



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AUTOMOTRIZ.

REDISEÑO Y MANUFACTURA DE LA SUSPENSIÓN POSTERIOR DE UN  
VITARA CLASSIC

AUTOR: RONNY MAURICIO ANDRANGO GUATEMAL

MAYRA LIZBETH RODRIGUEZ RAMIREZ

DIRECTOR: Ing. EDWIN SALOMÓN ARROYO TERÁN, MSc.

Ibarra, 2023



**CERTIFICADO**  
**ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

**CERTIFICO:**

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es **REDISEÑO Y MANUFACTURA DE LA SUSPENSIÓN POSTERIOR DE UN VITARA CLASSIC** presentado por los señores, **ANDRANGO GUATEMAL RONNY MAURICIO** con número de cédula 1727462010 y **RODRÍGUEZ RAMÍREZ MAYRA LIZBETH** con número de cédula 0402090740, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 31 días del mes de marzo del 2023.

Atentamente

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edwin Arroyo', is written over a horizontal line.

Ing. Edwin Arroyo MSc  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN  
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO	
<b>CEDULA DE IDENTIDAD:</b>	0402090740
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Rodríguez Ramírez Mayra Lizbeth
<b>DIRECCIÓN:</b>	Tulcán – Av. Veintimilla y Huascar
<b>EMAIL:</b>	m1rodriguezr@utn.edu.ec
<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0968883037
<b>TÍTULO:</b>	Rediseño y Manufactura de la suspensión posterior de un vitara classic.
<b>AUTORES:</b>	Andrango Ronny y Rodríguez Mayra
<b>FECHA:</b>	10/03/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA</b>	INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR/DIRECTOR</b>	Ing. Edwin Arroyo MSc

**2. CONSTANCIAS**

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 31 días del mes de marzo del 2023

**EL AUTOR:**

(Firma) 

Nombre: Rodríguez Ramírez Mayra Lizbeth



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN  
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO	
<b>CEDULA DE IDENTIDAD:</b>	1727462010
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Andrango Guatemal Ronny Mauricio
<b>DIRECCIÓN:</b>	Cayambe – Santa Rosa de Ayora- calle Carchi
<b>EMAIL:</b>	rmandrangog@utn.edu.ec
<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0967887433
<b>TÍTULO:</b>	Rediseño y Manufactura de la suspensión posterior de un vitara classic.
<b>AUTORES:</b>	Andrango Ronny y Rodríguez Mayra
<b>FECHA:</b>	10/03/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA</b>	INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR/DIRECTOR</b>	Ing. Edwin Arroyo MSc

**2. CONSTANCIAS**

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 31 días del mes de marzo del 2023

**EL AUTOR:**

(Firma)  .....

Nombre: Andrango Guatemal Ronny Mauricio

## **DEDICATORIA**

El presente estudio se lo dedico con mucho cariño a mis padres, quienes siempre han sido guía y cuna de los valores que han formado en mi persona para ser perseverante en el cumplimiento de mis metas y objetivos. Principalmente a mi padre Victor Andrango, mi madre Nelly Guatemal y mi hermana Milena Andrango quienes me apoyaron incondicionalmente durante mi vida estudiantil, profesional y política, los llevaré siempre en mi mente y corazón.

A Angélica Sánchez por acompañarme moralmente durante toda mi formación profesional y haber sido una fuente de apoyo en todos mis proyectos.

A mi primo Oscar Adrian Lara por ser la fuente de mi inspiración para plantearme metas claras y me ha brindado sus consejos durante toda mi vida, los cuales me han ayudado a fortalecer los buenos valores que hoy en día me permiten ser la persona que soy.

Finalmente deseo dedicar esta tesis a toda mi familia y amigos que me han ayudado a ser un gran profesional y me han ayudado a encaminar mis sueños, metas y forjar nuevos objetivos.

**ANDRANGO GUATEMAL RONNY MAURICIO**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi madre Nury Ramírez por haber sido mi apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño.

A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

**RODRIGUEZ RAMIREZ MAYRA LIZBETH**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por darme la constancia y fuerza para culminar con mis estudios, a mi madre Nelly Guatemal por ser el vivo ejemplo de perseverancia y lucha, quien se formó hasta la primaria, pero es la persona con mayor sabiduría que conozco en mi vida. Con su personalidad siempre guio mi camino por el sendero del trabajo duro, rectitud y esfuerzo. A mi padre Victor Andrango por guiarme en la elección de mi carrera profesional, quien siempre ha sido mi apoyo incondicional y fuente de solución de problemas, quien fue uno de mis guías en mi formación laboral.

