



## **Diseño y análisis del chasis de un vehículo monoplaza Formula SENA**

Fecha de recepción del artículo: 10 de Febrero de 2016

## **Design and analysis of vehicle chassis of a single-seat car Formula SENA**

Article receipt's date: February 10th 2016



SENA Regional Santander  
Red de Conocimiento: Automotor  
Centro Industrial de Mantenimiento Integral CIMI  
Grupo de Investigación: SENA, Investigación y  
Desarrollos aplicados I+DEA



## **Wilson Felipe Jaimes Alfonso,**

Coordinador Escuela de Ingenierías y tecnologías, Corporación Escuela Tecnológica del Oriente,

Bucaramanga, Colombia, e-mail: [ingenierias@tecnologicadeloriente.edu.co](mailto:ingenierias@tecnologicadeloriente.edu.co).

## **Fabian Enrique González**

pertenece a la escuela de ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
Colombia

## **Luis Orlando Torres**

Director técnico de la escudería Forssa Oriente Eco

## Diseño y análisis del chasis de un vehículo monoplace Formula SENA

### Resumen

El presente artículo se presenta como el resultado del proceso de diseño y análisis llevado a cabo por el grupo de diseño de la escudería FORSSA Oriente ECO. quienes trabajaron en el diseño y fabricación de un vehículo monoplace de motor eléctrico con la intención de participar en la competencia anual de vehículos monoplazas FORMULA SENA organizada por la dirección general del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

### Palabras clave

Chasis, monoplazas, diseño, FEM

### Introducción

El chasis es aquel elemento que integra entre sí y sujeta tanto los componentes mecánicos, como el grupo motopropulsor, la suspensión de las ruedas y la carrocería del vehículo.

Es considerado como el componente más significativo de un automóvil ya que es el elemento principal que permite el armado de los demás componentes. Soporta el cuerpo del vehículo así como todos los esfuerzos producidos por la marcha del mismo, resiste los impactos que pudieran ocurrir actuando muy parecido a los huesos del cuerpo humano, siendo una estructura rígida que proporciona una protección al momento de un accidente, también da estabilidad al vehículo en diferentes condiciones de rodaje. Los chasis han cambiado con los años para aligerar su

## Design and analysis of vehicle chassis of a single-seat car Formula SENA

### Abstract

This article is presented as the result of the design process and analysis carried out by the designing motor-cing team FORSSA Oriente ECO., who worked in the design and manufacture of a single-seat electric motor vehicle with the intention of participating in the annual competition of single-seaters FORMULA SENA, organized by the General Direction of the Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA

### Keywords

Chassis, single-seaters, design, FEM.

### Introduction

The chassis is that element which integrates each other and fasten the mechanical components as well as the powertrain, the wheel suspension and the vehicle body.

It is considered the most significant component of a car because it is the key element that allows the assembly of the other components. It supports the vehicle body and all efforts produced by the march of it; it resists the impacts that may occur, by acting like the bones of the human body, being a rigid structure that provides protection at the time of an accident, it also gives stability to the vehicle in different driving conditions. The chassis has changed over the years to lighten its weight, and are usually made of different materials, depending

peso, y suelen estar contruidos de diferentes materiales, dependiendo de la rigidez, costo y forma teniendo como parámetro su funcionalidad. Los chasises están contruidos para ajustarse a la finalidad del vehículo. Hay varios tipos de chasis que han sido contruidos con algunos atributos únicos. Existen diferentes tipos de chasis para autos que pueden ofrecer distintas características y configuraciones.

## Antecedentes

### Chasis monocasco

El chasis de tipo monocasco es el más utilizado hoy en día por los fabricantes de automóviles. Es una estructura bastante rígida fácil de producir en masa y proporciona una gran estabilidad en caso de un accidente. La mayor desventaja de un chasis monocasco es que a pesar de que son fáciles de fabricar, no es rentable para su fabricación en pequeñas cantidades.

on the stiffness, cost and shape having as parameter its functionality. The chassis is constructed in order to fit the vehicle purpose. There are several types of chassis that have been built with some unique attributes. There are different types of car chassis that can offer different features and configurations.

## Background

### Monocoque chassis

The monocoque chassis is the most used today by automakers. It's a fairly rigid structure easy to mass produce and provides high stability in case of an accident. The biggest disadvantage of a monocoque chassis is that although they are easy to manufacture, it is not profitable to manufacture in small quantities.

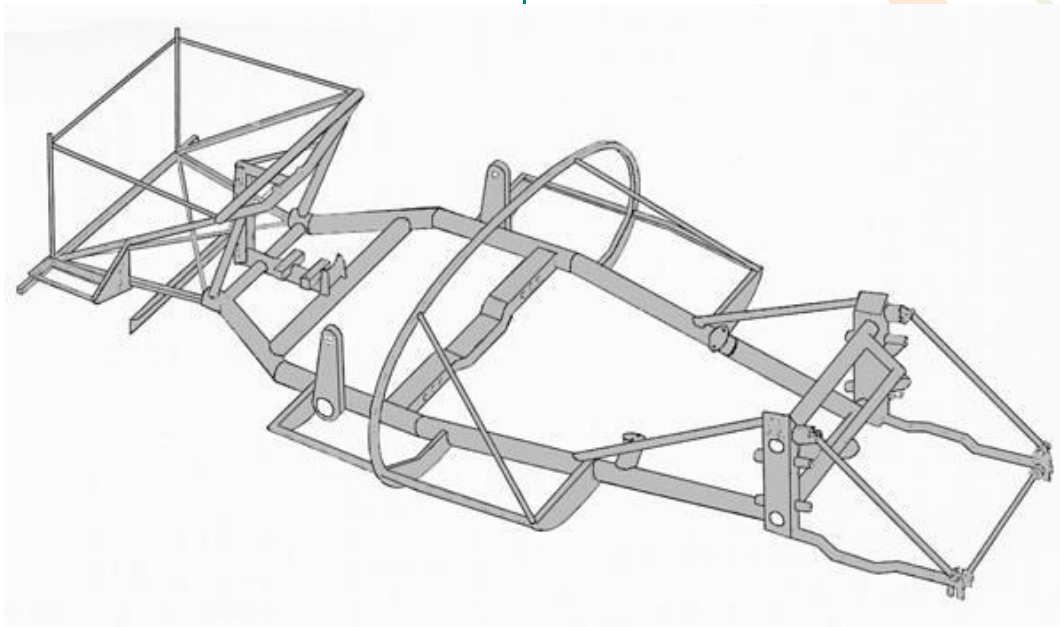


Figura 1. Chasis tipo escalera

Figure 1. Ladder Chassis



## Chasis monocasco

El chasis de tipo monocasco es el más utilizado hoy en día por los fabricantes de automóviles. Es una estructura bastante rígida fácil de producir en masa y proporciona una gran estabilidad en caso de un accidente. La mayor desventaja de un chasis monocasco es que a pesar de que son fáciles de fabricar, no es rentable para su fabricación en pequeñas cantidades.

## Monocoque chassis

The monocoque chassis is the most used today by automakers. It's a fairly rigid structure easy to mass produce and provides high stability in case of an accident. The biggest disadvantage of a monocoque chassis is that although they are easy to manufacture, it is not profitable to manufacture in small quantities.

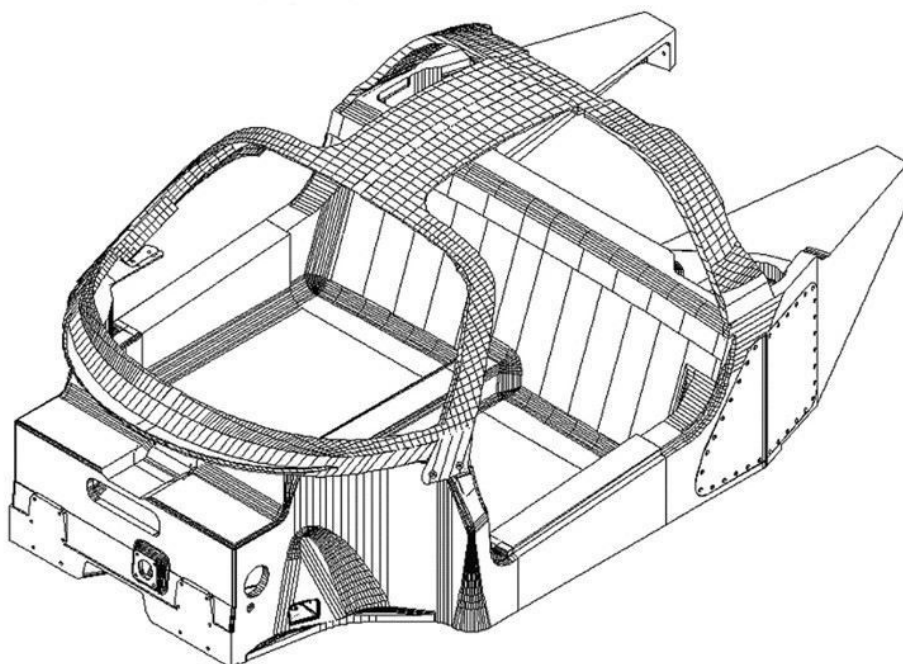


Figura 2. Chasis tipo Monocasco

Figure 2. Monocoque chassis

## Chasis columna vertebral

Este tipo de estructura tiene forma de columna vertebral y proporciona la estructura para todos los componentes de trabajo del vehículo. Este chasis se utiliza sobre todo en los roadsters. Pero tiene como desventaja su peso, ya que son muy pesados para ser usados en autos deportivos y demasiado caros para ser producidos en masa.

