

# **Escuela Politécnica del Ejército**

## **Extensión Latacunga**



### **CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN  
PARA UN VEHÍCULO TIPO FORMULA STUDENT**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**GARCÉS GARCÍA MANUEL ALEJANDRO**

**Latacunga, Enero del 2012**

# ANTECEDENTES

El tema de Proyecto responde el objeto de la competición para desarrollar un prototipo de vehículo de competencia, empleando recursos y medios disponibles en nuestro país y en los laboratorios de la ESPE.

En el proyecto, se estudia brevemente la teoría referente a los sistemas de suspensión y se hace énfasis en la cinemática y dinámica del sistema elegido así como en las cargas a las que se encuentran sometidos los ejes delantero y trasero del vehículo en las diferentes etapas de funcionamiento.



# DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO

Lo que se hará es diseñar y construir el sistema de suspensión de un vehículo tipo Fórmula Student para que éste sea llevado a competencias que se realizan anualmente entre diferentes universidades a nivel internacional.

Es importante también, desarrollar el prototipo de suspensión, de manera adecuada para que funcione de manera integral con el resto del vehículo durante la preparación y participación en la competición.

El proyecto será un sistema de suspensión de competencia que se aplica en categorías como la Formula 1, adecuado para este tipo de vehículo.

# OBJETIVOS

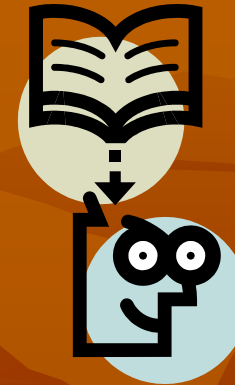
## OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir el sistema de suspensión para un vehículo tipo Formula Student.

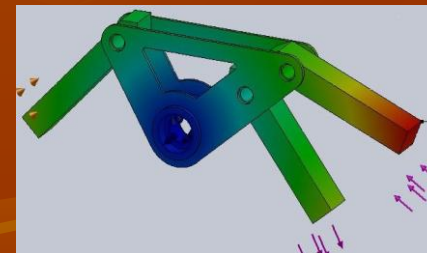
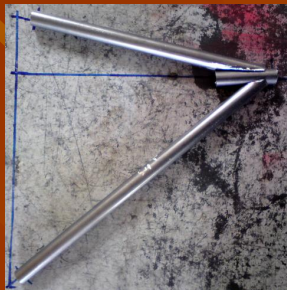
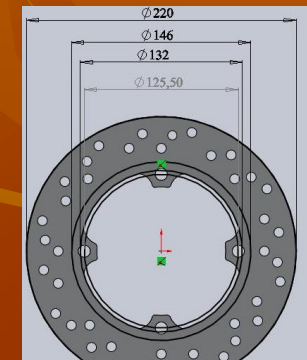
## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la geometría del sistema atendiendo los requerimientos de Formula Student.
2. Diseñar y analizar el sistema de suspensión mediante el uso del software de diseño SolidWorks.
3. Construir y ensamblar las partes del sistema de suspensión.
4. Realizar pruebas de funcionamiento del sistema diseñado.

# METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROYECTO



El desarrollo del proyecto se guiara a través del cumplimiento progresivo de pasos que permitirán ir llevando a cabo el desarrollo del sistema de suspensión.



# MARCO TEÓRICO

## FORMULA STUDENT

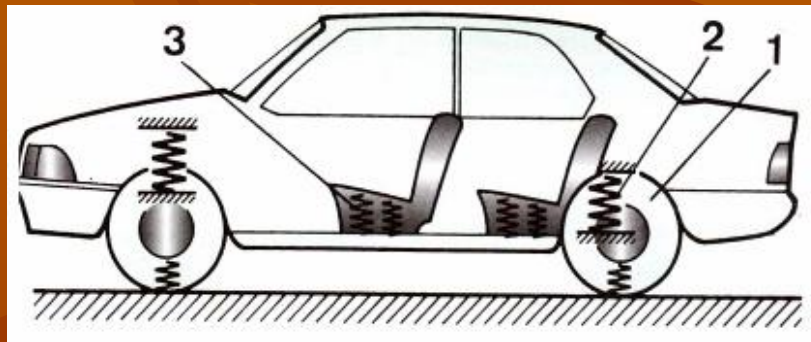
La Formula Student es la más importante dentro de su tipo, promueve excelencia en ingeniería a través de una competición entre universidades que diseñan, construyen, desarrollan y compiten como un pequeño equipo con un monoplace.

La Formula Student atrae a universidades de todo el mundo. Para estas la Formula Student es un proyecto donde se trabajan conceptos teóricos junto con un desarrollo de niveles prácticos de ingeniería. Aprovechando también para relacionarse con el sector industrial.



# FINALIDAD DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

Llamamos suspensión al conjunto de elementos elásticos que se interponen entre los órganos suspendidos: chasis, motor, carrocería, pasajeros, carga, etc. y los órganos que no están suspendidos: las ruedas, los frenos y los ejes rígidos



Suspensión de un turismo

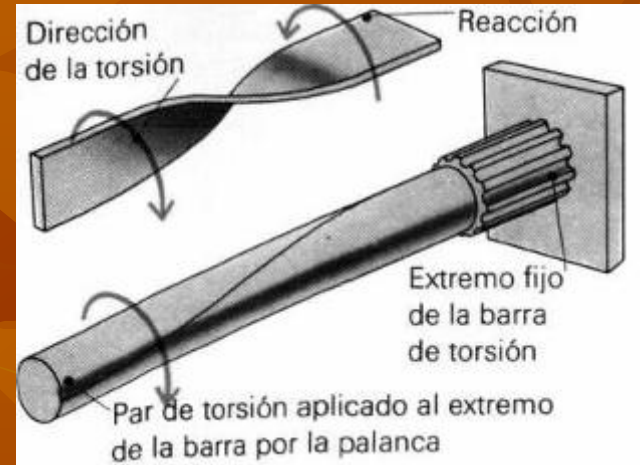
1. neumáticos, 2. resortes, 3. resortes de los asientos.

La finalidad de la suspensión es la de permitir el control de la trayectoria del vehículo gracias a la calidad del contacto rueda-suelo, asegurando la estabilidad en cualquier circunstancia. También ha de garantizar el confort de los ocupantes y de los objetos transportados adaptándose a cualquier superficie.

# ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN



Resortes



Barras de Torsión



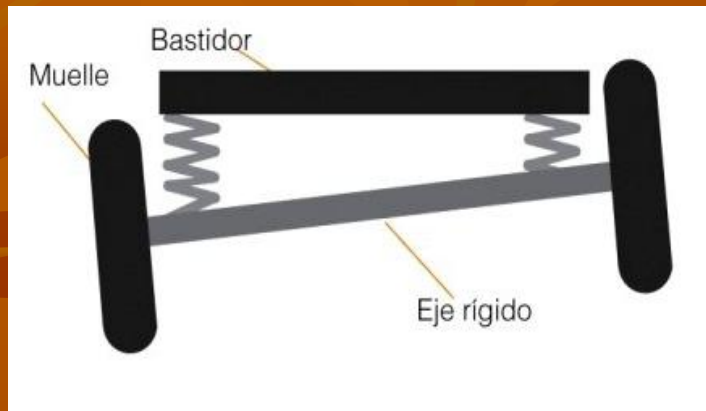
Amortiguadores



Rótulas

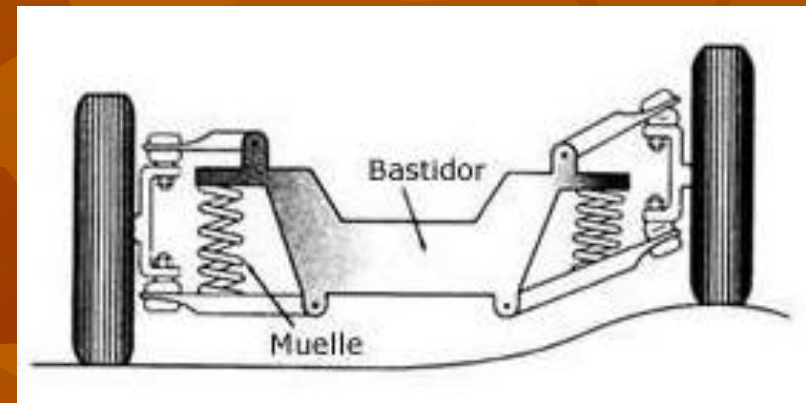


# TIPOS DE SUSPENSIONES



## Suspensión de Eje Rígido

Los sistemas de eje rígido se componen de un eje de una sola pieza rígida en cuyos extremos van instaladas las ruedas. Como consecuencia de ello, todo el movimiento que afecta a una rueda se transmite a la otra.

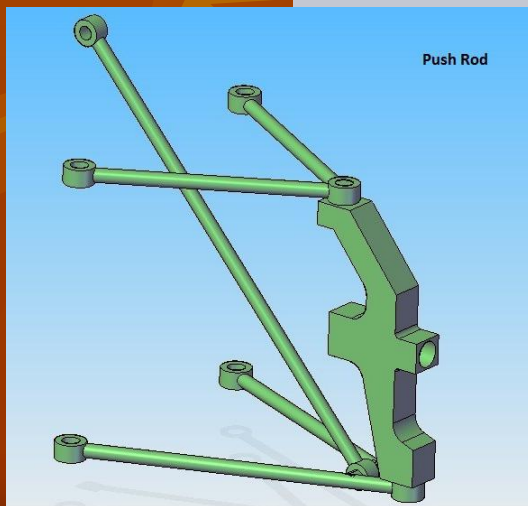
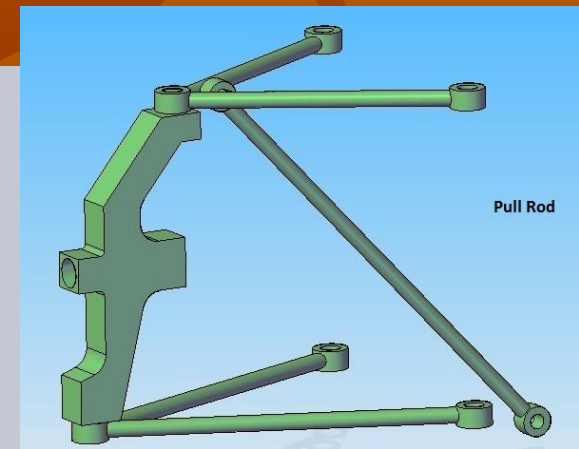
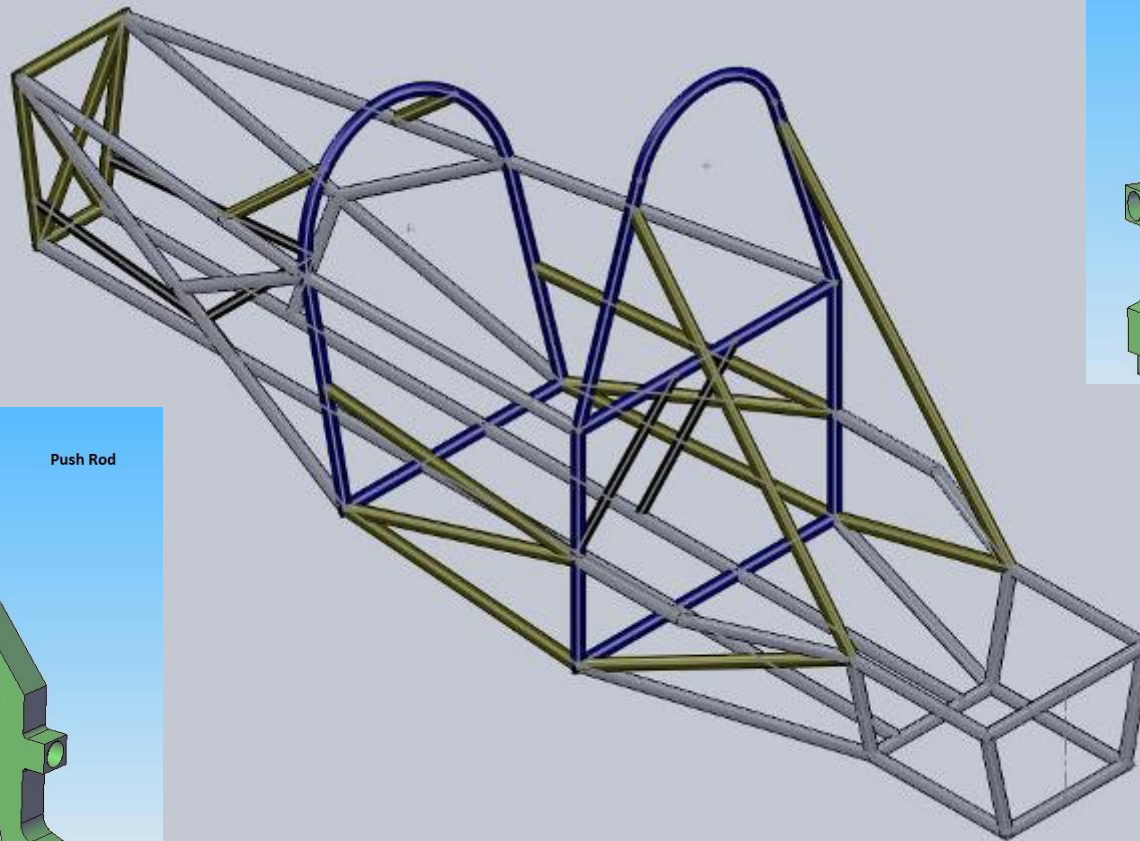


