



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: REDISEÑO DE LOS SOPORTES DEL CONJUNTO  
DIFERENCIAL DEL VEHÍCULO PROTOTIPO PARA  
COMPETENCIA EN LA FÓRMULA SAE**

**AUTOR: LENIN ISRAEL GUANOPATÍN PACHECO**

**DIRECTOR: ING. MAURICIO CRUZ**

**LATACUNGA**

**2018**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“REDISEÑO DE LOS SOPORTES DEL CONJUNTO DIFERENCIAL DEL VEHÍCULO PROTOTIPO PARA COMPETENCIA EN LA FÓRMULA SAE”***, realizado por el señor ***LENIN ISRAEL GUANOPATÍN PACHECO***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor ***LENIN ISRAEL GUANOPATÍN PACHECO*** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 07 de marzo del 2018**

**Ing. Guillermo Mauricio Cruz Arcos**  
**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **LENIN ISRAEL GUANOPATÍN PACHECO**, con cédula de ciudadanía N°180365799-6 declaro que este trabajo de titulación **“REDISEÑO DE LOS SOPORTES DEL CONJUNTO DIFERENCIAL DEL VEHÍCULO PROTOTIPO PARA COMPETENCIA EN LA FÓRMULA SAE”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mí autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 07 de marzo del 2018**

Lenin Israel Guanopatín Pacheco

C.C.: 180365799-6



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **LENIN ISRAEL GUANOPATÍN PACHECO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE publicar en el repositorio de la institución el presente trabajo de titulación **“REDISEÑO DE LOS SOPORTES DEL CONJUNTO DIFERENCIAL DEL VEHÍCULO PROTOTIPO PARA COMPETENCIA EN LA FÓRMULA SAE”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mí autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 07 de marzo del 2018**

---

Lenin Israel Guanopatín Pacheco

C.C.: 180365799-6

## DEDICATORIA

*A mis padres Jaime Guanopatín y Victoria Pacheco.*

*Y a mis hermanos Alexandra, Eduardo y Mónica*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga por haberme impartido los conocimientos con los mejores profesionales.

Al Ing. Mauricio Cruz por esa amistad y encaminarme en la realización de mi tesis.

A mi madre Victoria Pacheco por todo el apoyo y sacrificio entregado.

A mi padre Jaime Guanopatín por ser ejemplo de superación, manteniendo la humildad que lo caracteriza.

A mis hermanos Alexandra, Eduardo y Mónica por darme los consejos y ese ejemplo valioso de la vida para ser una persona de bien y un mejor profesional.

A mi cuñado Álvaro Jácome por confiar en mí y apoyarme en la realización de esta investigación.

A mi tía Yolanda Pacheco por estar pendiente de mí y brindarme ese afecto de madre.

A mi tía Nelly Pacheco por su ayuda incondicional.

A mi primo Marco Guanopatín por brindarme su apoyo en las buenas y en las malas.

A mi primo Félix Moya por esos consejos que me ha brindado y por ser una persona correcta digno ejemplo a seguir.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA</b> .....	i
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	ii
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	iii
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	xv
<b>RESUMEN</b> .....	xvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xvii

## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento del problema .....	2
1.3	Descripción resumida del proyecto .....	3
1.4	Justificación e importancia .....	3
1.5	Objetivos .....	4
1.5.1	Objetivo general.....	4
1.5.2	Objetivos y específicos .....	4
1.6	Metas .....	5
1.7	Hipótesis .....	5

1.8	Variables de investigación .....	5
1.8.1	Variable Independiente .....	5
1.8.2	Variable Dependiente: .....	6

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1	Fórmula Student .....	7
2.2	Pruebas de la fórmula SAE.....	8
2.2.1	Pruebas estáticas .....	8
2.2.2	Pruebas dinámicas .....	11
2.3	Monoplaza .....	14
2.3.1	Sistemas principales de un monoplaza.....	14
2.4	Sistema diferencial.....	16
2.5	Tipos de diferencial.....	17
2.6	Partes del conjunto diferencial.....	18
2.7.	Soportes de diferencial .....	19
2.8	Cálculos en el mecanismo diferencial.....	20
2.8.1	Relación de transmisión en el puente trasero.....	20
2.8.2	Resistencias de la transmisión.....	21
2.8.3	Resistencia a la rodadura (Rr) .....	23
2.8.4	Resistencia al aire (Ra).....	24
2.8.5	Resistencia por pendiente (Rp).....	25
2.8.6	Resistencia por rozamientos mecánicos (Rrm).....	26
2.8.7	Resistencia por inercia (Ri) .....	26
2.9	Materiales usados en la Formula SAE .....	26
2.10	Proceso de Manufactura.....	29



2.10.1	Maquinaria .....	29
2.10.2	Procesos .....	31

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

3.1	Rediseño de los soportes .....	33
3.1.1	Datos del motor Kawasaki ZX 600.....	33
3.2	Fuerzas que actúan en la transmisión .....	34
3.2.1	Resistencia al aire.....	34
3.2.2	Resistencia a la Inercia.....	35
3.2.3	Resistencia por pendiente .....	35
3.2.4	Resistencia a la rodadura .....	36
3.2.5	Fuerza en las ruedas .....	36
3.3	Selección de material.....	39
3.4	Rediseño.....	42
3.5	Comparación de resultados .....	48
3.5.1	Resultados del soporte original.....	50
3.5.2	Resultado del nuevo soporte .....	53

### **CAPÍTULO IV**

#### **PROCESO DE FABRICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN**

4.1	Proceso de fabricación .....	59
4.2	Proceso de mecanizado por software .....	59
4.2.1	Procesos.....	59
4.3	Mecanizado por maquina fresadora CNC .....	63
4.4	Ensamblaje .....	66

**CAPÍTULO V**

5.1 Análisis de Resultados.....72

**CONCLUSIONES** .....76**RECOMENDACIONES**.....77**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS** .....78

ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variable independiente .....	6
Tabla 2 Operacionalización de variable dependiente .....	6
Tabla 3 Coeficiente de resistencia a la rodadura .....	24
Tabla 4 Pérdidas de potencia por la resistencia del aire.....	25
Tabla 5 Requisitos mínimos de material .....	27
Tabla 6 Relación de marchas del motor KAWASAKI ZX 600 .....	33
Tabla 7 Materiales y principales familias con descripción.....	39
Tabla 8 Propiedades mecánicas de los materiales permitidos por la FSAE.....	41
Tabla 9 Comparación de resultados .....	58
Tabla 10 Hoja de Procesos.....	59
Tabla 11 Comparación de los resultados de los soportes del diferencial .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama causa efecto.....	2
Figura 2. Vehículo Fórmula SAE Cotopaxi .....	7
Figura 3. Presentación empresarial .....	9
Figura 4. Costo y fabricación del prototipo.....	10
Figura 5. Análisis de costes .....	10
Figura 6. Prueba de aceleración.....	11
Figura 7. Esquema del Skip Pad .....	12
Figura 8. Prueba de autocross.....	13
Figura 9. Sistema Diferencial.....	16
Figura 10. Sistema diferencial y sus partes .....	17
Figura 11. Diferencial autoblocante .....	18
Figura 12. Partes del conjunto diferencial.....	19
Figura 13. Soportes de conjunto diferencial.....	20
Figura 14. Relación de transmisión entre piñón y catalina.....	21
Figura 15. Fuerzas y resistencias de la transmisión .....	22
Figura 16. Resistencia de rodamiento .....	23
Figura 17. Túnel de viento .....	25
Figura 18. Vehículo en pendiente .....	26
Figura 19. Carrocería de aluminio .....	28
Figura 20. Fresadora CNC TEC-CAM 4000 .....	31
Figura 21. DCL fuerzas en las ruedas .....	36
Figura 22. DCL reacciones en los apoyos .....	38
Figura 23. CAD del soporte izquierdo con medidas de referencia .....	43
Figura 24. Proceso de la optimización de forma .....	43
Figura 25. Ingreso de la fuerza aplicada y su dirección en el eje Y .....	44
Figura 26. Restricciones de movimiento del soporte .....	45
Figura 27. Soporte izquierdo con regiones protegidas .....	45
Figura 28. Ingreso de las propiedades mecánicas y físicas del material .....	46
Figura 29. Mallado del componente.....	46
Figura 30. Soporte izquierdo optimizado a 30%, 40% y 50% .....	47
Figura 31. Rediseño de soporte izquierdo, optimizado con ayuda del software .....	47

Figura 32. Toma de medidas del soporte original.....	48
Figura 33. Soporte original del conjunto diferencial .....	49
Figura 34. Ensamblaje CAD del soporte original .....	49
Figura 35. Tensiones Von Mises del soporte original de acero .....	50
Figura 36. Tensiones Von Mises del soporte original de aluminio .....	50
Figura 37. Resultados del desplazamiento del soporte original.....	51
Figura 38. Resultados del desplazamiento con aluminio .....	51
Figura 39. Resultados del factor de seguridad del soporte original .....	52
Figura 40. Resultados del soporte original con aluminio.....	52
Figura 41. Tensiones Von Mises del soporte nuevo derecho .....	53
Figura 42. Tensiones Von Mises con acero A36 .....	54
Figura 43. Desplazamiento máximo del soporte nuevo derecho .....	54
Figura 44. Desplazamiento máximo del soporte nuevo con acero .....	55
Figura 45. Factor de seguridad del soporte nuevo derecho.....	55
Figura 46. Factor de seguridad del soporte nuevo con acero.....	56
Figura 47. Factor de seguridad del soporte nuevo con factor de diseño .....	57
Figura 48. Factor de seguridad con fuerza R' en acero .....	57
Figura 49. Planeado de la superficie .....	61
Figura 50. Desbaste de material en soporte derecho .....	62
Figura 51. Proceso de taladrado.....	62
Figura 52. Acabado final del componente.....	63
Figura 53. Fresadora vertical ANAYAK.....	63
Figura 54. Centrado del bloque de material.....	64
Figura 55. Proceso de desbaste .....	64
Figura 56. Afinado del soporte .....	65
Figura 57. Pesaje de los nuevos soportes .....	65
Figura 58. Peso calculado por el software .....	66
Figura 59. Proceso de corte en los cordones de soldadura.....	66
Figura 60. Extracción de la placa base .....	67
Figura 61. Conjunto diferencial con soportes.....	67
Figura 62. Pesaje de los soportes originales con rodamientos.....	68
Figura 63. Colocación de los nuevos soportes en el diferencial .....	68
Figura 64. Conjunto diferencial con nuevos soportes .....	69

Figura 65. Alineamiento de la cadena de transmisión .....	69
Figura 66. Punteo de los nuevos puntos de anclaje .....	70
Figura 67. Nuevos puntos de fijación.....	70
Figura 68. Conjunto diferencial armado y ensamblado al bastidor .....	71
Figura 69. Pesaje de los soportes .....	72
Figura 70. Estado de reposo del conjunto diferencial con soportes antiguos.....	73
Figura 71. Funcionamiento del conjunto diferencial con soportes antiguos.....	74
Figura 72. Estado de reposo del conjunto diferencial con soportes nuevos.....	74
Figura 73. Conjunto diferencial con soportes nuevos en funcionamiento .....	75

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Relación de transmisión .....	21
Ecuación 2. Resistencia a la transmisión de movimiento .....	22
Ecuación 3. Resistencia a la rodadura .....	23
Ecuación 4. Resistencia del aire .....	24
Ecuación 5 Resistencia por pendiente.....	26
Ecuación 6. Rendimiento mecánico.....	26
Ecuación 7. Resistencia por inercia .....	26
Ecuación 8. Resistencia al aire .....	34
Ecuación 9. Resistencia a la inercia .....	35
Ecuación 10. Aceleración .....	35
Ecuación 11. Resistencia por pendiente.....	35
Ecuación 12. Resistencia a la rodadura.....	36
Ecuación 13. Fuerzas en las ruedas.....	37
Ecuación 14. Fuerza de la cadena .....	37
Ecuación 15. Fuerza con factor de diseño.....	56

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se describe el proceso que se utilizó para el rediseño, optimización y construcción de los soportes del conjunto diferencial del vehículo prototipo para competencia en la formula SAE. La investigación inicia con el cálculo de las fuerzas que intervienen en los soportes con la evaluación de los soportes originales, obteniendo su geometría y medidas, para posteriormente utilizarlos en el rediseño mediante software CAD. En la selección del material se analiza las propiedades de resistencia, densidad, maquinabilidad y disponibilidad del mismo en el mercado, más el uso de software CAE, se logró la optimización del componente, reduciendo su peso sin afectar su resistencia. La manufactura componente se efectuó mediante el uso de maquinaria CNC, obteniendo los nuevos soportes con iguales características y dimensiones que el obtenido en el rediseño. Por último, se realiza la implementación de los nuevos soportes del diferencial en el vehículo prototipo para realizar la prueba de aceleración.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **FORMULA SAE**
- **AUTOMOVILES - SOPORTES DEL DIFERENCIAL**
- **MANUFACTURA CNC**



## **ABSTRACT**

The investigation begins with the calculation of the forces that intervene in the supports with the evaluation of the original supports, obtaining their geometry and measurements, to later use them in the redesign using CAD software. In the selection of the material the properties of resistance, density, machinability and availability of the same in the market are analyzed, plus the use of CAE software, the optimization of the component was achieved, reducing its weight without affecting its resistance. The component manufacturing was carried out through the use of CNC machinery, obtaining the new supports with the same characteristics and dimensions as the one obtained in the redesign. Finally, the implementation of the new differential supports in the prototype vehicle is performed to perform the acceleration

### **KEYWORDS:**

- **FORMULA SAE**
- **AUTOMOBILES - DIFFERENTIAL SUPPORTS**
- **CNC MANUFACTURING**

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

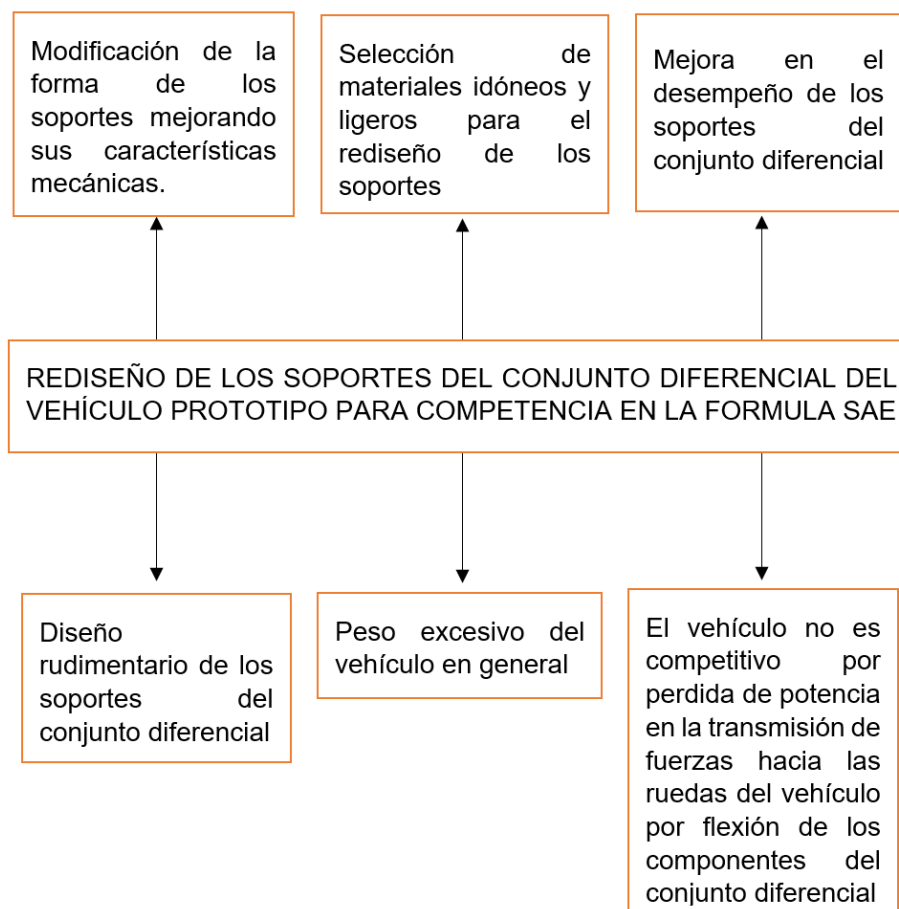
La Fórmula Student o conocida como Fórmula SAE (Society of Automotive Engineers), es una competición donde participan diferentes equipos de estudiantes universitarios de todo el mundo, los cuales compiten entre sí, aplicando sus conocimientos adquiridos en la construcción de un monoplaza (Iglesias, 2017).

En la actualidad se caracteriza por ser una competición en donde universidades de todo el mundo diseñan y fabrican un prototipo automovilístico muy semejante a la apariencia de un monoplaza de competición y varios países acogen esta competición, como por ejemplo Italia, Reino Unido, Rusia, Hungría y Alemania principalmente.

El vehículo debe cumplir con las exigencias que la competencia amerita entre ellas las pruebas de: aceleración, frenada, conducción, diseño, estética, confort, a la vez que su costo debe ser moderado con facilidad de adquisición y contar con un mantenimiento cómodo en caso de su reparación.

La Fórmula SAE al ser una competencia exigente y que va de la mano con los avances tecnológicos genera relevancia en el rediseño de los soportes del conjunto diferencial mediante la utilización de software, con lo cual se garantiza un diseño seguro, liviano, capaz de resistir la alta exigencia de la competencia y las fuerzas generadas por parte del motor y de la tracción (Pons, 2016).

## 1.2 Planteamiento del problema



**Figura 1. Diagrama causa efecto**

El monoplaza “Cotopaxi” es un vehículo que fue construido en la Universidad de las Fuerzas Armadas para competir en la Fórmula SAE, en donde su principal problema radica en el uso de materiales pesados utilizados en la creación de su estructura y componentes, si bien el material cumple con los requisitos establecidos en el reglamento, pero su peso es su mayor desventaja puesto que afecta directamente a la pérdida de potencia del motor (Cruz & Mesías, 2013).

Los diseños rudimentarios de los soportes del conjunto diferencial del monoplaza originan una pérdida de la energía en la transmisión de potencia del motor hacia las ruedas, al sufrir flexiones de los componentes que conforman el conjunto. Además, el material con que está construido los componentes es muy pesado y de manera significativa influye en la pérdida

de potencia por peso del prototipo. Todo esto conlleva a que el monoplaza en actuales condiciones sea un vehículo no competitivo en comparación de la demás escudería en la Fórmula SAE.

### **1.3 Descripción resumida del proyecto**

El presente proyecto de investigación está encaminado en el rediseño de los soportes del conjunto diferencial del monoplaza "Cotopaxi" mejorando su geometría con el empleo de software CAD (Dibujo Asistido por Computador) y CAE (Ingeniería Asistida por computador). para optimizar el componente de manera rápida y confiable.