## Chasis columna vertebral

This type of structure has a backbone shape, and provides structure for all working components of the vehicle. This chassis is used primarily in the roadsters. But its disadvantage is its weight, because it is too heavy for being used in sports cars and too expensive to be mass produced

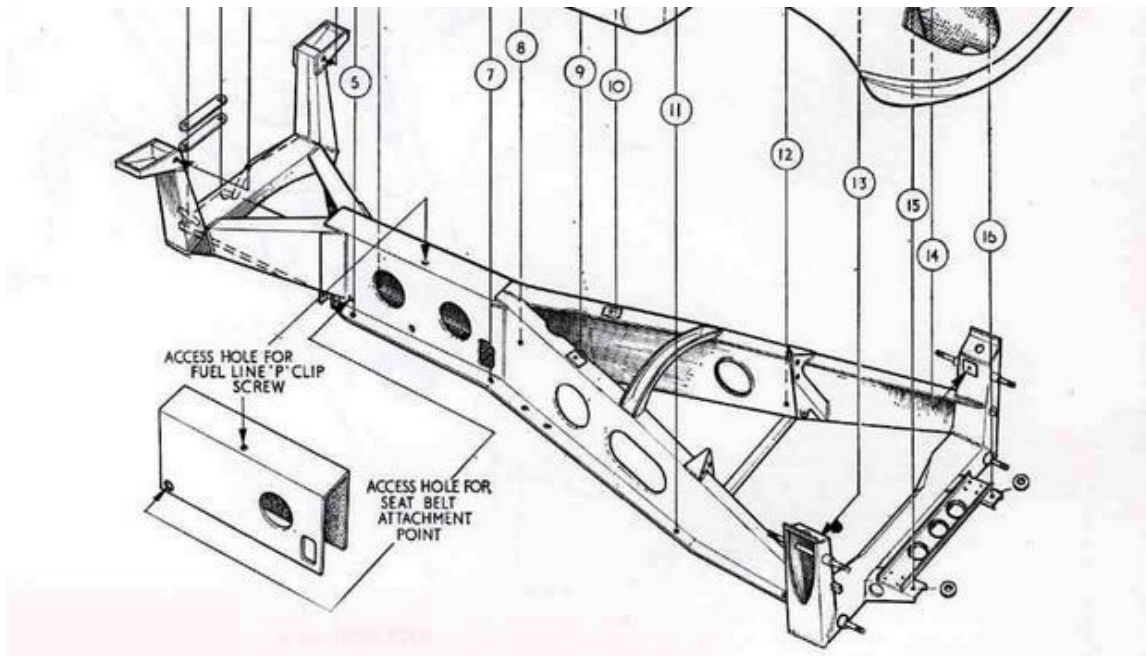


Figura 3. Chasis tipo columna vertebral

Figure 3. Chassis backbone

## Chasis espacial tubular

Los chasises espaciales tubulares son contruidos y diseñados principalmente para autos de carrera y autos deportivos de alta gama, lo cual se puede ver en marcas como Lamborghini, Ferrari y Jaguar. La estructura espacial tubular tiene un costo de fabricación bastante elevado y debido a la complejidad de su diseño y fabricación, no es rentable para la producción en masa, pero si en la elaboración de autos exclusivos, cabe resaltar que los chasises espaciales tubulares tienen la ventaja de ser mucho más resistentes y estables comparado con los otros tipos de chasis. (Arranz 2010)

## Tubular space chassis

The tubular space chassis is built and designed mainly for racing and high-end sports cars, which can be seen in brands such as Lamborghini, Ferrari and Jaguar. The tubular space frame has a quite high manufacturing cost, and due to the complexity of its design and production, it is not profitable for mass making, but in the development of exclusive cars, it should be noted that the tubular space chassis have the advantage to be much more resilient and stable compared to other types of chassis. (Arranz 2010)





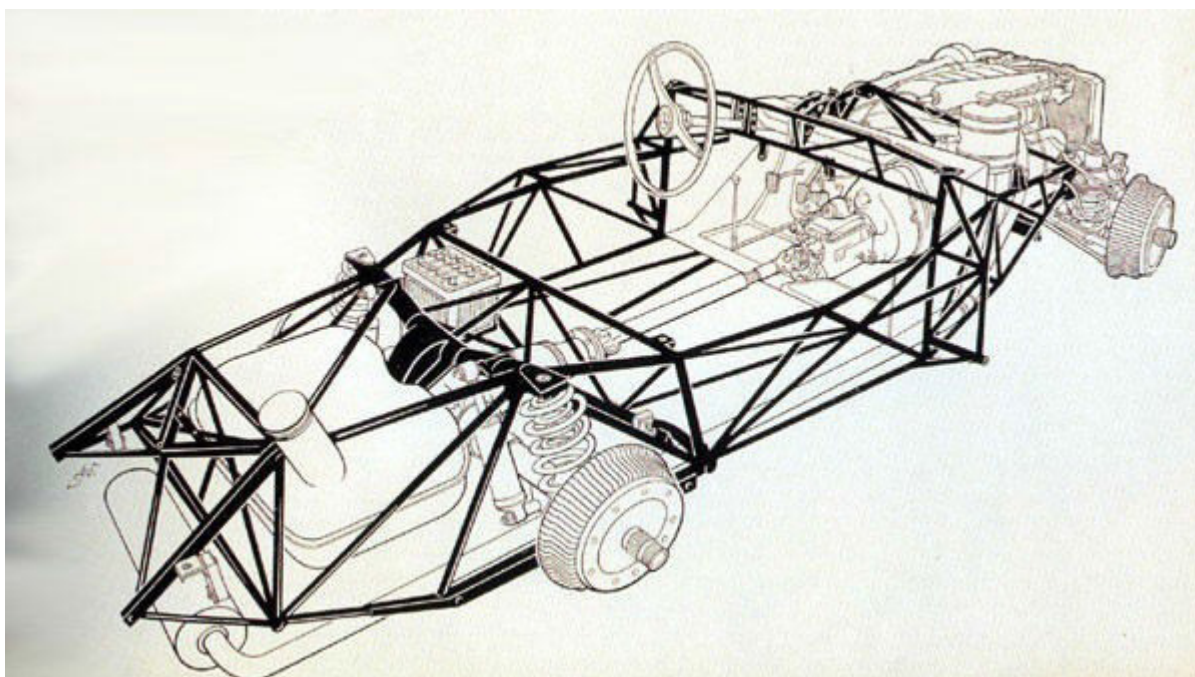


Figura 4. Chasis tipo espacial tubular

Figure 4. Tubular space type chassis

## Metodología

### Diseño Del Chasis

El chasis es una estructura que tiene como propósito conectar rígidamente la suspensión delantera y trasera, ofrecer puntos de amarre para diferentes sistemas del vehículo y proteger al conductor en caso de cualquier accidente de choque. Hay diferentes tipos de chasis como se vio, y cada uno es diseñado dependiendo de su funcionalidad. El monoplaza FSO2e es un vehículo de competición, y el diseño de su chasis debe ser acorde a las necesidades particulares, estas necesidades son gobernadas por el reglamento formula SENA-eco y criterios de diseño.

### Criterios de diseño

Existen factores que deben conocerse a la hora de realizar el diseño, estos factores son características o consideraciones que influyen en el sistema en general (chasis)

## Methodology

### Chassis Design

The chassis is a structure that aims to rigidly connect the front and rear suspension , to provide moorings for different vehicle systems and to protect the driver in case of any crash accident. There are different types of chassis as seen, and each is designed depending on its functionality. The FSO2e single-seat vehicle is a race car, and the design of the chassis must be commensurate to the specific needs, these needs are governed by the Formula SENA-Eco rules and design criteria.

### Criterios de diseño

There are factors that must be known when making the design, these factors are characteristics or considerations that influence the overall system (chassis) or any element that

o algún elemento que lo componga. Algunos de estos factores son la rigidez, resistencia, la forma, la seguridad, el tamaño, el peso, el costo, la confiabilidad, las condiciones térmicas, la corrosión, el desgaste, el ruido, entre otros. El tomar o no en cuenta varios de estos factores, se sustenta bajo un criterio específico, que en este caso es el cumplimiento de la normativa Formula SENA-eco.

## Criterio de rigidez, resistencia y forma

El chasis debe ser rígido, diseñado bajo condiciones de poca deformación y que sus esfuerzos no superen la resistencia de fluencia del material ya que es una estructura que debe aportar estabilidad al vehículo. En otras palabras el chasis al ser rígido, se deforma poco y así no altera las características de la conducción.

La rigidez, es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos. (Norton y GAZZANIGA 2009)

La rigidez del chasis debe estudiarse bajo dos conceptos fundamentales: la rigidez a la flexión y la rigidez torsional.

La rigidez a flexión es el valor de la flexión del chasis producida por la carga de los distintos elementos que conforman el vehículo, es decir los esfuerzos producidos por las cargas muertas presentes.

La rigidez torsional se refiere a cuánto se deforma un chasis debido a una carga asimétrica que, puede ocurrir en el caso que una de las ruedas pase por un bache mientras que las demás no. Según la competición a que esté dirigida al vehículo diseñado, le corresponderá una

componer it. Some of these factors include stiffness, strength, form, safety, size, weight, cost, reliability, thermal conditions, corrosion, wear, noise, among others. Taking or several of these factors, it is based on specific criteria, which in this case is the compliance of the Formula SENA-eco regulations.

## Criteria stiffness, strength and shape

The chassis must be rigid, designed under low deformation and that its efforts do not exceed the yield strength of the material as it is a structure that should provide stability to the vehicle. In other words, the frame being rigid, is slightly deformed and thus does not alter the driving characteristics.

Stiffness, is the ability of a solid object or structural element to withstand stresses without getting considerable deformations or displacements. (Norton and GAZZANIGA 2009)

The rigidity of the chassis must be studied under two fundamental concepts: the flexural rigidity and torsional rigidity.

The flexural rigidity is the value of deflection caused by loading the various elements of the vehicle, it means the strains produced by present dead loads. The torsional rigidity refers to how much a frame is deformed due to an asymmetrical load which may occur in case one of the wheels pass over a bump while the others do not. According to the competition that the designed vehicle is directed to, it will correspond a torsional rigidity or another. This depends on the maximum torque that can be submitted which comes from the combined forces





rigidez torsional u otra. Esto depende del par torsor máximo al que pueda estar sometido el cual proviene del conjunto de las fuerzas del sistema de suspensión, sistema que brinda las cargas críticas para la evaluación del chasis a diseñar.

Para reducir estos esfuerzos torsores se realizó un estudio de investigación de mejores prácticas en el diseño de chasis para autos de carreras y la solución geométrica o de forma para este proyecto está en el uso de la triangularización.

Se comprueba que la rigidez torsional no es muy grande ya que los nudos deben absorber gran parte de los esfuerzos en forma de momento flector. Si se arriostra esta estructura se hace que la barra de arriostramiento trabaje a esfuerzo axial (tracción o compresión) de modo que el nudo sufre un momento flector más pequeño. Diversos estudios muestran que la deformación debida a esfuerzo axial es mucho menor, en órdenes de magnitud, que la debida a momentos flectores y torsores. Por eso es preferible que se hagan trabajar las barras a esfuerzo axial antes que a momento flector y/o momento torsor. Esto se consigue con las estructuras triangularizadas. En cuanto al tipo de esfuerzo axial, es preferible la tracción a la compresión para evitar problemas de pandeo. (Alex Fabián Andrade Álvarez 2009)

En el diseño del chasis, en cuanto a la rigidez se tomaron en cuenta los siguientes puntos:

Hay elementos que no son parte integrante de la estructura pero que también aportan rigidez, en muchos casos nada despreciable, como por ejemplo, el motor. Hay que tenerlos en

of the suspension system, a system that provides critical loads for the evaluation of chassis to design.

