

---

---

## Diseño de chasis para un monoplaza formula SAE

Rene Alberto Valenzuela Nájera, David Atayde Campos, Carlos Felipe Ramírez Espinoza, Carlos Ponce Corral, Cesar Leonardo González Pinzón, Raúl Ñeco Caberta, Jesús Rodarte Dávila, Jaime Romero González

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### RESUMEN

Fórmula SAE es una competencia internacional universitaria en la que los estudiantes deben diseñar, fabricar y pilotar un vehículo monoplaza tipo fórmula. El equipo de estudiantes debe organizarse como una empresa donde, además de diseñar y fabricar un monoplaza ajustándose a unas condiciones técnicas, es necesario gestionar los recursos disponibles cumpliendo con unas condiciones económicas y también se trata de comercializarlo. De esta manera, entran en juego las áreas de diseño, producción y compras para fabricarlo, seguidas de las áreas de marketing y comunicación para comercializarlo. El presente informe describe una propuesta de diseño de un chasis para un monoplaza formula SAE en base al estudio de la estructura y materiales de fabricación. En el estudio se realizan además del modelado del diseño, el comportamiento estructural por medio del análisis por elementos finitos, utilizando como variables de control las especificaciones establecidas en la sección de diseño y construcción de chasis del reglamento de competencia FSAE 2013.

**Palabras clave:** FSAE; chasis; diseño; CAD.

### INTRODUCCIÓN

A mediados de los 70, varias universidades comenzaron a albergar competiciones de diseño de vehículos concebidos por estudiantes universitarios. En una de esas competiciones, gracias al juez de diseño Fred Stratton de Brigg & Stratton Corporation (B&S) y a algunos compañeros, se estableció la conexión SAE/B&S. Con el apoyo de ambas instituciones, surgió el campeonato llamado SAE-Mini Baja. Su éxito, empujó a la organización SAE (Society of Automotive Engineers) a apoyar este evento, extendido a todas las universidades norteamericanas que quisieran participar. La primera competencia SAE-Mini Baja fue en 1976, la cual se centraba en potenciar la creatividad de diseño de un chasis, ya que era B&S la que

proporcionaba los motores, todos idénticos y sin posibilidad de modificación.

En 1978, Kurt Marshek de la Universidad de Houston (Texas), contactó con la organización SAE para proponerles un modo nuevo de competencia, basado en la SAE-Mini Baja pero sujeto a varias modificaciones. Así, surgió la competencia SAE-Mini Indy que tuvo lugar en el campus de dicha universidad en 1979. Los motores utilizados fueron proporcionados de nuevo por B&S. En 1980, tres estudiantes de la Universidad de Texas (Austin), propusieron un nuevo modo de competencia, potenciando un estilo de campeonato en el que las reglas fueran más abiertas y en el que los estudiantes no sólo disecaran el chasis sino que también pudieran modificar el motor. Para diferenciar este nuevo modo de competición, ésta cambia de nombre, así

se adopta su actual denominación: Formula SAE.

En 1981 se celebró la primera competencia a nivel nacional. Se presentaron tan sólo cuatro universidades norteamericanas, pero el evento tuvo tal éxito que el año siguiente se continuó realizando, incorporando nuevas normas y nuevas categorías de forma que los equipos pudieran elegir entre competir con los motores proporcionados por B&S o con sus propios motores facilitados por grandes empresas automotrices como Kawasaki, Honda o Suzuki.

La UACJ empieza a participar en las competencias de Mini Baja SAE organizada por la misma SAE en el año 2009, sin embargo no existen antecedentes ligados o relacionados con Formula SEA dentro de la institución. De ahí nace el interés para desarrollar una propuesta que pueda ser base para las futuras generaciones de la Ingeniería en Sistemas Automotrices e Ingenierías relacionadas con el área industrial y manufactura.

Es importante mencionar que tanto el reglamentos de fabricación y competencia entre un Mini Baja y un Formula SAE difiere en el nivel de exigencia de fabricación de acuerdo con las cualidades y características de funcionamiento de cada vehículo en su medio de desempeño. De ahí la necesidad de diseñar y proponer este prototipo, que en base a los análisis que se realicen serán de suma importancia para determinar el diseño resultado final del chasis del monoplaza Formula SAE, con apego a las metodologías para el desarrollar un diseño que cumpla con los siguientes requerimientos:

- La estructura de cabina abierta del monoplaza debe adaptarse al a la fisionomía del conductor, que finalmente es lo más importante.
- Se deben contemplar aspectos y lineamientos de la competencia Formula SEA, lo que nos delimita y da la pauta para comenzar con el diseño.
- Buscar el optimizar el comportamiento de la estructura simulando las condiciones de la carrera y eventos que no pongan en riesgo la seguridad.

El objetivo general es el diseñar un chasis monoplaza para un vehículo categoría Formula SAE delimitado por las Reglas que competen a la estructura del chasis y fabricación del mismo, dentro del Reglamento Formula SEA 2013, determinar los materiales que resistan y optimicen las funciones para las cuales se diseña y fabrica dicho chasis y realizar los análisis estructurales para validar el diseño final del chasis mientras se documentan las mejoras o modificaciones que se realicen.

## **DISEÑO DE CHASIS PARA MONOPLAZA FORMULA SAE**

En la manufactura de la industria automotriz, uno de los aspectos más importantes es el diseño de los diferentes sistemas que conforman el vehículo, pudiendo partir del “esqueleto” del automóvil, el chasis.

El chasis se puede considerar el componente más significativo, ya que tiene como función principal el soportar y fijar los distintos componentes que conforman un vehículo, como lo son el sistema de dirección, sistemas de frenos, suspensión, transmisión y carrocería, logrando la

relación entre ellos. El motor puede ser fijado al chasis por medio de puntos de anclaje intentando impedir que las vibraciones se transfieran al chasis y por consiguiente al conductor. El chasis debe aportar la rigidez, estabilidad y forma de la carrocería del vehículo dependiendo de su aplicación.

En vehículos diseñados para competición existen dos tipos de chasis, los monocasco y los tubulares, siendo los monocasco los que integran el chasis a la carrocería, a diferencia de los tubulares que conforma un sistema distinto a la carrocería generalmente son construidos por secciones rectangulares, siendo de fabricación más sencilla y frecuentemente utilizados para vehículos de competición debido a que son más resistentes a la torsión. Un chasis adecuado debe considerar finalmente la rigidez, el peso y el espacio. Competiciones inferiores a Formula 1 utilizan en su mayoría el chasis convencional, reforzándolo con estructuras tubulares internas, las cuales aportan resistencia ante colisiones y volcaduras, como es el caso de los vehículos Rally.

En la actualidad la seguridad del conductor es uno de los puntos principales en la generación de un chasis, los nuevos diseños deben amortiguar los impactos en choques frontales, de forma que, parte de las fuerzas que son resultado del mismo choque sean absorbidas en la deformación del chasis, impidiendo que las fuerzas se transmitan al conductor. Existen diseños con una serie de agujeros y acotaduras que despliegan el chasis y sus fuerzas de forma de no afectar la cabina o habitáculo.

#### *ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN CHASIS FORMULA SAE*

A continuación se definen los elementos principales que componen el chasis de un monoplace Formula SAE:

1. Arco principal: Una barra antivuelco situada por detrás del conductor.
2. Arco frontal: Una barra antivuelco situado por encima de las piernas del conductor, en la proximidad del volante.
3. Arcos de vuelco: Tanto el arco frontal y el arco principal se clasifican como "Arcos de vuelco".
4. Zona de impacto lateral: El área de la parte del vehículo que se extiende desde la parte superior del suelo hasta 350 mm (13,8 pulgadas) por encima del suelo desde el arco delantero hasta al arco principal.
5. Atenuador de impacto frontal (plano frontal): Una estructura frontal que define el plano delantero de la estructura principal, su función es brindar protección a los pies del conductor.
6. Triangulación de nodo a nodo: La rigidez torsional puede reducirse al agregar una barra transversal a las estructuras rectangulares del chasis, así los nodos de la barra absorberán las cargas aplicadas, evitando deformaciones y mayor rigidez a la estructura del vehículo. Esto es también lo que se entiende por "correctamente triangulada".

#### *ASPECTOS DE DISEÑO PARA LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS FORMULA SAE*

Se deben contemplar aspectos para la fabricación de un chasis como son:

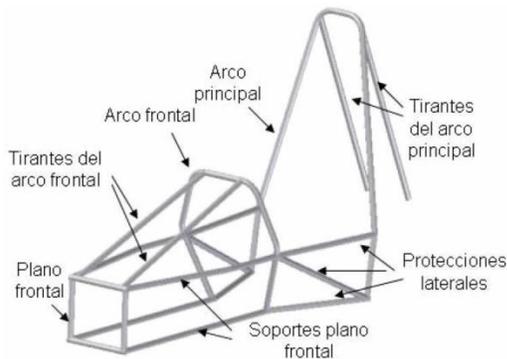


Fig. 1. Elementos principales del chasis de un vehículo Formula SAE

- Hay elementos que no forman parte directa de la estructura pero que aportan rigidez y han de tenerse en cuenta, como por ejemplo el motor.
- Rigidez: el buen funcionamiento del chasis va ligado a la rigidez y resistencia del mismo ante impactos, lo que juega un papel muy importante en la seguridad del piloto.
- Ligereza: el rendimiento del motor y su potencia puede mejorar de forma significativa si el chasis es de poco peso, evitando con esto el desperdicio de potencia, tomando en cuenta que el chasis es uno de los elementos de mayor peso que conforman un vehículo.
- Los elementos que soportan las mayores masas del vehículo deben anclarse en los nodos.
- Si se utilizan materiales con menor módulo elástico  $E$  como el aluminio o el titanio en tubos que estén sometidos a esfuerzos importantes, será necesario aumentar la sección o cambiar la disposición de algunas barras para conseguir los mismos resultados.

## DISTRIBUCIÓN DE MASAS

Parte fundamental en el desempeño del vehículo es el centro de gravedad, entre más bajo sea es posible que se pueda evitar el balanceo en la suspensión de las pruebas de pista, por lo que es de suma importancia el determinar desde el diseño donde estarán situados los componentes del vehículo, debiendo considerar que el centro de gravedad debe estar por delante del centro de presiones al tener una vista lateral del chasis, lo que suma estabilidad ante ráfagas de viento. Para vehículos Formula SAE no existe tanta libertad para situar las masas del mismo, por lo que la posición del centro de gravedad es muy limitada.

Una de las mayores masas del monoplaza es el motor, por lo que debemos considerar su peso y las cargas ejercidas por el mismo al tomar una curva, acelerar o realizar una frenada (valores en "g"). El motor funciona como elemento de unión entre la sección destinada para el piloto y la parte trasera del chasis, donde se encuentra el eje posterior. Los puntos de anclaje del motor añaden mayor rigidez al chasis.

Al momento de diseñar el chasis se consideraran las masas de:

- El peso de la batería del vehículo, las cuales pesan alrededor de 9 kg y se instalan por detrás del piloto, justo debajo del arco de seguridad.
- El tanque de combustible, se deben considerar los litros que requiere el monoplaza para las distintas pruebas, calcular el peso del combustible para cada situación.

- El piloto, como un peso estándar se tomaran 75 kg, siendo este el más importante, ya que todo debe ser pensado en su seguridad y bienestar.
- El diferencial, colocado en la parte trasera del chasis, cerca de los anclajes del motor.
- Otros elementos como los ejes de las ruedas, suspensión, transmisión y dirección.