La selección del material idóneo, ligero y sobretodo resistente que cumplan con las exigencias técnicas de la competición SAE, se realizará en base a los datos recaudados de los materiales como sus propiedades mecánicas y la disponibilidad en el mercado.

Se analizará los resultados del análisis estático mediante la ayuda del software CAE tanto de los soportes originales como del rediseño para obtener un factor de seguridad apropiado que no interfiera en el comportamiento de los nuevos soportes del conjunto diferencial.

La construcción de los nuevos soportes del conjunto diferencial se llevará a cabo con el uso de máquina-herramienta de control numérico computarizado CNC, para su posterior implementación en el vehículo y realizar las respectivas pruebas de los soportes que evidencien su funcionamiento sin fallos.

### **1.4 Justificación e importancia**

En la actualidad las competencias de Fórmula Student son cada vez más exigentes y todo vehículo monoplaza debe ser más competitivo que otro en todos los sentidos, por lo mismo el proyecto de investigación surge de la necesidad de innovar los soportes del conjunto diferencial del monoplaza, tomando en consideración el rediseño de los soportes ya que al buscar una mejora de los mismos ganando estabilidad del conjunto diferencial.

Al ser un vehículo con una relación peso-potencia no tan favorable, nace la importancia de optimizarlo, siendo los soportes del diferencial uno de sus componentes con los cuales se puede mejorar dicha relación a partir de la selección de un material apto para dicha aplicación, logrando la reducción de peso sin sacrificar su funcionabilidad.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Rediseñar los soportes del conjunto diferencial del vehículo prototipo para competencia en la formula SAE

### **1.5.2 Objetivos y específicos**

- Establecer los fundamentos teóricos relacionados al presente proyecto de investigación.
- Calcular las fuerzas teóricas que son ejercidas sobre conjunto diferencial a partir de los datos técnicos del motor utilizado en el monoplaza.
- Seleccionar el material idóneo que cumpla las características mecánicas necesarias reduciendo su peso original.
- Representar los soportes actuales del conjunto diferencial en software CAD.
- Evaluar los materiales actuales de los soportes del conjunto diferencial.
- Diseñar y analizar el comportamiento del nuevo soporte sometándolo a las cargas teóricas observadas en el cálculo de las fuerzas, mediante software CAE.
- Construir y realizar el montaje de los nuevos soportes en el bastidor del monoplaza
- Demostrar la confiabilidad del nuevo elemento mecánico sometándolo a pruebas dinámicas de acuerdo a la Fórmula SAE.

## 1.6 Metas

- En el primer mes de trabajo, establecer los fundamentos teóricos relacionados al presente proyecto de investigación
- Realizar los cálculos para determinar las fuerzas que intervienen en los soportes del conjunto diferencial en el segundo mes de investigación.
- En el transcurso del tercer mes, llevar a cabo la evaluación de los materiales actuales con los posibles a utilizarse en el trabajo de campo, asegurando cumpla las características mecánicas necesarias para su funcionamiento y reduciendo su peso original.
- Generar los análisis estáticos de los soportes del diferencial con el uso de software CAE, comparando sus factores de seguridad, peso y resistencia del diseño con el material seleccionado anteriormente, dentro del cuarto mes.
- Construir los nuevos soportes del diferencial en el quinto mes, considerando los resultados anteriores de la presente investigación para luego efectuar el montaje de los nuevos soportes en el bastidor del monoplaza.
- Demostrar la confiabilidad del nuevo elemento mecánico someténdolo a pruebas dinámicas de acuerdo a la Fórmula SAE en el sexto mes.

## 1.7 Hipótesis

El rediseño de los soportes del conjunto diferencial mejorará el comportamiento dinámico del monoplaza sin afectar su resistencia ante los esfuerzos producidos durante las pruebas dinámicas de la Fórmula SAE.

## 1.8 Variables de investigación

### 1.8.1 Variable Independiente

El rediseño de los soportes del conjunto diferencial

**Tabla 1**  
**Operacionalización de variable independiente**

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnica	Instrumentos
Determina la configuración geométrica óptima de un cuerpo, es decir, modificar la geometría para mejorar su función.	Tecnología	Diseño	mm	Medición	Cinta métrica y escuadra
					Software CAD
	Tecnología	Optimización	%	Medición	Software CAE
	Tecnología	Factor de seguridad	-	Medición	Software CAE

### 1.8.2 Variable Dependiente:

Soportes del conjunto diferencial

**Tabla 2**  
**Operacionalización de variable dependiente**

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnica	Instrumentos
Los soportes son componentes que sirven de apoyo a otros elementos	Propiedades mecánicas	Resistencia mecánica	MPa	Medición	Resistencia mecánica
	Tipos de apoyos	Apoyo de articulación Apoyo empotrado	Grados de libertad	Medición	Documentos
	Propiedades químicas	Densidad	Kg/m3	Medición	Software CAE

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Fórmula Student

La Fórmula Student o comúnmente conocida como fórmula SAE (Society of Automotive Engineers) es una competencia que motiva a diseñar vehículos de alto desempeño cuyo rendimiento cada vez es más exigente asegurando su éxito además de las características esenciales que el mismo posee como diseño óptimo, fiabilidad y seguridad para quien lo conduce. Dicha competencia adicionalmente permite a quienes participan, alcanzar un conocimiento en el ámbito profesional, económico y cultural puesto que se ven incluidos en procedimientos que acercan la teoría a la vida real (Duncan, 2014).



**Figura 2. Vehículo Fórmula SAE Cotopaxi**

La fórmula SAE se celebra anualmente en diferentes países como Estados Unidos, Alemania, Italia, Inglaterra, Australia y Brasil, donde su característica principal es reunir a varias universidades internacionales (SAE BRASIL, 2018).



## **2.2 Pruebas de la fórmula SAE**

La normativa de la fórmula SAE establece dos tipos de pruebas, las mismas que evalúan dos aspectos esenciales las cuales están ponderadas en 1000 puntos, aplicándose de manera rigurosa. Estas pruebas son estáticas y dinámicas (Baron, 2017).

### **2.2.1 Pruebas estáticas**

Consiste en la inspección técnica no puntuable del vehículo, en la cual se comprueba que el prototipo cumpla con los requerimientos y restricciones vigentes para la competencia, dentro del reglamento de la (SAE, 2016) menciona los siguientes puntos:

- Vehículo
- Formulario de Inspección Técnica
- Neumáticos para pista seca y mojada
- Equipos de seguridad de los pilotos
- Extintor de fuego
- Barra de empuje
- Copias de la Hoja de Cálculo de Equivalencia Estructural (SES) o Formulario de Certificación de Requisitos Estructurales (SRCF), según corresponda para su automóvil.
- Reporte del atenuador de impactos

Además de la inspección técnica no puntuable, los equipos deben presentar su plan de negocios a los jueces, donde se les debe convencer de adquirir el prototipo en un tiempo máximo de diez minutos, demostrando la rentabilidad y la posibilidad de comerciar el vehículo, terminando con cinco minutos de respuesta de inquietudes por parte de los jueces (SAE, 2016).

#### **a. Inspección técnica**

Dentro de las pruebas estáticas se tiene como primera parte la inspección técnica eléctrica y mecánica. Después de aprobar pasan a la segunda parte en la que se realiza una prueba de inclinación a 45° donde se verifica que no exista fuga de fluidos y a 60° para verificar que el vehículo no resbale (SAE International, 2017). Por último, se revisa el ruido que genera el vehículo, el

interruptor maestro, una prueba de lluvia y de frenos. El único habilitante para pasar a las pruebas dinámicas son los sellos de aprobación de cada inspección estática (SAE, 2016).

#### a. **Presentación empresarial**

En este evento se evalúa si la presentación comercial es apropiada para el mercado, en donde los factores que hay que tomar en cuenta en el desarrollo del producto son: costo, identificación del mercado, ventas probables, rentabilidad, entre otros.



**Figura 3. Presentación empresarial**

Fuente: (F- SAE USB, 2017)

#### b. **Costo y fabricación**

En esta etapa se justifica el porqué de los elementos escogidos para la composición del monoplace y un equipo de jueces designados evalúa el diseño y si es válido o no ponerlo en el mercado.



**Figura 4. Costo y fabricación del prototipo**

Fuente: (F- SAE USB, 2017)

### c. Análisis de costes

Aquí se especifica de manera detallada todos los costes y piezas que intervienen en la fabricación del monoplaza.



**Figura 5. Análisis de costes**

Fuente: (F- SAE USB, 2017)

## 2.2.2 Pruebas dinámicas

### a. Aceleración

Consiste en evaluar la aceleración lineal del vehículo, recorriendo una pista de 75 metros de largo y 5 metros de ancho delimitada por conos, haciendo énfasis en el menor tiempo posible con el máximo de 2 intentos con conductores distintos, además es motivo de exclusión de la prueba si los conos empleados para delimitación de la zona de prueba son derribados (SAE International, 2017).

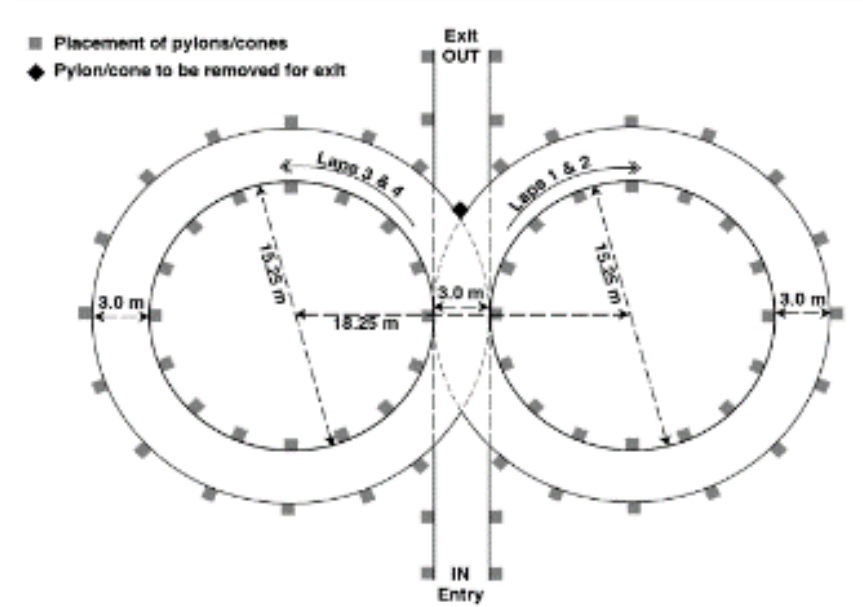


**Figura 6. Prueba de aceleración**

Fuente: (F-SAE USB, 2017)

### b. Skid pad

El vehículo recorre un circuito mojado compuesto por dos circunferencias unidas formando un ocho de 15,25 m de radio y 3 m de ancho de pista en el cual se debe recorrer dos vueltas, una de las circunferencias en sentido horario y la otra en sentido anti horario, todo esto en el menor tiempo posible con una penalización de suma de 0.25 segundos adicionales al tiempo final si se llegara a derribar los conos (SAE, 2016).



**Figura 7. Esquema del Skip Pad**

Fuente: (SAE International, 2017)

### c. Autocross

Según el reglamento de la SAE (SAE International, 2017) manifiesta en su reglamento que el vehículo debe atravesar un circuito compuesto por;

- Una recta de 60m y otra de 45 m
- Una curva de radio constante de 23 m de diámetro y otra de 45m,
- Horquillas con un mínimo de 9 m de diámetro exterior,
- Slalom con conos separados entre 7,62 y 12,19 m,
- Chicanes,
- Distintos giros y curvas de radio variable,

La distancia que se recorre es aproximada a 800 m, con una penalización de 2 segundos por cada cono que se haya derribado.



**Figura 8. Prueba de autocross**

Fuente: (F- SAE USB, 2017)

#### **d. Resistencia y economía del combustible**

La Formula SAE (SAE International, 2017) especifica que el circuito está formado por:

- Recta de 77 m y otra de 61
- Una curva de radio constante de 30m de diámetro y otra de 54m,
- Horquillas con un mínimo de 9 metros de diámetro exterior,
- Slalom con conos separados entre 9 y 15 m,
- Chicanes,
- Distintos giros y curvas de radio variable.

Se penaliza con dos segundos por cada cono derribado al tiempo final realizado y 20 segundos por slalom no realizado correctamente.

El vehículo prototipo para competencia en la fórmula SAE debe estar apegado a las exigencias estipuladas en el reglamento el mismo que es mejorado cada año, donde no se cuenta solo con el puntaje a merecer por pruebas dinámicas sino también las pruebas estáticas de donde se desprenden las siguientes pruebas. (SAE, 2016)

## **2.3 Monoplaza**

Es un vehículo destinado especialmente para la competición gracias a sus ventajas aerodinámicas, su bajo peso y su alto desempeño en pista lo hacen un tipo de vehículo competitivo. Se caracteriza por ser de una sola plaza, es decir, el habitáculo está diseñado de una manera compacta y reducida para el uso exclusivo del piloto.

### **2.3.1 Sistemas principales de un monoplaza**

#### **a. Sistema de suspensión**

Este sistema permite que el vehículo circule sobre cualquier superficie mejorando el contacto de las ruedas al suelo, ganando con ello estabilidad en la conducción y confort para los ocupantes.

En el uso de vehículos de competición el sistema de suspensión tiene mayor énfasis en la estabilidad y adherencia de las ruedas a la pista dejando de lado la sensación de confort en la conducción (Caraguay & Caraguay, 2015). Es importante que este sistema soporte las cargas generadas por el automotor, así como;

- Fuerzas de aceleración
- Fuerza de frenado
- Fuerzas tangenciales y normales

#### **b. Sistema de dirección**

Este sistema está compuesto por diferentes mecanismos cuya misión es orientar las ruedas directrices cambiando la trayectoria del vehículo a voluntad del conductor (Jaramillo & Játiva , 2013), cumpliendo características como;

- Seguridad
- Precisión
- Suavidad

### **c. Sistema de frenos**

La función de este sistema es anular la velocidad del vehículo de forma parcial o total, frenando de manera segura, rápida y eficaz (Acosta & Guevara, 2010)

Existiendo varios tipos de sistemas de acuerdo al elemento que se ocupe para su funcionamiento, así como:

- Hidráulico, son aquellos que ocupan un fluido dentro del sistema
- Neumático, son accionados mediante aire
- Eléctrico, poseen componentes electromecánicos para realizar el frenado
- Mixto

### **d. Sistema de transmisión**

Es un conjunto de elementos encargado de transmitir la potencia generada en el motor hacia las ruedas motrices permitiendo el movimiento del vehículo (Mecanica del Automovil, 2009). Los elementos que conforman este sistema son;

- Embrague: Permite aislar la acción del motor con la caja de velocidades a voluntad del conductor (Mecanica del Automovil, 2009).
- Caja de cambios: Multiplica y desmultiplica las revoluciones que el motor le entrega, adaptando de forma gradual la velocidad de salida que requiere el vehículo.
- Árbol de transmisión: Transmite movimientos rotatorios de un elemento hacia otro.
- Sistema diferencial: Es el mecanismo encargado de transformar el movimiento rotativo longitudinal en movimiento rotativo transversal (Mecanica del Automovil, 2009).



## 2.4 Sistema diferencial



**Figura 9. Sistema Diferencial**

Fuente: (TODO MECÁNICA , 2005)

Es un sistema comprendido por un conjunto de engranajes los cuales sirven para transmitir el movimiento giratorio producido por el motor hacia las ruedas de tracción, pero este movimiento es transmitido con una diferencia de giro de acuerdo a lo que cada rueda solicite (Mecanica del Automovil, 2009). Los elementos que comprenden este conjunto son:

- Piñón
- Corona
- Planetarios
- Satélites

Este sistema realiza la última desmultiplicación del par motor antes de llegar a las ruedas motrices, para ello el piñón impulsa a la corona provocando que la diferencia de dientes entre estos elementos dé como resultado la desmultiplicación del par.

Los satélites que están acoplados a la corona mandan el movimiento a los dos semiejes a través de los engranajes planetarios, de acuerdo a la cantidad de par que cada rueda necesite.

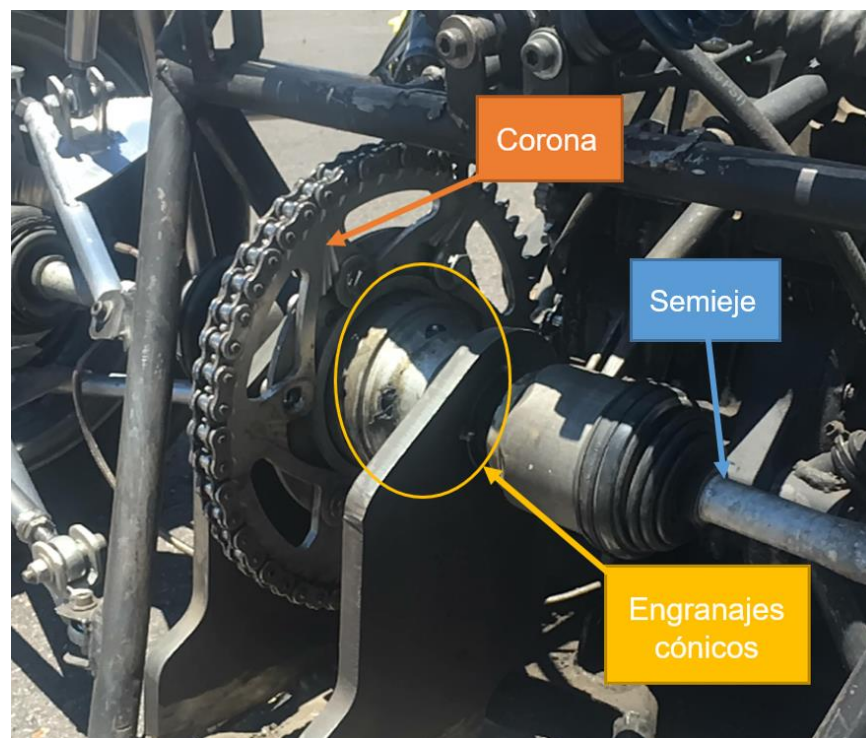
## 2.5 Tipos de diferencial

Se pueden clasificar los diferenciales en dos grupos:

- Diferenciales convencionales o abiertos
- Diferenciales autoblocantes

### a. Diferencial convencional

En el caso del vehículo SAE la corona está localizada en la parte exterior de la carcasa, la cual suministra el mismo par a través de varios engranajes cónicos (satélites y planetarios) que transmiten el movimiento a través de semiejes o palier, que están conectados a los engranajes planetarios hasta las ruedas del vehículo (Ojeda, 2012).