## Suspensión Independiente

Los sistemas de suspensión independiente por otro lado tienen un montaje individual que no relaciona el un extremo del sistema con el otro por lo que el movimiento de una rueda no se transmite a la del otro extremo.

# ELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

Una vez analizadas las características constructivas, funcionamiento, ventajas y desventajas de los sistemas de suspensión y el espacio disponible en el chasis del vehículo se optó por utilizar un sistema de suspensión independiente de triángulos superpuestos con disposición Push Rod para el eje delantero y Pull Rod para el eje trasero.



# DISEÑO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

## PARÁMETROS DE DISEÑO

- Distancia entre ejes: se escogió una distancia entre ejes de 1660 mm.
- Ancho de Vía: se escogió en el eje delantero 1250 mm, y en el eje trasero 1230 mm
- Peso: no existe límite de peso se estima que el peso total del vehículo será 370 Kg
- Dimensiones: Las dimensiones finales del vehículo, se definieron a:
  - Longitud: 3000 mm
  - Ancho: 1400 mm
  - Altura: 1200 mm
- Distancia al piso: La distancia al piso será de 50 mm.

- Ángulo de avance: eje delantero  $3^{\circ}$ , eje trasero  $3^{\circ}$ .
- Ángulo de caída: eje delantero regulable, eje trasero regulable.
- Convergencia y Divergencia: eje delantero regulable, eje trasero regulable.
- El vehículo será de ruedas descubiertas y habitáculo abierto



# ANÁLISIS DE CARGAS SOBRE CADA RUEDA

Es importante saber a qué cargas se encuentran sometida cada rueda en los distintos momentos de funcionamiento del vehículo por ello que luego de realizar el cálculo de las transferencias de masas en cada etapa de funcionamiento del vehículo se tiene los siguientes resultados:

	<b>Sin movimiento</b>	<b>Aceleración</b>	<b>Frenada</b>	<b>Curva</b>
<b>Rueda Delantera</b>	83,25 kg	76,72 kg	108,80 kg	144,39 kg
<b>Rueda Trasera</b>	101,75 kg	108,28 kg	76,20 kg	177,69 kg

# ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

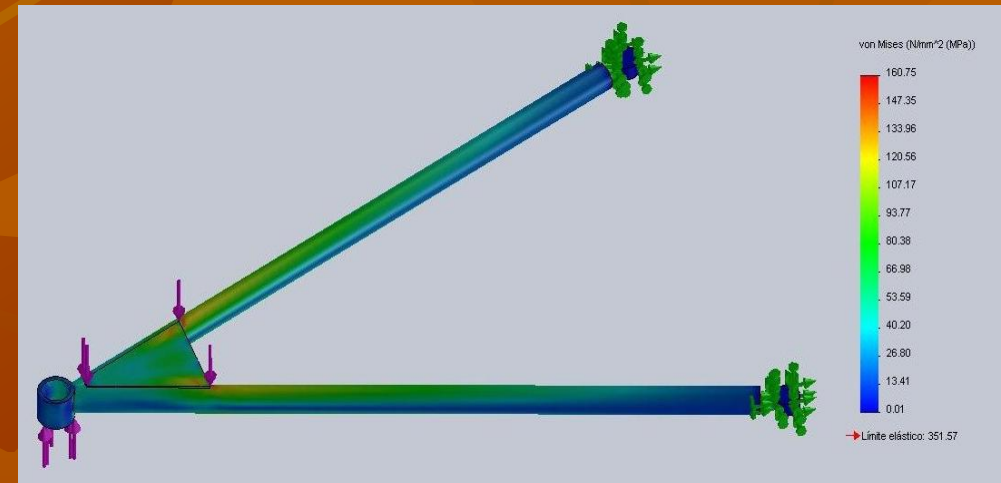
## Brazo de suspensión delantera

Datos utilizados para la simulación:

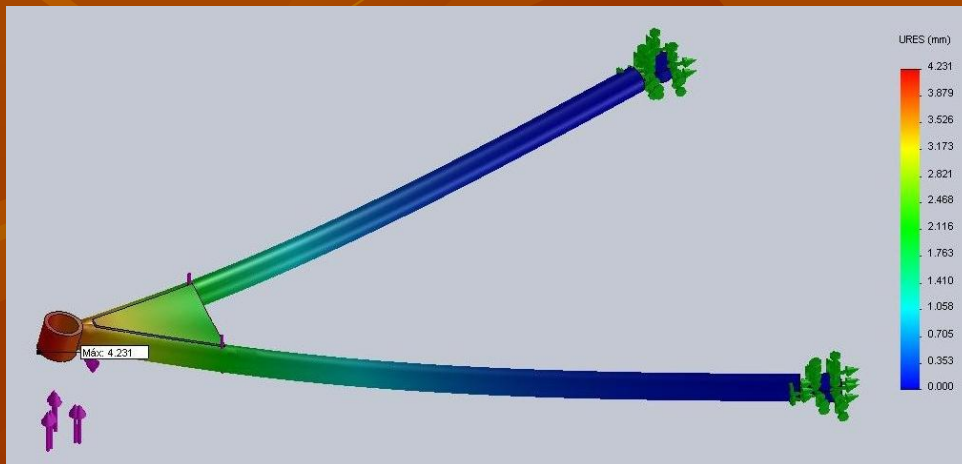
Material: Acero AISI 1020

Fuerza en la rueda: 1500 N

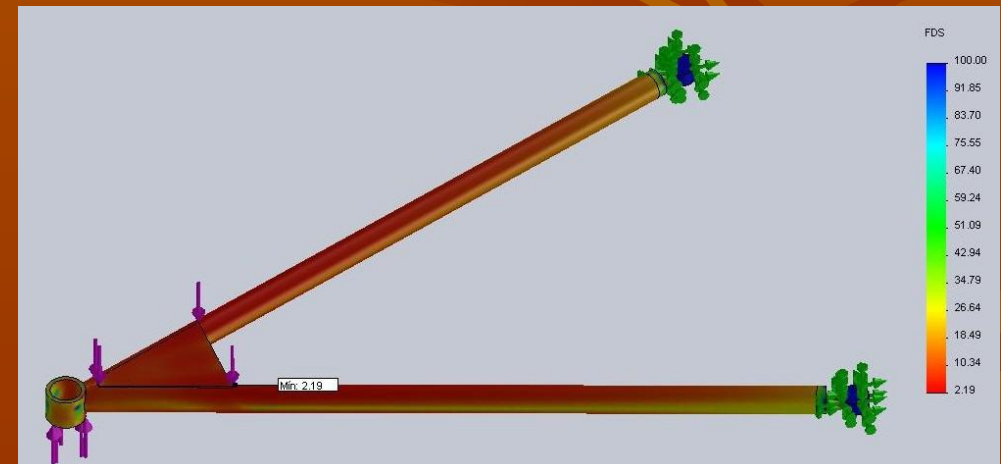
Fuerza en el soporte: 1725 N



Análisis de tensión (160,75 MPa)



Análisis de desplazamiento (4,23 mm)



Factor de seguridad (2,19)

# ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

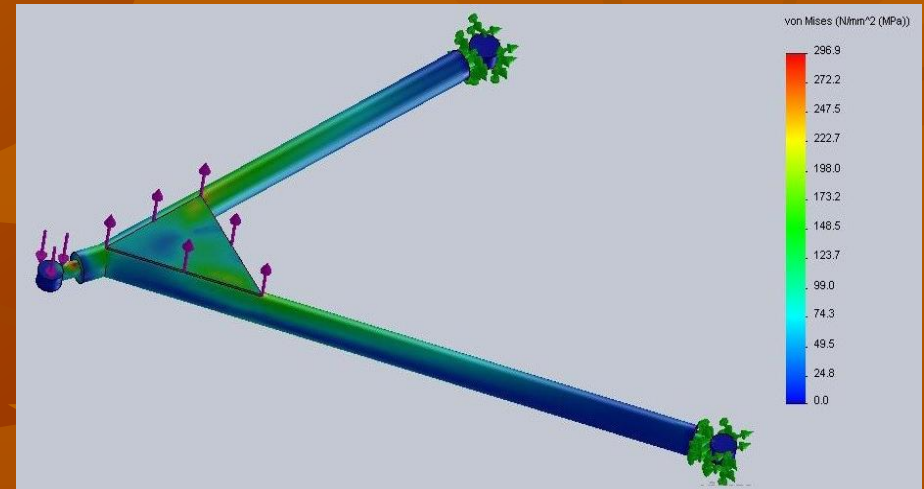
## Brazo de suspensión trasera

Datos utilizados para la simulación:

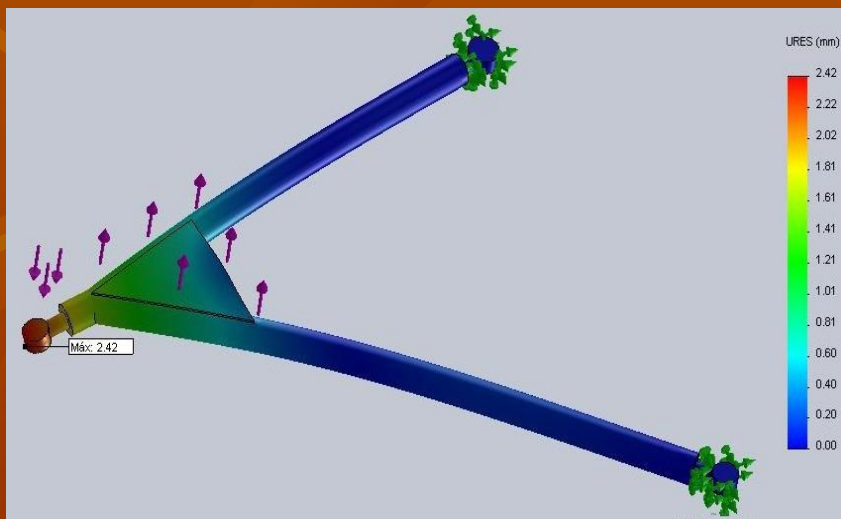
Material: Acero AISI 1020

Fuerza en la rueda: 1750 N

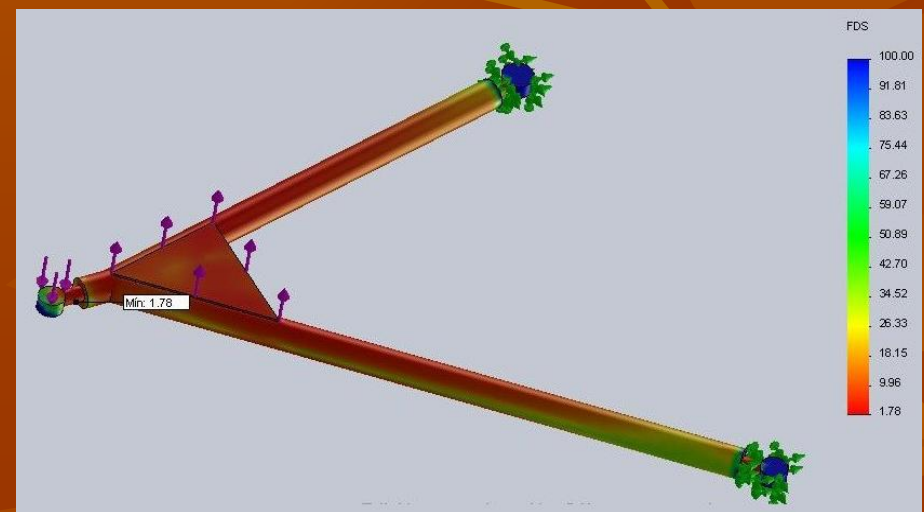
Fuerza en el soporte: 2400 N



Análisis de tensión (296,9 MPa)



