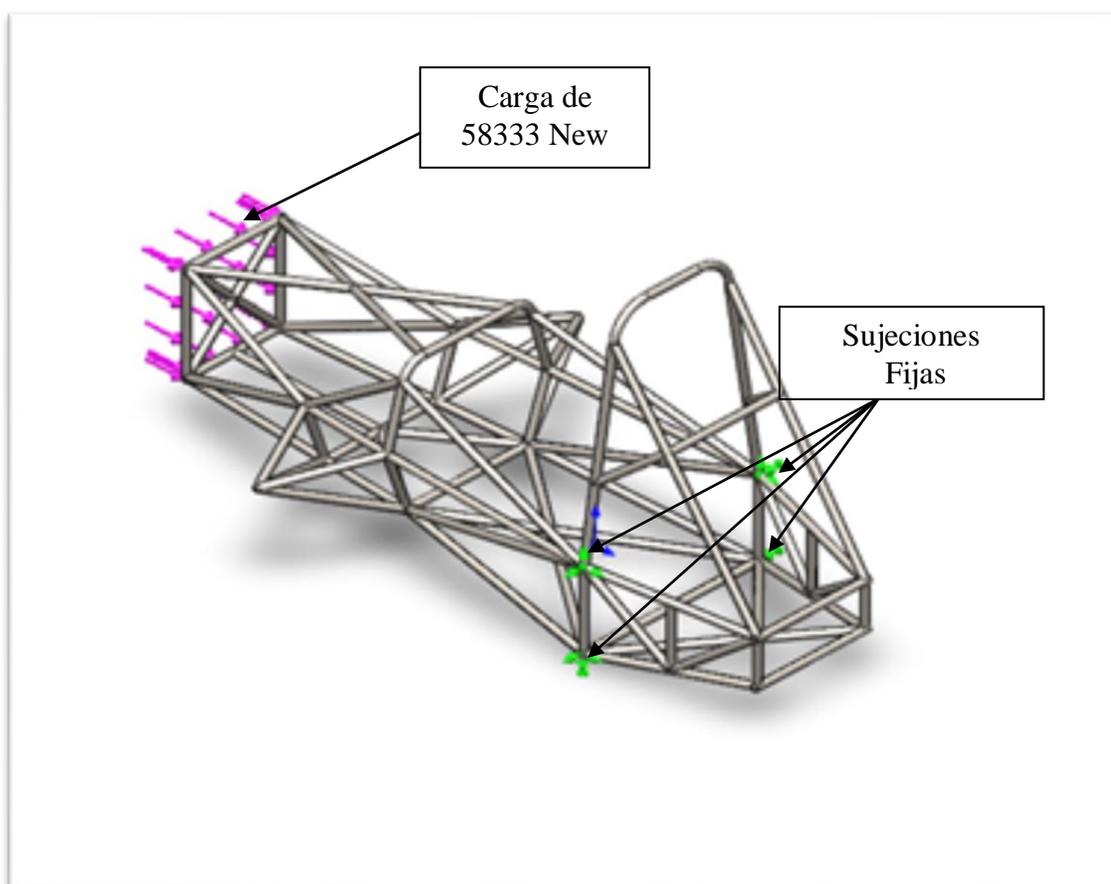
Los 198,32 mm será el patrón de referencia del desplazamiento máximo que se puede deformar la parte frontal del chasis. Ya teniendo todo los parámetros previstos se prosigue a comenzar el proceso de simulación.

Parámetros de la Simulación de la Parte Frontal

A continuación se procederá a los parámetros que el software requiere para simular el choque. Ya calculada la carga esta se aplicara a la parte frontal del chasis donde se

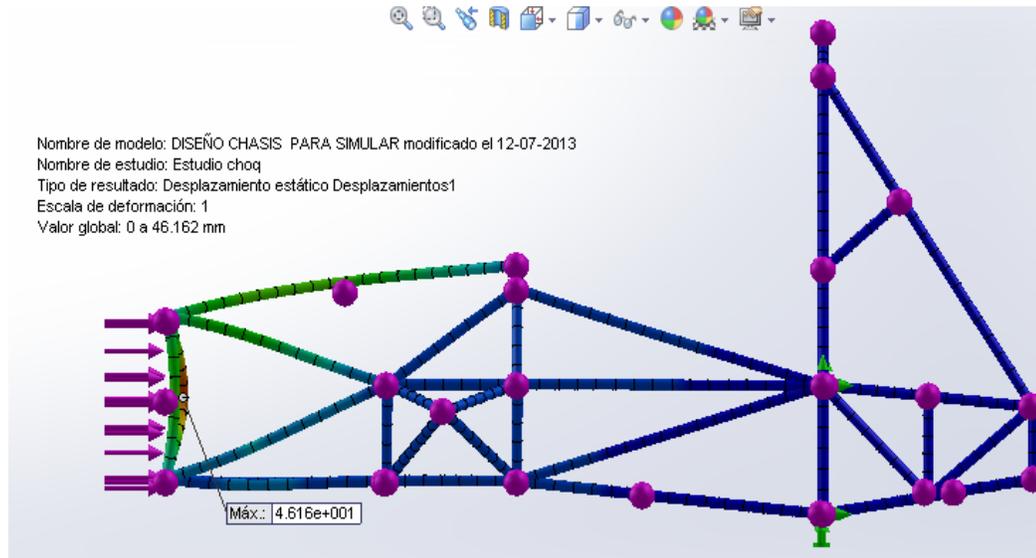
distribuirá por toda su área. Ahora el proceso de simulación consiste de la en seguir una serie de pasos que se mencionan a continuación:

- a) Se fijan los puntos hasta donde se quiere realizar el ensayo, en este caso se hace fijo hasta la parte de atrás de la cabina
- b) Se aplica la carga en la parte frontal del chasis
- c) Se prosigue al mallado del chasis y a la simulación de las cargas



Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 14
Aplicación de sujeciones y cargas



Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 15
Chasis ya Simulado

En la Figura 15 se aprecia una vista lateral del modelo despues de la simulacion, donde se obtuvo desplazamientos unitario (URES) 46, 162 mm en la parte frontal, en el cual el resultado fue sastifactorio ya que el dezplazamiento obtenido es aproximadamente el 25 porciento de la distancia total de la parte frontal hasta deonde deberian ir los pies del piloto.