Para el diseño, se consideraron las siguientes masas:

- Peso aproximado del piloto = 75 kg  
( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 735 N
- Peso aproximado de un motor de 600 cc  
= 58 kg ( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 564.8 N
- Peso aproximado de la batería = 9 kg  
( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 88.2 N
- Peso aproximado de los sistemas (ruedas, suspensión, transmisión, dirección) = 70 kg ( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 686 N
- Peso aproximado de la carrocería = 15 kg  
( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 147 N
- Peso calculado del chasis = 50.99 kg  
( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 499.702 N

### CARGAS APLICADAS EN EL CHASIS

Al diseñar una estructura se contemplaron también las cargas que recibe el chasis, sin dejar al lado ninguna carga estructural, aun combinando situaciones desfavorables. Con esto se consideraron como:

- Carga muerta: aquellas cargas de magnitud constante que están fijas a la estructura, contempla el peso total del chasis con las partes funcionales ya instaladas o ensambladas, en pocas palabras una carrocería terminada y funcional. Debemos determinar las dimensiones y pesos de las partes, definiendo un estimado en comparación con un chasis similar o en los estándares de la competencia.
- Carga viva: es aquella carga del ocupante, debe estar distribuida uniformemente en la estructura del chasis y cumplir con el reglamento de la competencia. Estas cargas pueden cambiar de magnitud.
- Carga del frenado: es la fuerza que se produce al frenar el vehículo, está en un rango de desaceleración mayor o igual a  $4\text{m/s}^2$ .
- Carga de aceleración: es la fuerza producida al acelerar bruscamente el vehículo.
- Carga por resistencia aerodinámica: esta fuerza se genera del aire que actúa en el área de proyección del vehículo de forma perpendicular a su eje longitudinal, utilizando la siguiente fórmula:

$$Raf = 1/2 * Cx * p * Af * V^2 \quad 1$$

donde:

- Raf = carga por resistencia del aire,
- p = densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ ),
- V = velocidad del aire (m/s),
- Af = área de proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal ( $\text{m}^2$ ), y

$C_x$  = coeficiente aerodinámico.

- Cargas de impacto: estas fuerzas se producen por efecto de eventos desafortunados como son los choques y volcaduras, pudiendo considerarla la carga de impacto más significativa ya que implica la seguridad del piloto. Estas cargas se clasifican como:
  - ❖ Carga de impacto frontal: se asume un incremento de la masa del vehículo de 8 g.
  - ❖ Carga de impacto lateral: se asume un incremento de la masa del vehículo de 4 g.
  - ❖ Carga de impacto superior: se asume un incremento de la masa del vehículo de 2 g.

### CONSIDERACIONES DE ESPACIO

Existen puntos importantes que pueden convertirse en restricciones dimensionales al diseñar un chasis Formula SAE, como lo son el acceso a las partes mecánicas del vehículo desde la cabina en caso de avería y las restricciones del reglamento de competición en cuanto a las dimensiones del habitáculo en consideración del piloto, en la que se cuente con una suficiente línea de visión y espacio suficiente para las piernas del piloto en la parte frontal del chasis. La línea de visión del piloto debe estar por encima del arco frontal del chasis y el piloto debe salir

fácilmente con un máximo de 5 segundos del vehículo.

### REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO

**Distancia entre ejes.** El vehículo para el cual se diseña la estructura debe tener una distancia entre ejes de al menos 1525 mm. La distancia entre ejes se mide desde el centro de contacto con el suelo de la rueda delantera, al centro de contacto con el suelo de la rueda trasera.

**Estructura.** Entre otros requisitos, la estructura del vehículo debe incluir dos arcos antivuelco que se apoyan, una estructura delantera que sirva como atenuador de impacto, y las estructuras de impacto lateral.

**Material.** La estructura primaria del coche debe ser construida de tubos de aceros al bajo carbono o de aleación (mínimo 0.1% de carbono) de las dimensiones mínimas indicadas en la tabla 1.

Las propiedades del acero que se utiliza en la estructura del chasis no deben ser menores a las definidas a continuación:

- Doblado y pandeo cálculos de resistencia: Módulo de Young (E): 200 GPa (29 000 ksi)

Límite elástico: 305 MPa (44,2 MPa)

Tensión de ruptura: 365 MPa (52,9 MPa)

Tabla 1. Especificaciones de materiales para la estructura del vehículo FSAE

Elemento o Aplicación	Sección Tubular	Dimensión Exterior X Espesor
Arco principal y arco frontal	Circular	25.4 mm X 2.40 mm ó
Soporte para los hombros del piloto		25.0 mm X 2.50 mm
Protección contra impacto lateral	Circular	25.4 mm x 1.65 mm ó
Protección contra impacto frontal		25.0 mm x 1.75 mm ó
Fijación del arnés de retención del conductor	Rectangular	25.4 mm x 1.60 mm
		25.0 mm x 25.0 mm x 1.25 ó 26.0 mm x 26.0 mm x 1.2 mm
Soportes del plano frontal y de los arcos principales y auxiliar.	Circular	25.4 mm x 1.25 mm ó
		25.0 mm x 1.50 mm ó
		26.0 mm x 1.20 mm

**Arcos de seguridad.** Los arcos de seguridad del vehículo se diseñan bajo las siguientes especificaciones

- La cabeza y las manos del conductor no debe tocar el suelo en cualquier posición de vuelco.
- El marco debe incluir tanto un arco principal y un arco frontal, como se muestra en la Fig. 2.
- Cuando el piloto esté sentado normalmente y restringido por el sistema de seguridad, el casco del conductor debe:
  - a) Tener un mínimo de 50,8 mm entre la parte superior del casco y la tangente formada desde la parte superior del arco principal, a la parte superior del arco frontal. (Fig. 2a)
  - b) Tener un mínimo de 50,8 mm entre la parte superior del casco del piloto y la tangente formada desde la parte superior del arco principal,

al extremo inferior del arco de refuerzo principal. (Fig. 2b)

- c) El casco del piloto no debe ir detrás de la superficie del arco principal, si el arco de refuerzo principal se extiende hacia delante. (Fig. 2c)

La posición del piloto se debe realizar como se explica a continuación: (Ver Fig. 3)

- El asiento se puede ajustar a la posición más retrasada.
- Los pedales se colocará en la posición más adelantada.
- El círculo superior (A) de 300 mm se puede colocar no más de 25,4 mm del apoyacabezas (es decir, donde normalmente se encuentra el casco del conductor durante la conducción).
- El círculo central (B) de 200 mm, que representan los hombros, se colocará en la parte posterior del asiento.

- El círculo inferior (C) de 200 mm se colocó en la parte baja del asiento de tal manera que la distancia entre el centro de este círculo y la cara posterior de los pedales no sea menos de 915 mm.

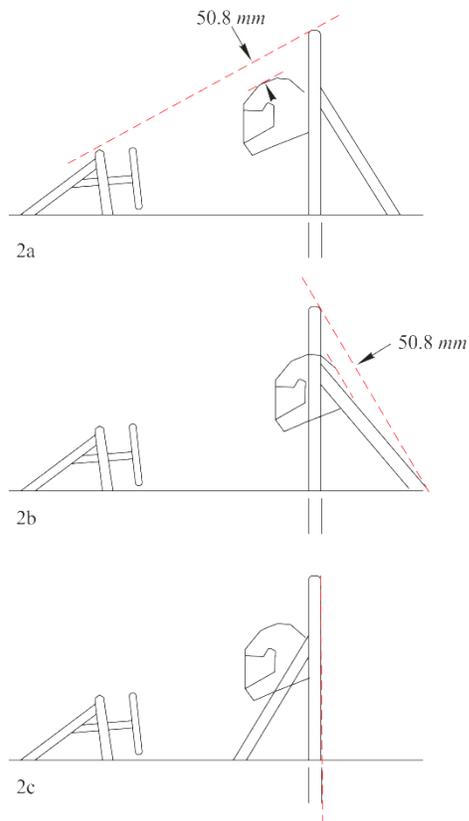


Fig. 2. Geometría de los arcos de seguridad.

### ***Arco principal.***

- El arco principal deberá ser de una sola pieza de tubo de acero, sin cortar, de las características de espesor y diámetro vistas anteriormente.
- Se prohíbe el uso de aleaciones de aluminio, aleaciones de titanio o

materiales compuestos para el arco principal.

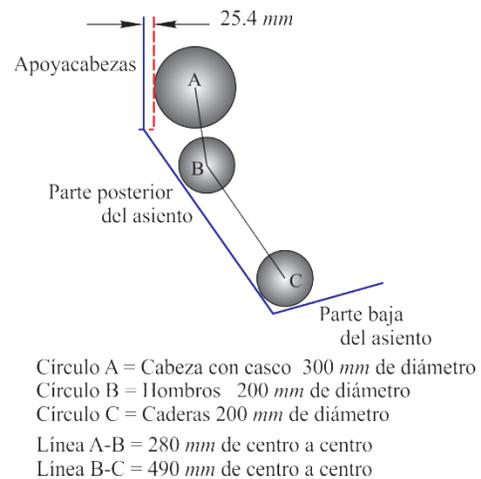


Fig. 3. Representación lateral del piloto en la cabina en 2D.

- El arco principal debe extenderse desde la parte más baja del chasis en una vista lateral, y de forma envolvente hasta la parte más baja del chasis en el otro lado.
- En la vista lateral del vehículo, la parte del arco principal que se encuentra por encima del punto unión de la estructura principal debe tener una inclinación menor de diez grados ( $10^\circ$ ) con la vertical.
- En la vista frontal del vehículo, los elementos verticales del arco principal debe estar al menos 380 mm separado del lugar donde el arco principal está unido con el resto del chasis.

### ***Arco frontal***

- El arco frontal deberá ser de tubo de acero de las mismas características que el arco principal.
- El arco delantero debe extenderse desde el punto más bajo de un lado del chasis en una vista lateral, y de forma envolvente hasta la parte más baja del chasis en el otro lado.
- Con la triangulación apropiada, se permite fabricar el arco frontal de más de una pieza.
- La superficie del arco frontal no deberá ser inferior a la parte superior del volante en cualquier posición angular.
- En una vista lateral, ninguna parte del arco frontal puede estar inclinado más de veinte grados ( $20^\circ$ ) sobre la vertical.

#### ***Refuerzos de arco principal***

- Los refuerzos del arco principal deberán estar contruidos con tubos de acero de la misma sección mencionada en los dos arcos.
- El arco principal debe ser reforzado por dos tirantes que se extiendan hacia adelante o hacia atrás, pero estos no podrán estar al mismo lado al que se inclina (en caso de que se incline) el arco principal.
- En la vista lateral del chasis, el arco principal y los refuerzos no debe estar en el mismo lado de la línea vertical que pasa por la parte superior del arco principal, es decir, si el arco principal se inclina hacia adelante, los tirantes

deben ser hacia atrás del arco principal, y si el arco principal se inclina hacia atrás, los tirantes deben ser hacia adelante del arco principal.

- Los refuerzos del arco principal deben fijarse lo más alto posible del arco principal, pero no a una distancia más baja  $160\text{ mm}$  desde el nivel más alto del arco principal. El ángulo formado por el arco principal y los refuerzos debe ser de al menos treinta grados ( $30^\circ$ ). (Ver la Fig. 4)
- Los refuerzos del arco principal deben ser rectos, es decir, sin ningún tipo de curvas.
- Los refuerzos del arco principal deben ser capaces de transmitir todas las cargas del arco principal a la estructura principal del chasis.

#### ***Refuerzos del arco frontal***

- Los refuerzos del arco frontal deberán estar contruidos con tubos de acero de la misma sección mencionada en los dos arcos y los refuerzos del arco principales.
- El arco frontal debe ser reforzado por dos tirantes que se extiendan hacia adelante o hacia atrás de la vista lateral del chasis.
- Los refuerzos del arco frontal deberán estar contruidos de tal manera que protejan las piernas del piloto y deben extenderse a la estructura de protección de los pies del piloto.