Gracias a mi abuelita Mercedes Pillajo “mamagu” que ha sido la guía moral de toda la familia y con pocos recursos económicos ha sacado adelante a toda la familia y es testigo de cómo toda una generación de la familia se vuelve en excelentes profesionales, y junto a la memoria de mi abuelito Cesar Guatemal se sienten orgullosos de lo que han sembrado en cada uno de nosotros.

El más sincero de los agradecimientos a la gloriosa Universidad Técnica del Norte, al grupo de docentes y administrativos que conforman la carrera de Ingeniería Automotriz por brindar todo su conocimiento, principalmente al Ing. Edwin Arroyo MSc. Director de tesis, y al Ing. Jorge Melo. Asesor de la misma. Los cuales con su guía y conocimientos han encaminado la presente investigación por el camino más eficiente para la generación de nuevos conocimientos.

Finalmente, doy gracias a todos los amigos de mi círculo social más cercano, con quienes empecé este gran trayecto universitario desde hace años y han sido la fuente más cercana de apoyo en momentos y decisiones difíciles, gracias por recorrer conmigo este largo camino y espero que todos logremos el objetivo de ser grandes profesionales reconocidos a nivel nacional.

**ANDRANGO GUATEMAL RONNY MAURICIO**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Gonzalo y Nury, a mi hermano Fernando, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a los docentes de la prestigiosa Universidad Técnica del Norte, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al Ing. Edwin Arroyo MSc. tutor de mi proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

**RODRIGUEZ RAMIREZ MAYRA LIZBETH**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xviii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xix</b>
<b>CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Justificación	1
1.3 Antecedentes	2
1.4 Sistema de suspensión del vehículo	3
1.4.1 Funciones de un buen sistema de suspensión	4
1.4.2 Masa suspendida y masa no suspendida	4
1.4.3 Sistema de suspensión	2
1.4.4 Tipos de sistemas de suspensión	13
1.4.5 Centro de gravedad	14
1.4.6 Centro de balanceo o roll center	14
1.5 Soldadura	16
1.5.1 Soldadura SMAW	16
1.5.2 Soldadura GMAW	17
1.5.3 Soldadura GTAW	19
1.6 Planchas metálicas	19
1.6.1 Plancha laminada al caliente	20
1.6.2 Plancha laminada al frio	20
1.7 Esfuerzos y deformaciones	20
1.8 Software de diseño y simulación	21
1.8.1 Software (CAD) Solidworks	21
1.8.2 Software (CAE) MSC Adams	21
1.9 Circuito todo terreno	21
1.9.1 Criterio de selección para una modificación	22

1.9.2 Suspensión rígida superior a un sistema independiente en aplicación todo terreno	22
<b>CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>24</b>
2.1 Introducción	24
2.2 Convergencia y divergencia	25
2.2.1 Ángulo de avance	25
2.2.2 Ángulo de inclinación	26
2.3 Metodología para el diseño	26
2.4 Aplicación del método de diseño	27
2.4.1 Tipo de estudio	27
2.4.2 Enfoque de la investigación	27
2.4.3 Métodos técnicas e instrumentos	28
2.5 Talento humano	29
2.6 Equipos y materiales	29
2.7 Dimensionamiento del diseño	30
2.7.1 Diseño estructural de la suspensión	31
2.7.2 Dimensionamiento de la mesa de suspensión original	31
2.7.3 Dimensionamiento del brazo de suspensión original	32
2.7.4 Dimensionamiento del muelle original	33
2.8 Dimensionamiento de la mesa de suspensión modificada	34
2.8.1 Cuerpo axial de la mesa de suspensión	35
2.9 Dimensionamiento del brazo de suspensión modificado	36
2.10 Dimensionamiento del soporte para amortiguador	37
2.11 Diseño de un separador de espacio para la flecha cardán	38
2.12 Dimensionamiento del muelle alargado	39
2.13 Ensamble de modelos CAD	39
2.14 Simulación estructural y dinámica	40
2.14.1 Centro de gravedad	40
2.14.2 Análisis estático de la mesa de suspensión	42
2.14.3 Comparación de análisis dinámico de la suspensión original y modificada	45