**Figura 10. Sistema diferencial y sus partes**

Si una rueda resbala sobre la superficie la otra rueda no puede suministrar tracción. Este tipo de diferencial se caracteriza por ser el más común en el mercado automovilístico por su bajo costo en producción y mantenimiento resultando ser confiable para el cumplimiento de su función en cualquier tipo de carretera.

## b. Diferencial autoblocante

El diferencial autoblocante, es el sistema más usado, aunque los sistemas electrónicos casi los han sustituido, debido a que hacen su trabajo mediante sensores y los autoblocantes no. Hoy en día, este sistema es muy usado por los vehículos de competición (Notario, 2014).

Solos los vehículos con altas prestaciones siguen montando diferenciales autoblocantes, ya que se descargue el trabajo de los frenos, e incluso aumenta la capacidad de transmisión de potencia, pero encareciendo el montaje (Ojeda, 2012).



**Figura 11. Diferencial autoblocante**

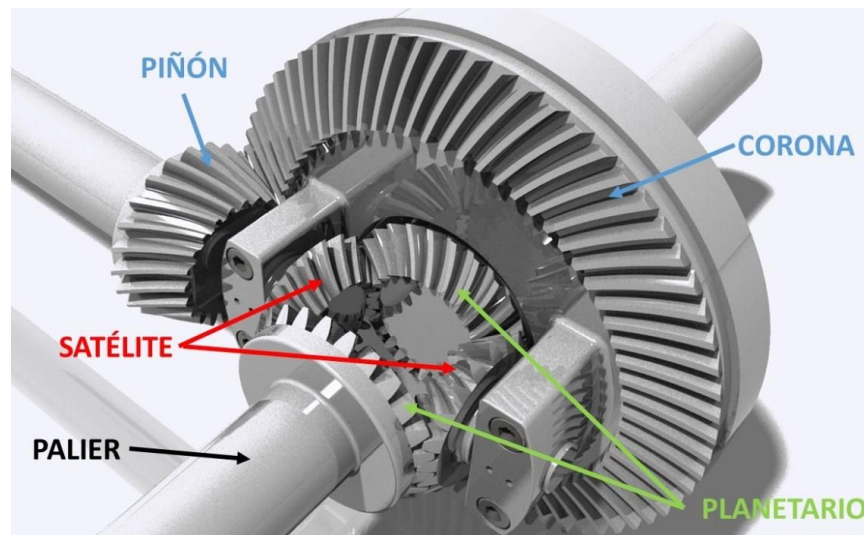
Fuente: (Notario, 2014)

### 2.6 Partes del conjunto diferencial

Un diferencial está compuesto por cuatro partes que son:

- **Cono:** Recibe el movimiento del eje secundario de la caja de velocidades y lo transmite a la corona (Mecanica del Automovil, 2009).
- **Corona:** Tiene un número mucho mayor de dientes que el piñón de ataque y por lo tanto la velocidad proveniente del eje secundario sufre una desmultiplicación bastante grande (Mecánica de autos, 2013).

- **Satélites:** Van encajados en el armazón de la corona, o sea que, al girar ésta giran los satélites y arrastran los planetarios (Mecánica de autos, 2013).
- **Planetarios:** Van unidos los semiejes ó palieres (Mecánica de autos, 2013)



**Figura 12. Partes del conjunto diferencial**

Fuente: (Mayo, 2016)

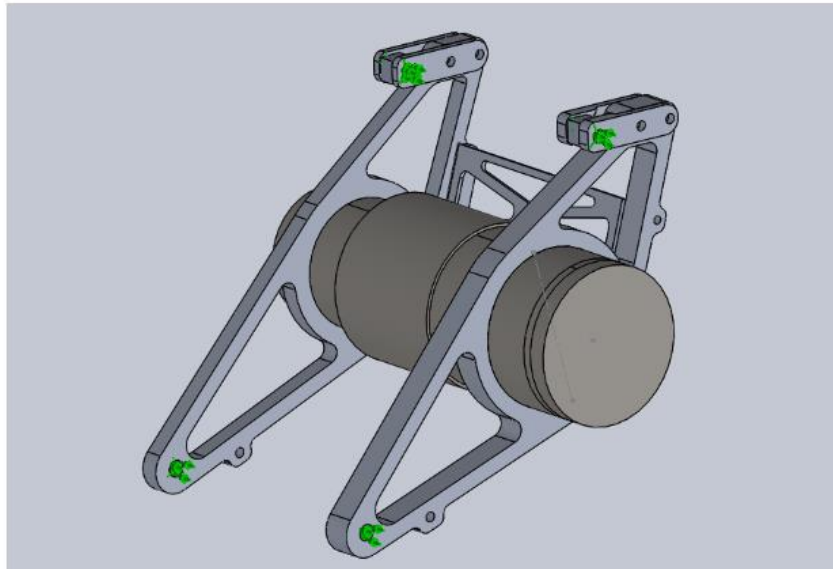
## 2.7. Soportes de diferencial

El soporte del diferencial, conocido también como caja, cárter o porta diferencial corresponde a los elementos que contienen, los engranajes y el par cónico o el par de reducción final. Cuando el motor se halla situado sobre el eje tractor, la caja, soporte cárter o porta diferencial se construye en bloque, por otro lado, en el caso de propulsión trasera y suspensión por eje rígido, el soporte va incorporado al puente trasero (Blog de automóviles, 2011).

Los diferenciales generalmente son de tipo abiertos, por lo que se fijan al bastidor mediante estructuras que permitan su giro. Debido a esto, es necesario interponer entre estos, dos rodamientos. El diseño se dirige principalmente por la forma de los elementos, es decir, no debe haber elementos que se interpongan en el movimiento. Adicionalmente, se realiza un análisis de elementos finitos que permiten determinar si son lo

suficientemente robustos, debido a que los esfuerzos de tracción inciden en los elementos de soporte. (Pardo Palacios, 2016)

Una de las características principales de los elementos de sujeción del mecanismo diferencial es la capacidad de mantener el rodamiento fijo, tanto axial como longitudinalmente. Habitualmente, las sujeciones están sometidas a esfuerzos de cizallamiento y otras tensiones.



**Figura 13. Soportes de conjunto diferencial**

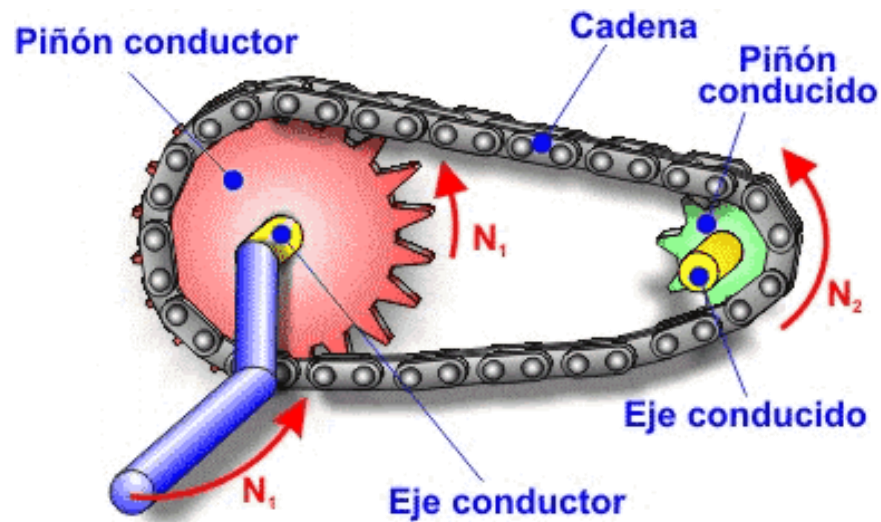
Fuente: (González Corchón, 2016)

## **2.8 Cálculos en el mecanismo diferencial**

### **2.8.1 Relación de transmisión en el puente trasero.**

En el sistema diferencial se produce una relación de transmisión de revoluciones que para el cálculo se utiliza la relación de piñón conducido sobre piñón conductor, en este caso la catalina sobre el piñón (Hidalgo & Tenelanda, 2015).





**Figura 14. Relación de transmisión entre piñón y catalina**

Fuente: (Cadena-piñón, 2006)

Con lo expuesto las ecuaciones de relación de transmisión son las siguientes:

$$i_{sec} = \frac{Z_c}{Z_p} = \frac{n_c}{n_p} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Notaciones:

$n_p$  = Revoluciones del piñón [rpm]

$n_c$  = Revoluciones de la catalina [rpm]

$Z_p$  = Número de dientes del piñón

$Z_c$  = Número de dientes de la catalina

$i_{sec}$  = Relación de transmisión

### 2.8.2 Resistencias de la transmisión

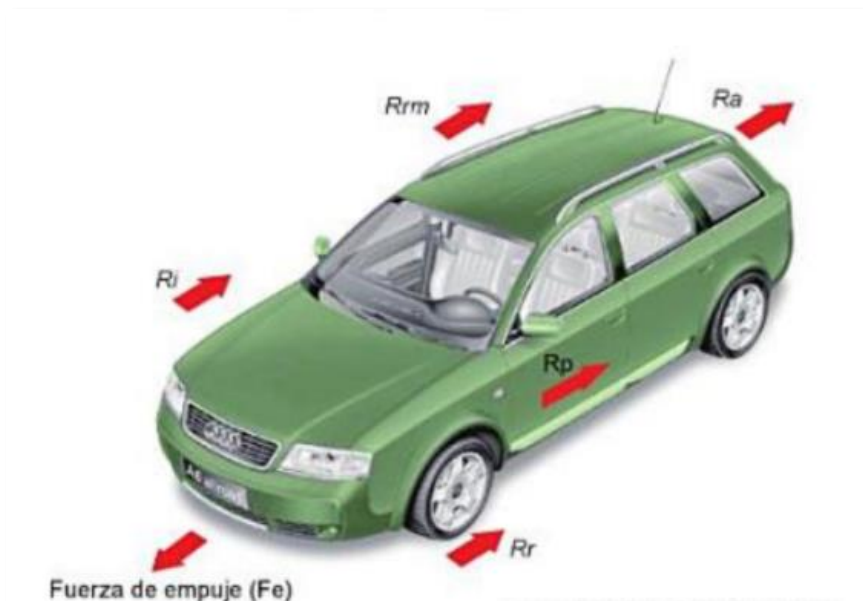
Un vehículo debe disponer de un sistema de transmisión que venza las resistencias y las fuerzas que generan, que se oponen al movimiento del mismo, adaptado que tenga en cuenta factores como: su masa, su coeficiente aerodinámico, su resistencia a la rodadura, etc (Narváez, 2014). Las resistencias más importantes que se oponen a la transmisión de movimiento de un vehículo son las siguientes:

- Resistencia a la rodadura  $R_r$
- Resistencia del aire  $R_a$
- Resistencia por pendiente  $R_p$
- Resistencia por rozamiento mecánico  $R_{rm}$
- Resistencia por inercia  $R_i$

Para que el vehículo se desplace, la suma de todas estas resistencias (fuerzas) debe ser inferior a la fuerza de empuje ( $F_e$ ) que proporcione el motor y transmisión a los conjuntos mecánicos de la transmisión (Dominguez & Ferrer, 2012).

$$R_r + R_a + R_p + R_{rm} + R_i < F_e \quad \text{Ecuación 2.}$$

La resistencia al desplazamiento ( $R_d$ ) del vehículo se calcula sumando todas las fuerzas que se oponen al movimiento (Dominguez & Ferrer, 2012).



**Figura 15. Fuerzas y resistencias de la transmisión**

Fuente: (Domínguez & Ferrer, 2012)

Para conseguir el desplazamiento, el vehículo tiene que generar una fuerza de empuje ( $F_e$ ) en el eje motriz, mayor que la fuerza de resistencia al desplazamiento ( $R_d$ ). Si estas fuerzas fuesen iguales el vehículo permanecería en reposo (Dominguez & Ferrer, 2012).

### 2.8.3 Resistencia a la rodadura (Rr)

Cuando un vehículo se pone en movimiento, se produce en él una resistencia a rodar que genera fuerza de rodadura ( $R_r$ ) (Dominguez & Ferrer, 2012). La fuerza de resistencia a la rodadura depende de los siguientes factores:

- Peso a soportar
- Tipo de terreno por el que se desplace el vehículo

$$R_r = P * u_r$$

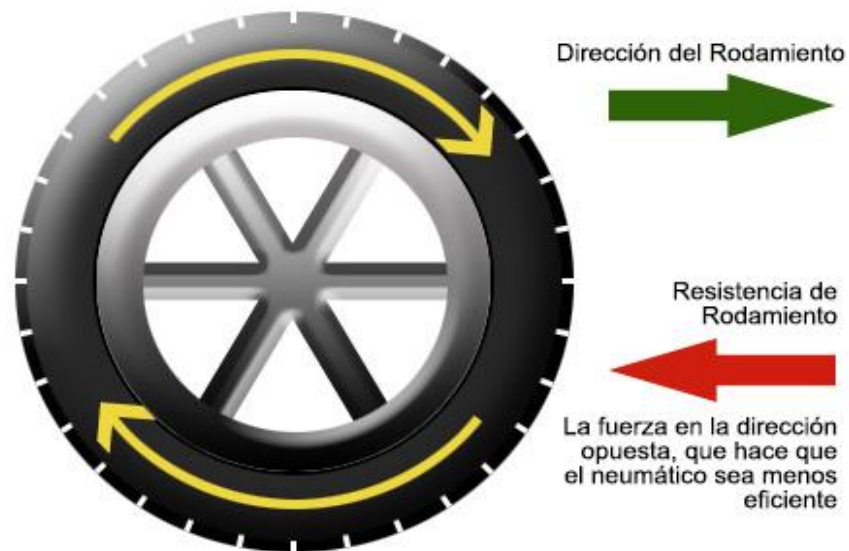
**Ecuación 3.**

Donde:

$R_r$  = Resistencia a la rodadura [N]

$P$  = Peso del vehículo [N]

$u_r$  = factor de rozamiento del suelo



**Figura 16. Resistencia de rodamiento**

Fuente: (Mecánicos, 2017)



**Tabla 3**  
**Coefficiente de resistencia a la rodadura**

Terreno	ur
Asfalto	0,013
Hormigón	0,013
Camino de tierra	0,05
Camino de arena	0,15

Fuente: (Dominguez & Ferrer, 2012)

#### 2.8.4 Resistencia al aire (Ra)

En el desplazamiento un vehículo impacta contra el aire provocando una resistencia por parte del aire.

$$Fuerza\ del\ aire\ (Ra) = ps * S * C x \quad \text{Ecuación 4.}$$

Siendo:

Ra = Resistencia del aire [N]

S = superficie sobre la que incide el aire [m<sup>2</sup>]

Cx = coeficiente aerodinámico del vehículo

ps = presión resistente en el vehículo [N/m<sup>2</sup>]

Aludiendo a (Dominguez & Ferrer, 2012), la resistencia al aire depende en gran medida de la velocidad del vehículo y de la velocidad y dirección del viento. Esta resistencia es difícil de calcular, por ende, se emplean túneles de viento que permiten conocer de manera aproximada la fuerza que el aire ejerce contra el vehículo y la potencia que este necesita para vencerla en kiloWatt o Caballo Vapor (kW o CV).



**Figura 17. Túnel de viento**

Fuente: (Audi, 2017)

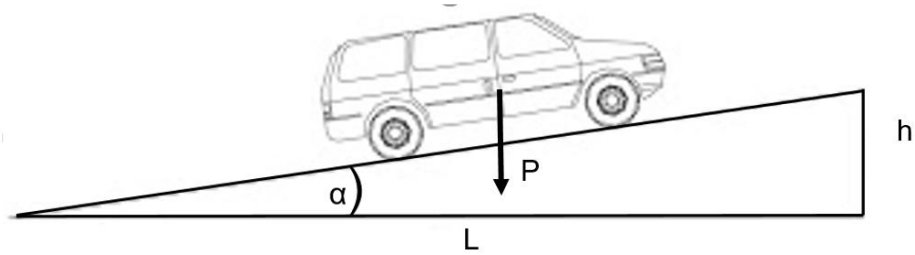
**Tabla 4**  
**Pérdidas de potencia por la resistencia del aire**

Coeficiente aerodinámico	Velocidad del vehículo		
	[cx]	40 km/h	80 km/h
<b>0,4</b>	<1 CV	8,5 CV	28,5 CV
<b>0,2</b>	0,4 CV	4 CV	13,6 CV

Fuente: (Sistemas de transmisión y frenado, 2012)

### 2.8.5 Resistencia por pendiente (Rp)

El vehículo al subir una pendiente genera una fuerza opositora que depende del ángulo de la pendiente a superar. Al avanzar por la pendiente, parte del peso del vehículo empuja en sentido contrario al de la marcha y genera una fuerza que se opone al avance del vehículo generando resistencia al desplazarse, por lo que el conductor se ve obligado a cambiar a una velocidad más corta para aumentar la fuerza de empuje (Dominguez & Ferrer, 2012).



**Figura 18. Vehículo en pendiente**

La fuerza generada al superar pendientes depende del peso del vehículo y del ángulo de la pendiente  $\alpha$

$$R_p = P * \sin \alpha \quad \text{Ecuación 5.}$$

### 2.8.6 Resistencia por rozamientos mecánicos ( $R_{rm}$ )

También llamado rendimiento mecánico, debido a la presencia de rozamiento entre las piezas mecánicas del conjunto de la transmisión como en el embrague, en la caja de cambios, en el grupo diferencial y en las transmisiones. (Dominguez & Ferrer, 2012).

$$\eta_m = 100 - \eta_u \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde  $\eta_u$  es la pérdida por rozamiento de cada elemento mecánico

### 2.8.7 Resistencia por inercia ( $R_i$ )

La resistencia por inercia se produce cuando hay un cambio en la velocidad del vehículo. Se genera por la acción de la aceleración o desaceleración del vehículo, provocando inercias por la masa del vehículo, las cuales empujan hacia la dirección de la aceleración, provocando una resistencia (Domínguez & Ferrer, 2012) .

$$R_i = m * a \quad \text{Ecuación 7.}$$

## 2.9 Materiales usados en la Formula SAE

Según la normativa FSAE Rules 9.2.16a (SAE International, 2017) el material básico para la fabricación de soportes es acero, la estructura primaria del automóvil debe construirse con: acero redondo, suave o de aleación,

tubería de acero (mínimo 0.1% de carbono), para lo mismo se presenta las dimensiones mínimas especificadas en la siguiente tabla

**Tabla 5**  
**Requisitos mínimos de material**

Ítem o aplicación	Dimensiones
Barra de montaje del arnés de hombro	Redondo 1.0 pulgadas (25.4 mm) x 0.095 pulgadas (2.4 mm) o redondo 25.0 mm x 2.50 mm métrico
Estructura de impacto lateral, tabique hermético frontal, soporte de rodillo, enganche del arnés de sujeción del conductor, estructura de protección del acumulador	Redondo 1.0 pulgadas (25.4 mm) x 0.065 pulgadas (1.65 mm) o redondo 25.0 mm x 1.75 mm métrico o redondo 25,4 mm x 1,60 mm métrico o cuadrado 1.00 pulgadas x 1.00 pulgadas x 0.047 pulgadas o cuadrado 25.0 mm x 25.0 mm x 1.20 mm métrico
Soporte de mamparo delantero, aro principal soportes de sujeción, arnés de hombro soporte de barra de montaje protección de los componentes del sistema de tracción	Redondo 1.0 pulgadas (25.4 mm) x 0.047 pulgadas (1.20 mm) o redondo 25.0 mm x 1.5 mm métrico o redondo 26.0 mm x 1.2 mm métrico

**Fuente:** (2017-18 Formula SAE Rules , 2017)

A pesar de que el aluminio puro es un material poco usado se da la paradoja de que las aleaciones de este material son ampliamente usadas en una grandísima variedad de aplicaciones tanto a nivel industrial como a otros niveles (Ortolá, 2009).