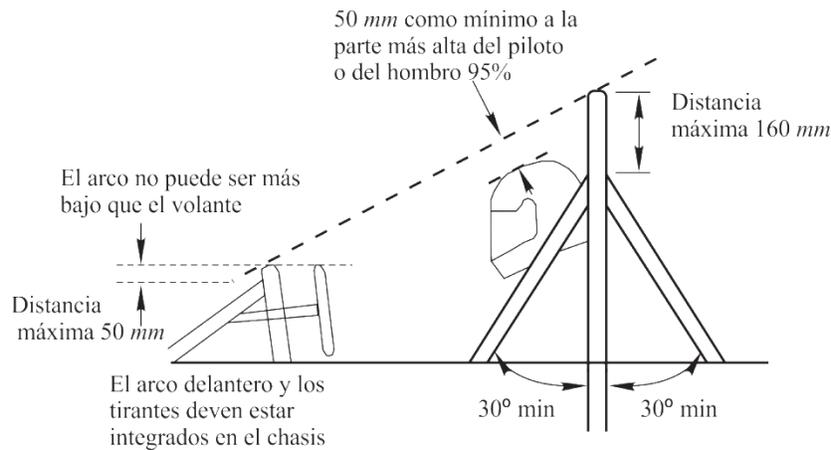


Fig. 4. Configuración de los arcos de seguridad.

- Los refuerzos del arco delantero deben fijarse lo más alto posible de del arco frontal, pero no a una distancia más baja de 50,8 mm desde el nivel más alto del aro delantero.
- En caso de que el arco frontal se inclina hacia atrás en más de diez grados ( $10^\circ$ ) de la vertical, que deben reforzar por tirantes adicionales en la parte trasera.

**Atenuador de impacto (Plano frontal).** El atenuador de impacto frontal debe ser:

- Por delante del plano frontal debe haber un atenuador de impacto que absorba la energía.
- Por lo menos 200 mm de largo, con su longitud orientada a lo largo del eje delante.
- Por lo menos 100 mm de alto y 200 mm de ancho a una distancia mínima de 200 mm delante del plano frontal.
- De tal manera que sea resistente a impactos.

### ***Estructura de impacto lateral***

- La estructura de impacto lateral para vehículos con chasis tubular debe estar compuesta por al menos tres elementos tubulares situados a cada lado del conductor mientras está sentado en la posición normal, como se muestra en la Fig. 5
- Los tres miembros de acero tubular requeridos deben ser construidos con las especificaciones antes mencionadas.
- Las ubicaciones de los tres miembros tubulares requeridos son los siguientes:
  - ♦ Con un conductor de 77 kg sentado en la posición de conducción normal, todos los miembros deben estar a una altura comprendida entre 300 mm y 350 mm por encima del suelo.
  - ♦ La pieza inferior de la protección lateral, debe conectar el arco frontal con la base del arco principal.

- ♦ Con una triangulación apropiada, es permite fabricar la estructura

de impacto lateral de más de un elemento estructural de tubo.

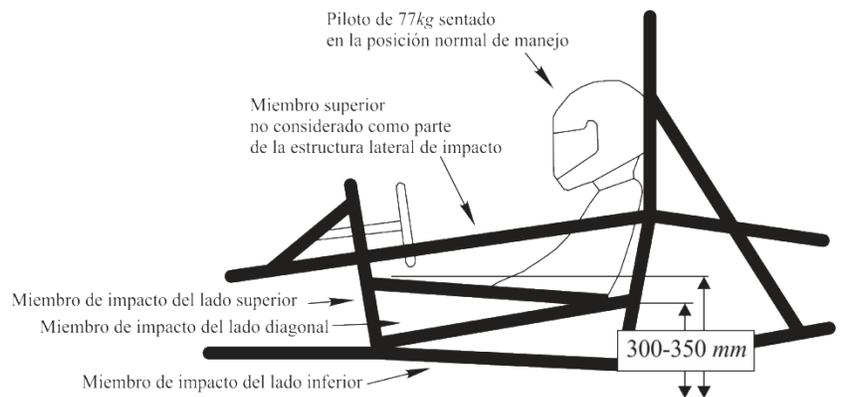


Fig. 5. Configuración de la estructura de impacto lateral.

### SELECCIÓN DE MATERIAL

Antes de comenzar el proceso de modelado en el diseño, elige material del chasis propuesto, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y mecánicas. Habrá de compararse con otro material comúnmente utilizado en vehículos de categoría Formula SAE, el análisis por elemento finito será de gran importancia para conocer la respuesta

de los materiales y así poder dar una propuesta.

Por esta razón, se hace una comparación entre un acero al carbono “SAE 1020” y un acero aleado “SAE 4130” lo que nos permitiría observar las cualidades del material propuesto.

Tabla 2. Materiales para el diseño del chasis.

Propiedades	Acero al Carbono SAE1020	Acero Aleado SAE4130
Densidad	7.87 g/c <sup>3</sup>	7.85 g/c <sup>3</sup>
Dureza Brinell	121	197
Dureza Knoop	140	219
Dureza Rockwell B	68	92
Dureza Rocwell C		13
Dureza Vickers	126	207
Tensión de Ruptura	420 MPa	670 MPa
Limite Elástico	350 MPa	435 MPa
Alargamiento de Ruptura	15.0 %	25.5 %
Reducción de Área	40.0 %	60.0 %
Módulo de Elasticidad (Young)	205 GPa	205 GPa
Módulo de Compresibilidad K	140 GPa	140 Gpa
Coefficiente de Poisson	0.29	0.29
Ensayo de Izod		0.87 J
Maquinabilidad	65 %	70 %
Modulo de Elasticidad Transversal	80 GPa	80 Gpa

## BOCETO INICIAL

Antes de comenzar a modelar el chasis, se dio representación gráfica a la idea inicial de la que parte este proyecto, con un dibujo a mano alzada con proyección trimétrica de un chasis básico de categoría Formula SAE (Fig. 7).

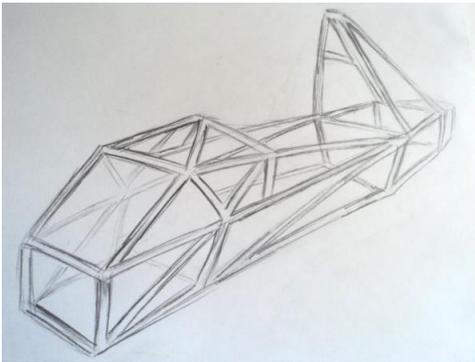


Fig. 6. Dibujo a mano del diseño propuesto de chasis de FSAE.

## DISEÑOS 2D DE LAS ESTRUCTURAS PRINCIPALES.

Partiendo de la representación inicial de la estructura y conociendo los requerimientos definidos en el reglamento Formula SAE 2013 para el chasis, se comienza dando geometría en los planos 2D que definirán el modelo utilizando el programa de diseño asistido SolidWorks, los que servirán a lo largo del proyecto, los cuales podrán ser modificados hasta lograr desarrollar un modelo estable.

### Base del chasis

La primer estructura que se definió y que da soporte a las demás estructuras del chasis y vehículo en general, es la base, considerando la distancia que debe existir entre ejes (1525 mm), las medidas del piloto, el espacio para las piernas y

dimensiones del motor, sin dejar de lado las especificaciones del arco principal en la que no debemos tener una distancia menor de 380 mm entre las partes de contacto que van de un costado de la base del chasis, elevándose y tocando la otra base del mismo, como lo muestra la Fig. 7 de una vista superior del plano.

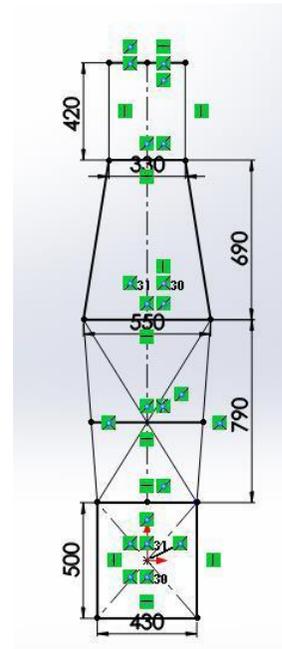


Fig. 7. Vista superior del plano de la base del chasis.

### Arco principal

Con la intención de agregar ángulo a la parte baja del arco principal desde la vista lateral, generando una inclinación que favorezca la posición del piloto, evitando así un vacío entre la base del asiento y la pared de fuego. El arco principal se formó al conjuntar dos planos (Fig. 8) El primero plano del arco principal que va desde la base del chasis hasta el refuerzo de cinturones de seguridad se diseñó con un ángulo de inclinación de  $25^\circ$  como se muestra en la figura 3.8 y con las dimensiones

especificadas en el reglamento, dejando una altura de 300 mm (sin contemplar la separación del chasis al suelo) al punto de

contacto entre el arco principal y la estructura de impacto lateral como se muestra en la Fig. 9.

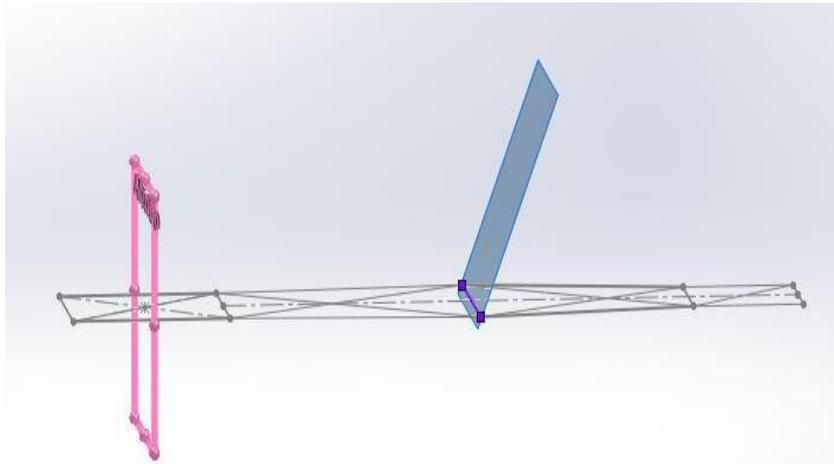


Fig. 8. Vista lateral del plano agregado con una inclinación de 25°.

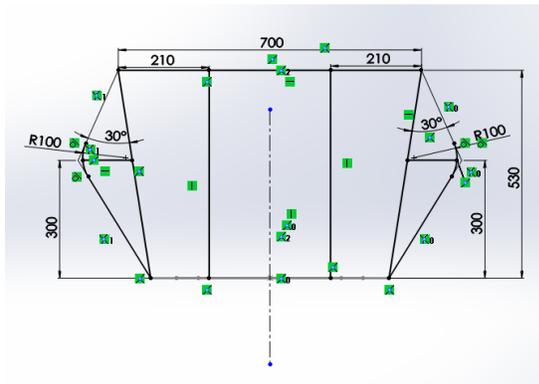


Fig. 9. Vista frontal del plano de la primera sección del arco principal.

El segundo plano que termina de conformar el arco principal, se diseñó a 90° con respecto al plano de planta a partir del refuerzo de cinturón de seguridad de la primera sección como se muestra en la Fig. 10, respetando la restricción del reglamento de no tener un ángulo mayor a 10° conforme a la vista lateral en la parte alta del arco principal desde el punto de unión. El arco principal desde la base del chasis hasta su

parte más alta tiene una longitud de 1090 mm con respecto a la vertical.

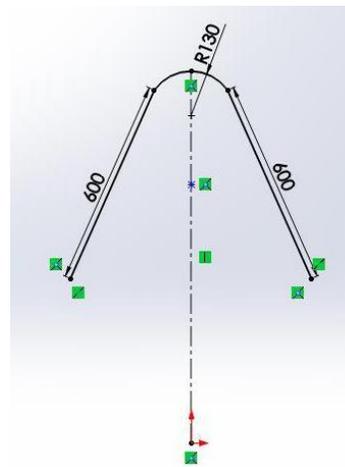


Fig. 10. Vista frontal del plano de la segunda sección del arco principal.

### *Arco frontal*

El siguiente plano corresponde al arco frontal, el cual se diseñó con una inclinación de 15° como se muestra en la

Fig. 11, respetando el requerimiento de no exceder  $20^\circ$  de inclinación como se mencionó anteriormente en las reglas del arco frontal.