Modelizacion del Vuelque del Monoplaza

Descripcion del Ensayo

Para este ensayo se va a suponer que el carro por circunstancias dadas haya quedado boca abajo, donde todo el peso del carro lo soportaría el arco principal y el arco frontal, se tomara como masa del carro los 300 Kg que establece la norma ya que este

es el peso máximo promediado en un Vehículo de FSAE, se calculara el peso y se distribuirá equitativa mente entre el arco principal y el arco frontal.

$$P = M * 9,8 \frac{m}{s^2} \quad Ec 6$$

Dónde:

P= Peso del Vehículo en Newton

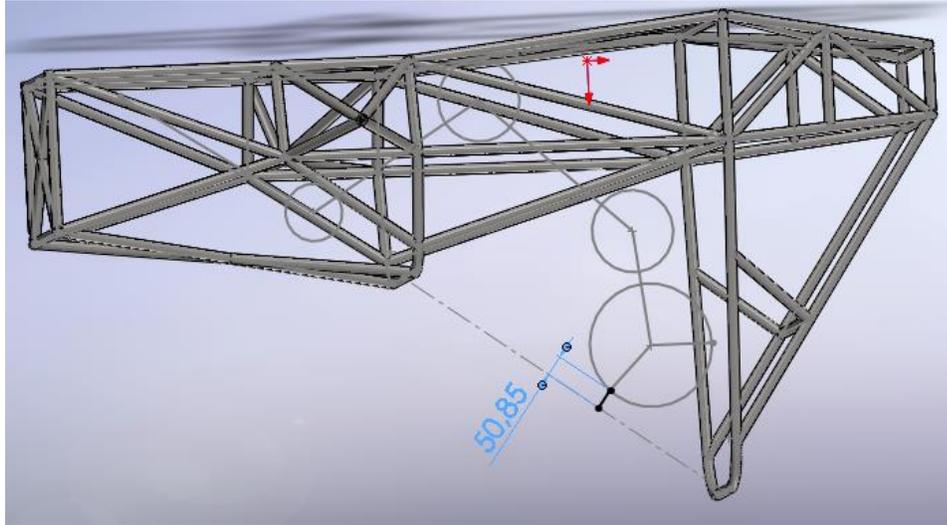
M= Masa del vehículo en Kilogramos

$$P = 300Kg * \frac{9,8m}{s^2} = 2940New$$

El peso total de carro serán 2940 Newton los cuales al dividirse entre dos nos queda que la carga aplicada al arco principal y al arco frontal serán de 1470 Newton a cada uno.

Simulación del Ensayo de Vuelco

Igualmente que en la simulación del choque frontal antes que nada se define el desplazamiento máximo que pueden sufrir los arcos, siendo el arco principal el mas critico ya que este es el que protege el piloto del piso en caso del volteo, en la figura siguiente se muestra el boceto del piloto dentro del chasis.



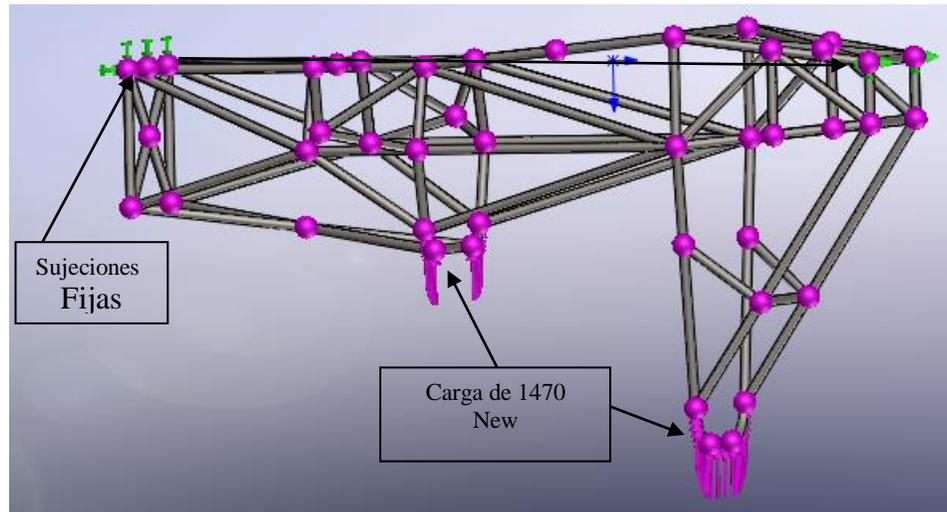
Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 16
Distancia Máxima de Desplazamiento de los Arco

Ya determinada la distancia máxima (50,85mm) de deformación que puede sufrir los arcos para que la cabeza con el casco del piloto no colisione contra el piso se puede proseguir a la realización del ensayo

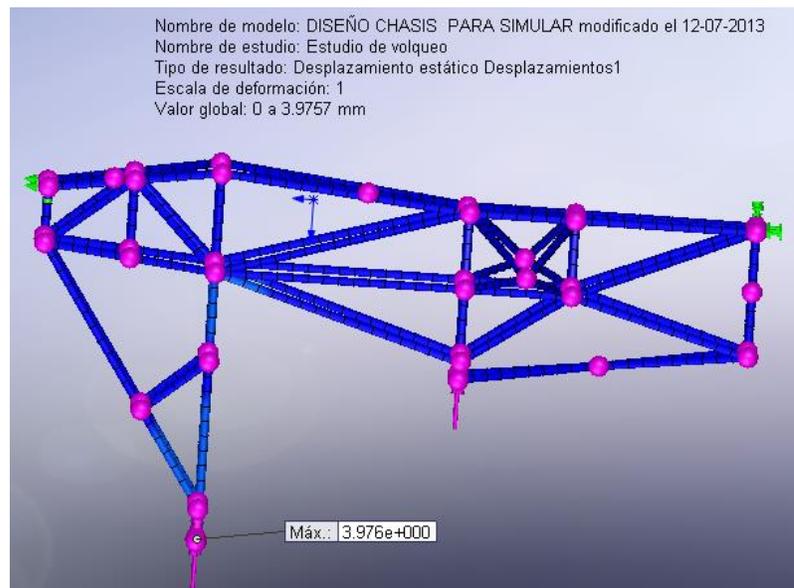
Parámetros de la Simulación del volteo del chasis

Para el ensayo del vuelque se proseguirá colocando la sujeciones fijas en la parte trasera y en la delantera por debajo, la cargas se colocan en los dos arcos como se muestra en la siguiente figura luego se prosigue a efectuar la simulación.



Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 17
Aplicación de Sujeciones y Carga a los Arcos



Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 18
Resultados de la Simulación de los Arcos

En la figura 18 se aprecia la deformación unitaria que sufrió el arco principal, donde la deformación máxima obtenida fue de 3,9757mm un aproximado a 4mm de

deformación.

Modelización del Ensayo de Torsión

Descripción del ensayo

El ensayo de torsión es el más importante de todos los ensayos y es el que va arrojar los verdaderos datos del comportamiento del chasis en pista ya que el esfuerzo de torsión estará presente cada vez que el monoplaza pase por un bache o por un piano de la pista, aunque estos esfuerzos son adsorbidos por la suspensión hay que diseñar el chasis simulando la situación más crítica, por ello se va a suponer una suspensión rígida, es decir como si el chasis adsorbiera directamente los esfuerzos que tendría que adsorber la suspensión. El cálculo de las fuerzas que se somataran en las tijeras viene dado por la capacidad máxima de adsorción de fuerza de los amortiguadores. En combinación con el grupo de suspensión se dé termino una carga máxima de 250 lbf, suponiendo una condición mas critica se tomaran 300 lbf (1334New) de carga, la cual se les trasmitirá a cada una de las tijeras una en sentido contrario de la otra para así crear la torsión en el chasis.