En el área aeronáutica y en especial la automotriz ha crecido el uso del aluminio y sus aleaciones para uso en componentes que conforman las estructuras y partes de los vehículos, logrando reducir su peso y aprovechar el rendimiento y la potencia de los que entregan los motores de combustión interna.



**Figura 19. Carrocería de aluminio**

**Fuente:** (Talleres y repuestos , 2018)

Dentro del uso del aluminio, los fabricantes trabajan para el desarrollo de aleaciones que tengan mejores características mecánicas para su uso en aplicaciones de competencia, como es el caso de las series de aluminio:

- **Serie 4XXX.** Su principal elemento aleante es el silicio (Si) que ayuda a tener un bajo coeficiente de expansión térmica y una alta resistencia al desgaste, siendo ideal para la fabricación de pistones de motores de combustión interna (Ortolá, 2009).
- **Serie 6XXX.** En estas aleaciones se usan como elementos aleantes el magnesio (Mg) y el silicio (Si), haciendo una aleación tratable térmicamente con buenos resultados de soldabilidad, maquinabilidad, y resistencia a la corrosión, usados especialmente para estructuras soldadas y cuadros de bicicletas (Ortolá, 2009).
- **Serie 7XXX.** El elemento aleante en mayor proporción en estas aleaciones es el zinc (Zn) Debido a que la principal propiedad de estas aleaciones es su alta dureza se suele usar en las estructuras de los aviones, equipos móviles y otras partes altamente forzadas (Ortolá, 2009).

Los materiales compuestos también están dentro del reglamento Formula SAE (SAE, 2016), los cuales se definen como las combinaciones de dos o

más materiales a partir de una unión química o no química. Estos materiales que forman el compuesto poseen propiedades mejores que las que presentan los materiales componentes por si solos (Naval Composites, 2016).

Existen varios tipos de materiales compuestos los cuales se detallan a continuación:

- **Compuestos reforzados por partículas**

En la mayoría de los materiales compuestos la fase dispersa es más dura y resistente que la matriz y las partículas de refuerzo tienden a restringir el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula (Naval Composites, 2016).

- **Compuestos reforzados por fibras**

Los materiales reforzados por fibras son los más importantes desde el punto de vista tecnológico. El objetivo es conseguir materiales con una elevada resistencia a la fatiga y rigidez, a bajas y altas temperaturas, y simultáneamente una baja densidad (Naval Composites, 2016).

- **Compuestos estructurales**

Un material compuesto estructural está formado tanto por materiales compuestos como por materiales homogéneos y sus propiedades no sólo dependen de los materiales constituyentes sino de la geometría del diseño de los elementos estructurales (Naval Composites, 2016).

## **2.10 Proceso de Manufactura**

Los procesos de manufactura refieren a la transformación de las materias primas en productos terminados donde se entiende como proceso al conjunto de actividades relacionadas y ordenadas con las que se consigue un objetivo determinado (Eraso Guerrero, 2008)

### **2.10.1 Maquinaria**

Segun (KUZU, 2015) se puede clasificar las maquinarias CNC en tres tipos:

- **Máquinas de control punto a punto:** Con esta máquina se mecanizan solo los puntos iniciales y finales, pero no la trayectoria. En este tipo de máquinas no se controla parámetros tales como el trazado y la velocidad. Un ejemplo claro son las taladradoras o las punteadoras.
- **Máquinas de control pariaxial:** Estas máquinas, a diferencia de las anteriores, si que permiten programar los desplazamientos y la velocidad a lo largo de toda la trayectoria. Solamente hay que tener en cuenta que la trayectoria debe ser paralela a los ejes. Ejemplo de este tipo de máquina son los tornos.
- **Máquinas de control interpolar:** En este caso las máquinas ofrecen la posibilidad de realizar mecanizados a lo largo de trayectorias de cualquier tipo, por lo que son las máquinas que tienen una orientación clara al mecanizado de piezas diseñadas por ordenador.

La página (PEREZCAPMS, 2018) dice que: las máquinas fresadora cnc son herramientas utilizadas en mayor medida para mecanizar. Las fresadoras CNC funcionan por arranque de viruta, mediante el movimiento de una herramienta de rotación con varios labios/cortes a la que se le denomina fresa. Estas máquinas pueden hacer distintos tipos de fresado en diferentes superficies. Los centros de mecanizado por control numérico están pensados para dar soluciones a una gran variedad de productos de distintos sectores desde el rotulista o taller de carpintería hasta el sector industrial y la enseñanza (como la fabricación digital).



**Figura 20. Fresadora CNC TEC-CAM 4000**

Fuente: (PEREZCAPMS, 2018)

### **2.10.2 Procesos**

**a. Planeado:** es la operación de fresado más habitual y se puede realizar utilizando una amplia gama de herramientas distintas. Las fresas con ángulo de posición de  $45^\circ$  son las que se utilizan con más frecuencia, pero las fresas con plaquita redonda, las fresas de escuadrar y las fresas de disco también se utilizan en determinadas condiciones (SANDVIK, 2018).

**b. Desbaste:** es la eliminación de mucho material con poca precisión; es un proceso intermedio que se utiliza para acercarse a las dimensiones finales de la pieza en un corto periodo de tiempo. Requiere alta velocidad de avance y de corte (KUZU, 2017).

**c. Taladrado:** es la operación de mecanizado que realiza un corte mediante una broca al hacerla girar, arrancando viruta y realizando un orificio ciego, pasante, cónico, etc. (distintos diámetros). La herramienta empleada es la broca y la máquina que la hace girar es una taladradora (Mecanizado Básico, 2014).



**d. Afinado:** es la eliminación de poco material con mucha precisión; proceso final cuyo objetivo es el de dar el acabado superficial que se requiera a las distintas superficies de la pieza. Se utiliza pensando en tener una superficie con poca rugosidad. Velocidad de avance baja y velocidades de corte altas (KUZU, 2017).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

#### 3.1 Rediseño de los soportes

##### 3.1.1 Datos del motor Kawasaki ZX 600

Es necesario conocer los datos técnicos del motor, y a partir de ello se basa los cálculos para hallar las reacciones que se necesita para iniciar el rediseño. Para lo cual se ha recurrido a la ficha técnica Kawasaki (Moto Fichas, 2018), la misma que brinda datos del motor de estudio.

**Tabla 6**

**Relación de marchas del motor KAWASAKI ZX 600**

Parámetro	Valor
Par máximo declarado a 11800 rpm	66.7 Nm
Relación primaria	$\frac{76}{40}$
Relación secundaria	$\frac{52}{16}$
Relación de marcha	
Primera	$\frac{38}{14}$
Segunda	$\frac{33}{15}$
Tercera	$\frac{37}{20}$
Cuarta	$\frac{32}{20}$
Quinta	$\frac{27}{19}$

Continua 

Sexta	$\frac{26}{20}$
-------	-----------------

Fuente: (Motofichas, 2018)

En este caso solo se tomará en cuenta la relación de transmisión de la primera velocidad ya que, al ser la relación más alta, es aquella que genera una mayor fuerza al final, debido a su multiplicación de la fuerza proveniente del motor.

$$i1 = \frac{38}{14}$$

## 3.2 Fuerzas que actúan en la transmisión

### 3.2.1 Resistencia al aire

Dentro de las reacciones opositoras de la transmisión tenemos la resistencia al aire la cual podemos despreciar, ya que el prototipo parte desde el reposo y la resistencia viene dado en función de la velocidad del vehículo.

$$Ra = \frac{Sf \cdot \delta \cdot V^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde:

**Ra** = Resistencia al aire [N]

**Sf** = Superficie frontal del vehículo [m<sup>2</sup>]

**δ** = Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

**V** = Velocidad el vehículo [m/s]

**g** = Gravedad [m/s<sup>2</sup>]

Si  $V = 0$  [m/s], tenemos:

$$Ra = 0 \text{ [N]}$$

### 3.2.2 Resistencia a la Inercia

La resistencia por inercia de igual manera como la resistencia al aire queda descartada ya que la aceleración en función de la velocidad es igual a cero, demostrando:

$$Ri = m * a \quad \text{Ecuación 9.}$$

$$a = \frac{v^2}{2*d} \quad \text{Ecuación 10.}$$

Donde:

***Ri*** = Resistencia a la inercia [N]

***m*** = Masa del vehículo [Kg]

***a*** = Aceleración [m/s<sup>2</sup>]

***d*** = Distancia recorrida [m]

Si  $V = 0$  [m/s], tenemos:

$$a = 0 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Por lo tanto:

$$Ri = 0 \text{ [N]}$$

### 3.2.3 Resistencia por pendiente

La resistencia por pendiente se desprecia ya que al no existir un ángulo de inclinación en la calzada no genera dicha resistencia, por lo cual queda de la siguiente manera:

$$Rp = m * g * \text{sen } \alpha * f \quad \text{Ecuación 11.}$$

Si  $\alpha = 0^\circ$

$$Rp = m * g * f$$

De donde

$$Rp = Rr$$

### 3.2.4 Resistencia a la rodadura

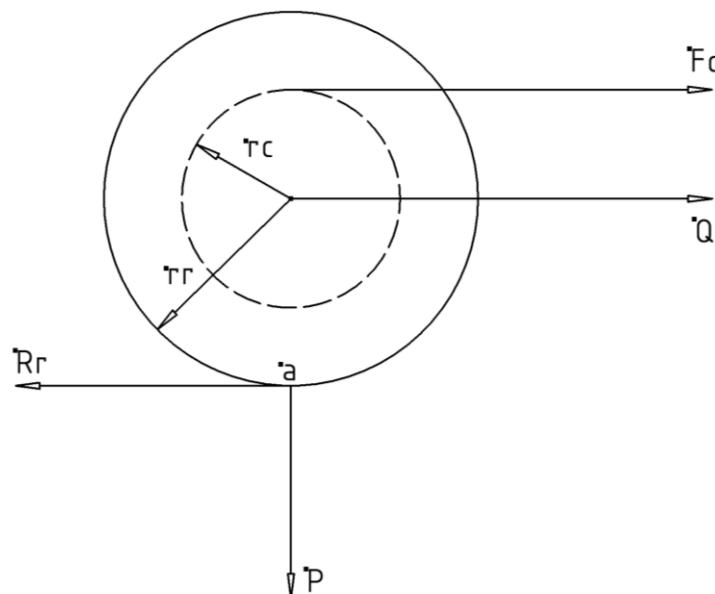
La resistencia a la rodadura se origina por el rozamiento del bandaje de la rueda con el suelo, la fuerza generada se dirige en sentido opuesto a la dirección del movimiento del vehículo. Esta fuerza retardatriz es igual al peso que gravita sobre las ruedas por el coeficiente de rozamiento del suelo, por lo tanto (CEAC, 2004).

$$Rr = P * f$$

**Ecuación 12.**

### 3.2.5 Fuerza en las ruedas

Son los efectos producidos en las ruedas motrices por la impulsión generada en la transmisión de la fuerza producida por el motor.



**Figura 21. DCL fuerzas en las ruedas**

En el diagrama de cuerpo libre se puede apreciar las fuerzas que actúan para generar la fuerza en las ruedas.

Donde:

**Q** = Fuerza en las ruedas [N]

**Fc** = Fuerza de la cadena de transmisión [N]

$rc$  = Radio de la catalina [m]

$rr$  = Radio de la rueda [m]

$Rr$  = Resistencia a la rodadura [N]

$P$  = Peso aplicado [N]

Para encontrar el valor de la fuerza en las ruedas  $Q$ , realizamos una sumatoria de momentos respecto al punto  $a$  en donde la resultante  $Q$  tendrá su punto de aplicación en el centro geométrico de las ruedas (CEAC, 2004).

Por hacer el punto de pivote en el punto  $a$  la Resistencia a la rodadura queda despreciada del análisis.

$$Q * rr + Q * rr = Fc * (rr + rc)$$

$$Q = \frac{Fc*(rr+rc)}{2*rr} \quad \text{Ecuación 13.}$$

Para calcular la fuerza de la cadena  $Fc$  se tiene como dato de inicio el momento máximo generado por el motor, del cual mediante las relaciones de transmisión y el radio del piñón, se obtiene la fuerza que pasa a través de la cadena.

$$Fc = \frac{M*ip*i1}{rp} * \eta c \quad \text{Ecuación 14.}$$

Donde:

$Fc$  = Fuerza de la cadena [N]

$rp$  = Radio del piñón [m]

$\eta c$  = Eficiencia mecánica

La eficiencia mecánica de la cadena de transmisión es 0.9 y el radio del piñón es 0.045 [m], dando una fuerza en la cadena

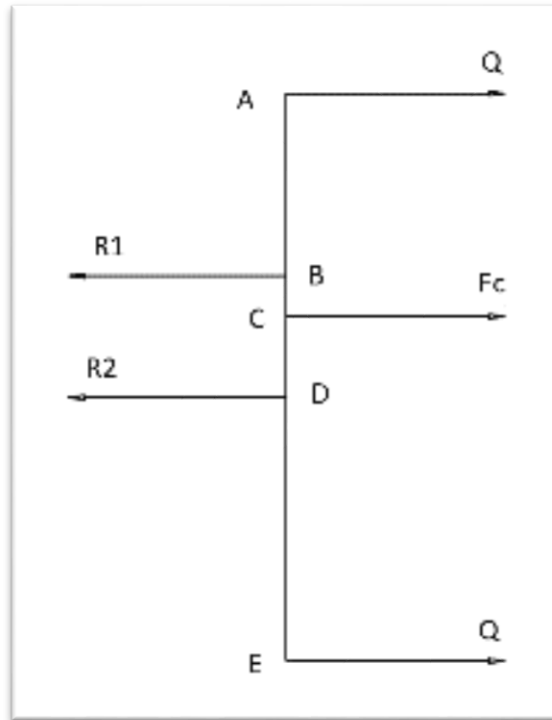
$$Fc = 6879.6 \text{ [N]}$$

Se reemplaza en  $Q$  el valor de  $Fc$

$$Q = \frac{6879.6N * (0.26m + 0.14m)}{2 * 0.26m}$$

$$Q = 5292.0[\text{N}]$$

La reacción generada en los soportes del conjunto diferencial se calcula a partir de una sumatoria de fuerzas y momentos, para poder hallar el máximo valor, el cual nos interesa como punto de partida del rediseño.



**Figura 22. DCL reacciones en los apoyos**

Donde las distancias son:

$$AB = 0.45 \text{ m}$$

$$BC = 0.045 \text{ m}$$

$$CD = 0.085 \text{ m}$$

$$DE = 0.65 \text{ m}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$Q + F_c + Q - R_1 - R_2 = 0$$

$$R_1 + R_2 = 17464$$

$$\Sigma M_c = 0$$

$$(AB + BC) * Q - BC * R1 + CD * R2 - (CD + DE) * Q = 0$$

$$0.045 * R1 + 0.085 * R2 = 1270.1$$

Se tiene 2 ecuaciones con 2 incógnitas las cuales se resuelve y se obtiene el valor de las reacciones.

$$R1 = 1648.77 \text{ [N]}$$

$$R2 = 15815.23 \text{ [N]}$$

### 3.3 Selección de material.

Según el reglamento 2017 – 2018 de la Formula Student Germany, se puede utilizar aceros, aluminios y materiales compuestos para la construcción del prototipo. Con este antecedente se muestra en la **tabla 7** de los posibles materiales que se pueda utilizar en la elaboración de partes mecánicas con alta resistencia.

En la tabla se muestra las descripciones de las familias de materiales utilizados en el campo automotriz

**Tabla 7**

#### **Materiales y principales familias con descripción**

Material	Familia	Descripción
Aceros	Aceros HSLA (High Strength Low Alloy)	La flexibilidad que brindan para las opciones de tratamiento térmico le permite alcanzar una gama de valores de tenacidad, templabilidad, y resistencia.
	Aceros de bajo y medio carbono (20% - 40%)	Fuerza y dureza moderadas en la condición de laminado. Buena maquinabilidad y soldabilidad

Continua 



Aluminio	Serie 6XXX	Tienen buena formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión (Ortolá, 2009). Aunque no tan resistentes como la mayoría de las aleaciones de las series 7xxx
	Serie 7XXX	Son aleaciones tratables térmicamente de moderada a muy alta resistencia
Materiales compuestos	Reforzados con fibras	Son materiales con una elevada resistencia a la fatiga y rigidez, a bajas y altas temperaturas, y simultáneamente una baja densidad y mecanizado.
	Reforzados estructurales	Sus propiedades no sólo dependen de los materiales constituyentes sino de la geometría del diseño de los elementos estructurales, con un mecanizado complicado.

Fuente: (Matweb, 2018)

Dentro de la **tabla 7** se tiene familias de aceros, aluminio y materiales compuestos, las cuales se ocupa para la industria automotriz en especial para la elaboración de piezas mecánicas sometidas a grandes esfuerzos.

A partir de esta información se elabora la **tabla 8**, donde se encuentra la clasificación de los materiales con sus propiedades mecánicas a partir de las cuales se selecciona el material ideal para el rediseño.

**Tabla 8****Propiedades mecánicas de los materiales permitidos por la FSAE**

Material	Densidad	Resistencia a la tracción	Limite elástico	Módulo de elasticidad	Maquinabilidad
	g/cm <sup>3</sup> lb/in <sup>3</sup>	MPa kpsi	MPa kpsi	GPa kpsi	
Acero	7.85	560	460	205	Buena
AISI 4130	0.283	81.221	66.717	29732.73	
Acero	7.85	550	345	206	Buena
ASTM A36	0.283	79.770	50.038	29877.77	
Aluminio	2.7	310	276	68.9	Buena
6061 – T6	0.097	44.961	40.030	9993.10	
Aluminio	2.81	572	503	71.7	Buena
7075 – T6	0.102	82.961	72.953	10399.20	
Duraluminio	2.81	538	462	71	Buena
7075	0.102	78.030	67.007	10297.67	
Fibra de vidrio	2.11	2415	2415	51.7	Mala
	0.076	350.266	350.26	7498.45	
Compuesto estructural	-	-	-	-	Mala

**Fuente:** (Matweb, 2018)

El mecanizado del material es una parte importante dentro del rediseño de los soportes, de tal manera que los aceros y aluminios son aptos para la aplicación que se requiere, ya que los materiales compuestos tienen un nivel de dificultad alto en cuestión al mecanizado debido a que si sufre una pequeña falla en su refuerzo todo el material tiende a fallar. Por tal razón los materiales compuestos quedan fuera del estudio.