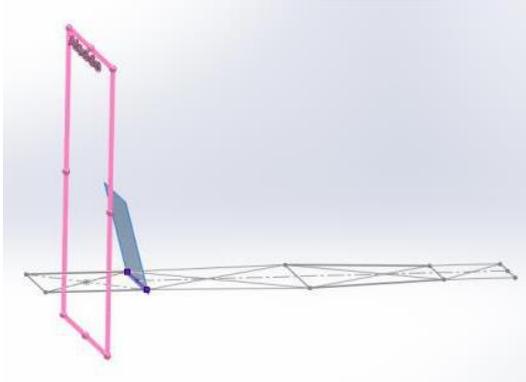


Fig. 11. Vista lateral del plano frontal agregado con inclinación de  $15^\circ$ .

Ya en el plano, se determinó la geometría del arco frontal, la cual debe proteger parte de las piernas del piloto, considerando que la altura sea suficiente para que el volante no supere al arco frontal y en caso de existir una volcadura no esté en contacto con el suelo.

La altura del punto más alto del arco frontal desde la base del chasis es de 590 mm, la cual no impide la visión del piloto en ningún momento. De igual manera que el arco principal, las estructuras de impacto lateral se unirán con este arco, el cual considera una altura de 190 mm (sin contemplar la separación del chasis al suelo), como se muestra en la Fig. 12

### ***Resto de las estructuras***

Una vez definidas las estructuras principales del chasis, se relaciona la geometría utilizando otros planos y la herramienta de “Croquis 3D” para diseñar el atenuador de impacto lateral, los refuerzos

de los arcos, la estructura del plano frontal y demás geometrías, como se muestra en la Fig. 13.

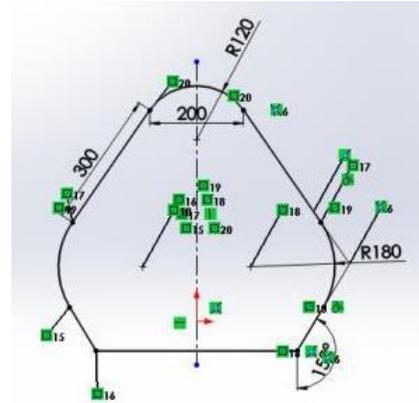


Fig. 12. Vista de frente del arco frontal.

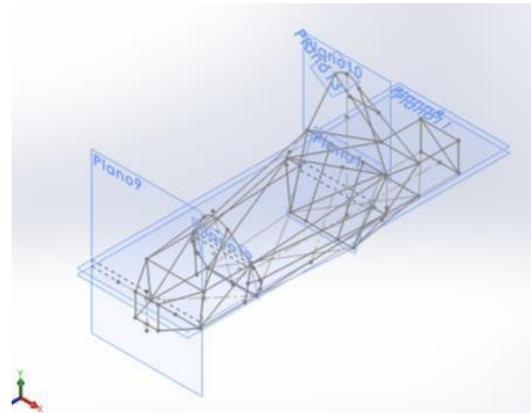


Fig. 13. Vista isométrica del chasis en la interfase de Solid Works 2012.

### ***MODELADO 3D DEL CHASIS***

Ya con la estructura finalizada se da paso al modelado 3D, las dimensiones utilizadas en los perfiles tubulares del chasis fueron agregadas a una nueva librería en el programa SolidWorks, estas dimensiones cumplen la norma mencionada en el

Reglamento Formula SAE 2013 con respecto a las estructuras tubulares.

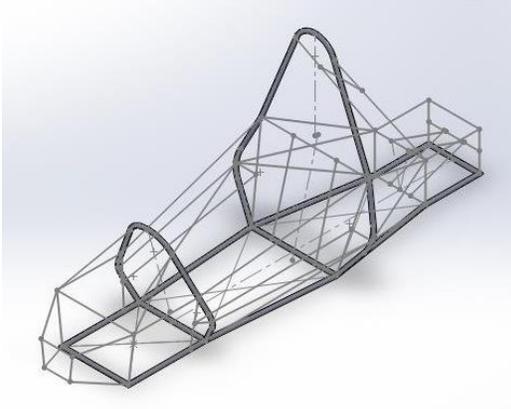


Fig. 14. Modelado 3D de las estructuras del chasis con perfil tubular.

Una herramienta importante de SolidWorks utilizada al finalizar el modelado del chasis, es el recorte de piezas estructurales, la cual nos permite eliminar excedentes de los perfiles tubulares con respecto a otros miembros o caras de contacto (como aparece en la Fig. 15), lo que al final nos ayudara a restar peso al calcular las propiedades físicas del chasis en un final.

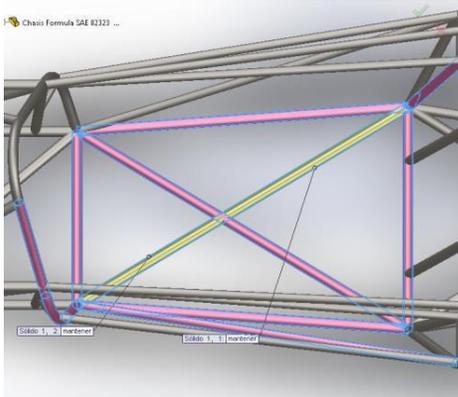


Fig. 15. Vista superior que muestra el recorte de material.

## SIMULACIÓN Y PRUEBAS

Una vez determinada la geometría del modelo y los materiales que serán analizados, se procede a simular los eventos estáticos para condiciones desfavorables, todas de impacto o colisión. El Reglamento Formula SAE 2013 indica las pruebas de impacto que deben realizarse para validar el diseño estructural del chasis, aplicando las fuerzas con respecto a la dirección indicada.

dónde:

- X es longitudinal
- Y es transversal
- Z es vertical

Todas las pruebas tienen un límite máximo de deformación de 25 mm.

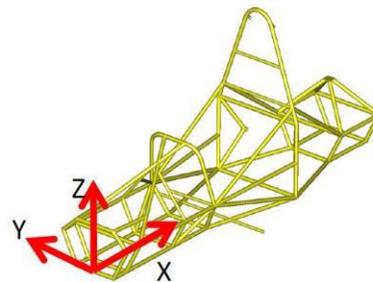


Fig. 16. Sistema de coordenadas en la vista isométrica del chasis.

### *Impacto frontal*

Ya con el modelo del chasis definido en cuanto a geometría y dimensiones de los perfiles tubulares, se determinaron las sujeciones o puntos fijos del chasis, que en este caso serán los presentes en la parte trasera del chasis, como lo muestra la Fig. 17.

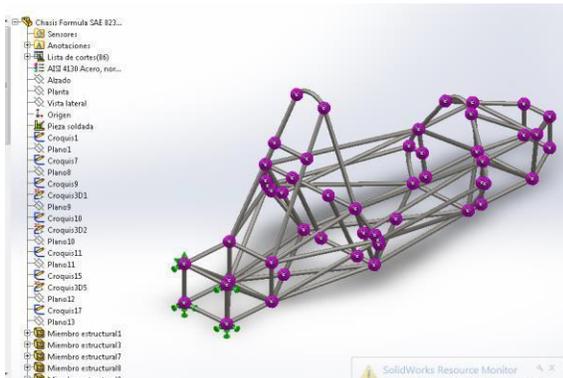


Fig. 17. Geometría fija del chasis para simular impacto frontal.

Posteriormente se aplicaron las cargas o fuerzas que actúan durante un impacto frontal en las estructuras del chasis de la parte delantera con respecto al plano de alzado como muestra la Fig. 18. El reglamento Formula SAE 2013 establece:

$$F_x = 150 \text{ kN}, F_y = 0 \text{ kN}, F_z = 0 \text{ kN}$$

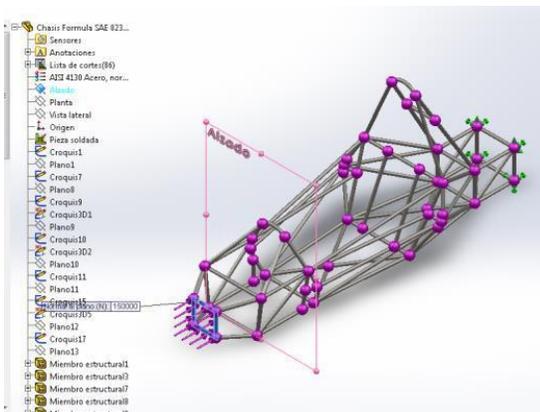


Fig. 18. Miembros estructurales a los que se aplica una fuerza para simular impacto un frontal.

Finalmente se determina si existen fallas en el chasis se realizara el mallado, donde SolidWorks inspeccionará la estructura antes de dar paso a la simulación

como lo muestra la Fig. 19. Si no existen fallas, se procederá a realizar el análisis.

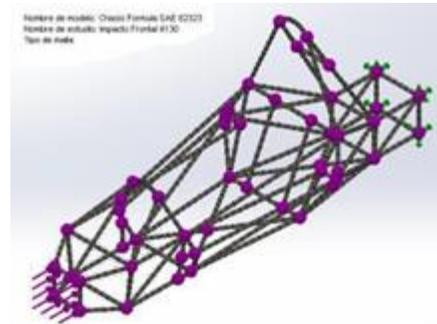


Fig. 19. Mallado sin defectos para simular impacto frontal.

### *Impacto lateral*

El análisis de la estructura ante un impacto lateral es de vital importancia debido a que en caso de presentarse una falla se pondría en riesgo la integridad del conductor, existen posibilidades de recibir un impacto lateral por otro vehículo en competencia o con cualquier estructura de protección de la pista en caso de perder el control. La simulación se realizó de la misma manera que el análisis para impacto frontal

Los puntos fijos de la estructura del chasis, que estarán justo en la parte posterior donde aplicaremos la fuerza en el costado del chasis, como lo muestra la Fig. 20.

Procedemos a aplicar las cargas de impacto en la estructura del chasis con respecto al plano lateral, en los miembros estructurales que protegen al piloto.

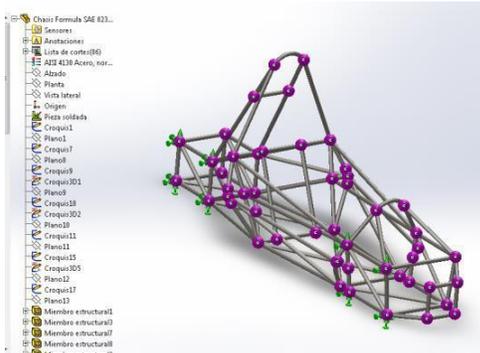


Fig. 20. Geometría fija del chasis para simular un impacto lateral.

El reglamento Formula SAE 2013 establece:

$$F_x = 0 \text{ kN}, F_y = 7 \text{ kN}, F_z = 0 \text{ kN}$$

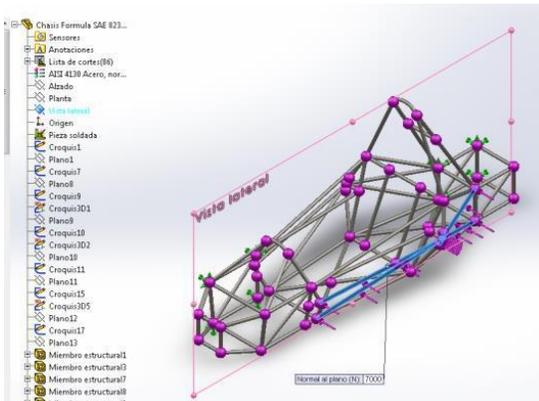


Fig. 21. Miembros estructurales a los que se aplica una fuerza para simular un impacto lateral.

Posteriormente como se mostró en los pasos de simulación de impacto frontal, se realiza el mallado de la estructura para detectar cualquier falla, de no presentar alguna, se procede a realizar el análisis. Este paso será el mismo para todas las pruebas a realizar.