Análisis de desplazamiento (2,42 mm)



Factor de seguridad (1,78)

# ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

## Bieleta Delantera

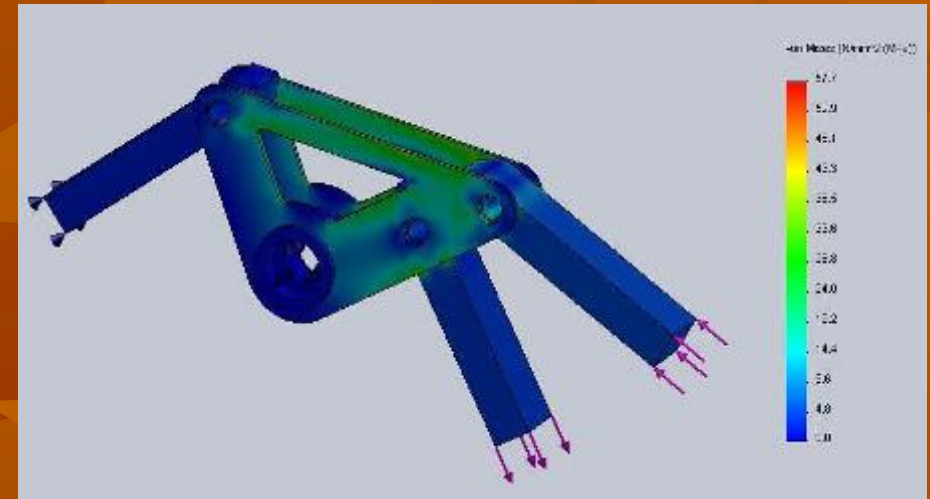
Datos utilizados para la simulación:

Material: Acero AISI 1020

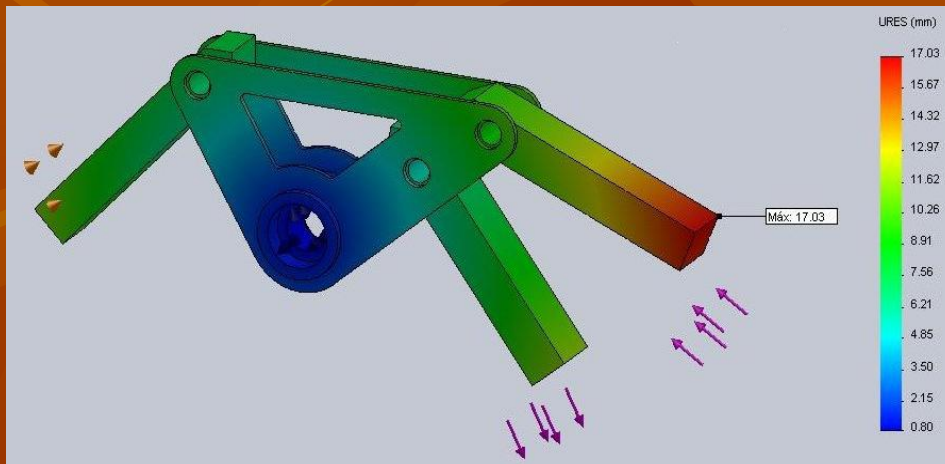
Soporte del resorte: 550 lb-pulg

Fuerza en la rueda: 1500 N

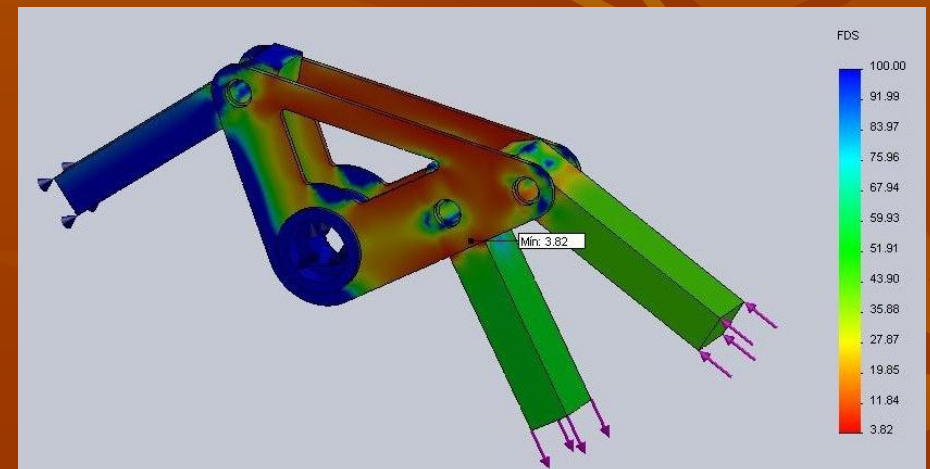
Fuerza en la estabilizadora: 1200 N



Análisis de tensión (57,7 MPa)



Análisis de desplazamiento (17,03 mm)



Factor de seguridad (3,82)



# ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

## Bieleta Trasera

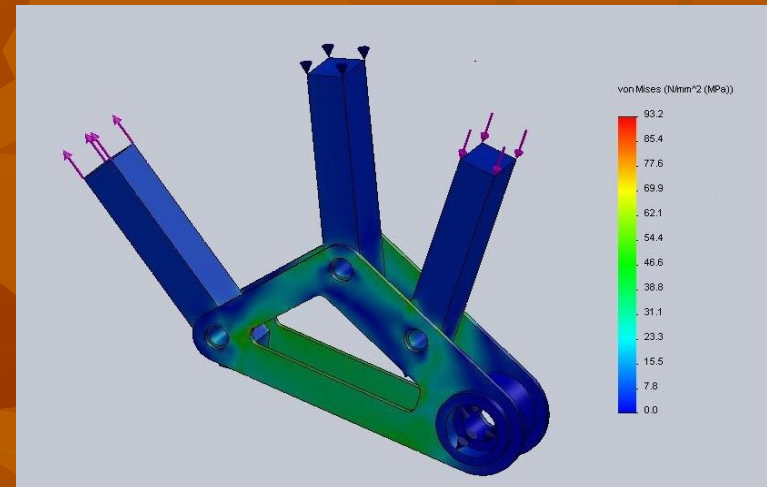
Datos utilizados para la simulación:

Material: Acero AISI 1020

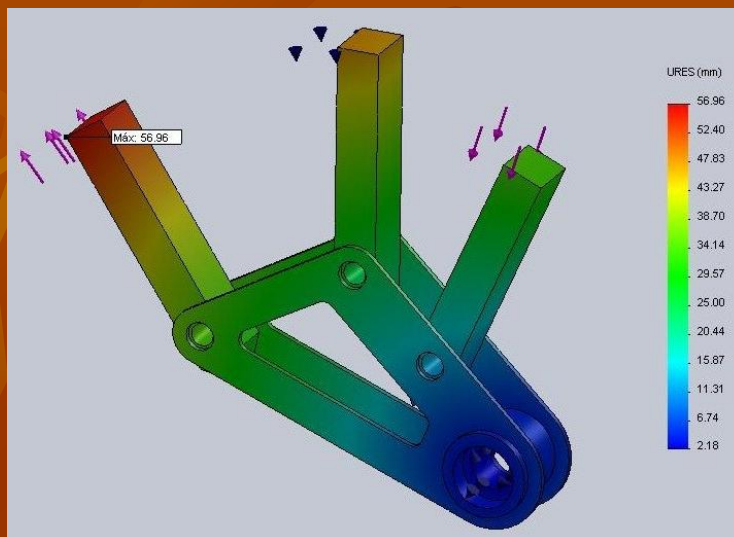
Soporte de resorte: 550 lb-pulg

Fuerza en la rueda: 1750 N

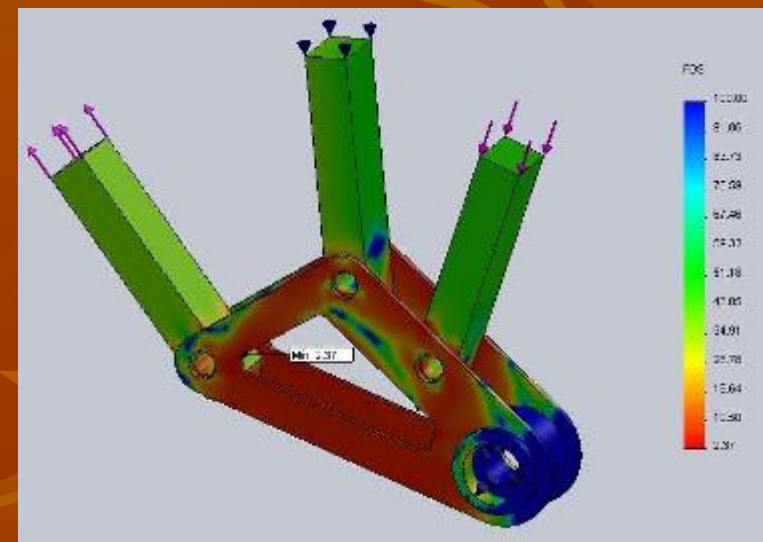
Fuerza en el soporte: 1400 N



Análisis de tensión (93,2 MPa)



Análisis de desplazamiento (56,96 mm)

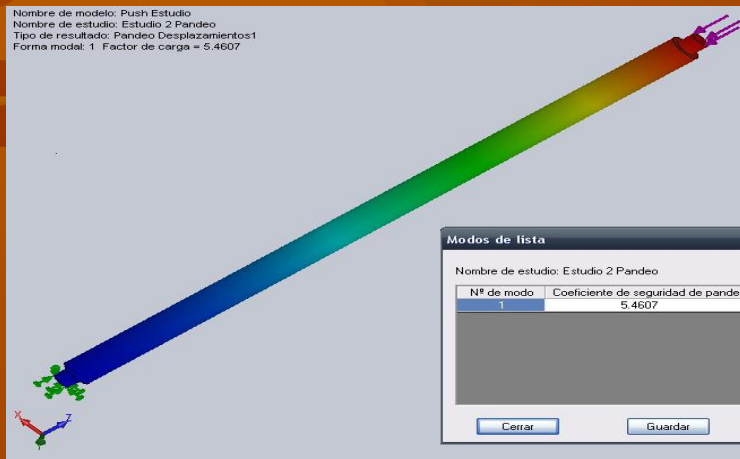


Factor de seguridad (2,37)

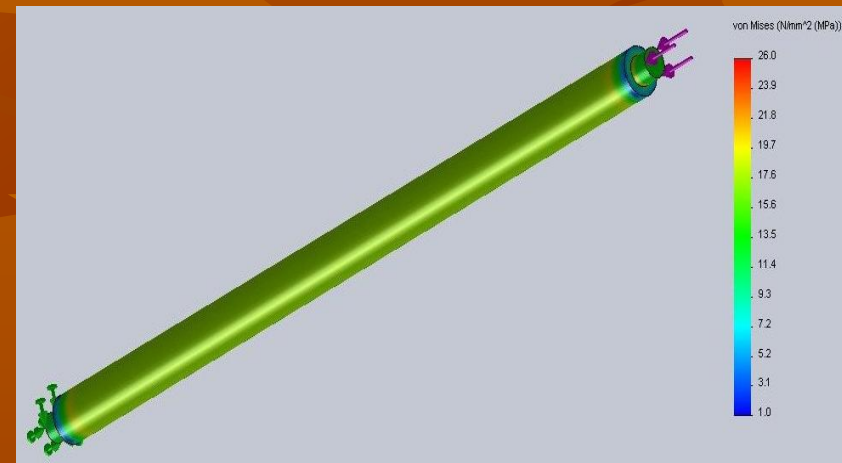
# ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