To reduce these torsional stresses, it was done a research study of best practices in designing chassis for race cars, and the geometric solution for this project, is the use of triangulation.

It is found that the torsional rigidity is not huge because the knots should absorb much of the efforts in the form of bending moment. If this structure is braced makes the bracing bar works to axial stress (tension or compression) so that the knot suffers a smaller bending moment.

Studies show that the deformation due to axial stress is much lower by orders of magnitude, than that due to bending and torsional moments. Therefore, it is preferable that the bars are made to work axial stress rather than bending moment and / or torque.

This is achieved with triangularized structures. As for the type of axial force is preferable compressive strength to avoid buckling problems. (Alex Fabian Andrade Alvarez 2009)

In the chassis design, in terms of stiffness, there were taken into account the following points:

There are elements that are not integral part of the structure, but provide rigidity, often nothing negligible, such as the engine. They must be taken into account when calculating unless being conservative.

Bars with a large distance between

cuenta a la hora de calcular a menos de ser conservador. Las barras con una distancia grande entre apoyos necesitan un momento de inercia mayor para aumentar la rigidez. Los anclajes del cinturón de seguridad no deberían deformarse perceptiblemente durante el choque. El reglamento Formula SENA-eco exige un habitáculo de tipo tubular

supports need a greater moment of inertia to increase rigidity.

The seat belt anchorages should not significantly deform during the collision. The formula SENA-Eco regulation requires a Cockpit tubular type

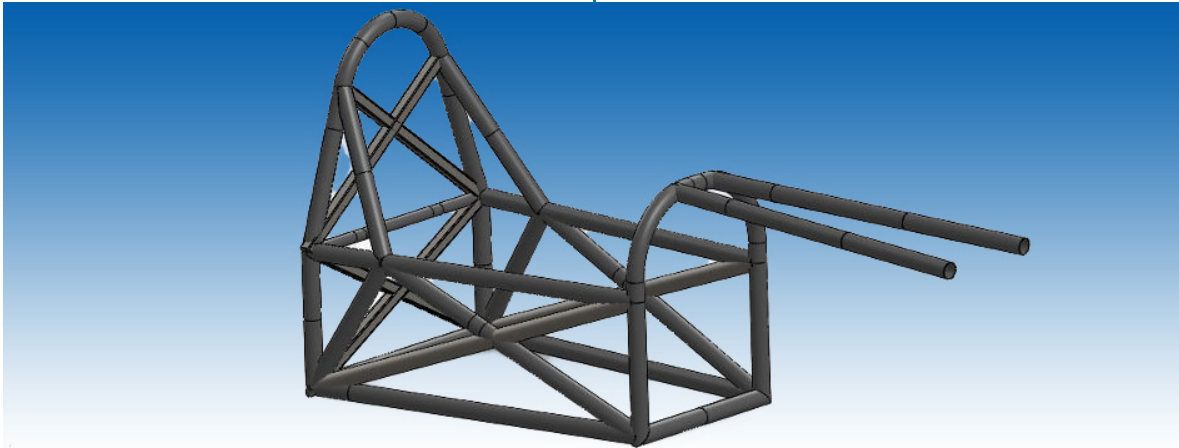


Figura 5. Habitáculo de tipo tubular

Figure 5. Cockpit tubular type

siendo este el corazón del chasis, lo cual llevo al chasis a realizarse en su totalidad en perfilería tubular bajo triangularización, a lo que se llama comúnmente un chasis espacial tubular tipo “cercha”.

this being the heart of the case, which led to the chassis made entirely in tubular profiles on triangulation, to what is commonly called a tubular space chassis ‘truss’ type’.

IV-A2. Criterio de seguridad: La seguridad del piloto es el parámetro más importante para el diseño del chasis, la rigidez, el peso, el espacio, el costo y demás factores están en función de este parámetro, por esto la normativa entregada por la comisión reglamentaria de la Formula SENA-eco,(2012) centra sus ojos en el análisis y comprobación a esfuerzos sometidos en la jaula de seguridad del piloto para condiciones de volcadura. Requisitos registrados en los numerales: 1.6; 7.1; 7.3; 7.8.3;

IV-A2. Safety criterion: The pilot safety is the most important parameter in the chassis design, stiffness, weight, space, cost and other factors are in function of this parameter, so the rules provided by the regulatory commission Formula SENA-eco (2012) focuses its eyes on the analysis and verification to efforts under the pilot safety cage for rollover conditions. Requirements registered in numerals: 1.6; 7.1; 7.3; 7.8.3;



7.8.6; 7.8.7; 10.2 y 11 del reglamento.

IV-A3. Criterio de peso, espacio y ergonomía: El peso del monoplaza FSO2e es uno de los parámetros más importantes a considerar ya que, afecta directamente la carga de las baterías, la velocidad del vehículo, la magnitud de fuerzas sobre el chasis y sus elementos, por ende el criterio de peso en el diseño se basa en realizar el vehículo lo más liviano posible cumpliendo la normativa.

La comisión reglamentaria de la formula SENA-eco por norma obliga que el vehículo, contenga dos packs de baterías, dos motores eléctricos, y una lista de componentes. Para listar los puntos en lo que compete al peso, espacio y ergonomía se tienen en cuenta los siguientes:

Cuanto menos peso tenga el chasis, respetando la rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor.

Respecto a los estudios hechos para la suspensión conviene que el centro de gravedad esté lo más bajo posible.

Debe considerarse la facilidad de acceso para los kit de baterías y los motores.

El vehículo será para un piloto de 1.70m a 1.75m. La estructura no debe interferir con el conductor en los movimientos que éste realice para la conducción. Un problema particular en este aspecto son los brazos del conductor.

El ángulo de las piernas y las dimensiones del cuerpo determinan la longitud del asiento.

La línea de visión se utiliza para determinar la altura del aro frontal.

7.8.6; 7.8.7; 10.2 and 11 of the Regulations.

IV-A3. Criterion weight, space and ergonomics: The weight of the car FSO2e is one of the most important parameters to be considered as it directly affects the battery power, the vehicle speed, the magnitude of forces on the chassis and its elements, thus the weight criterion in the design is based on making the vehicle as light as possible and complies with rules.

The regulatory commission Formula SENA-Eco rule requires that the vehicle contains two battery packs, two electric motors, and a list of components. To list the points in what concerns the weight, space and ergonomics the following are considered:

The less weight the chassis has, respecting stiffness, better engine power will be used.

Regarding the studies done for the suspension, it agrees that the center of gravity is as low as possible.

It must be considered the easy access to the battery kit and engines.

The vehicle will be for a pilot between 5.576 feet (1.70 meters high) to 5.74146982 feet (1.75 meters high).

The structure should not interfere with the driver on the movements he performs for driving. A particular problem in this respect are the arms of the driver.

The angle of the legs and body dimensions determine the length of the seat.

Es muy importante una rápida evacuación del conductor si hay un accidente.

Evitar imponer posturas forzadas; los movimientos naturales son más eficaces y menos fatigantes.

Evitar tener los brazos extendidos.

Procurar que los movimientos de los brazos sean opuestos o simétricos; el movimiento de un solo brazo implica una carga estática de los músculos del tronco.

Tener en cuenta la estabilidad de la posición del cuerpo.

La ergonomía fue basada en un hombre de percentil 85 tomando como referencia dos pilotos seleccionados previamente.

## Criterio de costos

El CIMI SENA de Girón patrocinador del diseño y fabricación del chasis para el FSO2e, disponían de tubería de fuselaje AISI 4140 con un esfuerzo a la fluencia de 517Mpa, especial para la fabricación de autos de carreras en perfilera cuadrada y redonda, lo cual fue el punto de partida para diseño. Generalmente en el diseño mecánico la selección del material es de los últimos parámetros a definir, en este caso fue el primero. Por esta razón los criterios de costos están basados bajo la fabricación de un chasis espacial tubular y se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

La selección de barras debe ser lo menos variada posible en cuanto a diámetros.

El número de barras dobladas debe ser lo menor posible. El número de uniones debe ser el mínimo posible.

The line of sight is used to determine the height of the front ring.

It is very important a quick evacuation of the driver if there is an accident.

Avoid imposing awkward postures; natural movements are more effective and less fatiguing.

Avoid having extended arms.

Ensure that the movements of the arms are opposite and symmetrical; the movement of one arm implies a static load of the trunk muscles.

Take into account the stability of the position of the body.

Ergonomics was based on a 85 percentile man with reference to two selected drivers previously.

## Cost criterion

The SENA CIMI Girón who was the sponsor of the design and manufacture of chassis for the FSO2e, possessed fuselage pipe AISI 4140 with an effort to creep 517Mpa, particularly for the manufacture of racing cars in square and round grid, which was the starting point for design. Generally in the mechanical design, material selection is the last parameter to define, in this case was the first. Therefore the cost criteria are based on low cost manufacturing a tubular space chassis and the following aspects are considered:

The selection of bars should be at least varied as possible in diameters.

The number of bent bars should be as small as possible. The number of joints should be minimized.



En una construcción soldada de una estructura tubular, casi todos los costes de fabricación corresponden a las barras de relleno.

## Criterio de falla

La tubería con que fue diseñado el chasis del monoplaza FSO2e es de acero. Un material dúctil, por lo cual el análisis del chasis se basó en la teoría de la máxima tensión cortante (criterio de Tresca) y la teoría de la máxima energía de distorsión (criterio de Von Mises).

La teoría de la máxima tensión cortante establece que "La falla se producirá cuando el esfuerzo cortante máximo absoluto en la pieza sea igual o mayor al esfuerzo cortante máximo absoluto de una probeta sometida a un ensayo de tensión en el momento que se produce la fluencia"

La teoría de la máxima energía de distorsión establece que "la falla se producirá cuando la energía de distorsión por unidad de volumen debida a los esfuerzos máximos absolutos en el punto crítico sea igual o mayor a la energía de distorsión por unidad de volumen de una probeta en el ensayo de tensión en el momento de producirse la fluencia"

## Criterios sobre cargas y supuestos

En este apartado se encuentran las peores condiciones de carga posibles a las que puede ser sometido el chasis.

Los esfuerzos de diseño se encuentran en las siguientes condiciones:

- El monoplaza en caso de volcadura.

In a welded construction of a tubular structure, almost all manufacturing costs correspond to the braces.

## Failure criterion

The pipe that was used in the designed of the FSO2e Single-seater chassis is steel. A ductile material, for which the chassis analysis was based on the theory of maximum shear stress (Tresca criterion) and the theory of maximum energy of distortion (Von Mises criterion).