### *Impacto de arco principal y frontal (Volcadura)*

Una volcadura pone en peligro al conductor en mayor escala que los impactos anteriores, debido a que una falla pondría en contacto el casco del piloto contra el suelo, afectando directamente su cabeza. Estas simulaciones se realizaron de la siguiente manera:

Se seleccionaron los puntos fijos del chasis al presentarse un giro en el vehículo, por lo tanto se fijara la base del chasis, de manera más grafica se muestra en la figura 22

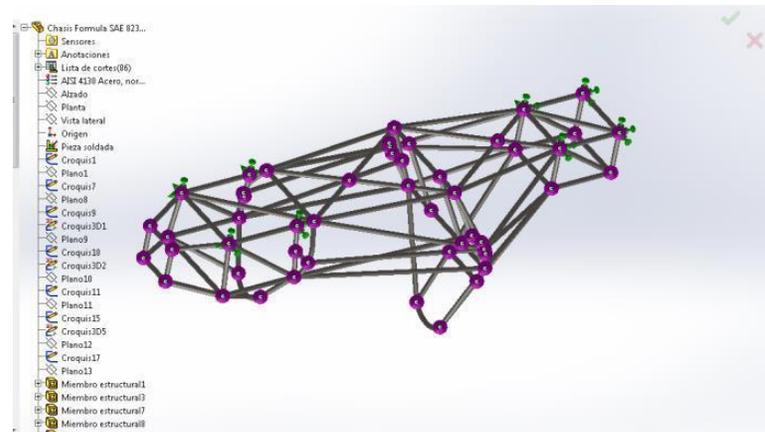


Fig. 22. Geometría fija del chasis para simular volcadura.

Una vez seleccionadas las sujeciones del chasis, se aplicó la fuerza de impacto en el punto más alto del miembro estructural de arco correspondiente con respecto al plano de planta. Ya que para ambas pruebas se realiza el mismo procedimiento y se aplican las mismas fuerzas, como lo muestra la Fig. 23.

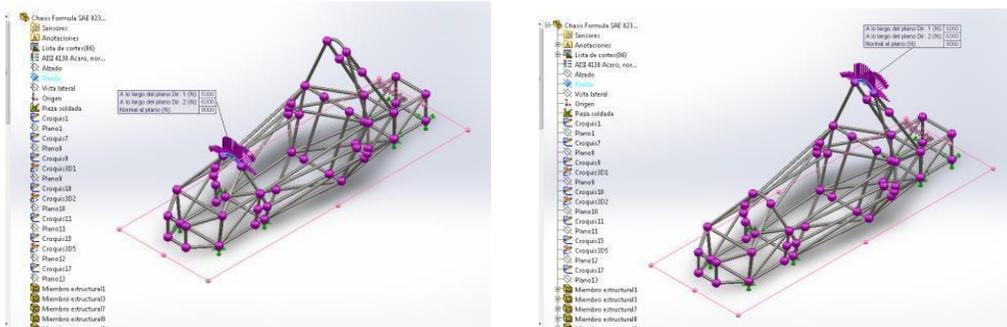


Fig. 23. Miembros estructurales a los que se aplica una fuerza para una volcadura (A la izquierda arco frontal, a la derecha arco principal)

## RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Para el arco principal y frontal del chasis inicial se utilizó perfil tubular de 25 mm de diámetro por 2.5 mm de espesor, para el resto de la estructura fueron seleccionados perfiles tubulares de 1.75 mm de espesor y 1.65 mm de espesor para los refuerzos y triangulaciones, dando un peso inicial de 46.62 kg.

## RESULTADOS DE IMPACTO FRONTAL

1) Se realizó el análisis de la estructura con un material de acero “SAE 1020” siendo este un material comúnmente utilizado para la fabricación de estructuras tubulares de vehículos pequeños.

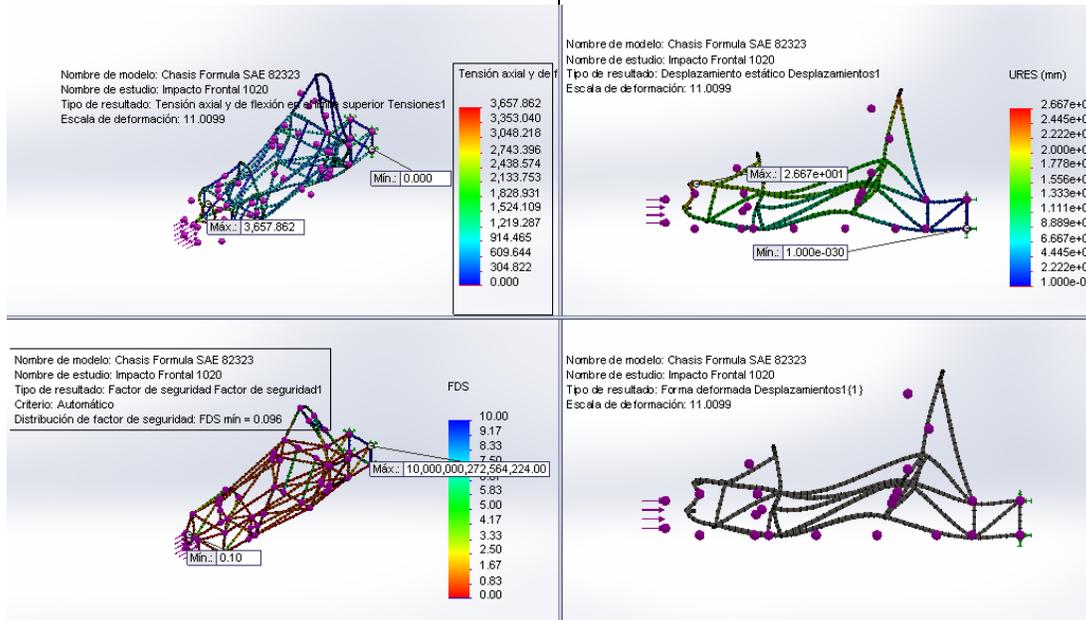


Fig. 24. Resultados de impacto frontal “SAE 1020” (Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa). Abajo a la izq.: Factor de seguridad) (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm. Abajo a la der.: Desplazamientos).

Los datos obtenidos en esta prueba al momento del impacto frontal nos muestran que en algunas secciones de la estructura se presentan tensiones axiales y deflexiones altas con un valor de  $3.657.662\text{N/mm}^2$  (MPa). Como se puede apreciar en la figura, son pocos los puntos críticos, en la mayoría de la estructura no se presentan tensiones tan elevadas.

La figura nos muestra los desplazamientos que se pueden presentar en la colisión, donde en algunos puntos tal y como se indica existen desplazamientos de la estructura de  $26.6681\text{ mm}$  como máximo, y en otros puntos no presentan cambios en su estructura, con este resultado determinamos que la prueba ha fallado con un acero “SAE 1020”.

Otro resultado es el de factor de seguridad, que para este tipo de pruebas de

impacto, sus resultados serán bajos con respecto a lo esperado en situaciones normales de conducción, debido a las fuerzas aplicadas.

El factor de seguridad mínimo obtenido fue de 0.096, como lo muestra la figura.

2) Después se procedió a realizar un nuevo estudio de impacto frontal pero ahora con una material “SAE 4130”, este material es muy utilizado en la industria aeronáutica y en la automotriz porque sus propiedades aumentan considerablemente sus condiciones de trabajo.

Como se puede apreciar en la Fig. 25 los puntos de tensiones y flexiones han disminuido a pesar de que las magnitudes siguen siendo altas el cual nos dan un valor  $3155.852\text{N/mm}^2$  (MPa) en los puntos máximos.

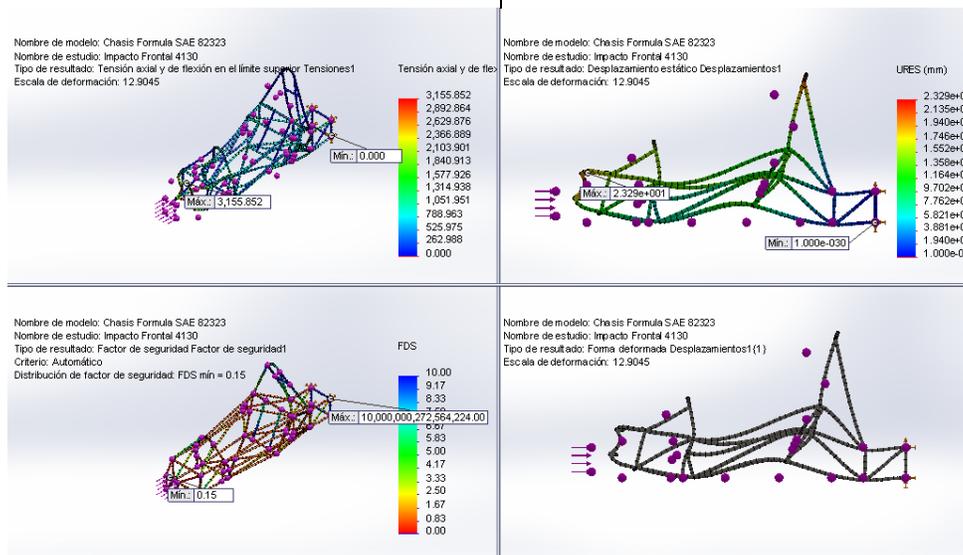


Figura 25. Resultados de impacto frontal “SAE 4130”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $\text{N/mm}^2$  (MPa). Abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en  $\text{mm}$ . Abajo a la der.: Desplazamientos).

En algunas secciones de la estructura los desplazamientos que sufren los tubulares son como máximo de  $23.286\text{mm}$  como lo muestra la figura 4.6, que a pesar de estar cerca del límite de deformación máxima permitido, cumple con su función.

Por último, el factor de seguridad mínimo obtenido es de 0.15, como lo muestra la figura.

### IMPACTO LATERAL

1) En la Fig. 26, se muestran los puntos donde existe mayor tensión, en este

caso el estudio está realizado con el material “SAE 1020” donde se presenta como máximo  $752.874\text{ N/mm}^2$  (MPa).

Se pueden observar los desplazamientos que sufre la estructura, resultando en un desplazamiento máximo de  $13.4815\text{mm}$  con un material “SAE 1020”.

Finalmente el factor de seguridad más bajo obtenido para esta prueba fue de 0.47, como lo muestra la figura.

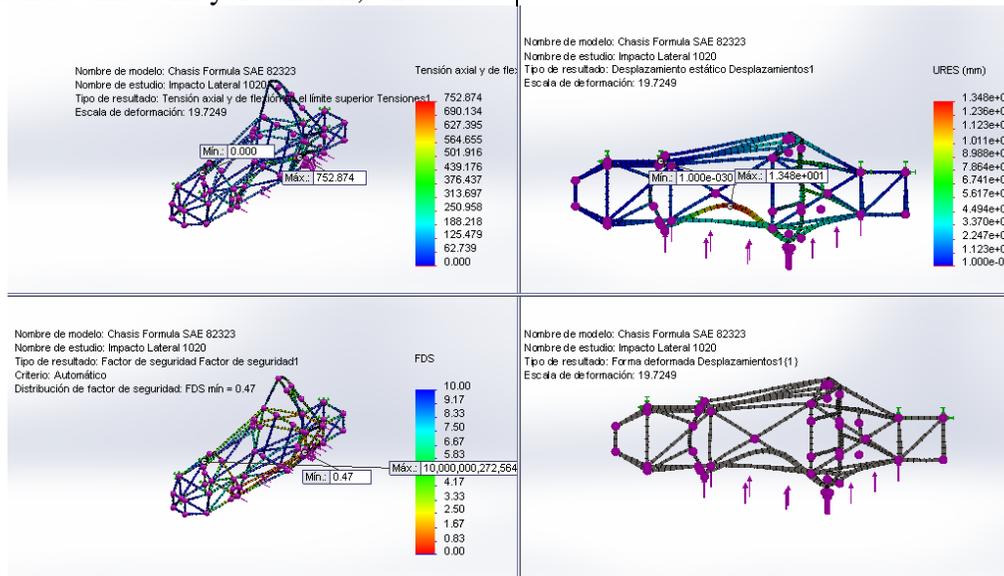


Fig. 26. Resultados de impacto lateral “SAE 1020”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $\text{N/mm}^2$  (MPa). Abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en  $\text{mm}$ . Abajo a la der.: Desplazamientos)

2) El estudio se realizó también para un material “SAE 4130”, donde se obtuvo una tensión menor en comparación al acero “SAE 1020”, teniendo como resultado una tensión máxima de  $649.916\text{ N/mm}^2$  (MPa), como se muestra en la Fig. 27

Se pueden observar los desplazamientos que sufre la estructura,

donde su desplazamiento máximo fue de  $11.3585\text{mm}$ .