2.15 Selección de materiales	47
2.15.1 Selección del material en planchas metálicas	48
2.15.2 Selección del material en tubos metálicos	50
2.15.3 Selección de material en silentblock	50
2.16 Proceso de manufactura	51
2.16.1 Identificación de objetivos y problemáticas	52
2.16.2 Boceto	53
2.16.3 Diseño cad del nuevo modelo	54
2.16.4 Selección de materiales	54
2.16.5 Cálculo de cargas para simulación	55
2.16.6 Simulación	55
2.16.7 Elaboración de prototipo en chapa metálica	56
2.16.8 Elaboración de planos 2d en archivo .dxf	56
2.16.9 Planos para cortadora cnc	57
<b>CAPITULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>59</b>
3.1 Resultados del diseño	59
3.1.1 Planos	60
3.1.2 Archivos 2d	62
3.2 Resultados de simulación	63
3.2.1 Simulación estructural estática	63
3.2.2 Simulación dinámica	67
3.3 Resultados del proceso de manufactura	68
3.3.1 Compra de materia prima	69
3.3.2 Cortado cnc con plasma	69
3.3.3 Hoja de procesos	70
3.3.4 Proceso de doblado de las piezas	71
3.3.5 Ensamble de piezas y verificación de medidas	71
3.3.6 Soldado de piezas con proceso mig	72
3.3.7 Ensamble de elementos en el vehículo	73
3.3.8 Prueba de ruta	74
3.3.9 Desmontaje de piezas para evaluación	75
3.3.10 Pintura de elementos manufacturados	75
3.4 Resultados de la prueba de ruta	75

3.5 Costos	76
<b>CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>78</b>
4.1 Conclusiones	78
4.2 Recomendaciones	79
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA NUM.</b>	<b>PÁGINA</b>
1.1 Características físicas de materiales usados en muelles	9
2.1 Comparación entre plancha metálica laminada en caliente y frío	48
2.2 Comparativa de propiedades mecánicas entre ASTM A36 Y ASTM A570	49
2.3 Comparativa de propiedades térmicas entre ASTM A36 Y ASTM A570	49
2.4 Características del tubo de Acero laminado en caliente	50
3.1 Presupuestos, costos para realización del proyecto	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NUM.	PÁGINA
1.1 Perfil de neumático	3
1.2 Muelle helicoidal	7
1.3 Amortiguadores mixtos	10
1.4 Amortiguadores hidráulicos	11
1.5 Tipos de rótulas	12
1.6 Pesaje de vehículos tipo Vitara Classic	15
1.7 Soldadura con arco de metal protegido SMAW	17
1.8 Soldadura de arco de metal gas GMAW	18
1.9 Proceso de soldadura GTAW o TIG	19
2.1 Convergencia en neumáticos	25
2.2 Cotas de diseño mesa de suspensión	32
2.3 Distancia entre ejes del brazo de suspensión	33
2.4 Medidas del muelle original	34
2.5 Dimensiones de la tercera mesa modificada	35
2.6 Desfase y distancia del cuerpo axial	36
2.7 Dimensiones del brazo de suspensión modificado	37
2.8 Soporte para amortiguador	38
2.9 Dimensiones del espaciador para flecha cardán	39
2.10 Ensamble elementos modificados	40
2.11 Diagrama de cuerpo libre del vehículo	42
2.12 Fuerza de 4614 N aplicada a la mesa de suspensión	43
2.13 Geometría fija aplicada a la mesa de suspensión	44
2.14 Mallado del cuerpo estructural	45
2.15 Ensamble de suspensión original para simulación dinámica	46
2.16 Ensamble de suspensión modificada para simulación dinámica	47
2.17 Silentblock Seleccionado modelo FR – 9658	51
2.18 Flujograma de proceso de manufactura	52
2.19 Bocetos con medidas para diseño de los nuevos componentes	53
2.20 Nuevos diseños del sistema de suspensión	54
2.21 Mesa de suspensión en chapa metálica	56
2.22 Planos 2D de los nuevos diseños	57