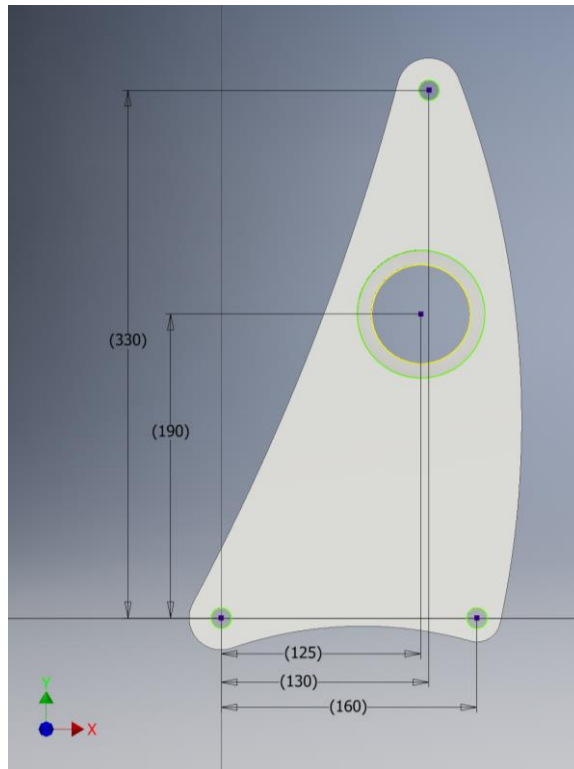
Dentro de los materiales que se puede encontrar en el mercado local, se tiene los materiales descritos en la **tabla 8**, en donde tenemos como los más idóneos debido a su facilidad de adquisición:

- a. El acero AISI 4130 es utilizado en la industria automotriz para la construcción de cigüeñales, rotulas, semiejes, elementos de transmisión y potencia.
- b. Acero ASTM A36 es utilizado en la construcción de perfiles estructurales y de partes mecánicas debido a su soldabilidad y mecanizado.
- c. Duraluminio 7075 es usado en aplicaciones donde se requiere alta resistencia a bajo peso, como es el caso de la aviación y el automovilismo, con facilidad de mecanizado, pero difícil soldabilidad (Carpenter, 2014).

Para los nuevos soportes se selecciona el Duraluminio 7075 del fabricante BOHLER, debido a sus buenas propiedades mecánicas como: la resistencia a la tracción de 538 MPa, limite elástico de 462 MPa, densidad de 2.81 g/cm<sup>3</sup>, como resultado el Duraluminio 7075 brinda una excelente relación resistencia-peso.

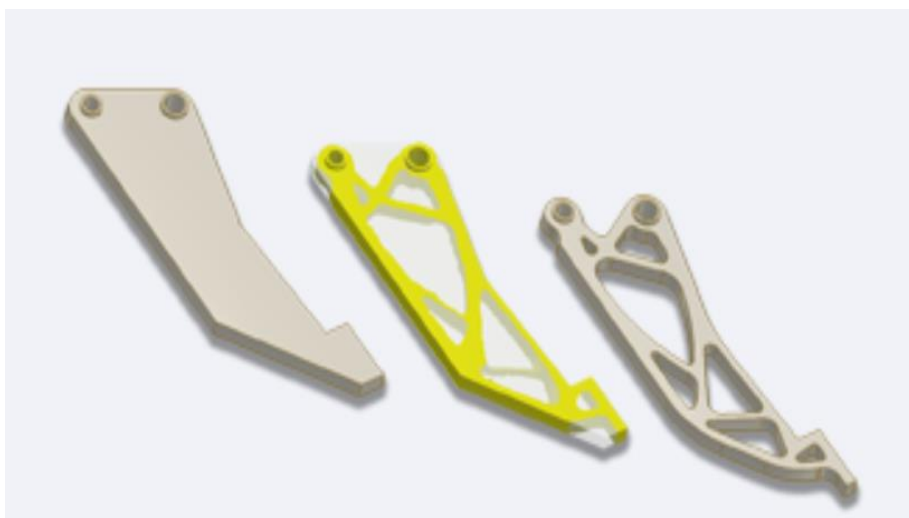
### **3.4 Rediseño**

El rediseño parte de la toma de medidas para los nuevos puntos de anclaje del soporte, los cuales tendrán su fundamento en la triangulación ya que en diseño es la mejor forma para soportar cargas estructurales. Además, como partida se toma la localización del centro del eje en el cual estarán los rodamientos que sostendrán al conjunto diferencial y no deben cambiar para que todo se ensamble correctamente, como lo muestra la **figura 23**.



**Figura 23. CAD del soporte izquierdo con medidas de referencia**

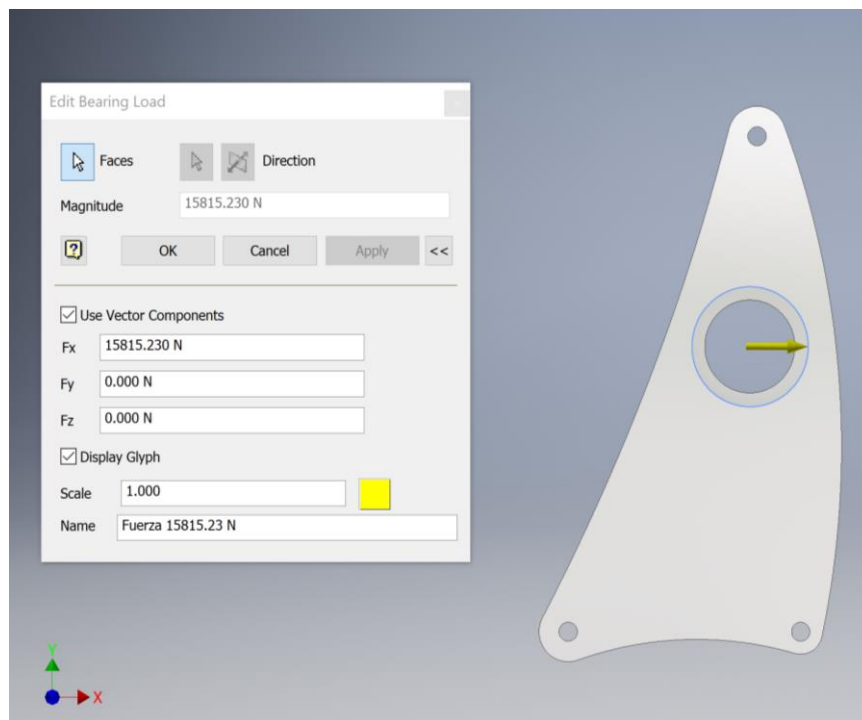
Como se observa en la **figura 23**, la cual se encuentra representada en el software CAD, solo con sus puntos de anclaje y su cavidad para el rodamiento. A partir de este diseño con la ayuda del software CAE y de una herramienta que permite optimizar el componente de manera favorable para las características deseadas en el rediseño del soporte.



**Figura 24. Proceso de la optimización de forma**

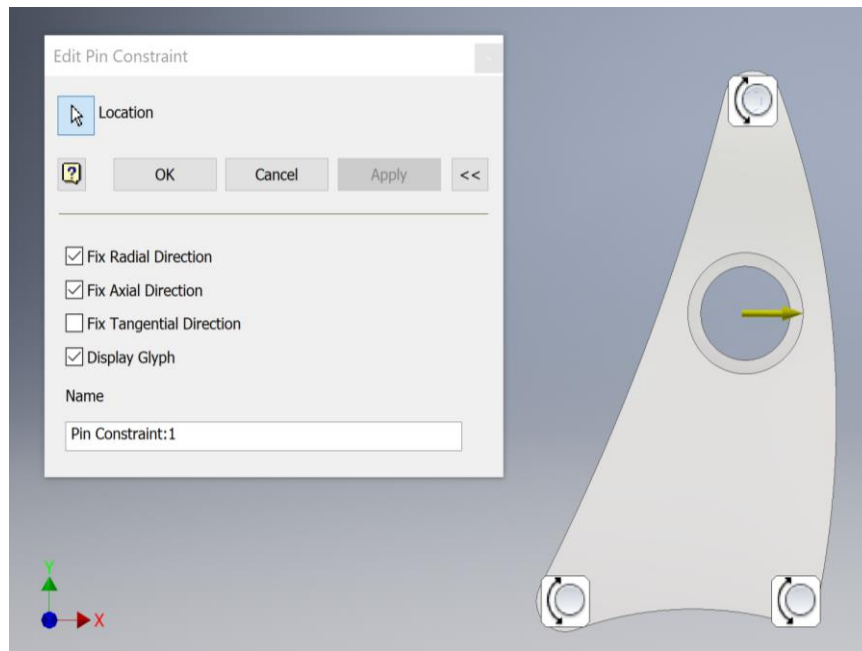
En la herramienta de optimización del software CAE, se debe ingresar los datos importantes como es las propiedades del material, las áreas de conservación, los puntos de sujeción, mallado y la carga que soportara la pieza, con esto se reduce el peso innecesario del componente conservando su resistencia a la fuerza aplicada.

La fuerza que se utiliza en el análisis es por criterios de diseño es la más alta, por lo tanto, para el análisis se ocupa la fuerza  $R2=15815.23$  N, la cual se ingresa como lo muestra la **figura 25**.



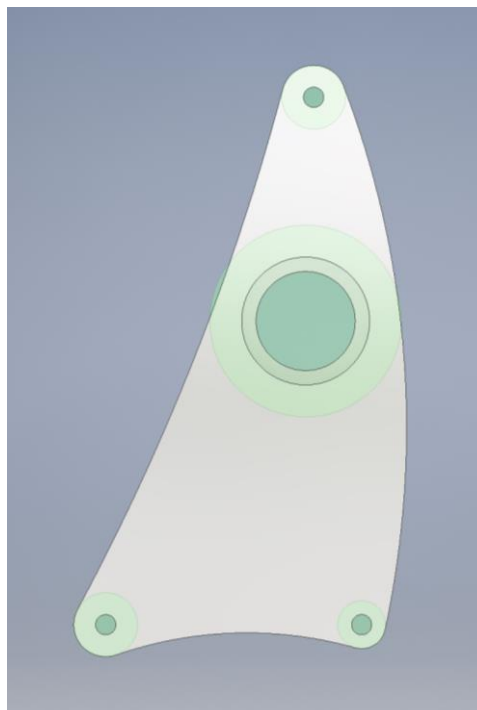
**Figura 25. Ingreso de la fuerza aplicada y su dirección en el eje Y**

Los puntos de sujeción son importantes para el análisis estático, los cuales son de tipo pasador, de igual manera se ingresa la restricción en el software como se observa en la **figura 26**.



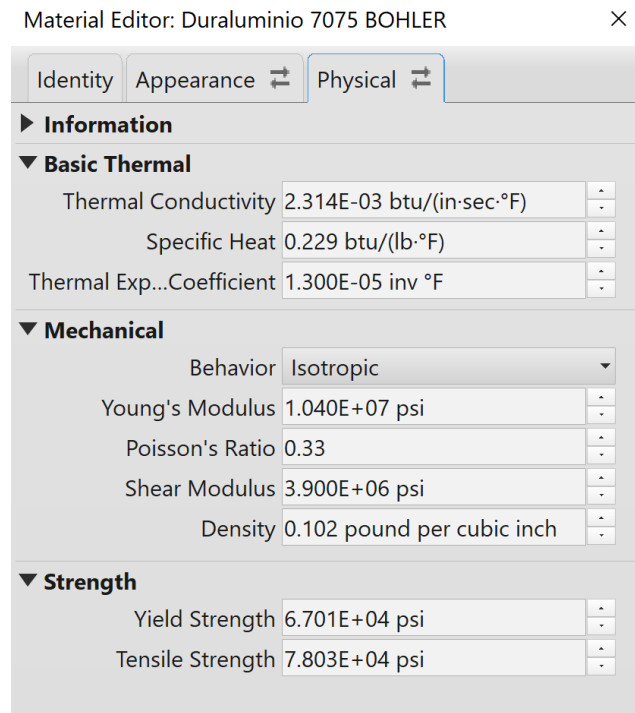
**Figura 26. Restricciones de movimiento del soporte**

La conservación de regiones es importante para que el software tome en cuenta las regiones que no se puede cambiar su forma, las cuales se visualiza en la **figura 26** de color verde.



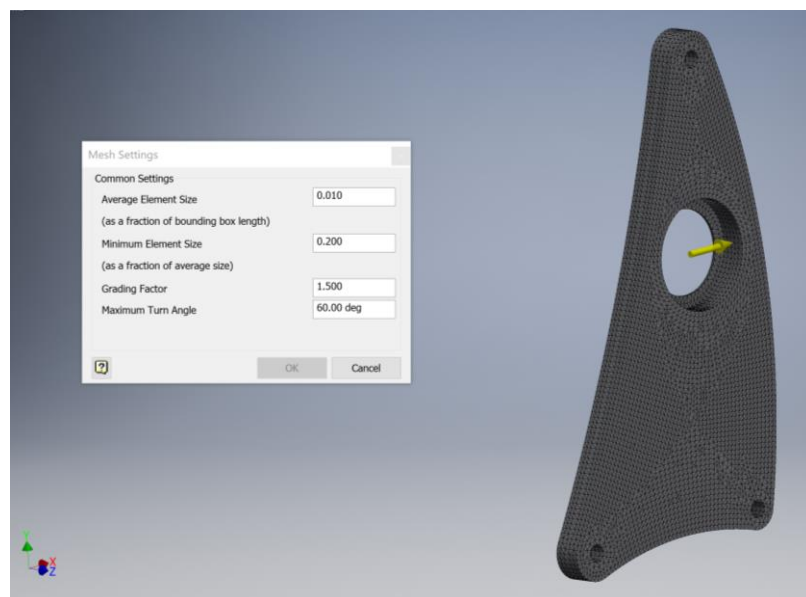
**Figura 27. Soporte izquierdo con regiones protegidas**

Posteriormente se ingresa la información del material del componente a la biblioteca del software como muestra la **figura 28**.



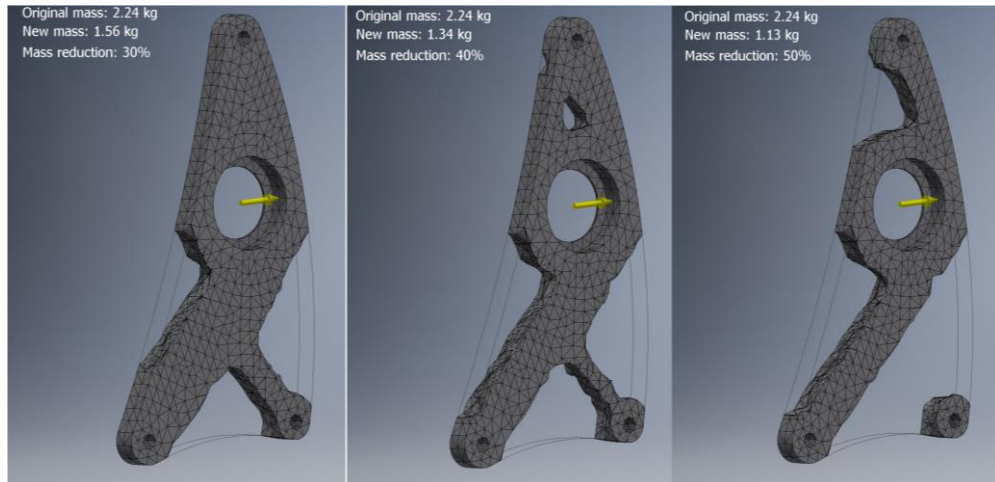
**Figura 28. Ingreso de las propiedades mecánicas y físicas del material**

El mallado del componente es un paso fundamental para el posterior análisis del soporte el cual se genera y se configura como se visualiza en la **figura 29**.



**Figura 29. Mallado del componente**

Se realiza la optimización de forma en diferentes porcentajes como 30%, 40% y 50%, basado en el peso original del componente, como se observa en la **figura 30**.



**Figura 30. Soporte izquierdo optimizado a 30%, 40% y 50%**

A partir de la forma CAD entregada por el software, se crea en base a la referencia del análisis al 40%, que es el que me da menor masa sin suprimir los puntos de apoyo, a partir de eso se crea el nuevo diseño como se muestra en la **figura 31**.



**Figura 31. Rediseño de soporte izquierdo, optimizado con ayuda del software**



### 3.5 Comparación de resultados

Para el análisis estático mediante el software CAE, se debe ingresar los mismos datos que se utiliza para la optimización de forma, pero en este caso se aplica tanto en el diseño original como en el rediseño del componente para obtener una comparativa entre ambos diseños.

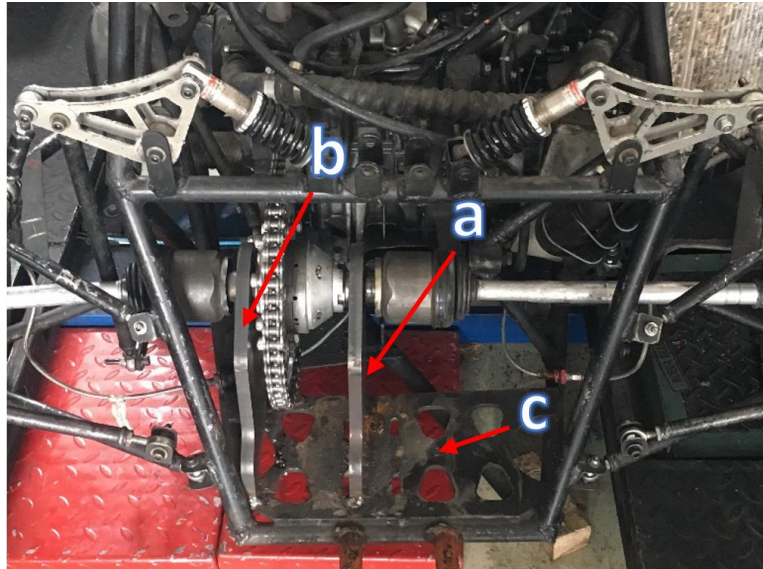
El soporte original es representado en software CAE, a partir de la toma de las medidas físicas de los componentes que lo conforman, dichas medidas se las toma como se observa en la **figura 32**.