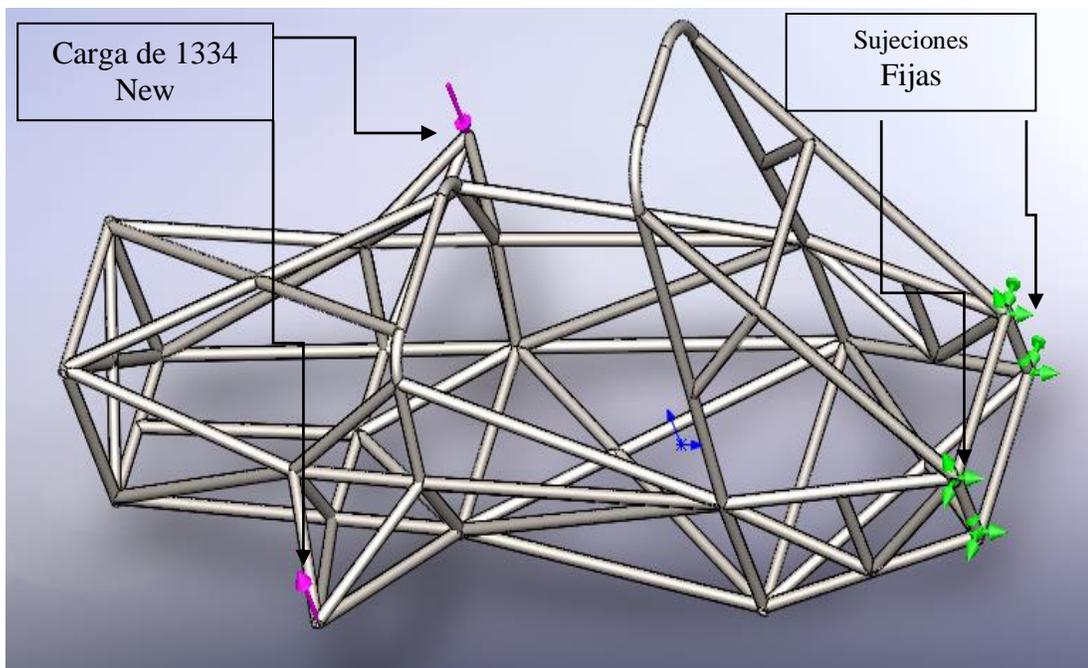
Simulación del Ensayo de Torsión

Antes de iniciar con la simulación se establece las medidas con que se va a regir el ensayo:

- a) Los esfuerzos y tensiones no pueden sobre pasar el límite de tracción del material

- b) Los desplazamientos no pueden sobre pasar los 20mm tantos los unitarios como el desplazamiento en el eje Y
- c) El Factor de seguridad no puede dar menor de uno (1)
- d) La Rigidez torsional se tomara solo como un parámetro para saber que tan rígido es el chasis

Ya teniendo los puntos a estudiar en el ensayo de torsión se procede a colocar fijo el chasis desde la parte de atrás y colocar las cargas en las tijeras como muestra la figura siguiente



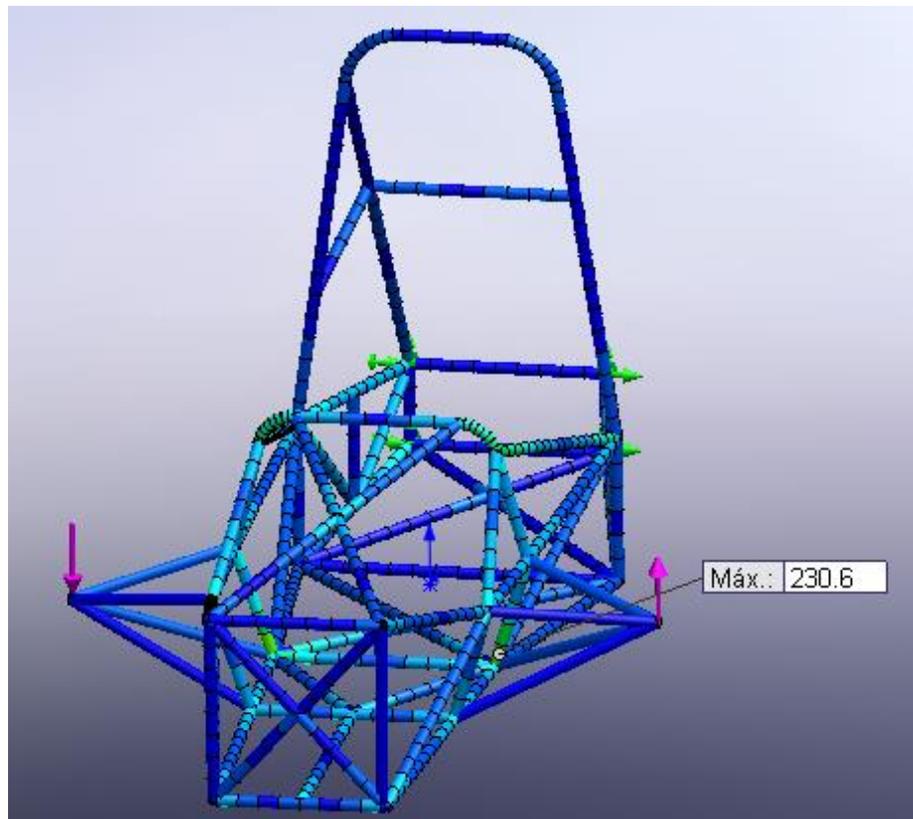
Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 19
Colocación de fijaciones y cargas en el chasis para la Torsión
Resultados de la simulación del chasis en Torsión

A continuación los resultados obtenidos por la simulación de torsión del chasis.

Esfuerzo y Tensiones Máximas

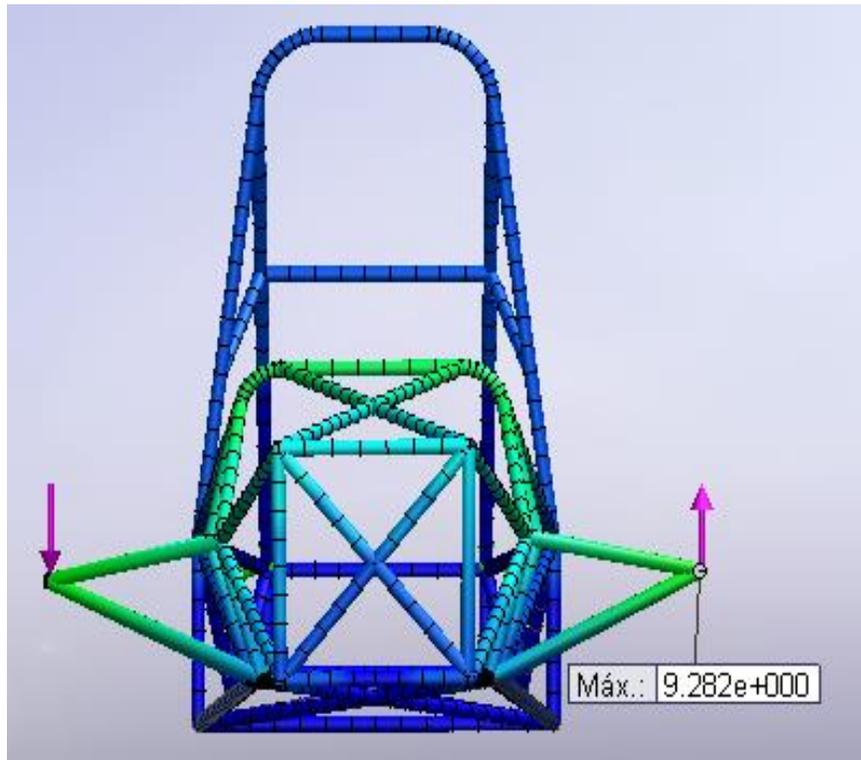
Para esta prueba se encontró un esfuerzo y una tensión máxima de 230,6 Mpa en la parte de abajo del arco frontal es decir que esta es la zona más crítica del chasis aun así los esfuerzo están por debajo de los límites que se colocaron para esta prueba. En la figura siguiente se aprecia el ensayo.



Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 20
Simulación de torsión (esfuerzos)
Desplazamientos Resultantes Máximos Unitarios (URES)

En los desplazamientos máximos se obtuvieron 9,282 mm los cuales son la mitad del límite establecido en la figura 21 se aprecia la simulación

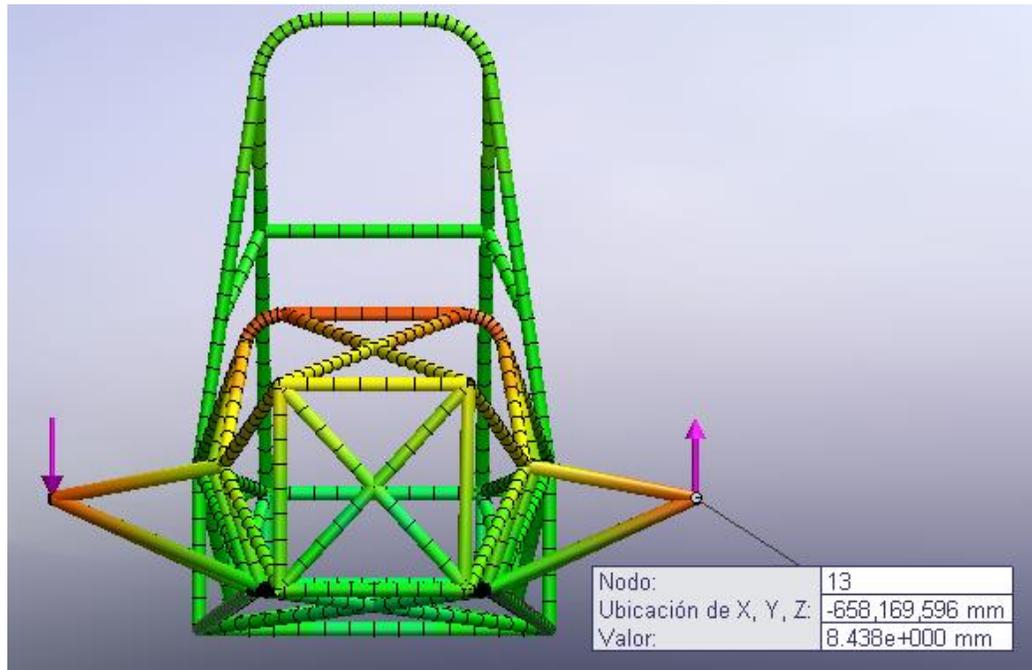


Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 21
Simulación de Torsión (Desplazamientos URES)

Desplazamientos en el Eje Y

El desplazamiento en el eje Y es uno de los más importantes ya que nos proporciona la distancia para calcular posteriormente los grados de deformación los cuales en conjunto con el torque se calculara la rigidez torsional, aunque más adelante se profundizara más esa parte del ensayo de torsión. El desplazamiento obtenido fue 8,438mm un poco más bajo que los desplazamientos unitarios aun así como se dijo anteriormente este ensayo es de base para el ensayo de torsión.



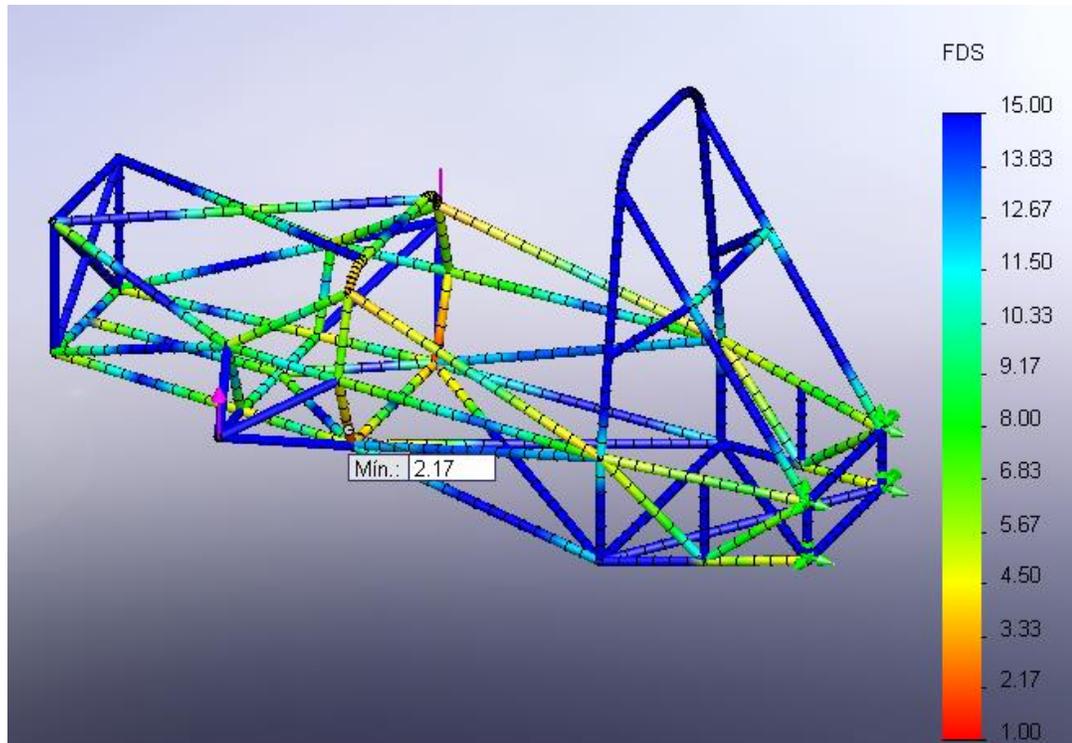
Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 22
Desplazamiento en el Eje Y

Factor de Seguridad

El factor de seguridad brindara la confianza de que el diseño sea seguro y que este aguante todos los esfuerzos, se sabe que en diseño de máquinas el factor de seguridad siempre tiene que ser mayor a uno (1), en los resultados de la simulación de torsión la zona más crítica se obtuvo un factor de seguridad de 2,17 aun así el factor de seguridad aumenta respecto a otras partes del chasis en la siguiente imagen se aprecia el chasis después de calcular el factor de seguridad , donde se ve una barra con una gama de colores con los cuales se identifica el factor de seguridad respecto a los colores del chasis, a medida que se pone rojo el factor disminuye y cuando este se

coloca azul el factor aumenta.