2.23 Croquis para corte en plasma CNC	58
3.1 Comparativa de alturas entre los sistemas de suspensión	59
3.2 Sección del plano de mesa de suspensión	60
3.3 Sección del plano de brazo de suspensión	61
3.4 Sección del plano de soporte para el amortiguador	61
3.5 Medidas del nuevo muelle	62
3.6 Análisis de tensiones Von Mises en cuerpo estructural	63
3.7 Deformaciones del cuerpo estructural	64
3.8 Factor de seguridad del cuerpo estructural	65
3.9 Comportamiento del muelle original en función del tiempo	67
3.10 Comportamiento del muelle modificado en función del tiempo	68
3.11 Hoja de procesos para cuerpo axial	70
3.12 Doblado de chapa metálica con uso de graduador y escuadra falsa	71
3.13 Ensamble brazo de suspensión con puntos de suelda MIG	72
3.14 Mesa de suspensión con Silentblock instalados	73
3.15 Sistema de suspensión modificado instalado	74
3.16 Vehículo en prueba de ruta	755

**ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO NUM.</b>	<b>PÁGINA</b>
1 Hoja de procesos de mesa de suspensión	84
2 Hoja de procesos de brazo de suspensión	85
3 Hoja de procesos de extensión de amortiguadores	86
4 Hoja de procesos de cuerpo axial para mesa de suspensión	87
5 Plano de mesa de suspensión	88
6 Plano de brazo de suspensión	89
7 Plano de cuerpo axial	90
8 Plano de extensor de amortiguador	91

## **RESUMEN**

El objetivo principal de este proyecto es mejorar las prestaciones de un vehículo todo terreno al modificar su sistema de suspensión posterior, el cual es un sistema de eje rígido. Para realizar una elevación de la altura mínima del chasis con respecto al suelo, todos los aspectos que puedan suponer un problema en la modificación son estudiados con el propósito de diseñar un mecanismo que brinde grandes prestaciones. Al modificar el sistema de suspensión es necesario rediseñar ciertos elementos para su posterior manufactura. Los elementos fueron diseñados y evaluados usando sistemas y procesos CAD – CAE, realizando una evaluación por elementos finitos para comprobar un factor de seguridad aceptable para la posterior fabricación de las piezas. Cada proceso sigue un orden ingenieril que reduce recursos, gasto computacional, pérdidas económicas y así presentar al mercado comercial un producto denominado como “Kit de suspensión posterior” que cumple un proceso eficiente de diseño, evaluación y manufactura, con un producto rentable económicamente y desarrollado por estudiantes de ingeniería.

## **ABSTRACT**

The main objective of this project is to improve the performance of an off-road vehicle by modifying its rear suspension system, which is a rigid axle system. In order to raise the minimum height of the chassis with respect to the ground, all aspects that may pose a problem in the modification will be studied with the purpose of designing a mechanism that provides high performance. When modifying the suspension system, it is necessary to redesign certain elements for subsequent manufacturing. The elements were designed and evaluated using CAD-CAE systems and processes, performing a finite element evaluation to verify an acceptable safety factor for the subsequent manufacture of the parts. Each process follows an engineering order that reduces resources, computational expenditure, economic losses and thus presents to the commercial market a product called "Rear suspension kit" that meets an efficient process of design, evaluation and manufacture, with an economically profitable product developed by engineering students.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el vehículo es el principal medio de transporte a nivel nacional. Este nos presenta varias prestaciones según requiere cada usuario, tenemos vehículos de ciudad monoplazas eléctricos hasta vehículos de 6 plazas que son todo terreno. Es importante la correcta elección del vehículo según el uso continuo que se le dará con el tiempo. Los vehículos todo terreno poseen motores de cilindrada alta, un bastidor reforzado y un sistema de suspensión que eleva la altura del vehículo. Esto último es importante para movilizar el vehículo por diferentes tipos de terreno y que pueda sobrepasar obstáculos de gran tamaño sin que comprometa la integridad física de la estructura del vehículo. En el mercado local existen empresas que se dedican a la modificación de las suspensiones del vehículo, pero muchos de sus productos son de calidad baja y pueden llegar a comprometer la solidez estructural del vehículo ya que no cuentan con un proceso investigativo para el desarrollo de sus componentes. La mayoría de estos sistemas de suspensión modificados han sido diseñados de forma empírica bajo prueba y error, los cuales no tienen un respaldo que garantice su funcionalidad y duración bajo el fuerte trabajo que soportan. Bajo esta problemática se desarrolla el presente proyecto el cual busca presentar al mercado un sistema de suspensión de alta calidad, que sea garantizada una larga vida útil del producto con un respaldo en simulaciones, correcta selección de materiales y una ejecución de procesos de manufactura de buena calidad. En el presente proyecto se describe la base bibliográfica que ha servido como investigación para un proceso de diseño correcto, se indica el procedimiento que se toma en el diseño del nuevo sistema de suspensión y cuales han sido las características más importantes para el desarrollo del producto. La simulación estructural y dinámica que se realiza para garantizar el correcto funcionamiento de los componentes es mostrada con gráficas explicativas y se detalla los aspectos más importantes. Para los procesos de manufactura se encuentra diseñado los planos de cada elemento y una hoja de procesos que ayuda al técnico a una fabricación de sistema de manera fácil y rápida. Con todos los temas a tratar en el presente documento se detalla todos los puntos importantes en la investigación y desarrollo del nuevo sistema de suspensión, por lo cual se puede utilizar como punto de referencia para futuras investigaciones y desarrollos de productos similares en el campo automotriz.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el rediseño y manufactura de la suspensión posterior con el uso de software CAD para un Vitara Classic modificado.

#### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar los parámetros que definen el comportamiento del sistema de suspensión de eje rígido.
- Diseñar un conjunto de suspensión posterior para un vehículo Vitara Classic modificado.
- Analizar el comportamiento dinámico, mediante la simulación computacional.
- Manufacturar las partes del sistema de suspensión para un vehículo Vitara Classic modificado.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema de suspensión modificado.

### 1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto está enfocado en rediseñar un sistema de suspensión posterior para un vehículo tipo Vitara Classic, mejorando las prestaciones de la suspensión de tipo eje rígido. Enfocando el proyecto a elevar la altura del chasis con respecto al suelo para evitar obstáculos presentes en un circuito todo terreno.

Para la realización del proyecto se realizan análisis del diseño estructural en software especializados, con ello se garantiza que el sistema de suspensión cumpla con los requerimientos necesarios, que la resistencia al esfuerzo generado al pasar por camino de tercer orden se vea incrementado, así alargando la vida útil del sistema. Al establecer las

prestaciones se las puede cuantificar y evaluar el cumplimiento de objetivos establecidos en el presente trabajo de grado.

### **1.3 ANTECEDENTES**

Los componentes del sistema de suspensión son muy importantes y en los últimos años ha existido una gran investigación en torno al aprovechamiento de sus prestaciones. Al modificar sus dimensiones, formas y materiales se obtienen diversas capacidades físicas que se sustentan con estudios, pruebas y ensayos.

Łukaszewicz (2017) presenta un diseño de sistema de suspensión creando un modelo digital variando características del diseño de construcción original. Realiza una simulación dinámica que determina fuerzas y desplazamientos en las conexiones individuales del sistema. Analiza los resultados de resistencia del componente, verificando la funcionalidad y fiabilidad, que permite la creación de nuevos productos con un tiempo de producción reducido y por consiguiente reduciendo costos.

Hu (2021) muestra una ilustración o diseño por fases de la suspensión, analizando cada componente por separado. El objetivo es minimizar la masa total del sistema, para esto se obtiene un parametrizado del diseño de cada componente. En este proceso se utiliza ecuaciones que describen la funcionalidad del componente, designando variables con restricciones. Estas mismas se aplican en el proceso de diseño mejorando el rendimiento del trabajo.

El único componente que tiene contacto con el suelo son los neumáticos de un vehículo. El sistema que une los neumáticos con el chasis es el sistema de suspensión que según Ponce (2020): el sistema de suspensión se encarga de absorber irregularidades de la superficie, manteniendo siempre nivelado el chasis del automotor frente a cualquier situación.

García (2016) afirma que “se requiere que este sistema cumpla con dos características físicas y cuantificables importantes que son la elasticidad, importante para almacenar energía debido a elementos elásticos que se deforma, y la amortiguación, que absorbe energía del elemento elástico al retornar a su forma original y así evitar oscilaciones en el habitáculo del vehículo”.

Basado en este principio y las características físicas que debe cumplir un sistema de suspensión, se han desarrollado algunos tipos de sistema de suspensión que busca satisfacer ciertas necesidades, ya sea confort, seguridad, maniobrabilidad o durabilidad. Todo depende de las características necesarias para cierta área, por ejemplo, un vehículo deportivo necesita una suspensión dura para tener un buen manejo, un auto de lujo necesita una suspensión suave para brindar mayor confort y un automotor de carga o trabajo necesita un sistema duradero y que soporte las exigencias (Gonzalez, 2004).

González (2004) afirma que “la industria automotriz ofrece gran inversión en investigación y desarrollo de sistemas que mejoran seguridad, confort y maniobrabilidad, un punto crítico es la modelación ya que en la gran mayoría de casos se realiza una simulación sencilla que podría mejorarse.”