**Figura 32. Toma de medidas del soporte original**

El soporte que se aprecia en la **figura 33**, está conformado por tres elementos denominados:

- a. Soporte derecho
- b. Soporte izquierdo
- c. Placa base



**Figura 33. Soporte original del conjunto diferencial**

Con el ensamblaje del soporte original que se muestra anteriormente, se ingresan los datos respectivos para su análisis estático. En este caso el soporte original está construido con Acero ASTM A36.



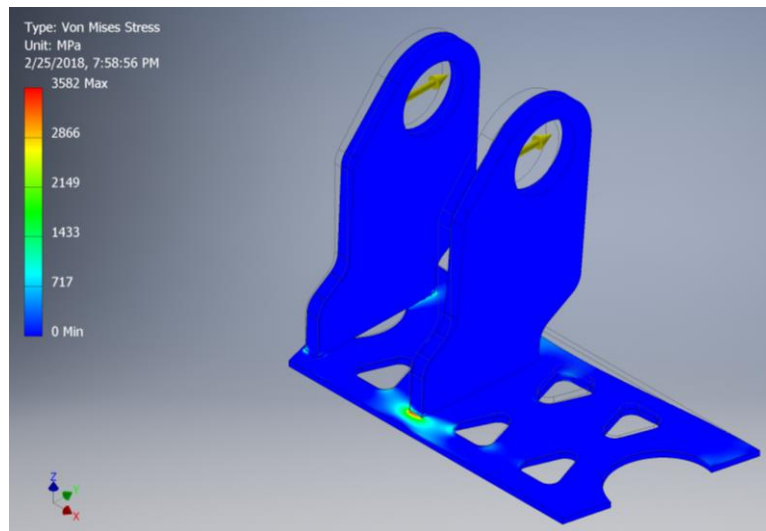
**Figura 34. Ensamblaje CAD del soporte original**

Realizado el análisis estático al soporte original se obtiene los resultados, entre los principales: Tensión de Von Mises, desplazamiento y factor de seguridad.

### 3.5.1 Resultados del soporte original

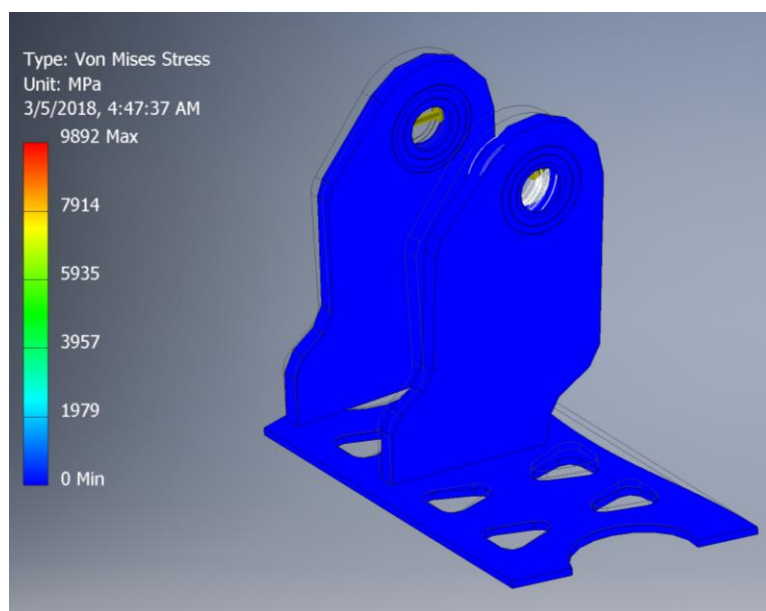
#### a. Tensión Von Mises

Los resultados que se aprecia en la **figura 35**, se tiene un valor máximo de 3582 MPa, en una región pequeña en la placa base. Dicho valor sobrepasa la resistencia máxima que tiene el acero ASTM A36 que es de 550 MPa.



**Figura 35. Tensiones Von Mises del soporte original de acero**

Se realiza un nuevo análisis con el mismo diseño original de los soportes del diferencial con el material nuevo seleccionado, en este caso el Duraluminio 7075 para comparar los resultados del mismo soporte con diferente material

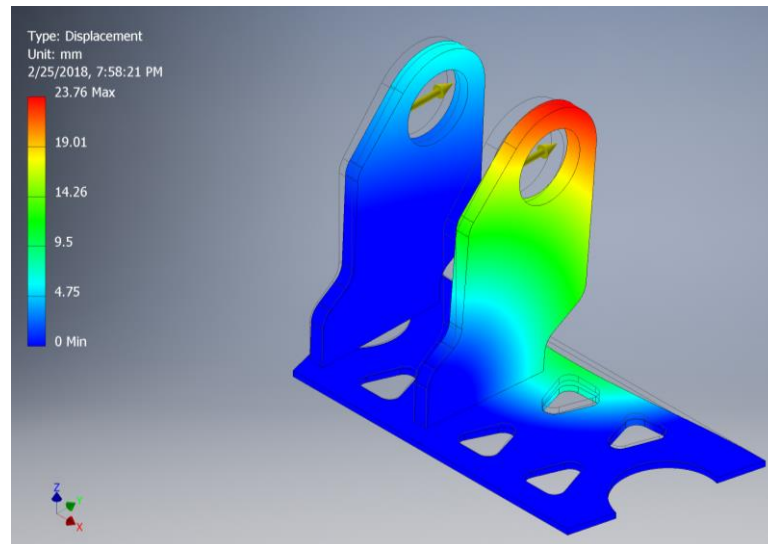


**Figura 36. Tensiones Von Mises del soporte original de aluminio**

Como se aprecia en la **figura 36**, la tensión Von Mises en aluminio para los soportes antiguos generan un valor por encima de la resistencia del material como es el caso del análisis 9892 MPa.

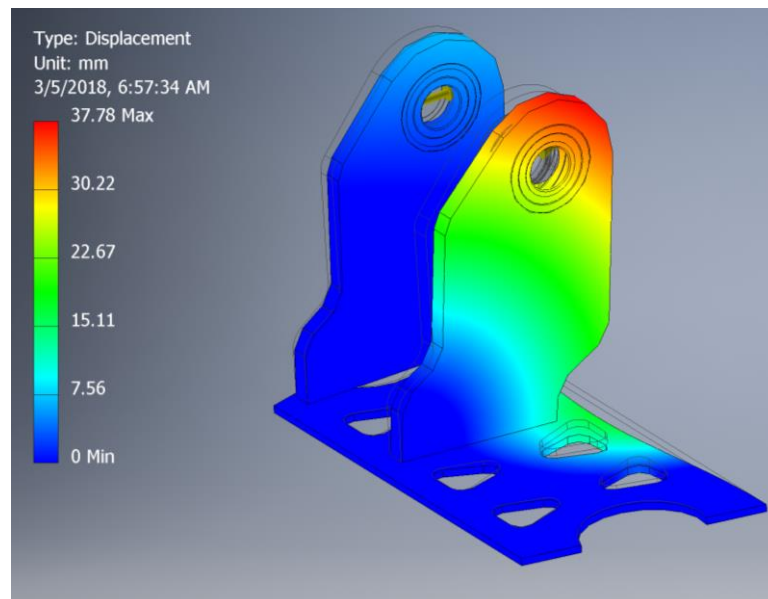
### b. Desplazamiento

Como resultado se tiene desplazamiento en todos los ejes, con un máximo de 23.76 mm como se observa en la **figura 37**.



**Figura 37. Resultados del desplazamiento del soporte original**

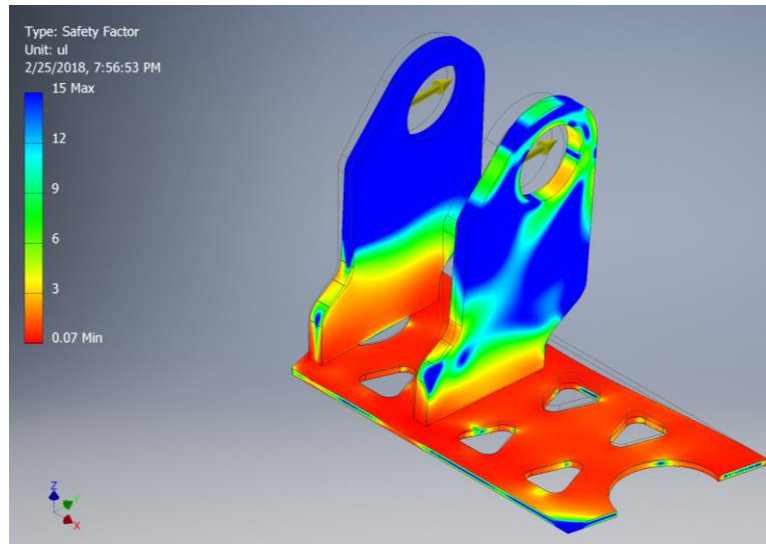
De la misma forma se analizó el soporte original con el nuevo material seleccionado obteniendo los resultados vistos en la **figura 38**.



**Figura 38. Resultados del desplazamiento con aluminio**

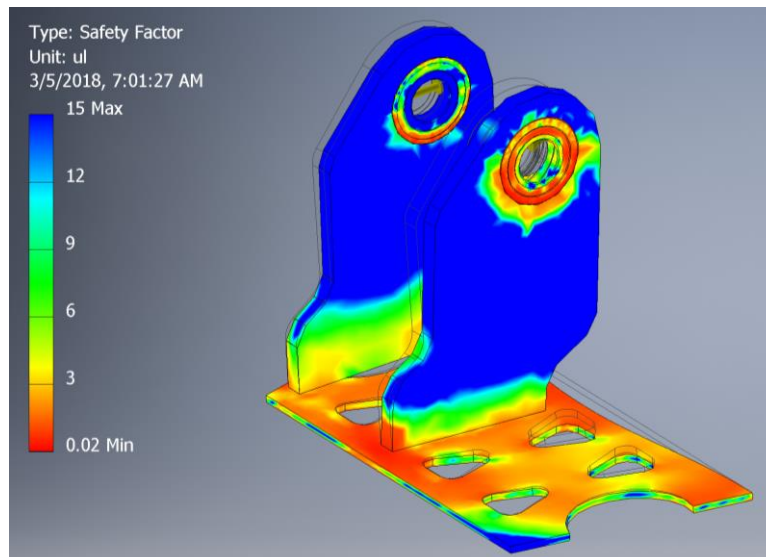
### c. Factor de seguridad

Al apreciar la **figura 39**, se ve que la mayor parte del soporte tiene un factor de seguridad por debajo de 1, esto representa fallas durante su funcionamiento.



**Figura 39. Resultados del factor de seguridad del soporte original**

Respecto al factor de seguridad no hubo mejoría, al contrario, el factor se volvió más crítico.



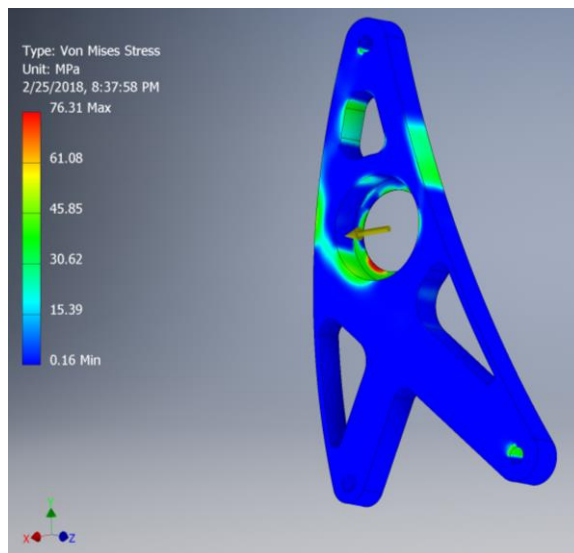
**Figura 40. Resultados del soporte original con aluminio**

### 3.5.2 Resultado del nuevo soporte

Se tiene como antecedente que los soportes derecho e izquierdo tienen la misma geometría, por tal razón el nuevo diseño de los componentes comparten esta característica para soportar la misma carga sin importar el lado del soporte, dicho esto se realiza el análisis solo en el soporte derecho, el cual recibe la mayor carga.

#### a. Tensión Von Mises

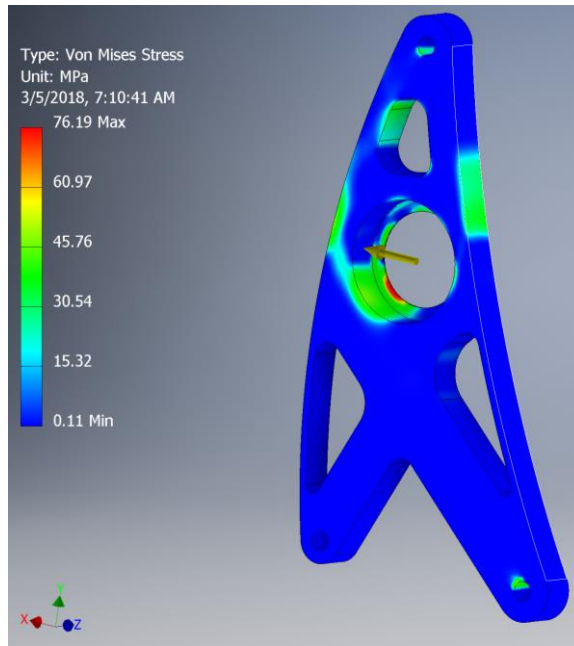
Los resultados que se aprecia en la **figura 41**, se tiene un valor máximo de 76.31 MPa, Dicho valor se encuentra dentro de la resistencia máxima que tiene el Duraluminio 7075 que es de 538 MPa.



**Figura 41. Tensiones Von Mises del soporte nuevo derecho**

En la **figura 42** se aprecia los resultados del mismo soporte, pero con el material original de los soportes.

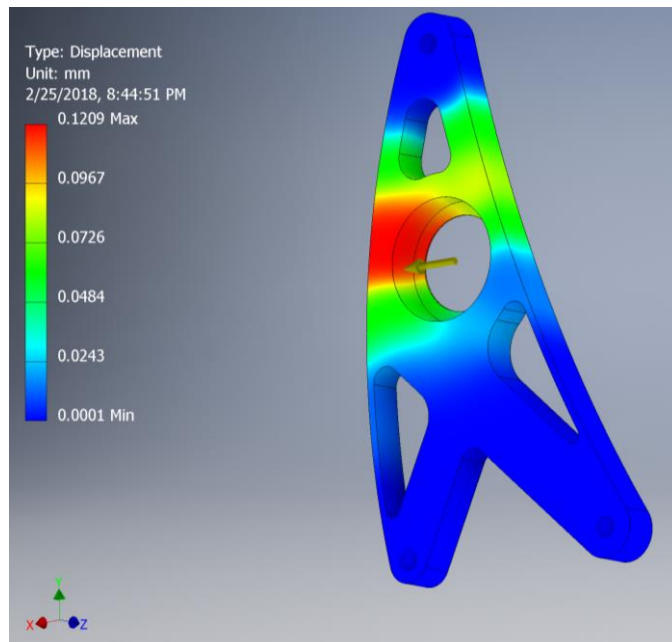




**Figura 42. Tensiones Von Mises con acero A36**

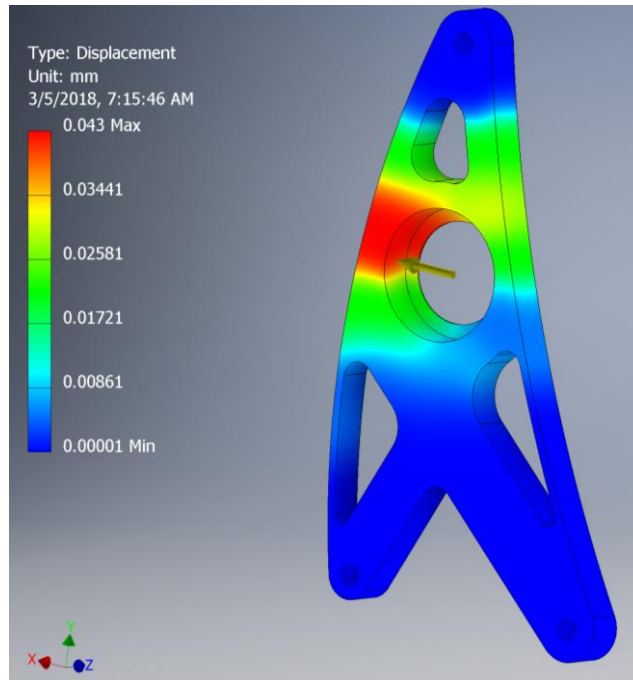
### b. Desplazamiento

El desplazamiento máximo es de 0.1209 mm, que nos da a entender que no se deforma con la aplicación de la carga, como se aprecia en la **figura 43**.



**Figura 43. Desplazamiento máximo del soporte nuevo derecho**

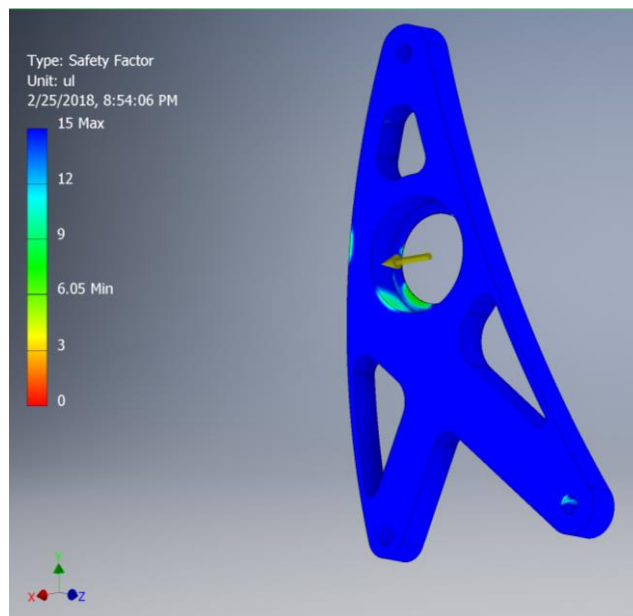
El desplazamiento máximo del soporte con acero A36 como material, así lo muestra la **figura 44**.