The theory of maximum shear stress states that "Failure occurs when the absolute maximum shear stress in the piece is equal to or greater than the absolute maximum shear stress of a specimen subjected to tensile test at the time that the creep occurs"

The theory of maximum distortion energy states that "Failure occurs when the distortion energy per volume unit due to the absolute maximum efforts at the critical point is equal to or greater than the distortion energy per unit volume of a specimen in the tensile test at the time of the creep occur"

## Criteria about loads and assumptions

In this section are the worst possible conditions of cargo which the chassis may be subjected.

Design efforts are under the following conditions:

- The single-seater rollover.
- The single-seater at the time of being in a curve.



- El monoplace al momento de estar en una curva.
- El monoplace al momento de tomar una curva frenando.
- El monoplace al momento de salir de una curva acelerando El monoplace al frenar bruscamente.
- El monoplace en caso de impacto frontal.
- El monoplace al momento de coger un bache.

Las condiciones mencionadas generan unas cargas específicas que se clasifican según su variación en el tiempo, como sigue:

**Cargas permanentes:** El peso de la estructura, del piloto, de las baterías, y demás componentes fijos.

**Cargas variables:** Cargas provenientes de la suspensión o las inercias al acelerar, al frenar o al girar.

## Tipos De Análisis Efectuados

El chasis fue estudiado bajo cuatro condiciones de análisis. Análisis estático, análisis dinámico, análisis de impacto y análisis armónico donde cada estudio fue realizado bajo supuestos de cargas.

### Supuesto Reposo

The first static study to be subjected to any permanent structure is the charge generated by its own weight and fixtures.

A system of charges based on the weight of the chassis, the rider's weight,

- The single-seater when braking on a curve.
- The single-seater when accelerating out of a corner.
- The single-seater when braking hard.
- The single-seater in a frontal impact.
- The single-seater when catching a pothole.

The conditions referred generate specific loads that are classified according to their variation in time as follows:

**Permanent loads:**

The structure, the pilot, batteries, and other fixed components weight.

**Variable loads:**

loads from the suspension or the inertia during acceleration, braking or turning.

## Types Of Analysis Made

The chassis was tested under four conditions of analysis. Static analysis, dynamic analysis, impact analysis and harmonic analysis where each study was conducted under simulations of loads.

### Rest position simulation

El primer estudio estático al que debe ser sometida cualquier estructura es la carga permanente generada por su propio peso y elementos fijos. Se modelo un sistema de cargas referido al peso del chasis,



batteries, motors and other components was molded.

In this case the centers of gravity were taken separately for each component, this in order to have a more realistic conversion calculation.

The chassis of the single-seater was subjected to a loads system as shown in the figure.

el peso del piloto, baterías, motores y demás componentes.

Para este supuesto se tomaron los centros de gravedad por separado para cada componente, esto con la finalidad de tener un cálculo más aproximado a la realidad.

Se sometió el chasis del monoplaza a un sistema de cargas como se muestra en la figura

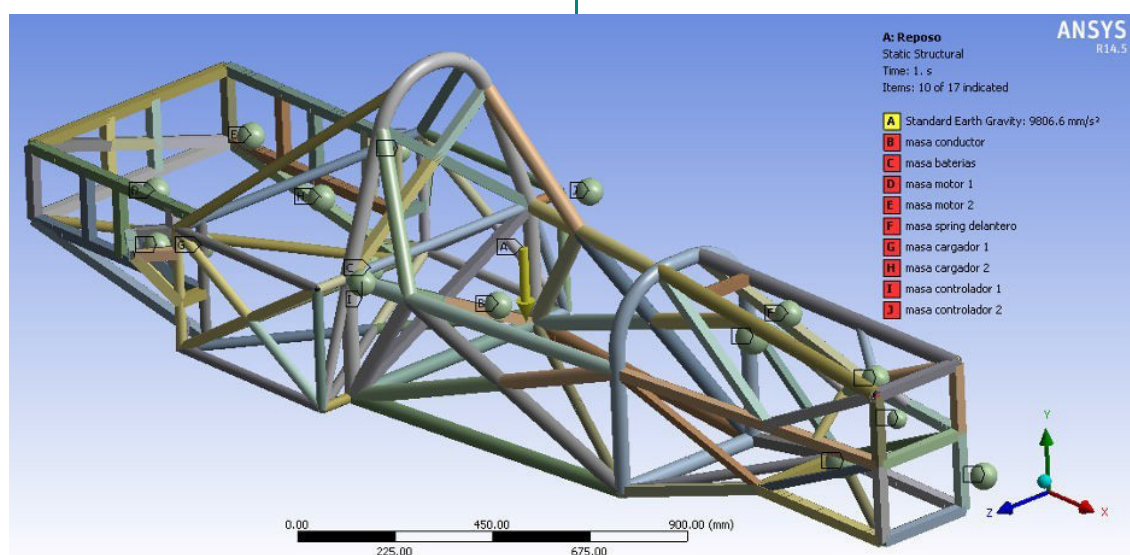


Figura 6. Supuesto de cargas "Reposo"

Donde el chasis se encuentra apoyado en los puntos de anclaje de la suspensión. Cada una de las esferas grises representa las masas de los componentes sujetos a sus puntos de anclaje correspondientes en la estructura y la flecha amarilla representa la gravedad de la tierra

## Resultados de Análisis por elementos finitos:

Según la teoría de la máxima energía de distorsión (criterio de Von Mises), se obtuvo un esfuerzo equivalente máximo de 80.92Mpa como se muestra

Figure 6. Simulation of loads 'Rest position'

Where the chassis is supported on the anchor points of suspension, each of the gray spheres represents the masses of the components subject to their respective anchoring points in the structure and the yellow arrow represents the gravity of the earth.

## Analysis results of Finite Elements

According to the theory of maximum energy of distortion (Von Mises criterion), it was obtained a maximum of effort of 80.92 Mpa as shown

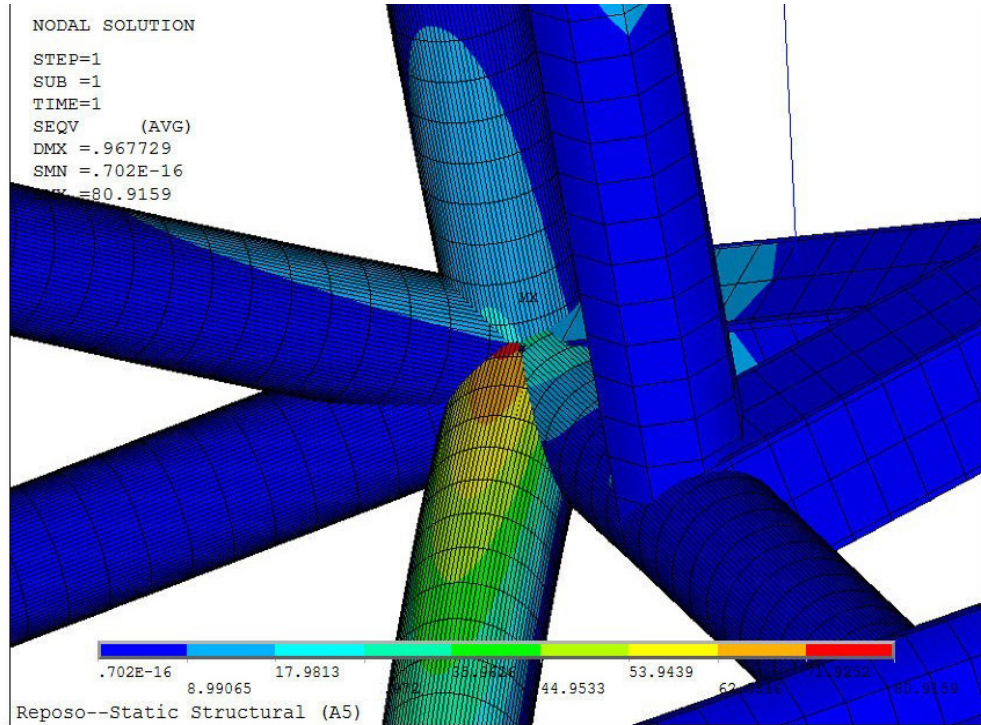


Figura 7. Esfuerzo equivalente máximo supuesto reposo, Von Mises APDL

Resultado exitoso, ya que un esfuerzo equivalente máximo de 80.92Mpa está muy por debajo del límite de fluencia del material. Se obtuvo un factor de seguridad de 6.38 como se muestra en la figura

Figure 7. Maximum Effort equivalent rest position simulation , Von Mises APDL

Successful outcome, since a maximum of 80.92Mpa effort is well below the yield strength of the material. A safety factor of 6.38 was obtained as shown in the figure.

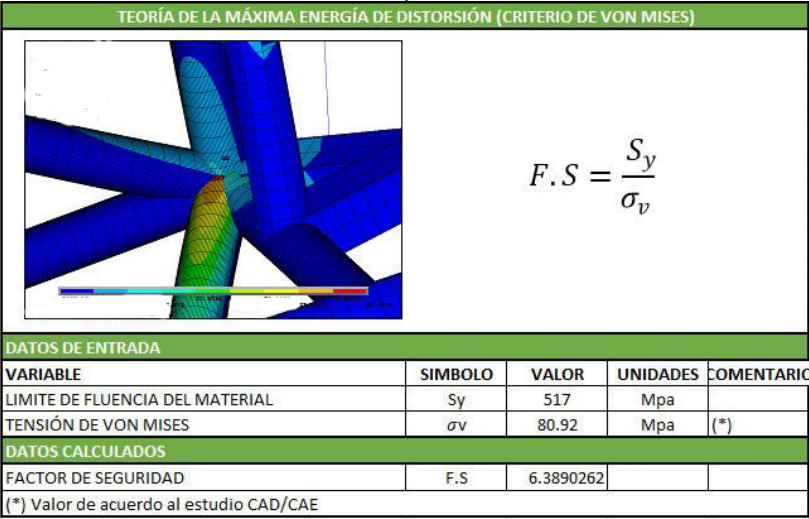


Figura 8. Calculo factor de seguridad supuesto reposo según criterio de Von Mises

Figure 8. Calculation safety factor of rest position simulation according to Von Mises criterion

## Supuesto Remolque

Este supuesto estático nació del requisito de la comisión reglamentaria del SENA, que se encuentra en el numeral 1.3 del anexo A, que consiste en la instalación de una platina en la parte trasera del chasis para arrastrar el monoplaza en caso de avería. En este supuesto se maximizó el problema a una avería no de tipo motor, sino en caso de un accidente donde el monoplaza pierda una o más de sus ruedas donde la solución no es arrastrar el vehículo sino remolcarlo. El sistema de cargas planteado es el mismo del supuesto anterior, teniendo un cambio en el punto de soporte, que sería para este caso, la parte superior del aro trasero del chasis y la inclusión del peso de las ruedas como se muestra en la figura.