El factor de seguridad mínimo reflejó un incremento en comparación al material “SAE 1020”, siendo de 0.71 para esta prueba.

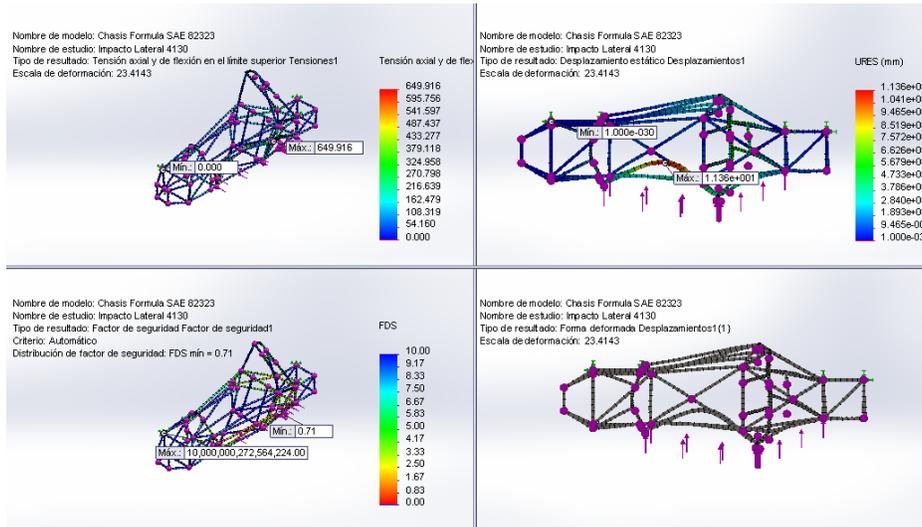


Figura 27. Resultados de impacto lateral “SAE 4130”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $N/mm^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

**IMPACTO DE ARCO PRINCIPAL (VOLCADURA)**

1) En la figura 28, se muestran tensiones presentes al momento de una

volcadura, cuando se utiliza un material “SAE 1020” se obtiene como máximo una tensión axial de  $526.74 N/mm^2$  (MPa).

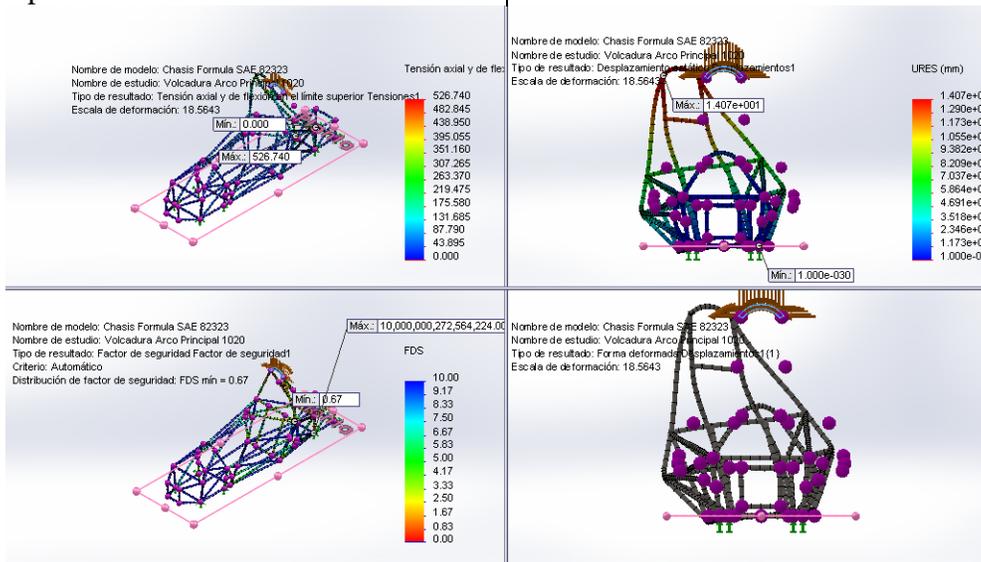


Fig. 28. Resultados de impacto arco principal (Volcadura) “SAE 1020”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $N/mm^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

2) Los resultados obtenidos utilizando un material “SAE 4130”, fueron aceptables, aquí la tensión máxima disminuye con respecto al acero “4130”  $474.326 \text{ N/mm}^2$  (MPa), estos datos se pueden identificar en la Fig. 29.

El desplazamiento máximo resultante de la volcadura con un material “SAE 4130” es de  $12.1265 \text{ mm}$ , estos valores se pueden identificar en la figura 4.10 El factor de seguridad mínimo obtenido en esta prueba fue de 0.97, mejorando el resultado obtenido por el acero “SAE 1020”.

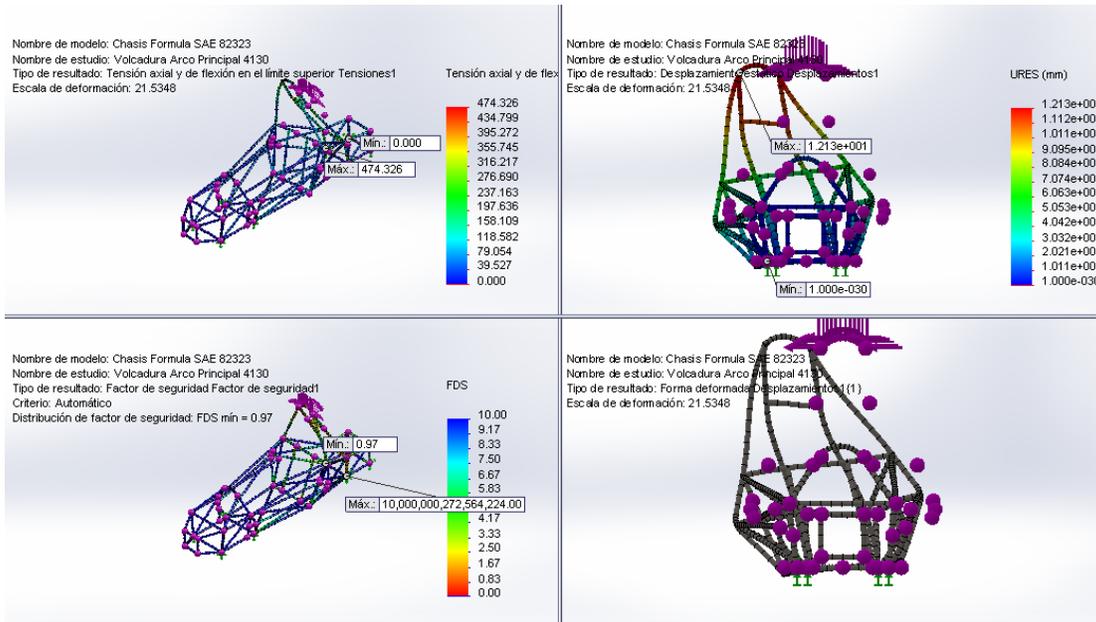


Fig. 29. Resultados de impacto arco principal (Volcadura) “SAE 4130” (Arriba a la izq.: Tensiones en  $\text{N/mm}^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad) (Arriba a la der.: Desplazamientos en  $\text{mm}$ , abajo a la der.: Desplazamientos)

### IMPACTO DE ARCO FRONTAL (VOLCADURA)

1) En la figura 30, se muestran los puntos donde se presentan mayor tensión en la estructura del chasis, cuando se utiliza un material “SAE 1020” se obtiene como máximo una tensión axial de  $655.055 \text{ N/mm}^2$  (MPa).

El desplazamiento máximo de la estructura fue de  $4.39683 \text{ mm}$ , el cual se puede observar.

El factor de seguridad mínimo obtenido fue de 0.63.

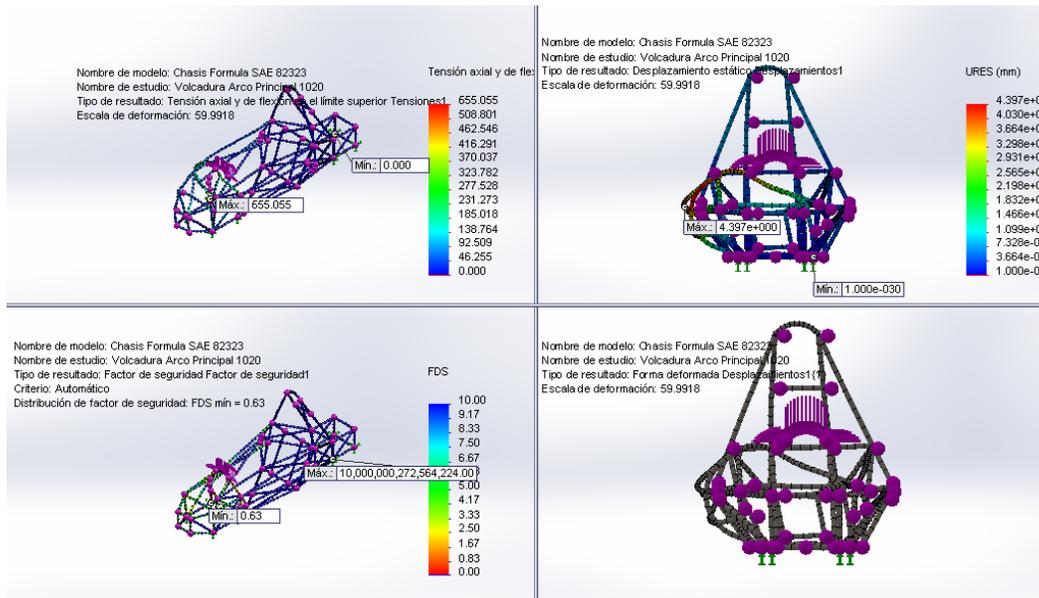


Figura 30. Resultados de impacto arco frontal (Volcadura) “SAE 1020”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $N/mm^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

2) Otra prueba realizada con acero “SAE 4130” muestra la tensión máxima disminuye a una magnitud de  $573.744 N/mm^2$  (MPa), estos datos se pueden

identificar en la Fig. 31, donde se puede observar que el desplazamiento máximo de la prueba fue de  $4.06704 mm$ .

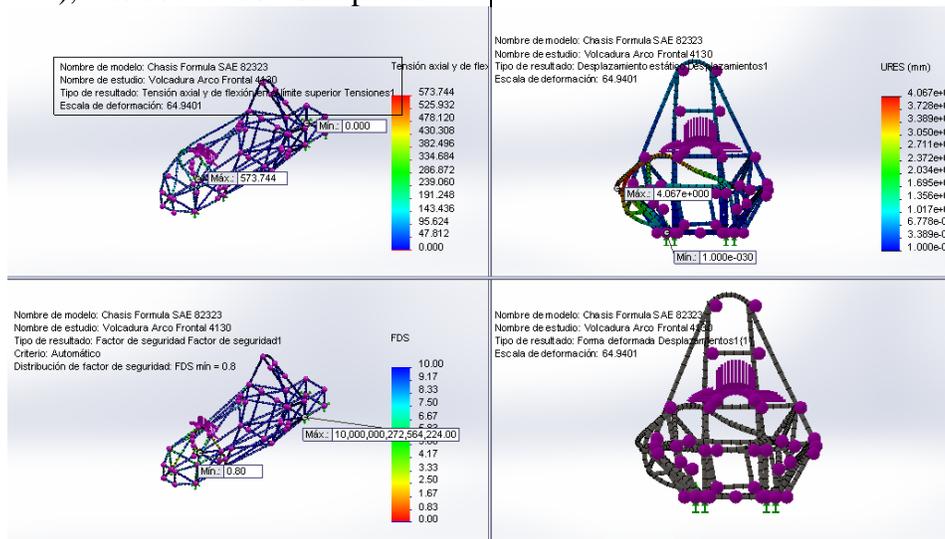


Fig. 31. Resultados de impacto arco frontal (Volcadura) “SAE 4130”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $N/mm^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos).