## Barra de compresión

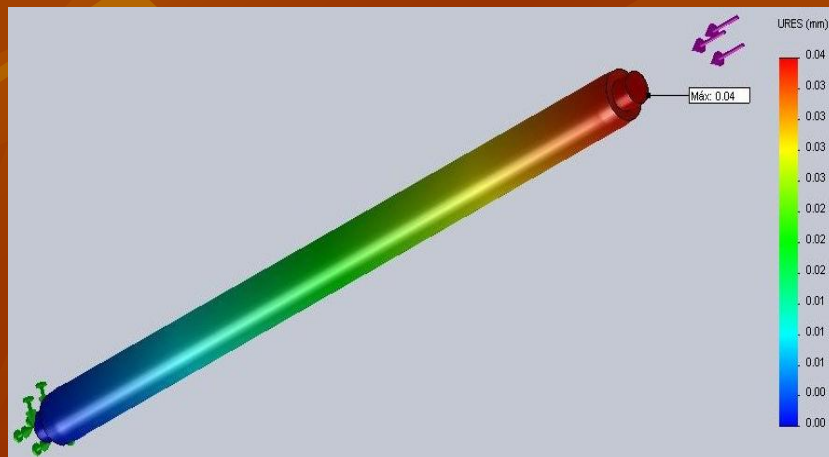
Datos utilizados para la simulación: Material: Acero AISI 1020 Fuerza en la barra 1500 N



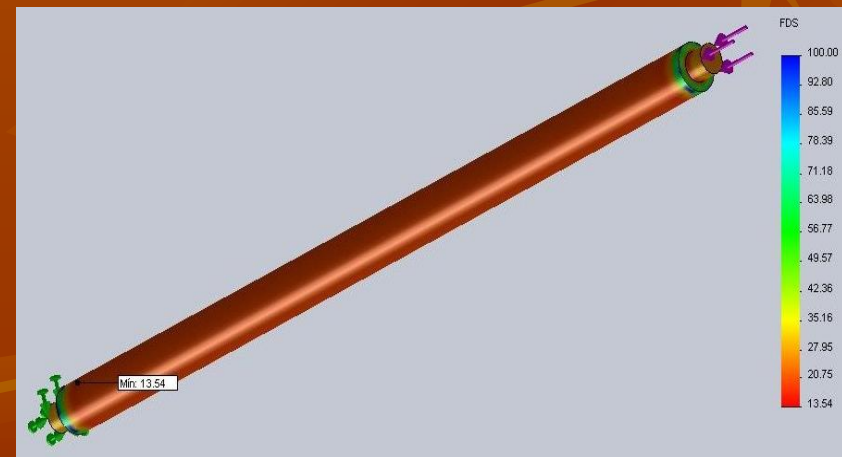
Factor de pandeo (5,46)



Análisis de tensión (26 MPa)



Análisis de desplazamiento (0,04 mm)



Factor de seguridad (13,54)

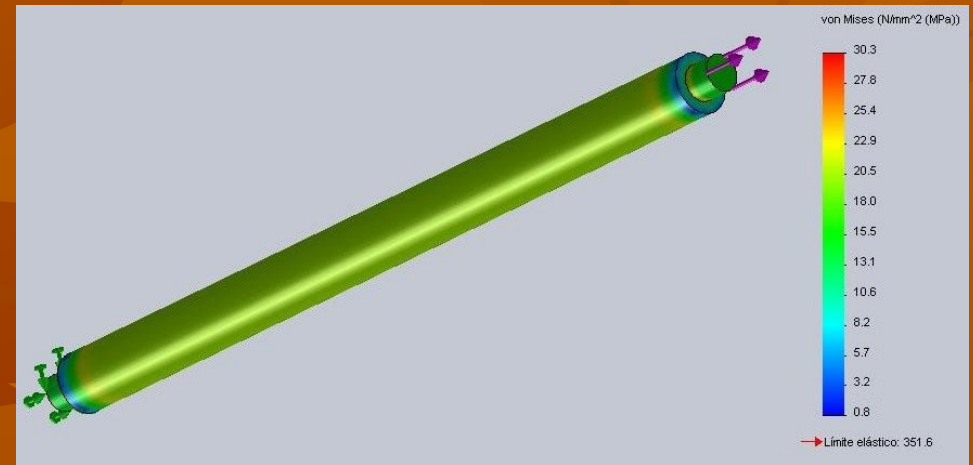
# ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

Barra de tracción

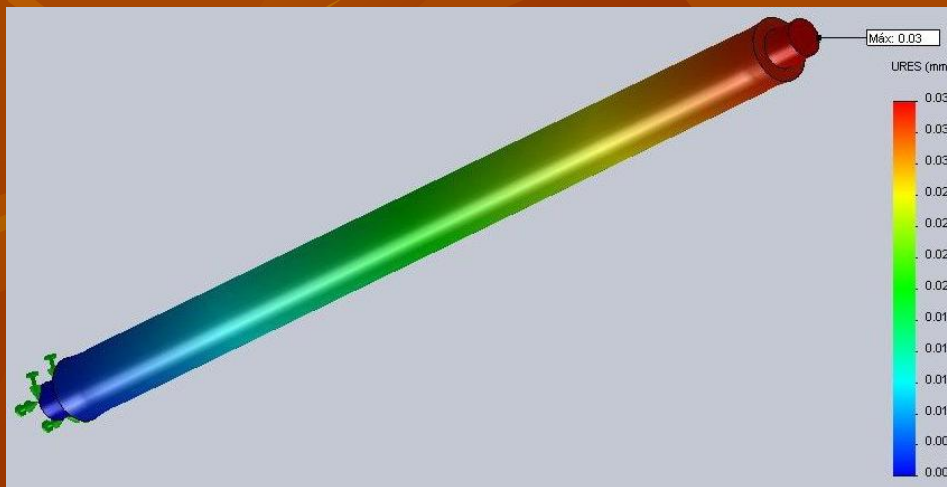
Datos utilizados para la simulación:

Material: Acero AISI 1020

Fuerza en la rueda: 1750



Análisis de tensión (30,3 MPa)



Análisis de desplazamiento (0,03 mm)



Factor de seguridad (11,6)

## BARRAS ESTABILIZADORAS

Por limitaciones de construcción se optó por adaptar barras estabilizadoras de vehículos comerciales

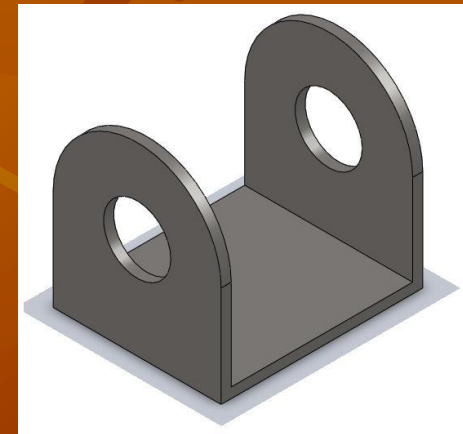
Las barras utilizadas fueron:

- Eje delantero del Lada Niva Brio
- Eje trasero del Chevrolet Corsa Wind



## BASES DE LA SUSPENSIÓN

En este caso se optó por utilizar bases fabricadas de perfil estructural cuadrado de 30mm x 1,5mm



## CONJUNTO RESORTE - AMORTIGUADOR

Para su adaptación en el vehículo se escogió utilizar un conjunto resorte amortiguador para bicicletas de montaña de alta gama con las siguientes especificaciones:

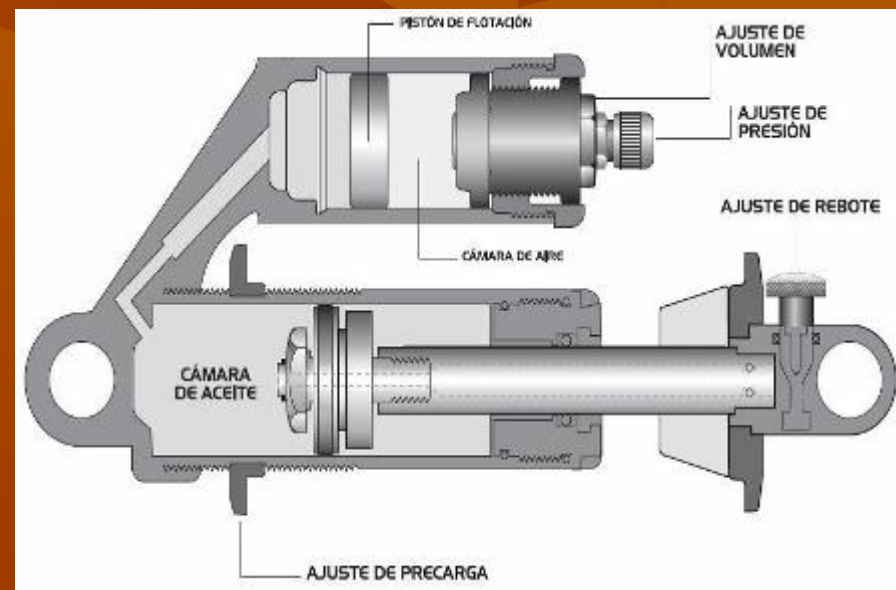
Marca: Manitou

Modelo: Swinger SPV

Distancia ojo-ojo: 200 mm

Recorrido: 55 mm

Resorte: 550 lbf-pulg



# CONSTRUCCIÓN DE LAS PARTES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN



BRAZOS DE SUSPENSIÓN



BARRAS ACTUADORAS



BIELETAS



BARRAS ESTABILIZADORAS

# MONTAJE DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

Particularmente, el proceso de diseño y de construcción permitió obtener buenos resultados, así el montaje no tuvo problemas y por ello también la puesta a punto por lo que los ajustes realizados no fueron significativos



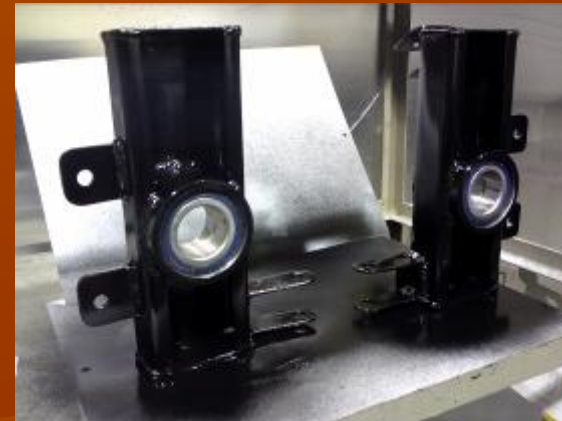
# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



PRUEBA 1



PRUEBA 3



PRUEBA 2



# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



Diseño de ingeniería: 30/150 puntos



Prueba de viraje: 0/50 puntos  
Prueba de aceleración: 0/75 puntos



Prueba de agilidad: 4,5/100 puntos



Prueba de resistencia: 0/350 puntos

PRUEBA 4 HOCKENHEIM RING - ALEMANIA

# CONCLUSIONES

- Se puede concluir que se ha culminado el proyecto satisfactoriamente, se ha realizado el diseño del sistema de suspensión siguiendo todos los parámetros y recomendaciones para este tipo de sistema de suspensión.
- Se ha logrado un comportamiento de la misma, según lo planificado. Las variaciones de los ángulos son los correctos, además que los rangos de calibración de los mismos, permiten la puesta a punto del sistema para el tipo de comportamiento que se requiera.
- Dado los problemas burocráticos existentes durante el desarrollo del proyecto no se pudo probar en mayor manera el sistema de suspensión y los demás sistemas del vehículo.
- La falta de fluidez en el idioma oficial del concurso ocasionó la pérdida de puntos. Sin embargo, es importante señalar que el diseño del vehículo se encontraba acorde a las especificaciones planteadas en la normativa Formula SAE.
- En la prueba de agilidad solo se culminó 2 de las 4 tandas previstas por problemas en la transmisión y debido a una falla mecánica en ese sistema no se pudo completar la prueba de resistencia.
- Con el programa SolidWorks se pudo simular condiciones reales de funcionamiento y así comprobar la resistencia de los elementos de la suspensión.

# RECOMENDACIONES

- Una adecuada logística y organización interna, beneficiará la calidad de trabajo y mejorara las relaciones entre los integrantes del grupo.
- Como recomendación principal, al momento del diseño de un sistema de suspensión, tomar en cuenta las condiciones donde tiene que desenvolverse el mismo.
- Es importante acotar que para realizar un diseño de un sistema de suspensión, nunca se va a encontrar leyes o normas definitivas, pues en estos sistemas, se depende de compromisos entre una y otra variable, y del criterio del diseñador.
- Antes de realizar la fase de diseño se debe tener conocimientos de todos los conceptos que conllevan a un análisis estructural, ya que de ello dependerá una excelente interpretación de los resultados obtenidos anteriormente.
- Para la fabricación de las piezas se debe tener un taller adecuado que cuente con la maquinaria y herramienta apropiada, con normas de seguridad y de limpieza.

*GRACIAS  
POR SU  
ATENCIÓN*