## Trailer Simulation

This static simulation was born from the requirement of the SENA regulatory commission, which is in Section 1.3 Annex A, which involves the installation of a deck on the back of the chassis to pull the single-seater in case of breakdown. In this simulation, the problem was maximized to a fault not of engine type, but in case of an accident where the car lost one or more of its wheels where the solution is not to drag the vehicle but to tow it. The proposed loads system is the same of the previous simulation, given a change in the point of support, which would be in this case, the top of the rear rim of the chassis and the inclusion of the weight of the wheels as shown in Fig

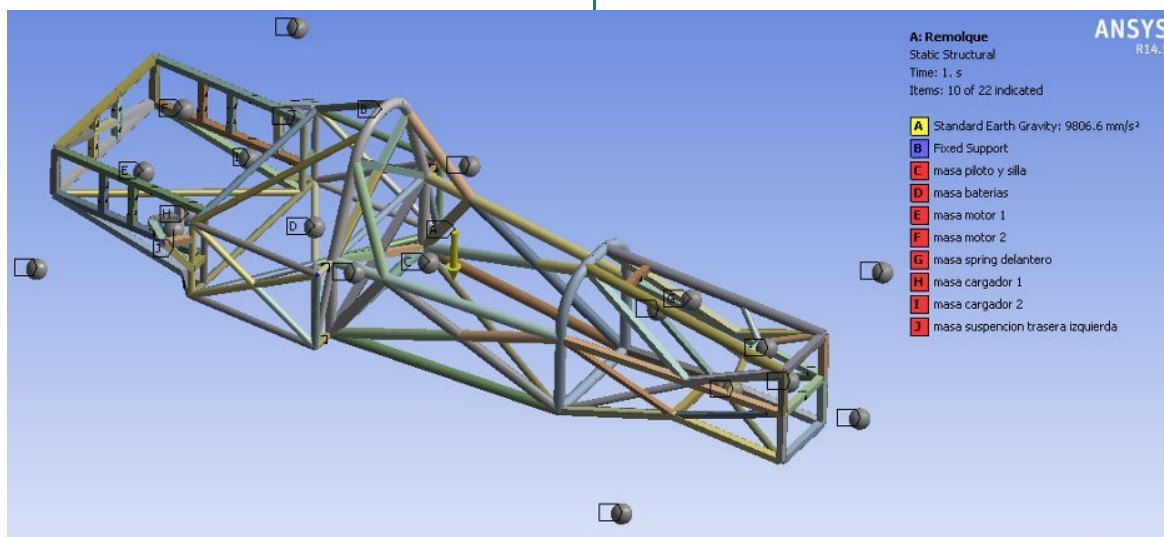


Figura 12. Supuesto de cargas "Volcadura"

Figure 12. Simulation of loads 'Trailer'

## Resultados de Análisis por elementos finitos

Según la teoría de la máxima energía de distorsión (criterio de Von Mises), se

## Results of Finite Element Analysis

According to the theory of maximum energy of distortion (Von Mises criterion), a maximum of effort 86.37Mpa was



obtuvo un esfuerzo equivalente máximo de 230.17Mpa como se muestra

obtained as shown

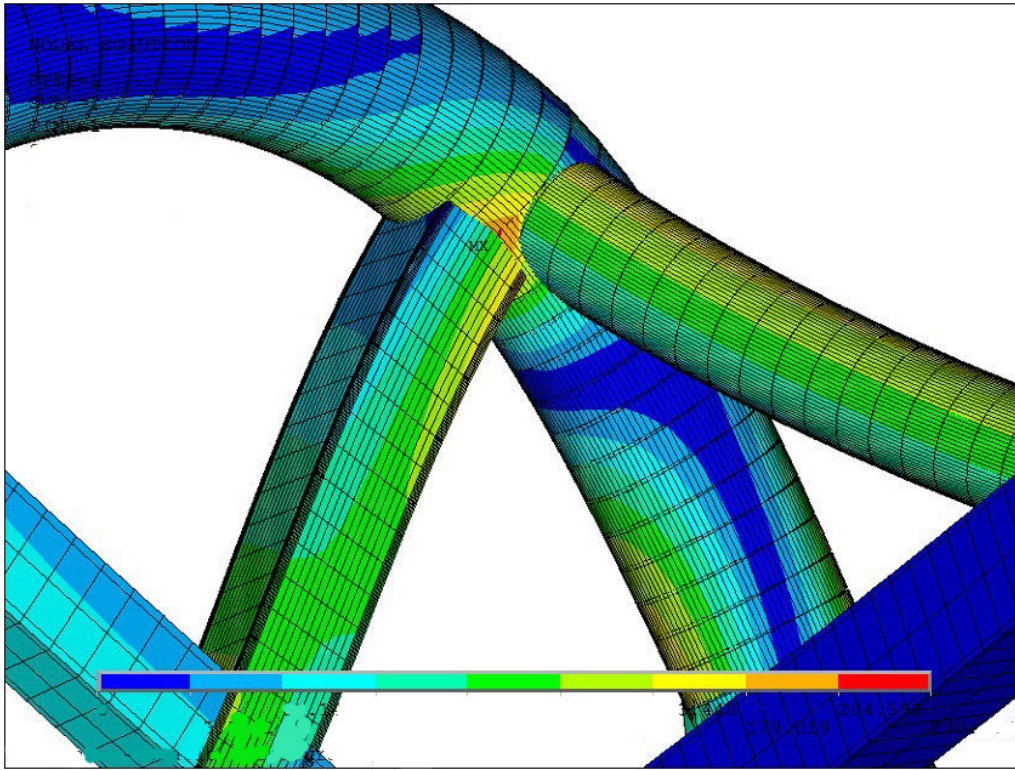


Figura 13. Esfuerzo equivalente máximo supuesto volcadura, Von Mises APDL

Figure 13. Maximum equivalent effort rollover simulation, Von Mises APDL

Resultado exitoso, ya que un esfuerzo equivalente máximo de 230.17Mpa cumple con la normativa establecida por el SENA para este análisis, y está por debajo del límite de fluencia del material.

It was a successful outcome, since a maximum equivalent effort of 230.17Mpa complies with the rules established by SENA for this analysis, and it is below the limit of yield strength of the material.

## Supuesto Suspensión

Este supuesto surge de un análisis dinámico realizado en conjunto con el equipo de suspensión de la escudería FORSSA, equipo encargado de diseñar y modelar todos los componentes que componen el sistema de suspensión del monoplace, es bien sabido que el diseño de suspensión es el primer parámetro a tener en cuenta a la hora de diseñar un chasis, los expertos afirman que "un vehículo monoplace se

## Suspension Simulation

This simulation stems from a dynamic analysis in conjunction with the Suspension FORSSA team, who is in charged of designing and modeling all the components that make up the single-seater suspension system.

It is well known that the suspension design is the first parameter to consider when designing a chassis, the experts say





diseña de las llantas hacia adentro". Este supuesto consiste en el modelamiento de un sistema de cargas en el chasis, para las peores condiciones a las que pueden ser sometidos los elementos que componen la suspensión, para esto se evaluó el comportamiento del monoplaza para tres casos críticos, que fueron: Tomar una curva frenando a 1G, tomar una curva acelerando a 1G y al pasar por la curva sin acelerar ni frenar.

Los valores de carga suministrados por el equipo de sus- pensión para cada caso son los que se muestran en la figura

| Fuerza Tren Delantero                              | Acelerando     | Sin Acelerar | Frenando        |
|----------------------------------------------------|----------------|--------------|-----------------|
| Fuerzas en Tijera Delantera Superior izquierda [N] | -3981          | -5055        | -6125           |
| Fuerzas en Tijera Delantera Superior derecha [N]   | 178.9          | 227.8        | 276.1           |
| Fuerzas en Tijera Delantera Inferior izquierda [N] | 6714           | 8525         | 10332           |
| Fuerzas en Tijera Delantera Inferior derecha [N]   | -511           | -663         | -803.5          |
| Fuerza Push Rod izquierda [N]                      | 3436           | 4361         | 5283            |
| Fuerza Push Rod derecha [N]                        | 94.28          | 134.5        | 163             |
| Fuerza Tren Trasera                                | AX=9,81[m/s^2] | AX=0 [m/s^2] | AX=-9,81[m/s^2] |
| Fuerzas en Tijera Trasera Superior izquierda [N]   | -7629          | -6480        | -5333           |
| Fuerzas en Tijera Trasera Superior derecha [N]     | 321.6          | 273.4        | 225             |
| Fuerzas en Tijera Trasera Inferior izquierda [N]   | 12038          | 10225        | 8415            |
| Fuerzas en Tijera Trasera Inferior derecha [N]     | -824.3         | -715.5       | -588.9          |
| Fuerza Push Rod izquierda [N]                      | 6359           | 5401         | 4445            |
| Fuerza Push Rod derecha [N]                        | 66.92          | 72.63        | 59.79           |

Figura 14. Fuerzas suspensión al momento de dar una curva a la derecha

Al estudiar las fuerzas se encontraron los casos críticos para análisis, concluyendo que el tren delantero presenta las cargas máximas en el momento que el monoplaza frena en curva, mientras que el tren trasero presenta las cargas máximas cuando el monoplaza toma la curva acelerando.

Al momento de tomar una curva hacia la derecha, las cargas críticas se encuentran en las barras de suspensión del lado izquierdo del monoplaza, como se muestra en la figura

that " a single-seat vehicle is designed tires inward. " This simulation consists of modeling a system of loads in the chassis, for the worst conditions that can be the elements of the suspension subjected, for this reason the car behavior was assessed, for three critical cases, which were: Taking a curve braking 1G, taking a curve accelerating 1G, and taking a curve without accelerating or braking.

The load values supplied by the team suspension for each case are shown in Figure

Figure 14. Forces suspension when giving a curve to the right.

When studying the forces the critical cases for analysis were found, concluding that the front has the maximum loads at the time that the car brakes in a curve, while the rear has the maximum loads when the car takes the curve accelerating.