Fuente: Buoli. G (2013)

Figura 23
Representación del Factor de Seguridad

Calculo de Rigidez Torsional

El cálculo de la rigidez torsional parte de la Ecuación 2 mencionada en las bases teóricas

$$K = \frac{M}{\phi}$$

Ec 2

Para calcular M donde este es el momento torsor se calcula por la fórmula:

$$M = F * d$$

Ec6

Dónde:

F= Es la carga aplicada en la tijera

d= Es la distancia central de tijera a tijera en metros

$$M = 1334New * 0,60Mts = 800,4New * Mts \approx 800New * Mts$$

Ya teniendo el momento torsor se prosigue a calcular los grados de deformación, para ello se divide la distancia obtenida en el desplazamiento en el eje Y entre la distancia central de las tijeras todo en milímetros, el resultado de esta operación quedara en Radianes pero solo con una sencilla transformación de radianes grados o aplicar una arcotangete en el resultado es suficiente.

$$\phi = \frac{UY}{d}$$

Ec 7

Dónde:

UY= Desplazamiento angular en el Eje Y

d= Distancia del centro de las tijeras

Calculado el ángulo de torsión:

$$\phi = \frac{8,438mm}{600mm} = 0,0140Rad$$

Ahora transformando de Radianes a Grados aplicando arcotangente queda:

$$\phi = \tan^{-1} 0,0140 \text{Rad} = 0,80^\circ$$

Ya calculado el momento torsor y los grados de deformación se prosigue con el cálculo de la rigidez torsional.

$$K = \frac{800N * Mts}{0,80^\circ} = 1000N * \frac{Mts}{\text{grados}}$$

Para saber si se obtuvo una rigidez óptima se compara con la siguiente tabla:

Cuadro 4
Tabla comparativa de Rigidez Torsional

Rigidez Torsional de automóviles comerciales	
Nombre del automóvil	Rigidez Torsional
Rolls Phantom	40.500 Nm/grado
VW Phaeton	37.000 Nm/grado
Porsche Cayenne	36.900 Nm/grado
Lotus Elan	7.900 Nm/grado.
Dodge Viper Coupe	7.600 Nm/grado
Chrysler Durango	6.800 Nm/grado.

Fuente: Calvo. A (2009)

Al comparar la rigidez obtenida con la tabla anterior se juzgara que esta algo baja pero hay que tomar en cuenta que estos son carros comerciales a diferencia del FSAE que es un carro más pequeño, por ello la rigidez obtenida es satisfactoria, aunque es posible aumentar más la rigidez haciendo más triangulación o aumentando la sección

trasversales de tubos ya sea por el diámetro o por el espesor pero todo esto aumentaría el peso del chasis también.

PROCESO DE FABRICACION

Para la fabricación del chasis se lleva a cabo una serie de procesos como es el corte y la preparación de los tubos, la selección de la soldadura, el cálculo del espesor de esta y proceso de soldadura. Dependiendo de la calidad de estos procesos la fabricación del chasis o puede ser muy sencilla o se podría complicar. Por ello se presentan los métodos usados para que futuras generaciones lo sigan y lo mejoren.

Método de Corte y Preparación de los Tubos

Corte de los Tubos

Para el corte de los tubos se usó una tronadora con disco de corte de 14" por ser más económico, en este proceso hay que tener cuidado al cortar los tubos ya que hay que medir bien la distancia del corte y dejar un rango de separación más largo por el material que se pierde, este rango puede ser el espesor del disco de corte que se usa al cortar los tubos. En la figura 23 se aprecia el método de corte usado.



Fuete: Buoli. G

Figura 24
Corte con tronadora

Preparación de los Tubos

Después de efectuar los cortes correspondientes se deben preparar los perfiles de los tubos para empatarlos y aplicar la soldadura, la preparación de los perfiles varía según la colocación del tubo. Si se quiere colocar un tubo que este perpendicular respecto a otro es decir que se forme un ángulo de 90° entre ellos, el corte de los perfiles tienen que ser a 45° , otro tipo de preparación que se la hacen a los perfiles es mediante una piedra de esmeril u otra técnica, la cual le da la forma convexa al perfil para que este empalme apropiadamente en la paredes de los demás tubos.



Fuente: Buoli. G

Figura 25
Preparación de los Perfiles
Método de Soldadura

Selección del Tipo de Soldadura

Antes de hacer cualquier cálculo lo primero que hay seleccionar es el tipo de soldadura con el cual se va a trabajar, esta selección varía según la disponibilidad de maquinarias y por el tipo de material que se desea soldar. Actualmente existen una variedad de técnicas y equipos para soldar. En el caso de la construcción de este diseño, como se posee la disponibilidad de equipos de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido y además de que el material que se usara es AISI 1020 el cual no presenta ningún inconveniente al soldarlo con este tipo de técnica.

Calculo del Espesor de la Soldadura

Para calcular el espesor de la soldadura se comienza seleccionando el tipo de electrodo a usar, en este caso se selecciona verificando las tensiones y esfuerzos máximos del ensayo de torsión que se le efectuó al chasis, y partiendo de esos esfuerzos se selecciona un electrodo que su resistencia a la tracción este por encima. Los esfuerzos máximos obtenido el ensayo de torsión son de 230,6 Mpa si comparamos esta medida con la figura siguiente, la cual contiene una tabla con una variedad de electrodos con una serie de características y entre esas características está la resistencia a la tracción, solo se fija en este valor ya que es por cual se seleccionará el electrodo a usar, al analizar la tabla que aparece en la figura se puede apreciar que la serie E60xx cumple con la resistencia adecuada para soldar el diseño ya que tiene una resistencia a la tracción de 427Mpa.

472 | Mechanical Engineering Design

Table 9-3
Minimum Weld-Metal Properties

AWS Electrode Number*	Tensile Strength kpsi (MPa)	Yield Strength, kpsi (MPa)	Percent Elongation
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

*The American Welding Society (AWS) specification code numbering system for electrodes. This system uses an E prefixed to a four- or five-digit numbering system in which the first two or three digits designate the approximate tensile strength. The last digit includes variables in the welding technique, such as current supply. The next-to-last digit indicates the welding position, as, for example, flat, or vertical, or overhead. The complete set of specifications may be obtained from the AWS upon request.