**Figura 44. Desplazamiento máximo del soporte nuevo con acero**

### c. Factor de seguridad

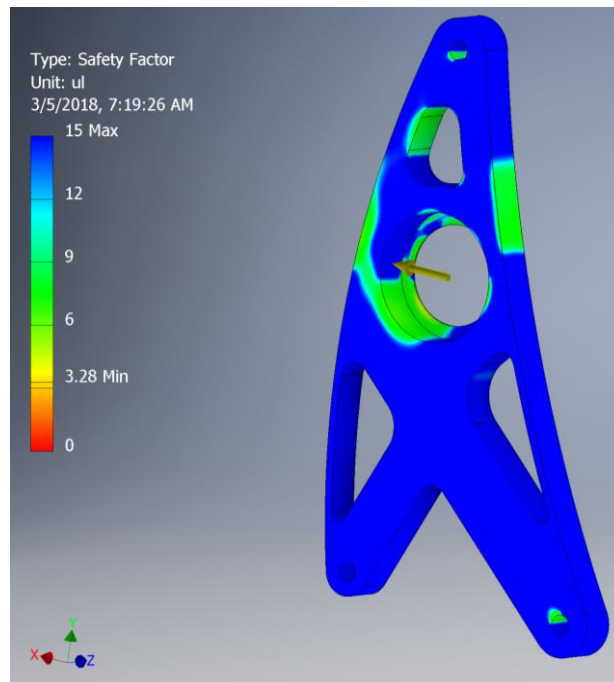
Se tiene un valor de 6.05 como se muestra el resultado en la **figura 45**, dando confiabilidad en el diseño.



**Figura 45. Factor de seguridad del soporte nuevo derecho**

El factor de seguridad aplicando el acero A36 como material hace que disminuya en un 50%aproximadamente como se muestra en la **figura 46**.





**Figura 46. Factor de seguridad del soporte nuevo con acero**

Por criterios de seguridad, se multiplica por el factor de diseño la carga aplicada en el soporte donde tenemos:

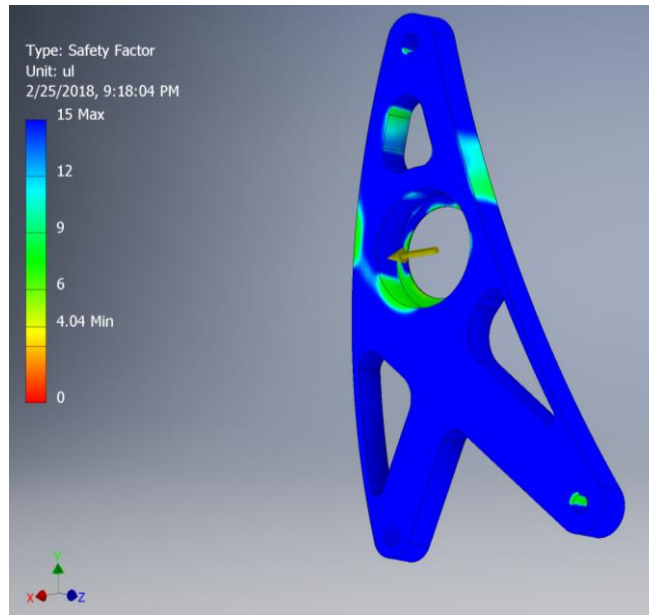
- Factor de diseño = 1.5
- Fuerza aplicada = 15815.23 N

$$R' = R2 * 1.5$$

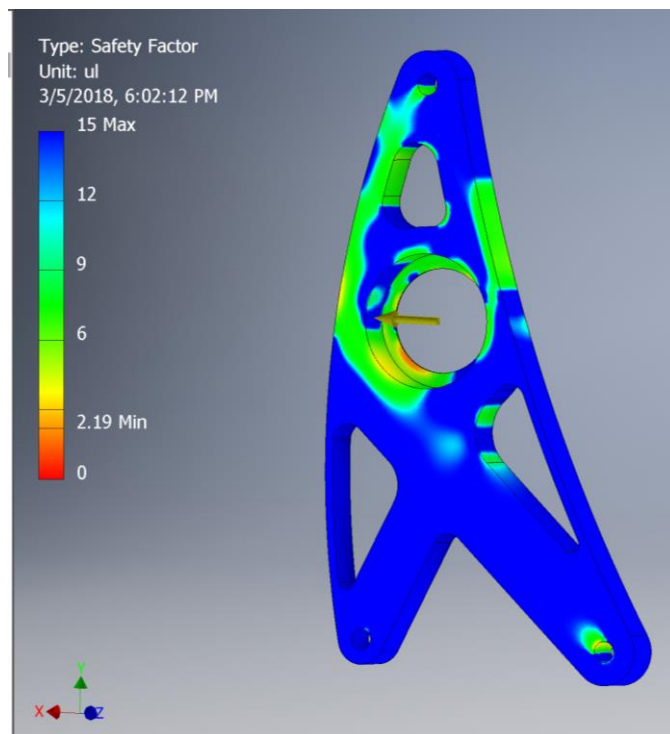
**Ecuación 15.**

$$R' = 23722.845 \text{ N}$$

Este nuevo valor de la carga se utiliza si por cualquier motivo adverso el diseño es sometido a fuerzas que están fuera de los parámetros iniciales como se aprecia en la **figura 47**, después de un análisis estático se obtiene un valor de 4.04 como factor de seguridad, con un carga  $R' = 23722.845 \text{ N}$ , que demuestra confiabilidad en el diseño al poder resistir una fuerza por encima de la calcula anteriormente.



**Figura 47. Factor de seguridad del soporte nuevo con factor de diseño**



**Figura 48. Factor de seguridad con fuerza  $R'$  en acero**

Los datos obtenidos sirven para realizar la comparación la cual se detalla en la **tabla 9**.

**Tabla 9**  
**Comparación de resultados**

	Peso Kg	Tensión Von Mises [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de seguridad	
				1	1.5
Soporte original	10.762	3582	23.76	0.07	-
Rediseño con Duraluminio	4.217	76.31	0.1209	6.05	4.04
Rediseño con acero A36	10.276	76.19	0.043	3.28	2.19

Como se aprecia en la **tabla 9** el rediseño con Duraluminio tiene una tensión de Von Mises de 76.31 MPa, valor se encuentra dentro del rango que soporta el material antes mencionado con una resistencia máxima de 538 MPa. Mientras que el diseño original reporta resultados fuera de lo real con un valor de 3582 MPa en su tensión Von Mises, y su factor de seguridad de 0.07, resultados que no garantizan el buen funcionamiento de los soportes originales.

El rediseño con acero A36 presenta el menor desplazamiento con 0.043 mm en comparación con los demás diseños expuestos en la **tabla 9**, pero con un peso superior a 10 kg, cercano al de los soportes originales, haciéndolo muy pesado para cumplir los objetivos propuestos de optimizar el peso de los soportes.

Con lo expuesto anteriormente, el rediseño con Duraluminio es la mejor elección al soportar las cargas aplicadas con una deformación máxima de 0.1209 mm, dando un factor de seguridad mínimo de 4.04 a pesar de incrementar su carga en un 50%.

## CAPÍTULO IV

### PROCESO DE FABRICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

#### 4.1 Proceso de fabricación

A partir del diseño optimizado con la ayuda del software CAD-CAE, se ingresó comandos dentro del simulador de la máquina CNC, bajo las características del rediseño como es la geometría del componente, con el fin de comprobar que no exista errores en el proceso para resguardar la integridad de la máquina. Por último, se realizó el mecanizado la maquina fresadora CNC seleccionando las herramientas adecuadas para el mecanizado del material DURALUMINIO 7075.


#### 4.2 Proceso de mecanizado por software

Para la simulación y mecanizado de los soportes se especifica los procesos y las herramientas que se utilizaran para llevar a cabo la construcción de los mismos.

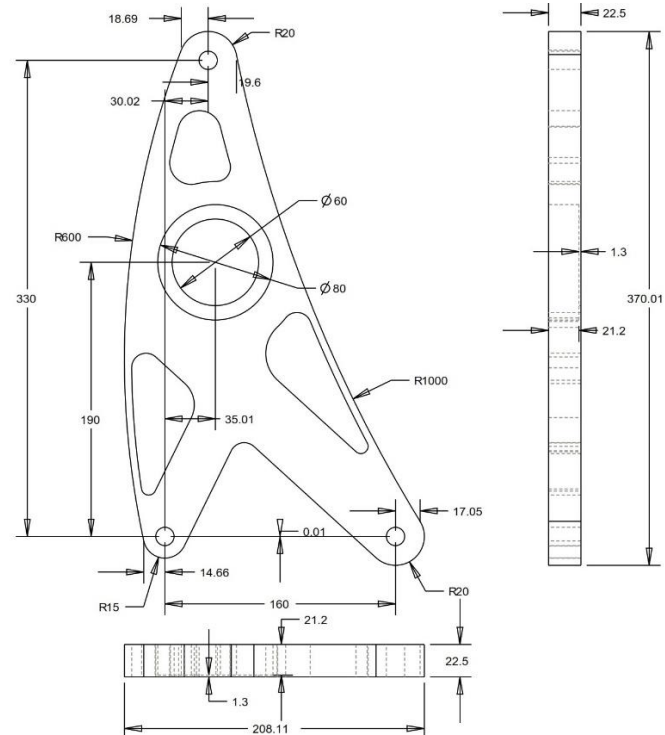
##### 4.2.1 Procesos

Tabla 10

#### Hoja de Procesos

1. HOJA DE PROCESOS	
<b>Nombre del proceso:</b> Fresado	<b>Revisa:</b> Ing. Mauricio Cruz
<b>HOJA N°:</b> 1 de 1	<b>Autoriza:</b> Ing. Mauricio Cruz
<b>RESPONSABLE:</b> Lenin Guanopatín	
<b>DEPARTAMENTO:</b> CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ	


Continua 



### OPERACIONES

OPERACIÓN	PARÁMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACIÓN
PLANEADO	$V_c = 188.49$ m/min $n = 600$ rpm $a_p = 1$ $f_z = 0.027$ mm/z $V_f = 100$ mm/min $Z = 6$ $P = 0.125$ kW	CoroMill 390 Diámetro: 60 mm Profundidad de corte máx.: 15.7 mm	
DESBASTE	$V_c = 35.34$ m/min $n = 500$ rpm $a_p = 3$ $f_z = 0.05$ mm/z $V_f = 100$ mm/min $Z = 4$ $P = 0.168$ kW	CoroMill Plura Profundidades de desbaste hasta 3 veces el diámetro	
TALADRADO	$V_c = 28.27$ m/min $n = 700$ rpm $a_p = 3$ $f_z = 0.04$ mm/z $V_f = 60$ mm/min $Z = 2$ $P = 0.1$ kW	CoroDrill 860 Optimizada para acero, acero inoxidable y aluminio Profundidades de taladrado estándar de 3-8 veces el diámetro	

Continua 

	$V_c = 49.48 \text{ m/min}$		
	$n = 700 \text{ rpm}$		
	$a_p = 23$		
AFINADO	$f_z = 0.01 \text{ mm/z}$	CoroMill Plura	
	$V_f = 50 \text{ mm/min}$	Profundidades de afinado hasta 3 veces el diámetro	
	$Z = 4$		
	$P = 0.02 \text{ kW}$		

### a. Planeado

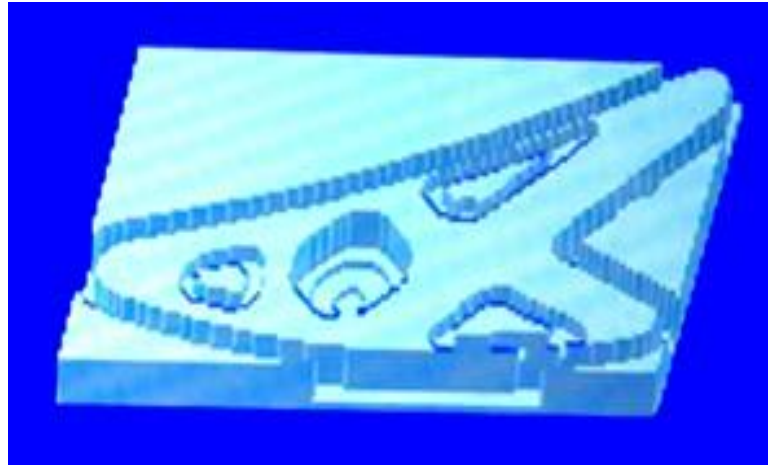
Se inicia con la selección de la herramienta para planear en este caso un plato de 60mm de diámetro, para después dejar nivelado la superficie del componente como se muestra en la **figura 49**.



**Figura 49. Planeado de la superficie**

### b. Desbaste

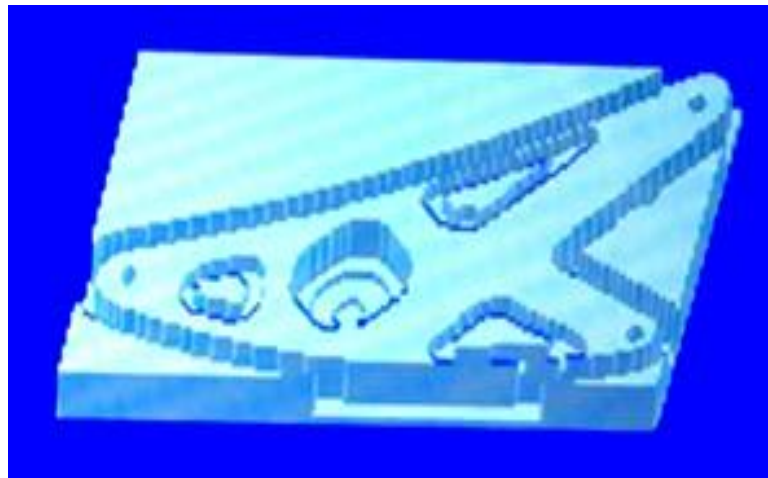
En esta etapa se remueve la mayor cantidad de material con la herramienta de fresado M30 de 4 hilos, dejando la forma preliminar del componente, como muestra la **figura 50**.



**Figura 50. Desbaste de material en soporte derecho**

### **c. Taladrado**

En esta fase se selección la broca de  $\frac{1}{2}$  in, para realizar los orificios que servirán como punto de anclaje del soporte, los cuales se aprecia en la **figura 51**.



**Figura 51. Proceso de taladrado**

### **d. Afinado**

Como paso final se realiza un afinado con una fresa de 18.3mm, para eliminar la acumulación de material que se queda en el desbaste y así dar un mejor aspecto visual como se muestra en la **figura 52**.



**Figura 52. Acabado final del componente**

### **4.3 Mecanizado por maquina fresadora CNC**

Para la fabricación de los soportes propuestos se ocupa un bloque de DURALUMINIO 7075 de medidas 380 x 200 x 50 mm, con el cual se selecciona las herramientas ideales para el material.

La máquina CNC utilizada en el proceso es una ANAK-MATIC 7, que consta de tres ejes X, Y, Z con recorrido de 800 x 450 x 500 mm respectivamente. Una mesa de trabajo de 900 x 425 mm, con una capacidad de carga de 500 kg. Capacidad de 20 herramientas con cambiador automático.



**Figura 53. Fresadora vertical ANAYAK**

Fuente: (EXA Pro, 2018)



A continuación, se coloca el bloque de material en la mesa de trabajo de la máquina como muestra la **figura 54** para centrar el origen de las coordenadas y poder empezar los procesos antes descritos.



**Figura 54. Centrado del bloque de material**

Una vez que empieza a trabajar maquina como se observa en la **figura 55**, se debe estar controlando el proceso por motivos de seguridad.



**Figura 55. Proceso de desbaste**

Terminado los procesos necesarios para obtener el soporte listo, se incorpora el rodamiento en este caso se utiliza un NTN 6307 LU, con dimensiones 35 x 80 x 21 mm, ideal para soportar cargas estáticas de 19.1 kN, con un peso de 0.46 kg. Por último, se realiza el afinado del soporte como se muestra en la **figura 56**.

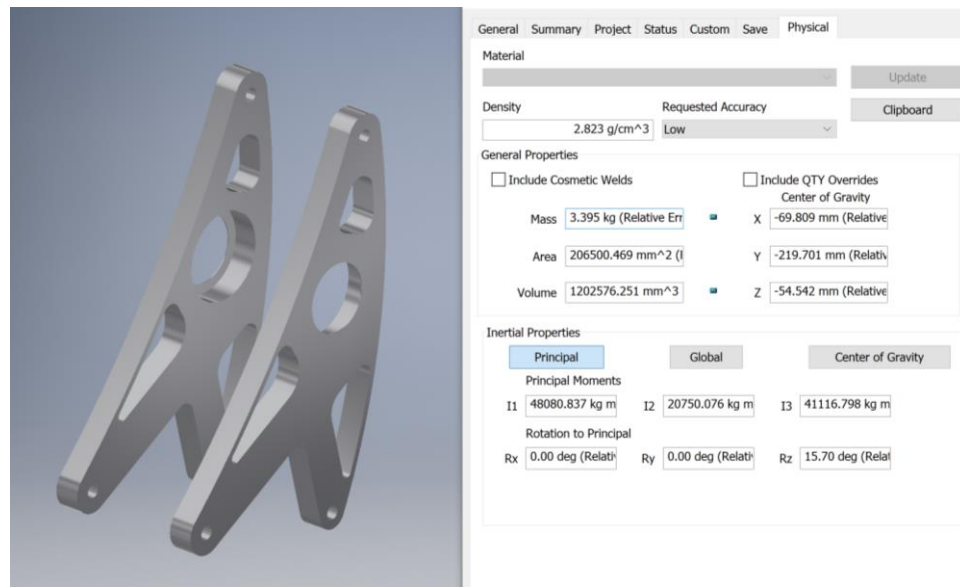


**Figura 56. Afinado del soporte**

Los nuevos soportes tienen un peso total de 4.22 Kg como se observa en la **figura 57**, incluido el peso de los rodamientos los cuales pesan 0.92 Kg, obteniendo una diferencia de 3.3 Kg, peso estimado por el software como se comprueba en la **figura 58**.



**Figura 57. Pesaje de los nuevos soportes**



**Figura 58. Peso calculado por el software**

#### 4.4 Ensamblaje

Antes de iniciar la implementación de los nuevos componentes se debe retirar los soportes originales los cuales se encuentran soldados al bastidor. Para lo cual se debe tener cuidado en retirar dichos soportes para no dañar la integridad del bastidor.

Con la ayuda de herramientas eléctricas de corte se procede a cortar los cordones de suelda para poder liberar los soportes antiguos como se observa en la **figura 59**.



**Figura 59. Proceso de corte en los cordones de soldadura**

Al existir una complicación en la extracción, se decide cortar la placa base de tal forma que facilite maniobrar la herramienta de corte para continuar con el proceso, tal como se observa en la **figura 60**.



**Figura 60. Extracción de la placa base**

Con todo el conjunto fuera como se muestra en la **figura 61**, se prosigue a separar el diferencial de los soportes.



**Figura 61. Conjunto diferencial con soportes**



Una vez separado los soportes se pesa todo el conjunto, dando un peso de 10.6 Kg como se aprecia en la **figura 62**, para posteriores análisis en los resultados.