When taking a curve to the right, critical loads are in the suspension rods on the left side of the car, as shown in Figure

| Fuerza Tren Delantero                              | Frenando |
|----------------------------------------------------|----------|
| Fuerzas en Tijera Delantera Superior izquierda [N] | -6125    |
| Fuerzas en Tijera Delantera Superior derecha [N]   | 276.1    |
| Fuerzas en Tijera Delantera Inferior izquierda [N] | 10332    |
| Fuerzas en Tijera Delantera Inferior derecha [N]   | -803.5   |
| Fuerza Push Rod izquierda [N]                      | 5283     |
| Fuerza Push Rod derecha [N]                        | 163      |

| Fuerza Tren Trasera                              | Acelerando |
|--------------------------------------------------|------------|
| Fuerzas en Tijera Trasera Superior izquierda [N] | -7629      |
| Fuerzas en Tijera Trasera Superior derecha [N]   | 321.6      |
| Fuerzas en Tijera Trasera Inferior izquierda [N] | 12038      |
| Fuerzas en Tijera Trasera Inferior derecha [N]   | -824.3     |
| Fuerza Push Rod izquierda [N]                    | 6359       |
| Fuerza Push Rod derecha [N]                      | 66.92      |

Figura 15. Fuerzas críticas en las barras de suspensión curva a la derecha

Figure 15. Critical forces in the suspension rods, curve to the right

El supuesto consiste en dos sistemas de cargas en el chasis:

The simulation consists of two sets of loads on the chassis:

El primero es transferir las fuerzas críticas de las barras de suspensión izquierdas del tren delantero a los correspondientes puntos de anclaje presentes en el chasis, fijando el chasis a los demás puntos de anclaje de las tijeras de suspensión como se ve en la figura

The first is to transfer the critical forces of the left suspension rods on the front to the corresponding anchor points present in the chassis, setting the chassis to the other anchor points of the scissors

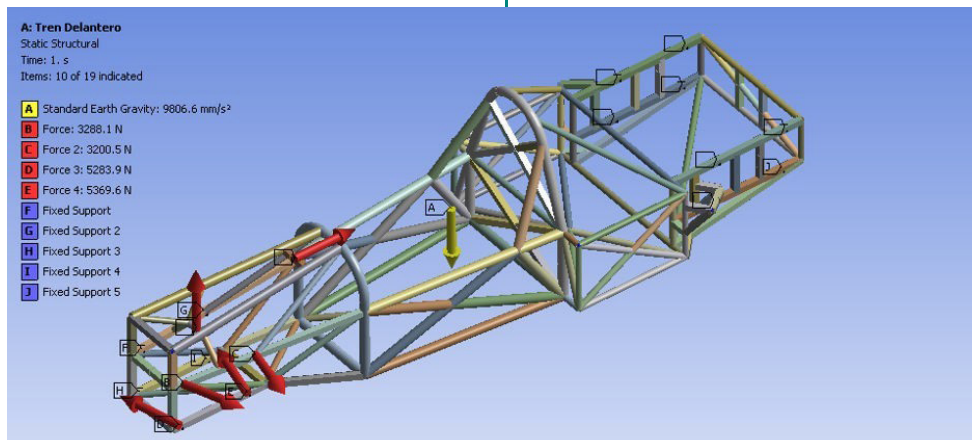


Figure 16. Simulation of loads 'front suspension'

Figure 16. Simulation of loads 'front suspension'

El Segundo es transferir las fuerzas críticas de las barras de suspensión izquierdas del tren trasero a los correspondientes puntos de anclaje presentes en el chasis, fijando el chasis a los demás puntos de anclaje de las tijeras de suspensión como se ve en la figura

The second is to transfer the critical forces of the left suspension rods in the back to the corresponding anchor points present in the chassis, setting the chassis to the other anchor points of the scissors suspension as shown in Figure suspension as shown in Figure

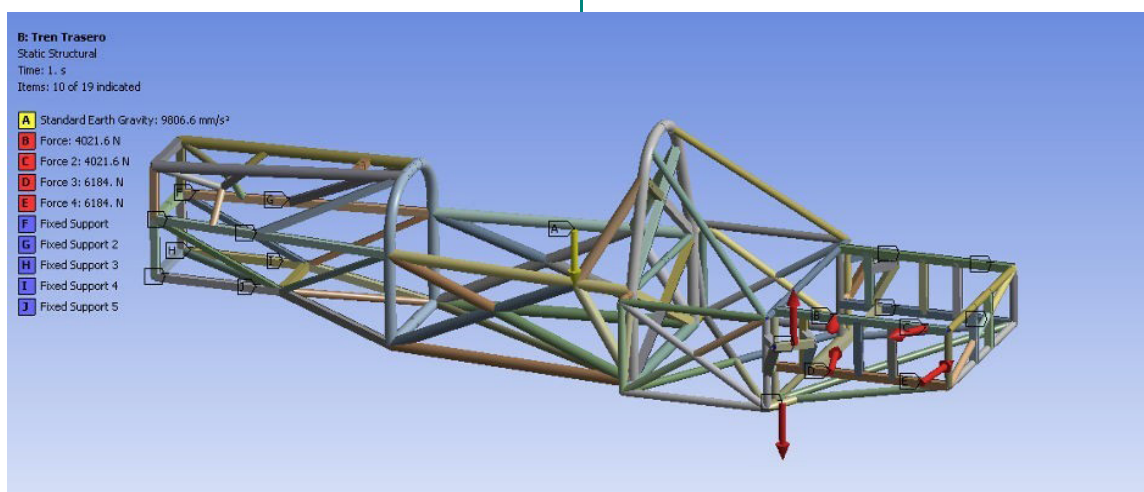


Figura 17. Supuesto de cargas "Suspensión trasera"

Figure 17. Simulation of loads "Rear suspension"

Donde el valor de las fuerzas en los puntos de anclaje se encuentra en la siguiente figura

The value of the forces at the anchor points are located in the following figure

| Fuerza Tren Delantero                              | FRENANDO   | FX1    | FY1    | FZ1    | FX2    | FY2    | FZ2    |
|----------------------------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fuerzas en Tijera Delantera Superior izquierda [N] | -6125      | 3167   | 305.1  | -829.7 | 3078   | 311.7  | 819.7  |
| Fuerzas en Tijera Delantera Superior derecha [N]   | 276.1      | 142.7  | -13.75 | 37.4   | 138.7  | -14.05 | -36.95 |
| Fuerzas en Tijera Delantera Inferior izquierda [N] | 10332      | -5124  | -7.553 | 1290   | -5202  | -7.668 | -1331  |
| Fuerzas en Tijera Delantera Inferior derecha [N]   | -803.5     | -398.5 | 0.5874 | -100.4 | -404.6 | 0.5963 | 103.5  |
| Fuerza Push Rod izquierda [N]                      | 5283       |        |        |        |        |        |        |
| Fuerza Push Rod derecha [N]                        | 163        |        |        |        |        |        |        |
|                                                    |            |        |        |        |        |        |        |
| Fuerza Tren Trasera                                | ACELERANDO | FX1    | FY1    | FZ1    | FX2    | FY2    | FZ2    |
| Fuerzas en Tijera Trasera Superior izquierda [N]   | -7629      | -3777  | 535.6  | -1273  | -3777  | 535.6  | 1273   |
| Fuerzas en Tijera Trasera Superior derecha [N]     | 321.6      | 159.2  | -22.58 | 53.67  | 159.2  | -22.58 | -53.67 |
| Fuerzas en Tijera Trasera Inferior izquierda [N]   | 12038      | 6000   | 541.5  | 1396   | 6000   | 541.5  | -1396  |
| Fuerzas en Tijera Trasera Inferior derecha [N]     | -824.3     | -410.8 | -37.08 | -95.61 | -410.8 | -37.08 | -95.61 |
| Fuerza Push Rod izquierda [N]                      | 6359       |        |        |        |        |        |        |
| Fuerza Push Rod derecha [N]                        | 66.92      |        |        |        |        |        |        |

Figura 18. Fuerzas críticas en los anclajes de tijeras suspensión curva a la derecha

Figure 18. Critical forces at the anchors points of the scissors suspension, curve to the right

El signo negativo en las fuerzas de las tijeras y push rod representa que las barras se encuentran a tensión, mientras que el signo positivo se refiere a compresión.

V-D1. Resultados de Análisis por elementos finitos: Según la teoría de la máxima energía de distorsión (criterio de Von Mises), se obtuvo un esfuerzo equivalente máximo de 329.67Mpa para el supuesto de suspensión delantera como se muestra

The negative sign in the scissors forces and the push rod represents that the rods are in tension, while the positive sign refers to the compression.

V-D1. Results of Finite Element Analysis: According to the theory of maximum energy of distortion (Von Mises criterion), it was obtained a maximum equivalent effort of 329.67Mpa for the front suspension simulation as shown

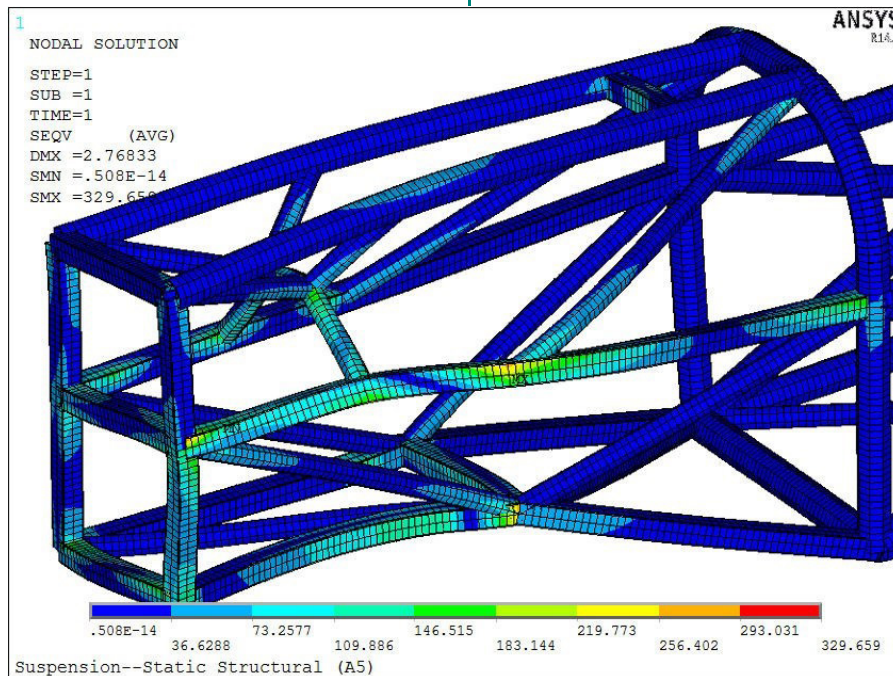


Figura 19. Esfuerzo equivalente máximo suspensión delantera, Von Mises APDL

Resultado exitoso, ya que un esfuerzo equivalente máximo de 329.67Mpa está por debajo del límite de fluencia del material.