Fuente: Shigley (8va edición)

Figura 26
Tabla de Propiedades de Electrodos

Ya seleccionado el tipo de electrodo se prosigue a seleccionar el amperaje el cual depende del diámetro del electrodo. El diámetro a usar es de 3/32" y este trabaja con un amperaje de 70 a 90. Ya teniendo todos los parámetros establecidos se prosigue al cálculo de la garganta y del espesor de la soldadura. Para comenzar el cálculo hay que definir a qué tipo de soldadura va hacer si a tope o a filete, en caso del diseño del chasis todas las soldaduras serán a filete, en donde el ancho de la soldadura siempre va hacer 0,707 por la altura de la garganta.

$$b = 0,707 * h$$

Ec 8

Dónde:

b= espesor de la soldadura

0,707= constante de soldadura de filete

h = Altura de la garganta de la soldadura

Como la soldadura va estar sometida a esfuerzos de torsión se selecciona la teoría adecuada de cálculo. En la página 464 del libro diseño de elementos de máquina, octava edición define la formula (9-4), la cual es para cálculo de soldaduras sujetas a torsión y es la siguiente:

$$\tau = \frac{Mr}{J} \quad \text{Ec 8}$$

Dónde:

τ = Resistencia a la tracción del electrodo

M = Par aplicado en el ensayo de torsión

r = Radio del Tubo

J = Segundo momento polar de inercia

De esta fórmula se conocen todo los datos excepto, el segundo momento polar de inercia en donde la ecuación (9-6) del libro diseño de elementos de maquinas la define como:

$$J = 0,707h * Ju \quad \text{Ec 9}$$

Dónde:

0,707 es una constante de soldadura y viene dada por que el tipo de soldadura es en filete

J_u = Segundo momento polar unitario

El segundo momento polar unitario se puede definir por la tabla de la siguiente figura

Table 9-1 Torsional Properties of Fillet Welds*			
Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Polar Moment of Area
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.41hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d[3b^2 + d^2]}{6}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2[b + d]}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2[b + d]}$	$J_u = \frac{[b + d]^4 - 6b^2d^2}{12[b + d]}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{[b + d]^3}{6}$
	$A = 1.414\pi r$		$J_u = 2\pi r^3$

Fuente: Shigley (8va edición)

Figura 27
Propiedades de la Soldadura por Filete

Como nuestra soldadura rodeara el tubo esta será una soldadura circular y mediante la tabla se prosigue a seleccionar la J_u .

$$J_u = 2\pi r^3$$

Ec 10

Sustituyendo la ecuación 10 y 9 en 8 queda la ecuación como sigue.

$$\tau = \frac{Mr}{0,7072h\pi r^3}$$

Ec 11

Despejando h de la ecuación 11 queda:

$$h = \frac{M}{0,7072\pi r^2 \tau} \quad E12$$

Calculando h

$$h = \frac{800000 \text{New/mm}}{0,707 * 2\pi((12,7\text{mm})^2 * 427 \text{New/mm}^2)} = 2,614\text{mm}$$

Calculando el espesor de la soldadura:

$$b = 2,614 * 0,707 = 1.84\text{mm} \approx 2\text{mm}$$

Con los valores de espesor y altura de garganta ya calculado se puede comenzar con el trabajo de construcción.

Costos de Fabricación

Los costos de fabricación se reflejaran mediante la siguiente tabla.

Cuadro5
Costos de Fabricación

Materiales y manufactura	Cantidad	Precio C/U en Bs	Total
Tubos de acero AISI 1020	30mts	194 cada 6mts	970Bs
Electrodos E6013	5 Kg	80	400Bs
Disco de corte de 14"	3	120	360Bs
Muela de esmeril de banco	1	150	150Bs
Mano de obra	5 Días	200 el Día	1000Bs
Pinturas plateada	1/4 Galón	150Bs	150Bs
Pintura de Fondo	1/4 Galón	120Bs	120Bs
Total de los costos de fabricación	3150Bs		

Fuente: Buoli. G (2013)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los diversos resultados obtenidos se exponen las siguientes conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones

1. La obtención del modelo final se basa de un análisis de campo metodológico del diseño de otros chasis de diferentes equipos y un estudio del reglamento impuesto por la norma FSAE, se podría decir que el chasis básicamente esta estandarizado pero con un cierto grado de modificaciones permisibles para que los equipos tengan originalidad en el diseño también.

2. De los ensayos efectuados con el software solidwork se consiguieron resultados satisfactorios en los cuales se tienen:

a) Los desplazamientos obtenidos en la prueba de choque frontal se logró un que el chasis solo desplazara 46,162 mm, siendo el desplazamiento máximo 198,36

b) En la prueba volteo el arco principal solo se deformato 3mm donde el desplazamiento máximo es de 50,4mm. En esta prueba también se alcanzó el objetivo.

c) En el ensayo de Torsión fue donde se midieron las tensiones y esfuerzos máximos siendo este el más importante ya que si en este ensayo se fallaba se tendría que rediseñara o aumentar algunos perfiles de tubos. Pero los resultados fueron

satisfactorios. Ya que se obtuvo un esfuerzo máximo de torsión de 230,6 Mpa en comparación con el límite elástico del acero AISI 1020 los cuales son 351 Mpa, es decir que la deformación del chasis nunca va a llegar a la zona plástica del material si no que se va a comportar elásticamente siempre que no exceda las cargas con que se simuló, de igual forma estas cargas simulan la condición más crítica en que el chasis puede estar en pista.

3. Con respecto a la factibilidad de costos de construcción siempre y cuando se produzca con acero sencillo al carbono y se le aplique soldadura con arco eléctrico con electrodo revestido los costos no son altos, el chasis se construyó con un costo total de 3150 Bs. Aunque estos pueden elevarse si se quiere mejorar el diseño y utilizar otros aceros aleados y otro método de soldadura.

4. Por último puede destacar que con la realización de este proyecto se demuestra que se puede producir proyectos funcionales los cuales le traerá más prestigio a la universidad y los alumnos de esta podrán ver y palpar el primer componente del Formula SAE que se está construyendo en la institución trayendo más ánimos al equipo para seguir producción los demás componentes

Recomendaciones

1. Para mejor los diseños venideros del chasis se debe hacer un análisis metodológico se recomienda comenzar analizar los chasis de equipos ganadores en la competencia FSAE como ver de qué acero son construidos, si son tubulares o monocasco, las

dimensiones que estos poseen. Toda esta información será muy útil para el inicio del diseño del chasis.

2. Cada vez que se termina de diseñar un chasis este debería tener un rigidez torsional mayor que el anterior pero siempre intentando disminuir o mantener el mismo peso del chasis, esto se consigue analizando el diseño, eligiendo materiales adecuados y livianos, el proceso de diseño del chasis es algo continuo, cada día se podría modificar algo nuevo ya sea para disminuir el peso o para aumentar la rigidez por lo que se recomienda establecer por lo menos 3 diseños diferentes y compararlos.

4. la recomendación más importante es sobre el material a elegir, normalmente los grandes equipo de Formula SAE diseñan en base al acero aleado Cromo-Molibdeno esto por sus altas propiedades. En nuestro país es un poco complicado conseguir este acero además que su costo es elevado. La recomendación es que no importa qué tipo de acero se use, solo que siempre cumpla con la norma FSAE, ya que la competencia no está hecha para ver quién puede diseñar con lo mejor sino quien puede diseñar lo mejor con los menores recursos posibles.

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Chasis: Estructura que soporta las cargas de un vehículo y protege al piloto

Compresión: Acción y efecto al cual un cuerpo está sometido a fuerzas paralelas a su eje transversal y tiende a comprimir el cuerpo.