## PRUEBAS DEL DISEÑO FINAL

Las pruebas de impacto realizadas al chasis nos sirvieron para, en base a los resultados obtenidos, seleccionar el material propuesto para el diseño. El acero “SAE 4130” tuvo mejores resultados y nunca se vio superado por el acero “SAE 1020”.

A pesar de que el proyecto solo propone la estructura del chasis para un

vehículo Formula SAE, habrán de realizarse las pruebas finales, menos agresivas que las anteriores, simulando situaciones normales de funcionamiento del vehículo en su totalidad.

El diseño final propuesto, resultó con un peso final de 50.99 kg como se muestra en la Fig. 32 y su centro de gravedad a 22.5 cm con respecto al suelo.

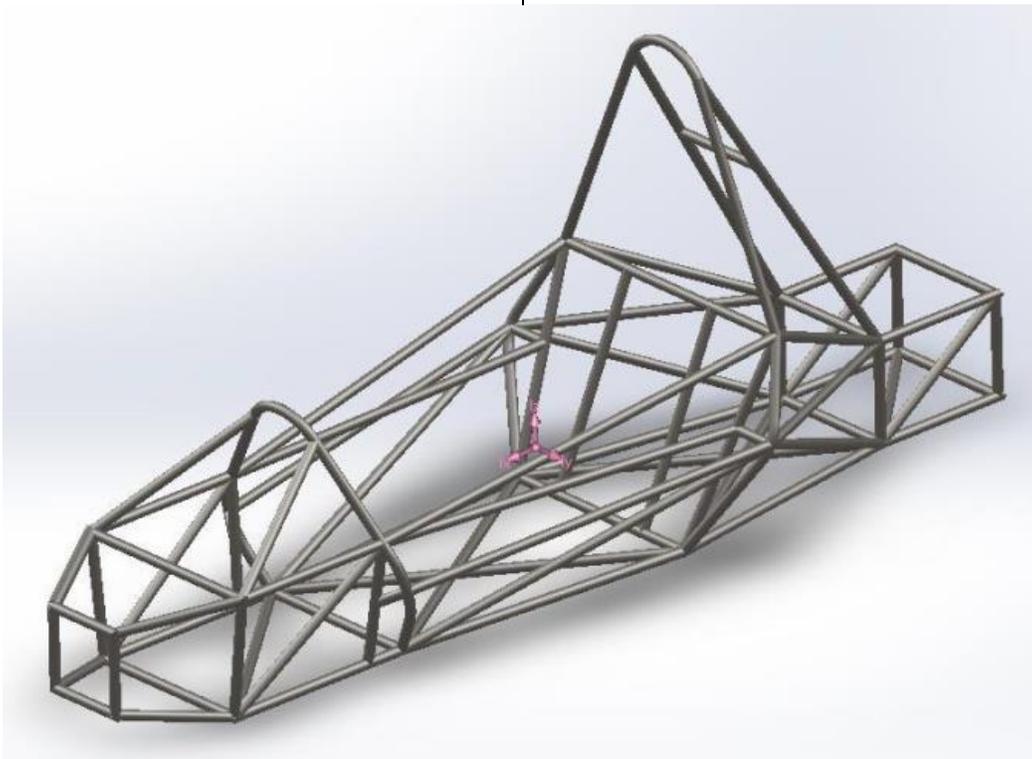


Fig. 32. Posición del centro de gravedad del diseño final.

Debido a que solo conocemos el peso del chasis, realizaremos las pruebas finales con la suma de los valores de las masas en el vehículo mas el chasis, con un peso final del vehículo de 400 kg, que a pesar de superar el peso que podría obtenerse, nos servirá de holgura para realizar las pruebas más fielmente.

Todas las pruebas del diseño final se simularan con perfiles tubulares de acero “SAE 4130” de 25.4 mm de diámetro y 2mm de espesor

## PRUEBAS DE REMOLQUE

Esta prueba consiste en simular que al presentarse una falla mecánica en el vehículo, habría de recibir asistencia debiendo ser jalado de la última pieza estructural del chasis, para poder ser arrastrado como se muestra en la Fig. 33. Como se determinó el peso del vehículo será de 400 kg.

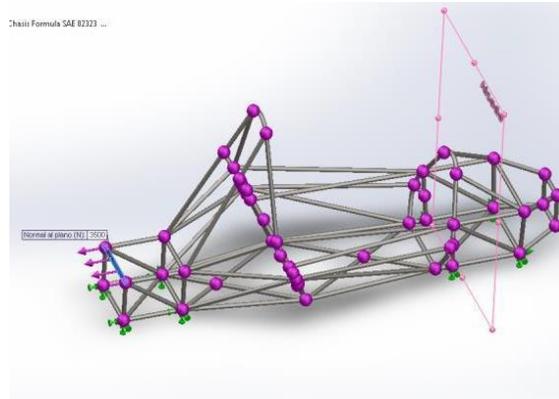


Fig. 33. Miembro estructural al que se le aplicará una fuerza para simular el remolque.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 34):

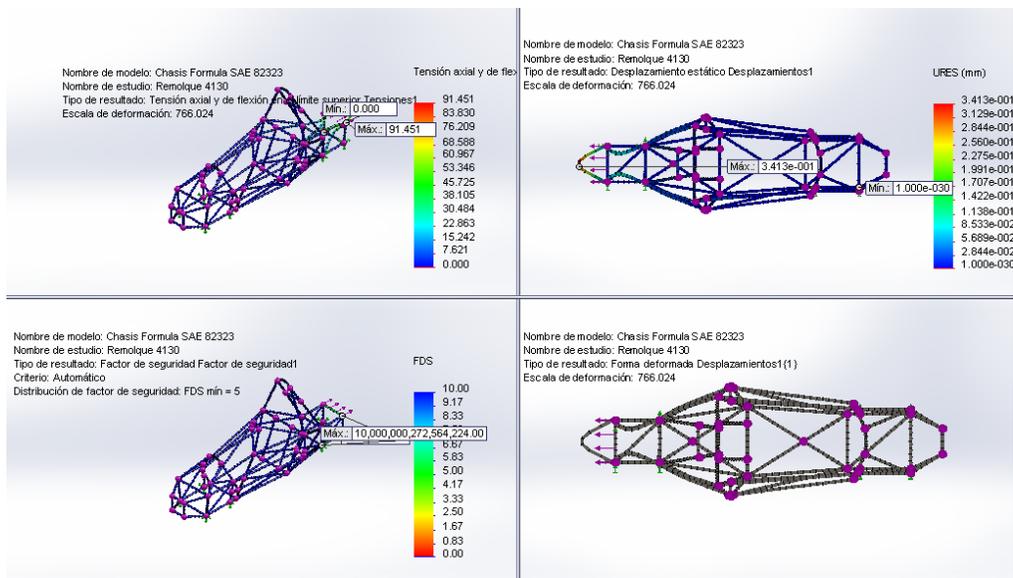


Fig. 34. Resultados de prueba de remolque.

- Tensión máxima de 91.451 N/mm<sup>2</sup> (MPa)
- Desplazamiento máximo de 0.341318 mm
- Factor de seguridad mínimo de 5.03002

## PRUEBA DE ACELERACIÓN

Se realizó la simulación de aceleración ( $0.7 g$ ) con un peso aproximado del vehículo y sus componentes de  $400 kg$ . Cada miembro estructural del chasis actuara con una fuerza aproximada de  $32 N$ , como aparece en la Fig. 35.

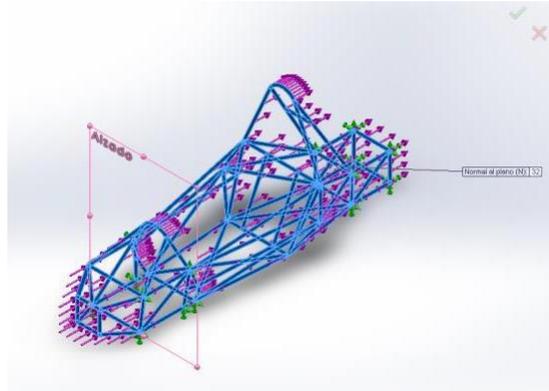


Fig. 35. Aplicación de las fuerzas y sujeciones para simular la aceleración.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 36):

- Tensión máxima de  $11.4263 N/mm^2$  (MPa)
- Desplazamiento máximo de  $0.107201 mm$
- Factor de seguridad mínimo de  $40.2581$

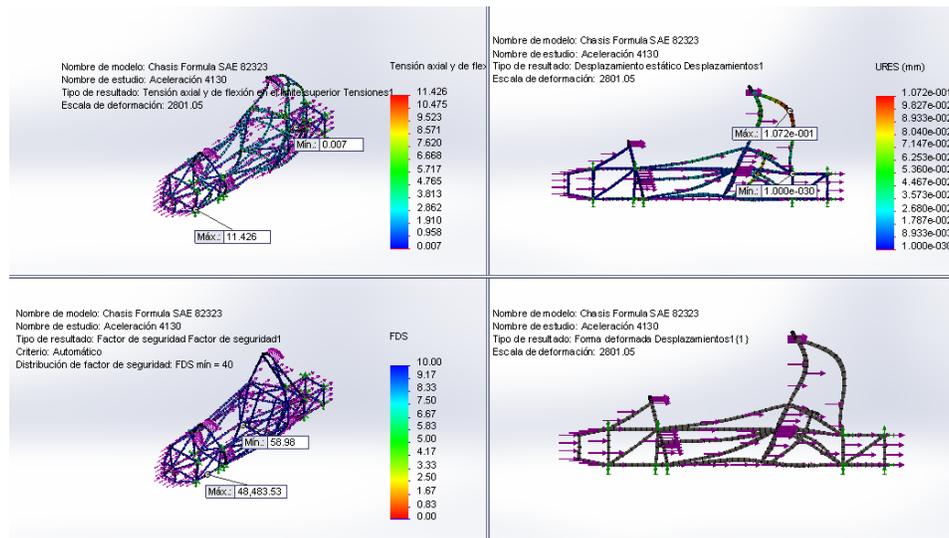


Fig. 36. Resultados de prueba de aceleración  
(Arriba a la izq.: Tensiones en  $N/mm^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
(Arriba a la der.: Desplazamientos en  $mm$ , abajo a la der.: Desplazamientos)

## PRUEBA DE FRENADO

Esta prueba es similar a la de aceleración, cambiando el sentido. Se realizó la simulación de frenada (1.2 g) con un peso aproximado del vehículo y sus componentes de 400 kg. Cada miembro estructural del chasis actuara con una fuerza aproximada de 55 N como se muestra en la Fig. 37

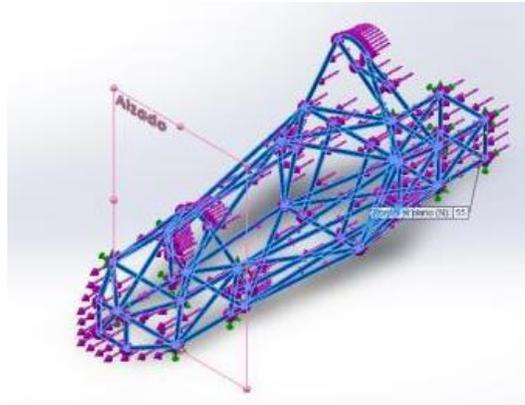


Fig. 37. Aplicación de las fuerzas y sujeciones para simular el frenado

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 38):

- Tensión máxima de 19.6389 N/mm<sup>2</sup> (MPa)
- Desplazamiento máximo de 0.184251 mm
- Factor de seguridad mínimo de 23.4229

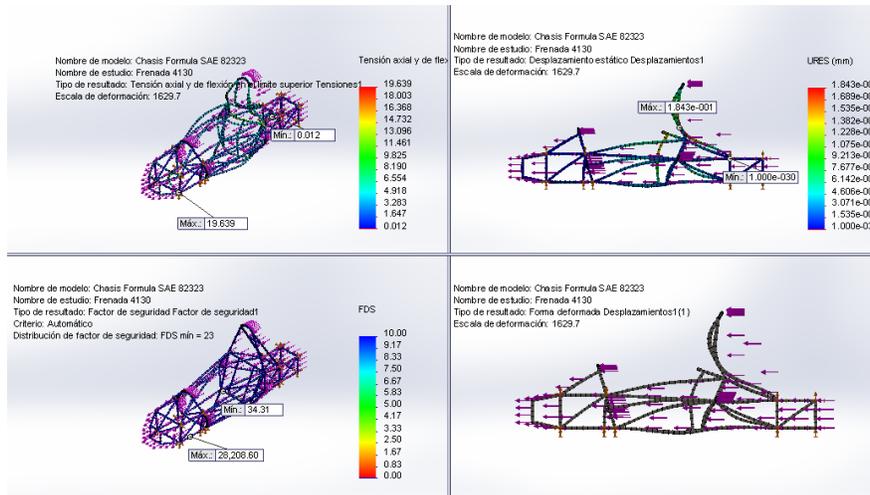


Fig. 38. Resultados de prueba de frenado  
(Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
(Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

**PRUEBA DE VIRAJE CURVA.**

Es una prueba similar a la de frenada cambiando el sentido de las fuerzas. Se realizó la simulación de curva (1.5 g) con un peso aproximado del vehículo y sus componentes de 400 kg. Cada miembro estructural del chasis actuara con una fuerza aproximada de 69 N, como aparece en la Fig. 39.