Se obtuvo un factor de seguridad de 1.56 como se muestra en la figura

Figure 19. Maximum equivalent effort front suspension simulation, Von Mises APDL

It was a successful outcome, since a maximum of effort 329.67Mpa is below the limit of the yield strength of the material.

A safety factor of 1.56 was obtained as shown in Figure





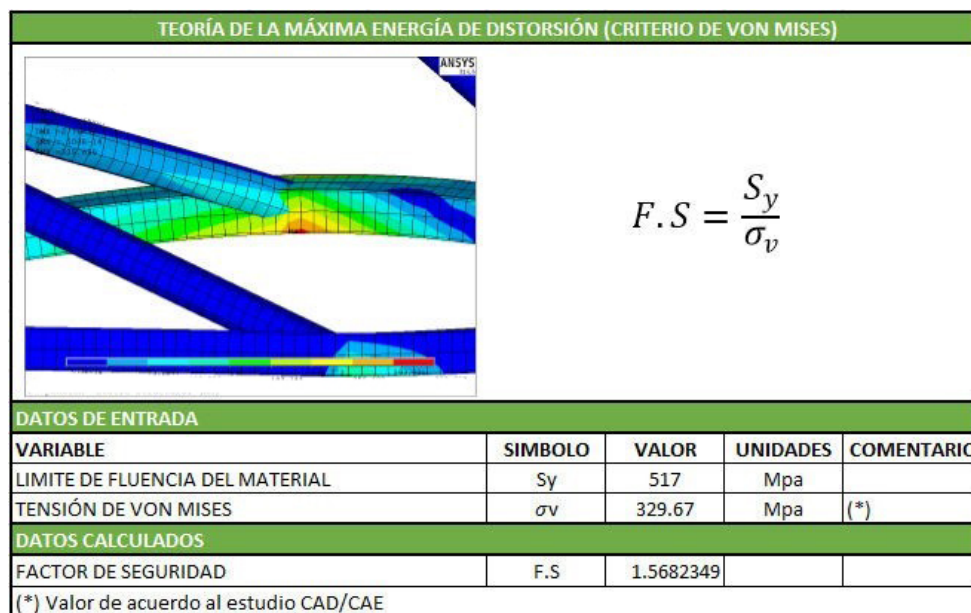


Figura 20. Calculo factor de seguridad su-puesto suspensión delantera según criterio de Von Mises

Figure 20. Calculation safety factor of front suspension simulation according to Von Mises criterion

Según la teoría de la máxima energía de distorsión (criterio de Von Mises), se obtuvo un esfuerzo equivalente máximo de 373.35Mpa para el supuesto de suspensión trasera como se muestra

According to the theory of maximum energy of distortion (Von Mises criterion), a maximum equivalent effort of 373.35Mpa for the rear suspension was obtained as shown

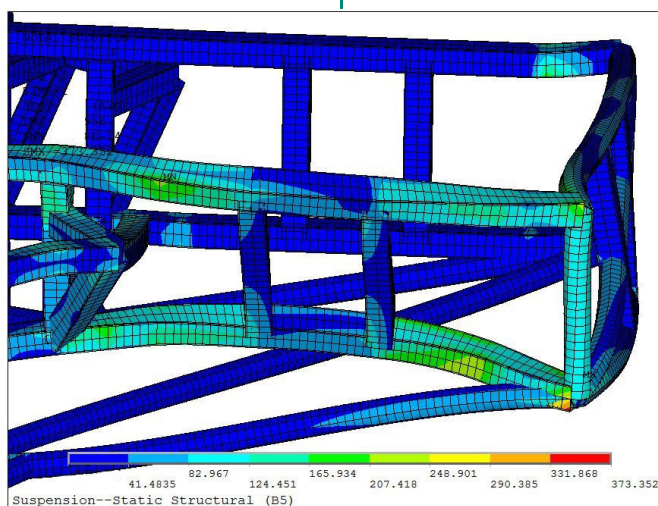


Figura 21. Esfuerzo equivalente máximo suspensión trasera, Von Mises APDL

Figure 21. Maximum equivalent effort rear suspension, Von Mises APDL



Resultado exitoso, ya que un esfuerzo equivalente máximo de 373.35Mpa esta por debajo del límite de fluencia del material.

Se obtuvo un factor de seguridad de 1.38 como se muestra en la figura

Successful outcome, since a maximum equivalent effort of 373.35Mpa is below the limit of the yield strength of the material.

A safety factor of 1.38 was obtained as shown in Figure

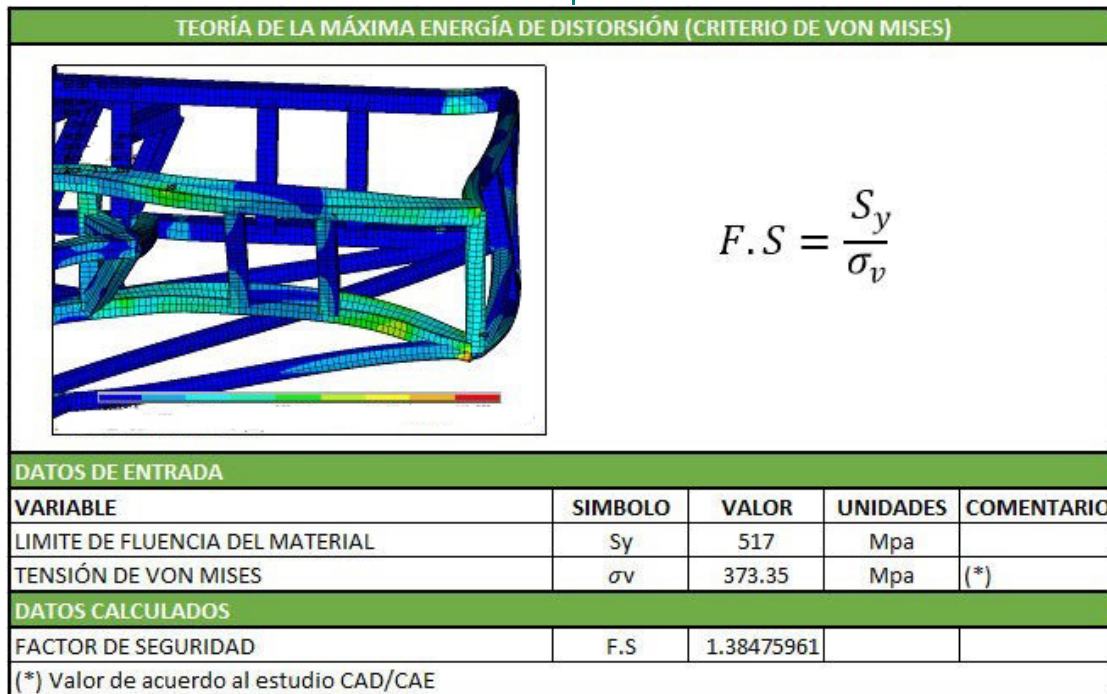


Figura 22. Calculo factor de seguridad supuesto suspensión trasera según criterio de Von Mises

Figure 22. Calculation safety factor of rear suspension simulation according to Von Mises criterion

## Supuesto Armónico

Este supuesto se realizó para encontrar un rango de frecuencias en las cuales el chasis podría estar en riesgo de resonancia. Para este supuesto se tuvo en cuenta la carga fluctuante del motor sobre el chasis. Con la acción de dos fuerzas de magnitud referentes al torque de los motores sobre el chasis en el lugar donde los motores se encuentran sujetos como se muestra en la figura.

## Harmonic Simulation

This simulation was made to find a frequency range in which the chassis may be at risk of resonance. For this simulation was considered the fluctuating engine load on the chassis. With the action of two magnitude forces concerning the engine torque on the chassis at the place where the engines are subject to, as shown in Fig.

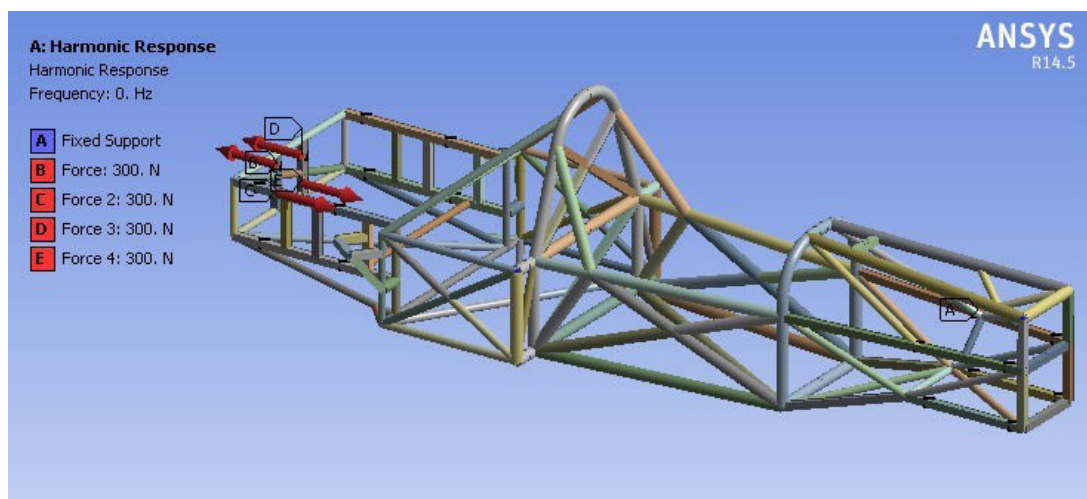


Figura 23. Supuesto de cargas “Armónico”

Lo primero que se realiza es encontrar las frecuencias naturales para el chasis, realizando un análisis modal con la herramienta modal de Ansys obteniendo la siguiente gráfica.

Figure 23. Simulation of loads “ Harmonic

The first thing that is done is to find the natural frequencies for the chassis, performing a modal analysis with the Ansys modal tool obtaining the following graph.

| Tabular Data |      |                                                    |
|--------------|------|----------------------------------------------------|
|              | Mode | <input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz] |
| 1            | 1.   | 86.613                                             |
| 2            | 2.   | 100.72                                             |
| 3            | 3.   | 123.65                                             |
| 4            | 4.   | 168.4                                              |
| 5            | 5.   | 179.                                               |
| 6            | 6.   | 181.85                                             |
| 7            | 7.   | 190.22                                             |
| 8            | 8.   | 192.31                                             |
| 9            | 9.   | 213.95                                             |
| 10           | 10.  | 216.83                                             |
| 11           | 11.  | 232.27                                             |
| 12           | 12.  | 233.3                                              |

Figura 24. Frecuencias Naturales para el chasis

Luego planteamos este sistema en la herramienta harmonic response como se muestra en la figura.