Esfuerzo: Fuerza que tiende a deformar a un material por flexión, compresión, tracción, torsión o cizallamiento.

Esfuerzo de Fluencia: Este es el último esfuerzo que soporta un material antes de deformarse plásticamente

Esfuerzo Último: Este es el último esfuerzo que soporta un material antes de romperse

Flexión: Acción y efecto a doblarse de un cuerpo al cual está sometido a fuerzas perpendiculares a su eje transversal.

Módulo de Elasticidad: Es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.

Rigidez: Aquello que posee la particularidad de ser rígido es decir, que no puede ser doblado o que resulta riguroso, inflexible y severo

Rigidez Torsional: es la relación entre el momento torsor aplicado en uno de sus extremos y el ángulo girado por este extremo, al mantener fijo el extremo opuesto

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez A (2012) Diseño de chasis para vehículo FSAE. Disponible: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/15756/1/pfc_antonio_garcia_alvarez_2012.pdf [Consulta: 2012 Noviembre]

Calvo A. (2009) Diseño y Análisis de un Chasis para un Prototipo de Fórmula SAE. Disponible: <http://es.scribd.com/doc/38968086/Analisis-y-diseno-de-un-chasis-formula-SAE> [Consulta 2012 Diciembre]

Espada P. (2009) Estudio de Diseño de un Chasis Tubular Mediante los Elementos Finitos. Disponible: http://cybertesis.uni.edu.pe/uni/2009/espada_gp/html/index-frames.html [Consulta: 2012 Diciembre]

Ferrum C.A (2012) Catalogo y descripciones de aceros. Impresión 5000.

Grupo Team UCV SAE. <http://www.teamhardwarevzla.com/2012/10/conociendo-al-equipo-de-formula-sae-ucv/> [Consulta: 2012 Noviembre]

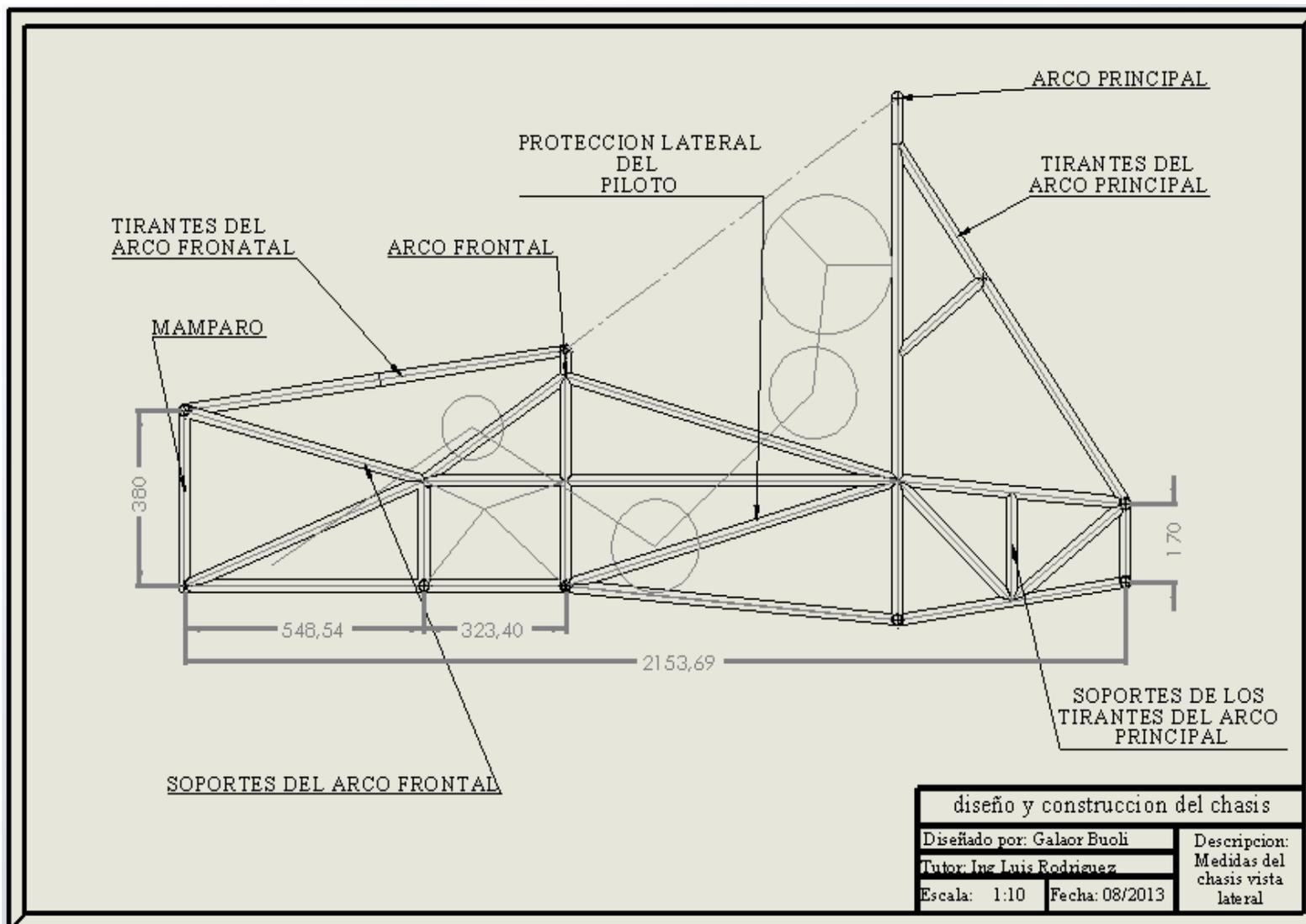
Joseph W (2009) Tecnicas y Practicas de la Soldadura. Caracas: Editorial Reverte

Formula SAE (2013) Disponible: <http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/> [Consulta 2012 Noviembre]