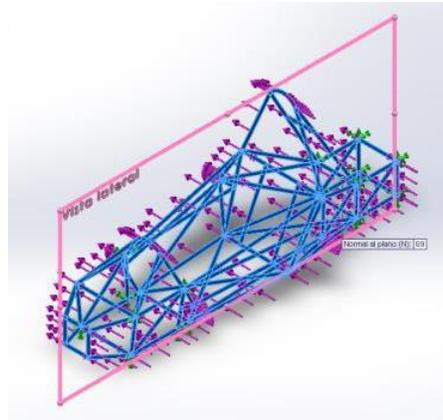


Fig. 39. Aplicación de las fuerzas y puntos de sujeción para simular el entrar a una curva.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 40):

- Tensión máxima de 34.7957 N/mm<sup>2</sup> (MPa)
- Desplazamiento máximo de 0.728965 mm
- Factor de seguridad mínimo de 13.22

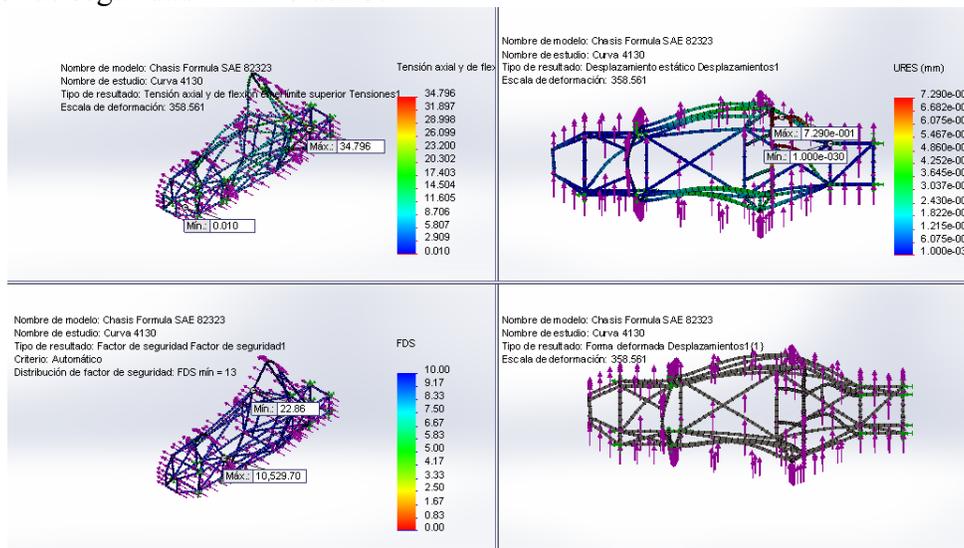


Figura 40. Resultados de prueba de curva  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.:Desplazamientos)

## PRUEBA DE FLEXIÓN

Se realizó el estudio de flexión al chasis, distribuyendo el peso aproximado del vehículo y sus componentes de 400 kg ( $F_z = 3920$  N) entre los 86 miembros estructurales que lo componen, se fijaron las estructuras donde se montaría la suspensión y se aplicó la fuerza en el eje “z”, como aparece en la Fig. 41

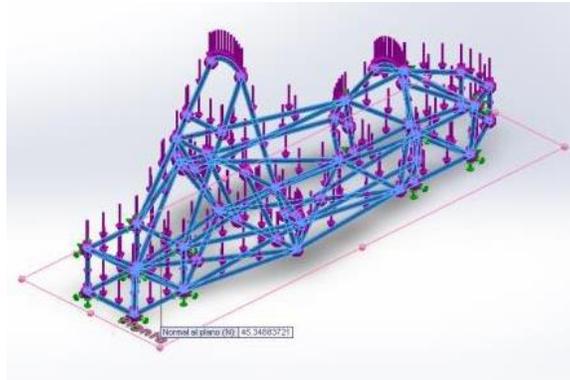


Fig. 41. Aplicación de las fuerzas y sujeciones realizar el estudio de flexión.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 42):

- Tensión máxima de  $10.4685 \text{ N/mm}^2$  (MPa)
- Desplazamiento máximo de  $0.105602 \text{ mm}$
- Factor de seguridad mínimo de 43.9414

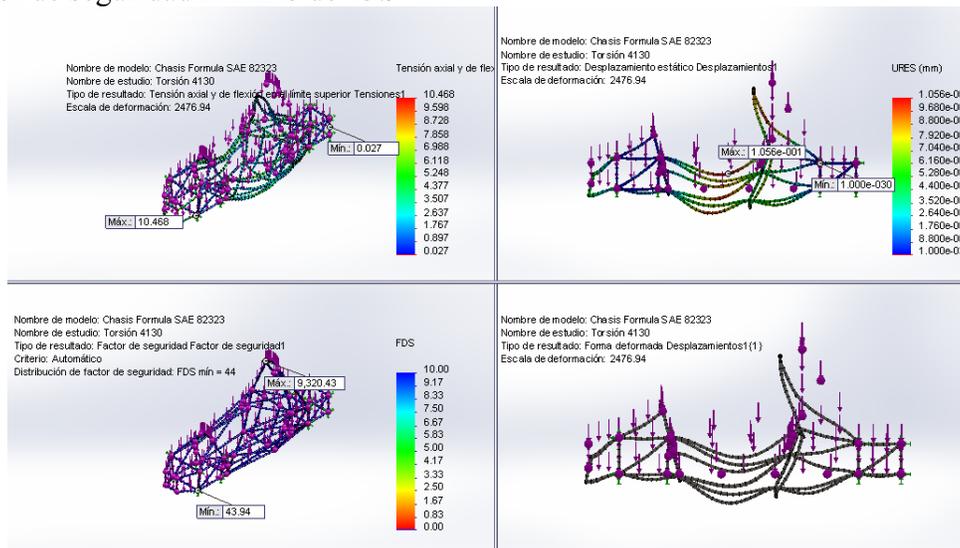


Fig. 42. Resultados de prueba de flexión  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $\text{N/mm}^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

## PRUEBA DE TORSIÓN

Esta prueba es muy representativa, ya que este es un desplazamiento dinámico normal en los vehículos. Para este estudio se fijaran las estructuras donde deberá ir la suspensión trasera y se aplicaran dos fuerzas equivalentes a las 400 kg ( $F_y = 3920$  N,  $F_z = 3920$  N) que se vienen manejando como el peso del vehículo, en las estructuras de suspensión delantera. Como se aprecia en la Fig. 43.

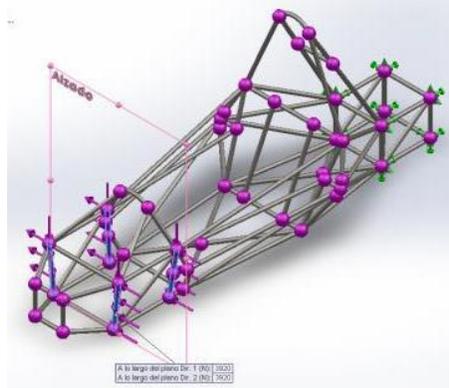


Fig. 43. Aplicación de las fuerzas y sujeciones realizar el estudio de torsión

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 44):

- Tensión máxima de 71.269 N/mm<sup>2</sup> (MPa)
- Desplazamiento máximo de 4.026 mm
- Factor de seguridad mínimo de 6.45

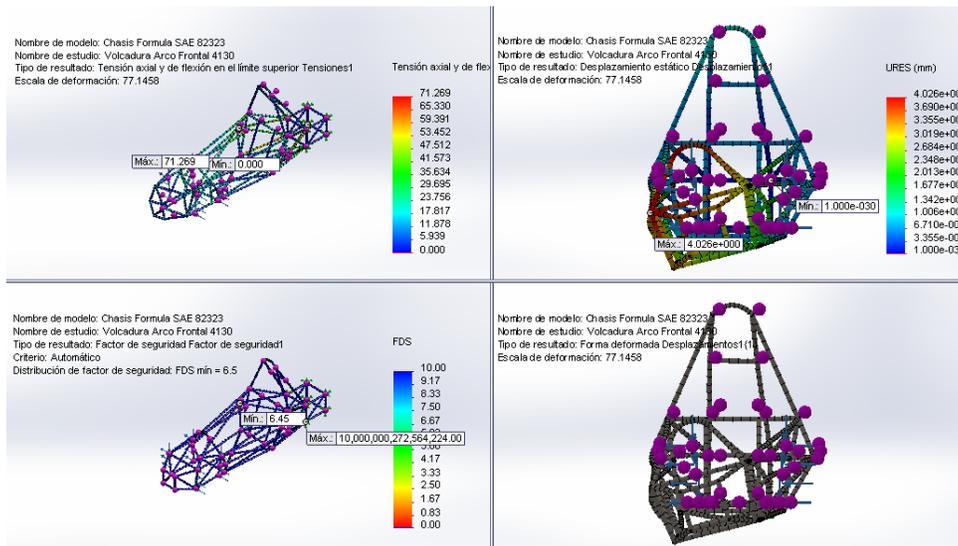


Figura 44. Resultados de prueba de torsión  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos).

## CONCLUSIONES

El diseño final del chasis para un vehículo Formula SAE se desarrolló a lo largo del proyecto con apego a los requerimientos y restricciones del Reglamento Oficial 2013, obteniendo resultados favorables en las distintas simulaciones de impacto, ya que estos no influyen o alteran el buen funcionamiento de la estructura, ninguno de los resultados presentó una deformación mayor a los 25 *mm*.

Para las simulaciones en condiciones normales de funcionamiento, se obtuvieron resultados muy favorables, ya que las tensiones máximas son bajas, los desplazamientos son casi imperceptibles y el factor de seguridad alto, lo que nos asegura que no debe existir falla en la estructura. Se puede resumir el chasis como una estructura

rígida, lo que puede significar una conducción incómoda, pudiéndose compensar desarrollando un sistema de suspensión que se ajuste a esta necesidad.

Las simulaciones realizadas en el programa SolidWorks 2012 permitieron comprender de forma más intuitiva y rápida el comportamiento de los materiales. Con lo que se pudo determinar el material propuesto para el modelo final, acero “SAE 4130” de 25.4 *mm* de diámetro y 2 *mm* de espesor, el cual tuvo resultados contundentes contra los obtenidos de un material de uso común en este tipo de estructuras (acero “SAE 1020”).

El chasis propuesto fue diseñado con perfiles tubulares del mismo diámetro exterior, lo que facilitaría el ensamble de los miembros estructurales.