**Figura 62. Pesaje de los soportes originales con rodamientos**

Como el diferencial se encuentra libre se los soportes viejos, con la ayuda de la prensa hidráulica se continua a colocar los nuevos soportes, tal como se muestra en la **figura 63**.



**Figura 63. Colocación de los nuevos soportes en el diferencial**

Ya ensamblado el nuevo conjunto como se aprecia en la **figura 64**, se verifica que no tenga ningún tipo de rozamiento entre los componentes para luego colocar en el la parte posterior del bastidor para alinear y templado de la cadena de transmisión y colocar los nuevos puntos de anclaje.

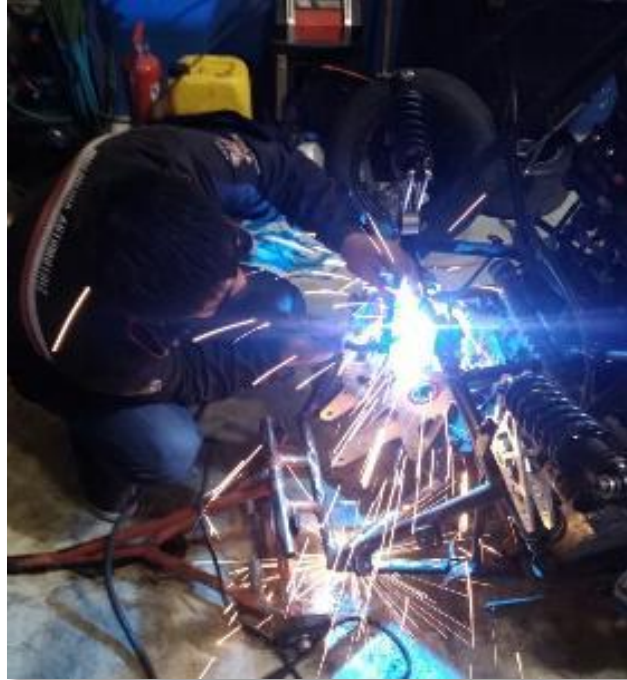


**Figura 64. Conjunto diferencial con nuevos soportes**



**Figura 65. Alineamiento de la cadena de transmisión**

Una vez alineada la cadena de transmisión se puntea con soldadura MIG los nuevos puntos de anclaje como en la **figura 66**, para posteriormente rematar.



**Figura 66. Punteo de los nuevos puntos de anclaje**

Terminado de colocar los nuevos puntos de fijación como se observa en la **figura 67**, se comprueba que no exista desalineamiento que produzca dificultad en el ensamblaje de los nuevos soportes.



**Figura 67. Nuevos puntos de fijación**

Finalmente se instala los nuevos soportes asegurando que todos sus puntos de anclaje queden bien asegurados.



**Figura 68. Conjunto diferencial armado y ensamblado al bastidor**



## CAPÍTULO V

### 5.1 Análisis de Resultados

Se inició el análisis de los resultados comparando los soportes del diferencial originales en acero con los nuevos fabricados en aluminio, con los datos más importantes representados en la siguiente **tabla 11**

**Tabla 11**

**Comparación de los resultados de los soportes del diferencial**

Material del soporte	Peso [Kg]	Tensión Von Mises [MPa]	Desplazamiento [mm]	Factor de seguridad
Acero ASTM A36	10.6	3582	23.76	0.07
Duraluminio 7075	4.22	76.31	0.1209	6.05

El material utilizado para construir los soportes presenta resultados favorables respecto al original con un 60.18% de reducción del peso del componente en acero cumpliendo con el objetivo propuesto al inicio de este trabajo.



**Figura 69. Pesaje de los soportes**

Un incremento en el factor de seguridad de 5.98, dichos resultados hacen que la confiabilidad del nuevo soporte sea superior a pesar de reducir considerablemente el peso del componente.

La reducción del desplazamiento en un 99.49% hace que en la prueba de aceleración el diferencial no presente desplazamientos o deformaciones por la aplicación de las fuerzas calculadas que afecten a la transmisión de potencia, siendo estas las cargas más críticas dentro del diseño de los soportes.

Como se aprecia en la **figura 70**, la cadena no tiene su tensión adecuada respecto a la línea de referencia en su estado de reposo, lo cual produce inconvenientes al momento de la transmisión del par motor.



**Figura 70. Estado de reposo del conjunto diferencial con soportes antiguos**

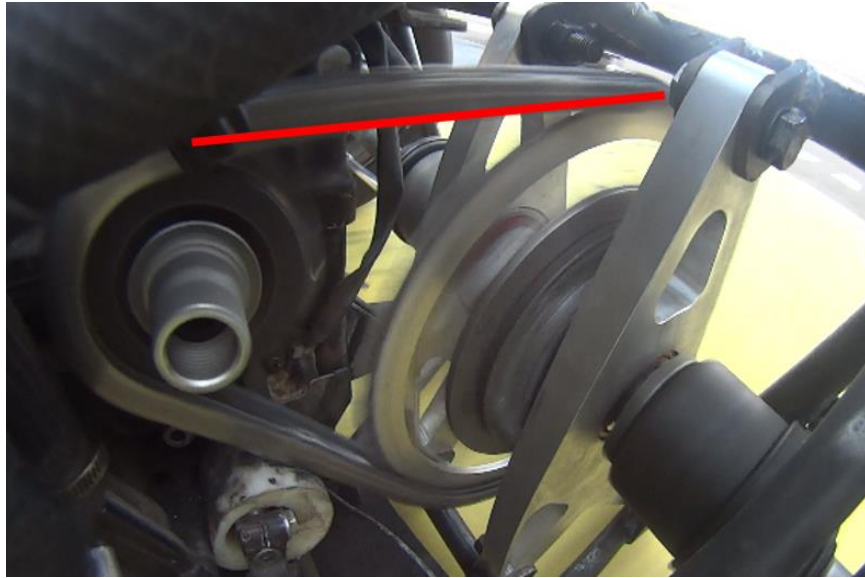
Como se observa en a **figura 71**, la cadena tiende a flexionar hacia arriba en su funcionamiento causando sonidos por mal engranaje con los dientes de la catalina, provocando en el peor de los casos que la cadena se salga.



**Figura 71. Funcionamiento del conjunto diferencial con soportes antiguos**



**Figura 72. Estado de reposo del conjunto diferencial con soportes nuevos**



**Figura 73. Conjunto diferencial con soportes nuevos en funcionamiento**

Como se observa en las **figuras 72 y 73**, la cadena se mantiene templada tanto en reposo como en funcionamiento respecto a la línea de referencia, gracias a los nuevos soportes los cuales al no tener un desplazamiento significativo mantienen el conjunto en su lugar, dando una mayor transmisión de carga a las ruedas.

## CONCLUSIONES

- Los fundamentos teóricos permitieron calcular las fuerzas que se generan en los soportes del conjunto diferencial, que posterior se utiliza en el análisis computacional.
- El Duraluminio 7075 del fabricante BOHLER es el material con las mejores características mecánicas como es su resistencia de 538 MPa, y su densidad de  $2.81 \text{ g/cm}^3$ , lo hace el material más liviano con mayor resistencia que se encontró en el mercado ecuatoriano, con el cual se redujo en un 60.18% el peso de los soportes originales.
- La representación de los soportes originales en el software CAD, permitió realizar una evaluación de las propiedades físicas como el peso, teniendo un valor de su peso calculado de 10.76 kg, dicho valor sirvió para realizar la comparación de pesos entre los diseños.
- El software CAE y la herramienta de optimización de forma se obtuvo diseños preliminares al 30%, 40% y 50% de reducción de masa, siendo la optimización al 40%, la mejor opción de modelado al mantener sus puntos de anclaje para tomar de referencia en el rediseño final de los soportes del diferencial.
- Se analizó el rediseño final con software CAE, obteniendo resultados del análisis estático favorables como una tensión Von Mises de 76.31 MPa y un desplazamiento máximo de 0.1209 mm, en relación a los resultados originales de 3582 MPa y 23.76 mm respectivamente.
- La manufactura de los nuevos soportes se realizó mediante maquinaria CNC, en la empresa SAIC, sin tener problemas en el mecanizado de los soportes, ya que los soportes se diseñaron de forma simétrica para reducir los conflictos con el mecanizado.
- El ensamblaje de los soportes en el vehículo prototipo permitieron realizar la prueba de aceleración, donde se exigió al componente a diferentes aceleraciones sin sufrir deformaciones ni fallos.

## RECOMENDACIONES

- En futuros diseños es recomendable un análisis topológico a los soportes del diferencial del vehículo, a partir de un estudio de potencia efectiva para maximizar su desempeño en la prueba de aceleración según la Formula SAE.
- Para los procesos de manufactura se recomienda mantener geometrías no complejas en el diseño para no tener problemas en la selección y uso de las herramientas de corte para fresado.
- Durante el ensamblaje el centrado y alineado de los piñones y cadena respectivamente debe realizarse minuciosamente respecto al plano vertical, para no tener problemas al momento del funcionamiento.
- Dentro del soporte del diferencial los elementos que necesitan atención son los rodamientos los cuales sufren desgaste con el tiempo de funcionamiento, de ser así se recomienda un cambio de los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, F., & Guevara, C. (2010). Diseño e implementación del sistema de suspensión regulable, sistema de dirección, sistema de frenos, sistema eléctrico, y adaptación de sensores y cámara de parqueo de un vehículo tipo crosscar para servicio turístico. Latacunga: ESPE-L.
- Aficionados a la mecánica. (2014). Aficionados a la mecánica. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de [www.aficionadosalamecanica.net/diferencial-autoblocante.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/diferencial-autoblocante.htm)
- Audi. (2017). Audi. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de [www.audi.com.pe/aola/brand/es\\_pe/Experiencia\\_Audi/Innovacion\\_Audi/TunelViento/tres\\_tuneles\\_viento.html](http://www.audi.com.pe/aola/brand/es_pe/Experiencia_Audi/Innovacion_Audi/TunelViento/tres_tuneles_viento.html)
- Baron, D. (2017). Formula SAE Power Distribution Controller. San Luis Obispo: California Polytechnic State University.
- Blog de automóviles. (8 de Junio de 2011). Blog de automóviles. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de <http://blogdeautomoviles.com/suspensiones-traseras-en-vehiculos-automoviles/>
- Cadena-piñón. (2006). Cadena-piñón. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cadena-pinon.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cadena-pinon.htm)
- Caraguay, C., & Caraguay, S. (Febrero de 2015). Diseño y construcción del sistema de suspensión de un vehículo monoplace para la competencia fórmula Student. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8929>
- Carpenter. (2014). Departamento Técnico. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de Aceros Fortuna: [http://www.acerosfortuna.com.mx/hojas\\_tecnicas/aceros\\_de\\_baja\\_aleacion/4130.pdf](http://www.acerosfortuna.com.mx/hojas_tecnicas/aceros_de_baja_aleacion/4130.pdf)
- CEAC. (2004). Manual CEAC del automóvil. España : CEAC S.A.
- Cruz, G., & Mesías, D. (Febrero de 2013). Diseño, construcción e implementación de sistemas de suspensión, dirección y frenos del vehículo de competencia fórmula SAE 2012. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6121>
- De castro, V. (1990). Enciclopedia del Motor y del Automóvil. Barcelona: CEAC.

- Dominguez, E. (30 de Enero de 2018). Sistemas de transmisión y frenado. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de Google Books: <https://books.google.com.ec/books?id=IOLEAwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sistema+de+transmi+y+frenado&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwilgcvUydPZAhVPmlkKHYY2BGcQ6AEIMDAC#v=onepage&q&f=false>
- Dominguez, E., & Ferrer, J. (2012). Sistemas de transmisión y frenado. Madrid: Editorial Editex.
- Domínguez, E., & Ferrer, J. (2012). Sistemas de transmisión y frenado. Málaga: Editex.
- Duncan, D. (2014). Utilizing the Thermodynamic Properties of E85 to Increase the Specific Efficiency of a High Specific Output Single Cylinder Formula SAE engine. Oregon: Oregon State University.
- Eraso Guerrero, O. (01 de Febrero de 2008). Procesos de Manufactura. Recuperado el 13 de enero de 2018. Obtenido de [http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/4998/1/332571\\_Modulo2011.pdf](http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/4998/1/332571_Modulo2011.pdf)
- EXA Pro. (25 de Enero de 2018). Exa Pro. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de Centro de mecanizado vertical Anayak ANAK-MATIC 7: <https://www.exapro.es/centro-de-mecanizado-vertical-anayak-anak-matic-7-p61118021/#prettyPhoto>
- F- SAE USB. (2017). Equipo Fórmula SAE Universidad Simón Bolívar. Recuperado el 16 de enero de 2018. Obtenido de <http://www.formulasae.grupos.usb.ve/version2/proyectocompetencia.html>
- F-SAE USB. (2017). F-SAE USB. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de <https://usbnoticias.info/post/25565>
- González Corchón, P. (13 de Julio de 2016). Diseño, Fabricación y Montaje de la transmisión de un vehículo de competición FormulaStudent (FSAE) . Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/69241>
- Hidalgo, L., & Tenelanda, C. (14 de Mayo de 2015). Construcción e implementación de un banco didáctico del sistema diferencial, con su plan de mantenimiento para la Escuela de Ing. Automotriz. Recuperado el 1 de enero de 2018. Obtenido de <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/3870>
- Iglesias, D. (30 de Junio de 2017). Expansion. Recuperado el 9 de enero de 2018. Obtenido de Formula Student: <http://www.expansion.com/empresas/motor/2017/06/29/59552067468aebc1498b4581.html>



- Ingeniería del Automóvil. (17 de Abril de 2017). Motor y competición. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de <https://motorycompeticion.wordpress.com/descargas/>
- Jaramillo, F., & Játiva, A. (2013). Módulo didáctico del sistema de dirección hidráulica asistida de la camioneta volswagen Amarok. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- KUZU. (19 de Octubre de 2015). Tipos de control numérico CNC. Recuperado el 5 de enero de 2018. Obtenido de [kuzudecoletaje.es/tipos-de-control-numerico-cnc/](http://kuzudecoletaje.es/tipos-de-control-numerico-cnc/)
- KUZU. (20 de Julio de 2017). ¿Qué es el mecanizado por arranque de viruta? Recuperado el 8 de enero de 2018. Obtenido de [kuzudecoletaje.es/meconizado-arranque-viruta/](http://kuzudecoletaje.es/meconizado-arranque-viruta/)
- Matweb. (30 de Enero de 2018). Matweb. Recuperado el 30 de enero de 2018. Obtenido de Source for Materials Information: <http://www.matweb.com/>
- Mayo, P. (19 de Septiembre de 2016). Pistonudos. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de <https://www.pistonudos.com/reportajes/tecnica-el-diferencial/>
- Mecánica de autos. (Mayo de 2013). Mecanica de autos. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de <http://mecanicaautomotores.blogspot.com/2013/05/diferencial-de-la-corona-de-autos.html>
- Mecanica del Automovil. (Marzo de 2009). Mecanica del Automovil. Recuperado el 28 de enero de 2018. Obtenido de <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>
- Mecánicos. (5 de diciembre de 2017). Mecánicos el blog del taller de reparacion del automóvil. Recuperado el 21 de enero de 2018. Obtenido de [http://www.blogmecanicos.com/2017/12/la-resistencia-la-rodadura-y-la\\_5.html](http://www.blogmecanicos.com/2017/12/la-resistencia-la-rodadura-y-la_5.html)
- Mecanizado Básico. (9 de Marzo de 2014). Mecanizado Básico. Recuperado el 15 de enero de 2018. Obtenido de <http://mecanizadobasico.blogspot.com/2014/03/procesos-y-herramientas-de-taladrado.html>
- Meritor. (2004). Manual de análisis de daños de partes de portadiferenciales . Meritor.
- Moto Fichas. (30 de Enero de 2018). Motofichas. Recuperado el 30 de enero de 2018. Obtenido de Kawasaki Ninja ZX-6R '12: <https://www.motofichas.com/marcas/kawasaki/ninja-zx-6r-12>
- Narvárez, P. (2014). Tren de Fuerza Motriz. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

- Naval Composites. (2016). Materiales Compuestos . Recuperado el 19 de enero de 2018. Obtenido de [www.navalcomposites.com/materiales-compuestos/](http://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos/)
- Notario, B. M. (23 de Noviembre de 2014). Noticias coches. Recuperado el 5 de enero de 2018. Obtenido de <https://noticias.coches.com/consejos/tipos-de-diferenciales/149144>
- Ojeda, P. (2012). Diseño y construcción de un sistema de transmisión con cadena y diferencial Torsen para un prototipo de vehículo tipo monoplace para la competencia Formula Student. Recuperado el 18 de enero de 2018. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5156?locale-attribute=en>
- Ortolá, S. (17 de Abril de 2009). Manual del Aluminio y sus Aleaciones. Recuperado el 10 de enero de 2018. Obtenido de <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>
- Pardo Palacios, A. (Julio de 2016). Diseño del sistema de transmisión de potencia a las ruedas para un vehículo tipo fórmula SAE con motor eléctrico. Recuperado el 12 de enero de 2018. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12908>
- PEREZCAPMS. (2018). Fresadoras cnc y máquinas de letras corpóreas. Recuperado el 30 de enero de 2018. Obtenido de <http://www.perezcampms.com/es/fresadoras-cnc-y-maquinas-letras-corporeas>
- Pons, A. (2016). Vehículo de competición fórmula SAE: Diseño y optimización del chasis. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- SAE. (2016). 2017-18 Formula SAE® Rules. Michigan: SAE.
- SAE BRASIL. (30 de Enero de 2018). Fórmula SAE BRASIL. Recuperado el 30 de enero de 2018. Obtenido de <http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil>
- SAE International. (2017). 2017-18 Formula SAE Rules . SAE International.
- SANDVIK. (20 de Enero de 2018). Planeado general . Recuperado el 25 de enero de 2018. Obtenido de [https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/application\\_overview/face\\_milling/general\\_face\\_milling](https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/application_overview/face_milling/general_face_milling)
- Talleres y repuestos . (2018). Talleres y repuestos . Recuperado el 30 de enero de 2018. Obtenido de <https://talleresyrepuestos.com/documentacion-tecnica/carroceria-y-chassis/541-con-que-debe-contar-un-taller-para-hacer-reparaciones-de-carrocerias-en-aluminio>

TODO MECÁNICA . (Abril de 2005). TM. Recuperado el 15 de enero de 2018.  
Obtenido de <http://www.todomecanica.com/blog/34-puente-trasero-y-diferencial.html>

# ANEXOS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **LENIN ISRAEL GUANOPATIN PACHECO**.

En la ciudad de Latacunga, a los 07 días del mes de marzo del 2018.

Ing. Mauricio Cruz  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

**Aprobado por:**

Ing. Danilo Zambrano  
**DIRECTOR DE LA CARRERA**

Dr. Freddy Jaramillo  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