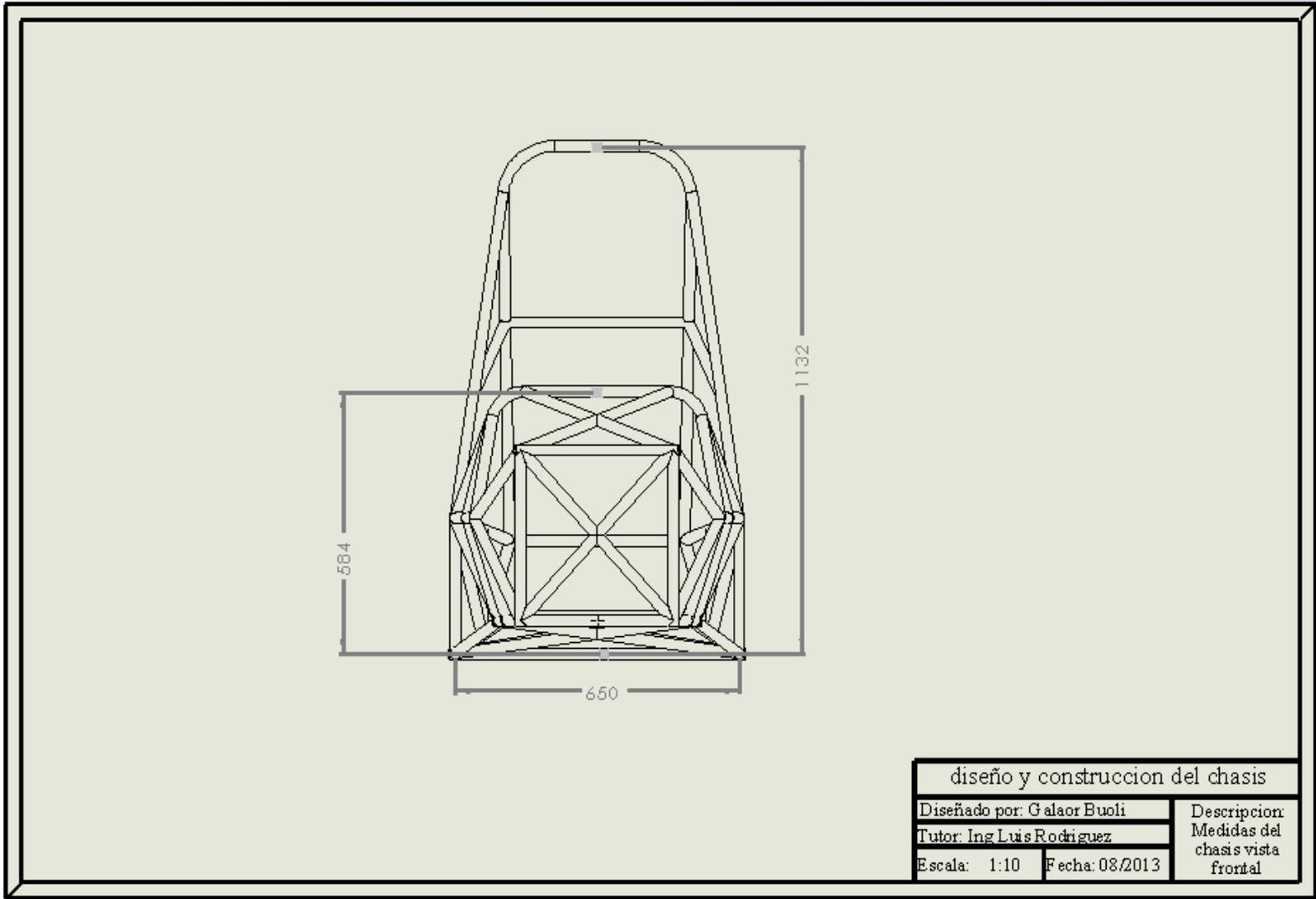
Pérez, A. (2009). Guía Metodológica para Proyectos de Investigación. Caracas: Editorial FEDUPEL.

Revista De tecnología de Soldadura (2012) Weld+Vision. Revista numero 27

Anexos
(Vista Lateral del Chasis)

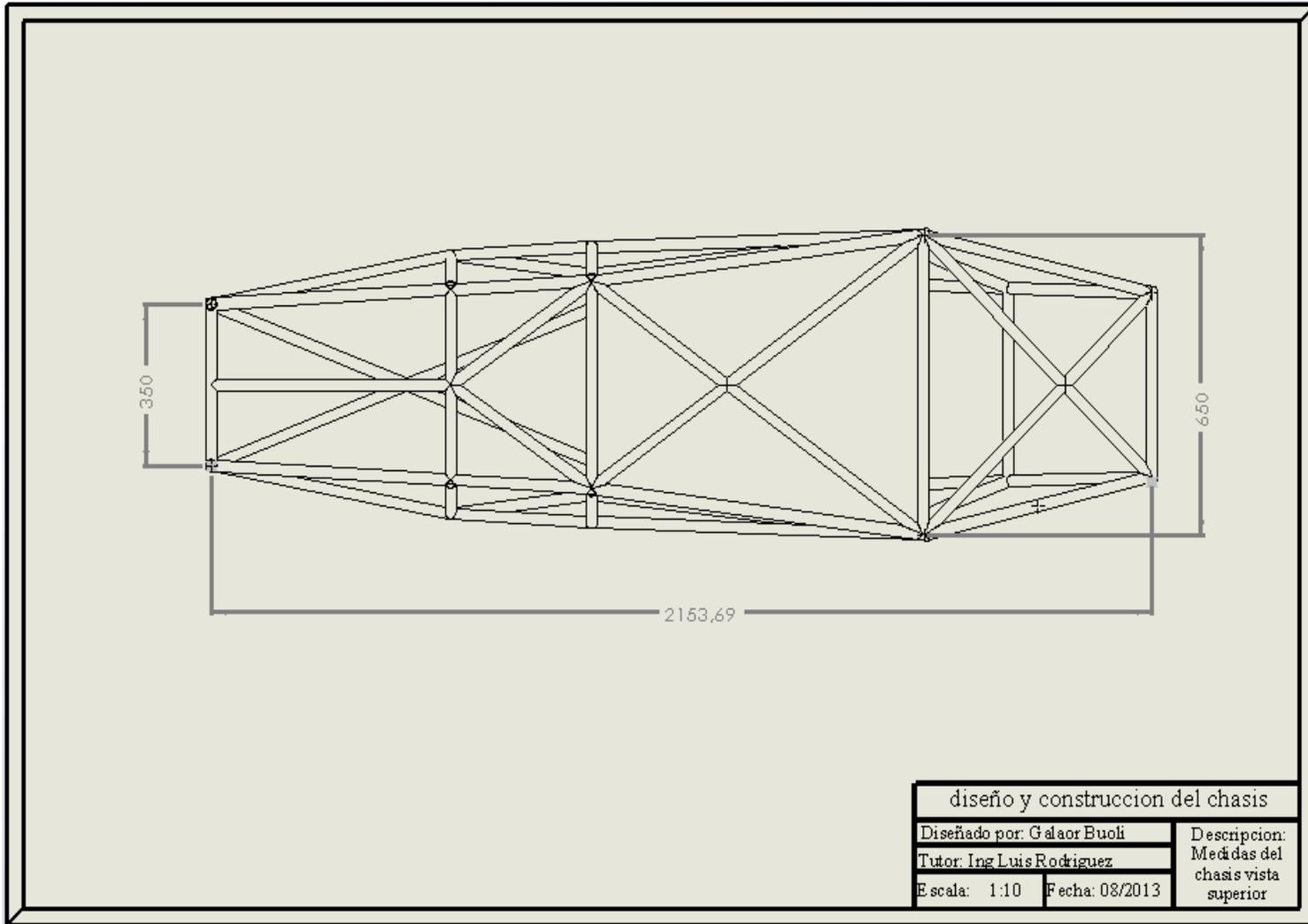


Anexos
(Vista Frontal del Chasis)



diseño y construcción del chasis		
Diseñado por: Galaor Buoli		Descripción: Medidas del chasis vista frontal
Tutor: Ing Luis Rodriguez		
Escala: 1:10	Fecha: 08/2013	

Anexos
(Vista Superior del Chasis)



Anexos
(Fotos de la construcción del chasis)