Figure 24. Chassis Natural Frequencies

Then we set out this system in the harmonic response tool as shown in Fig

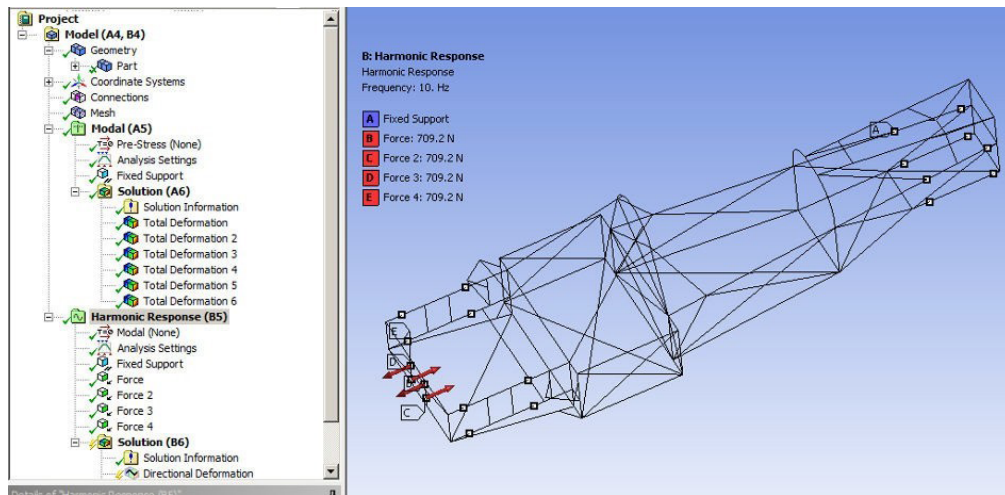


Figura 25. Sistema de cargas supuesto Armónico en la herramienta "harmonic response"

Figure 25. Loads System Harmonic simulation in the "harmonic response" tool

Lo que se planteo fue someter las barras del chasis donde se encuentran anclados los motores, a la carga de 65Nm correspondiente al par motor. Para este análisis el usuario varía este torque en diferentes rangos de frecuencia para evaluar el comportamiento del sistema.

What was set out was to subject the chassis rods where the engines are anchored, to the load of 65Nm corresponding to the torque. For this analysis, the user varies the torque in different frequency ranges to assess the system performance.

Para este caso se varió de 0Hz a 80Hz con un damping (amortiguación) del 2 % ya que es un acero obteniendo una gráfica como se ve.

For this simulation, it was varied from 0 Hz to 80 Hz with a damping of 2%, as it is steel, obtaining a graphic as shown

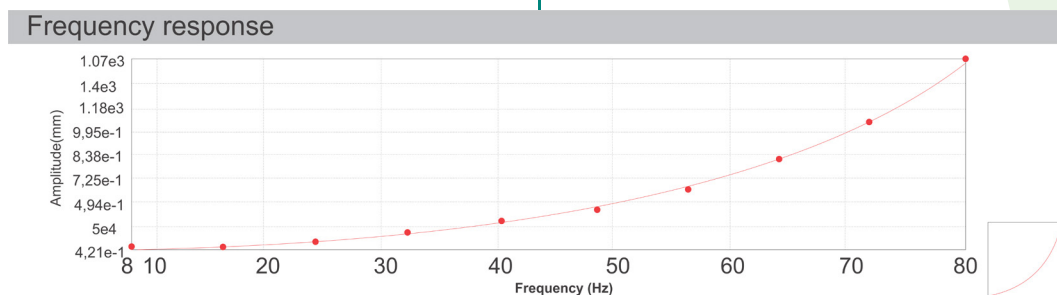


Figura 26. Grafica Amplitud Vs Frecuencia 1

Figure 26. Amplitude Vs Frequency 1 Graph

Donde podemos observar que la amplitud aumenta, a medida que aumenta la

Where we can see that the amplitude increases, with increasing frequency, but

frecuencia, pero no nos dice nada ya que, la resonancia se presenta en el momento de la superposición generando un pico en la gráfica. Para esto aumento el rango máximo de frecuencia a 1000Hz y así obtener una gráfica como se muestra en la figura

tells us nothing because, the resonance occurs at the time of overlapping generating a peak on the graph. For this, the maximum frequency range increases to 1000Hz and in that way to obtain a graph as shown in Figure

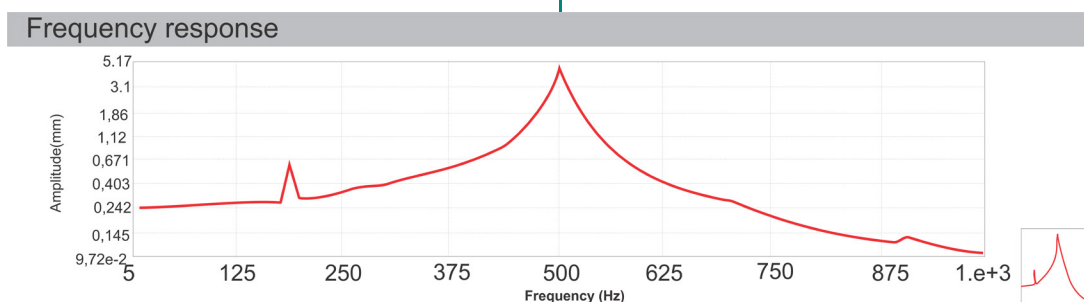


Figura 27. Grafica Amplitud Vs Frecuencia 2

Figure 27. Amplitude Vs Frequency 2 Graph

Este análisis tiene como resultado una gráfica de amplitud contra frecuencia donde podemos encontrar el rango de frecuencias a las cuales el sistema entraría en resonancia. Encontramos que la resonancia se encuentra en los rangos de 165Hz y 205Hz y alrededor de los 500 Hz. Ahora, el objeto de análisis es observar que sucede con el chasis con la frecuencia de los motores. Estos motores son de alta frecuencia, con una frecuencia de 92Hz, observando en la figura se concluye que se está lejos de la zona de resonancia. Lo cual nos lleva a la conclusión que el chasis es una estructura lo suficientemente rígida para no entrar en resonancia con los motores.

This analysis has as a result, a graph of amplitude versus frequency where we can find the range of frequencies at which the system would come into resonance. We found that resonance is in the range of 165Hz and 205Hz and about 500 Hz. Now, the object of analysis is to see what happens to the chassis motor frequency. These engines are high frequency, with a frequency of 92Hz, looking at the figure we conclude that it is far from the resonance. Which brings us to the conclusion that the chassis is a rigid enough structure to do not resonate with the engines.

Esta es tan solo una tendencia ya que, realizar un análisis de este tipo requiere de un análisis del monoplaza completo. Pero el objeto de este análisis es dar una tendencia. Con esta herramienta también se puede evaluar la rigidez del chasis.

This is just a trend, due to doing an analysis of this type requires an analysis of the complete single-seat vehicle. But the purpose of this analysis is to give a trend. With this tool you can also evaluate the rigidity of the chassis. We know that:



$$\text{FRECUENCIA NATURAL} = \frac{\text{Rigidez}}{\text{Masa}}$$

Esto quiere decir que si se evalúan dos chasis y se comparan sus frecuencias naturales, quien responda a una frecuencia natural mayor para el armónico a evaluar, este será más rígido que el otro.

## Factor de Seguridad

Al analizar los resultados para cada uno de los supuestos, se obtienen factores de seguridad relativamente bajos, el menor de estos  $f.s = 1.38$  se encuentra en el estudio de los esfuerzos a los que se ve sometido el chasis bajo las cargas provenientes del sistema de suspensión.

El factor de seguridad para todos los análisis se estableció en 1.3 gracias al soporte entregado por ANSYS, ya que el elemento utilizado fue el "Beam 188", elemento tipo viga que para diferentes modelos sencillos corroborados por el ANSYS, el error tiene un orden del 0 % comparando con las teorías de vigas.

Debido a que el chasis es una estructura compleja, por seguridad se estableció un margen de error del 30 %.

## Conclusiones

Se siguieron las indicaciones establecidas en el reglamento de la competencia Formula SENA Eco como criterios base para el diseño del chasis.

Se buscó una solución geométrica que nos permitiera tener una estructura funcional para la ubicación adecuada de cada uno de los elementos del vehículo

$$\text{FRECUENCIA NATURAL} = \frac{\text{Stiffness}}{\text{Mass}}$$

This means that if two chassis are evaluated and their natural frequencies are compared, who responds to a greater natural frequency for the harmonic to assess, this will be stiffer than the other.

## Safety factor

In analyzing the results for each one of the simulations, there are obtained factors of relatively low security, the lowest of these  $f.s = 1.38$  it is found in the study of the stresses in which it is subjected the chassis under the loads from the suspension system.

The safety factor for all analyzes was set at 1.3 with support delivered by ANSYS, since the element used was the "Beam 188" element beam type for different simple models corroborated by ANSYS, the error has an order of 0% compared with the theories of beams.

Because the chassis is a complex structure, for safety, a margin of error of 30% was established.

## Conclusions

The information required by the regulations of the Formula SENA-Eco competence as basis for the design criteria of the chassis were followed.

A geometric solution was looked for, that would allow us to have a functional structure for the proper location of each of the elements of the vehicle and material thickness that will provide us a chassis as light as possible.



y se seleccionó espesores del material que nos proporcionarán un chasis lo más liviano posible.

La metodología de análisis utilizada nos permitió confirmar que la solución geométrica propuesta y los materiales garantizan una estructura que soportará las duras exigencias de una competencia de estas características.

The analysis methodology used allowed us to confirm that the proposal geometric solution and materials, ensure a structure that will withstand the harsh demands of a competition of this nature.

## Referencias

ALEX FABIÁN ANDRADE ÁLVAREZ, G.A.J.M. 2009. Diseño y construcción del chasis para un vehículo tipo buggy de la fórmula automovilística universitaria (FAU). Riobamba - Ecuador: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

ARRANZ, A.N. 2010. Diseño y análisis de un chasis tubular para vehículo monoplaza. S.l.: s.n.

NORTON, R. y GAZZANIGA, M.S. 2009. Norton, Diseño De Maquinaria,. 4a, 1 T. + 1 CD-ROM edition. S.l.: LTC.

Servicio Nacional de Aprendizaje, 2012. Reglamento Técnico Formula SENA Eco.

2012. S.l.: s.n.