#### **1.4 SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO**

Alberti Urbietta (2003) afirma que: “la suspensión de un vehículo tiene como cometido “absorber” las desigualdades del terreno sobre el cual se desplaza, dando así un alto nivel de confort y seguridad al conductor”. Los neumáticos al tener una cámara de aire pueden absorber pequeñas irregularidades de la calzada.

Es necesario cumplir con las siguientes funciones como: reducir las fuerzas de impacto en el habitáculo por acción de irregularidades del terreno, mantener la adherencia de los neumáticos, mantener una alineación de ruedas constante, soportar la carga del vehículo y mantener la altura deseada del vehículo (Alberti Urbietta, 2003).

Con respecto a la seguridad el sistema de suspensión debe mantener su integridad estructural en cada instante. Según las cargas y fuerzas que soporte. Se han diseñado distintos tipos de sistemas de suspensión, modificando componentes, incluso el tamaño de cada elemento es muy importante al momento de determinar el comportamiento del sistema y en qué campo puede ser aplicado.

### **1.4.1 FUNCIONES DE UN BUEN SISTEMA DE SUSPENSIÓN**

Según el área para la cual se destine un sistema de suspensión, sea esta para un vehículo turismo, de competencia todo terreno, el conjunto de componentes debe cumplir con la función de elasticidad y amortiguación.

La elasticidad dentro de un sistema de suspensión sirve para absorber irregularidades de la calzada, curvas a alta velocidad o golpes muy fuertes en los neumáticos. La amortiguación permite que el retroceso del sistema sea de manera suave y progresiva permitiendo así un control total del vehículo ya que este efecto, aparte de dar confort a los ocupantes, ocasiona que los neumáticos estén siempre pegados a la superficie e impide que el chasis o masa suspendida tenga un comportamiento oscilante en cuanto a su altura con respecto al suelo.

Según Alamo Viera (2016): Ambos parámetros caracterizan en primera instancia a las oscilaciones y su frecuencia ( $f$ ) producidas en el vehículo, y se deben tener en consideración cuando se realiza el diseño de un sistema de suspensión, ya que pueden resultar incómodas e incluso perjudiciales, tanto para los pasajeros del vehículo como para la parte física del mismo.

### **1.4.2 MASA SUSPENDIDA Y MASA NO SUSPENDIDA**

Con respecto a la masa de un vehículo se puede diferenciar dos grupos principales clasificando componentes entre masa suspendida y no suspendida

#### **1.4.2.1 Masa suspendida**

“La masa suspendida de un vehículo es soportada por los resortes de la suspensión, así como el sistema completo. Este tipo incluye la mayor parte de la masa” (Luque , Alvarez, & Vera, 2008).

Constituida por:

- Carrocería
- Chasis
- Motor
- Sistema de dirección
- Sistema de transmisión
- Piloto y ocupantes

### **1.4.2.2 Masa no suspendida**

Son los componentes que siguen el perfil de la carretera. Es la cantidad de masa total del vehículo que no está soportada por elementos elásticos de la suspensión. Este tipo de masa es la que recibe todas las perturbaciones directas desde el asfalto, y deben disipar la energía acumulada mediante el elemento amortiguador de cada neumático (Luque , Alvarez, & Vera, 2008).

Se compone de:

- Neumáticos
- Aros
- Manguetas
- Frenos
- Mesas de suspensión
- Amortiguadores

El sistema de suspensión es el encargado de unir ambas masas del vehículo, este elemento es el que mayor esfuerzo realiza al momento de tener el automotor en movimiento ya que absorbe las irregularidades del suelo, absorbe energía producida en la aceleración y frenada. Los componentes principales de una suspensión son un elemento elástico que se encarga de seguir constantemente el perfil de la calzada (puede tener un juego de ballestas, un muelle helicoidal, barra de torsión, estabilizador, muelle de goma, gas, aire, entre otros) y un amortiguador cuyo objetivo es neutralizar movimientos oscilantes de la masa suspendida originado por un elemento elástico transformando la energía almacenada por el resorte en calor (Alberti Urbieto, 2003).

### **1.4.3 SISTEMA DE SUSPENSIÓN**

Los primeros automóviles basaban su diseño en carruajes de caballos y se implementaba un motor. Las velocidades que estos vehículos alcanzaban eran muy reducidas y por lo tanto no era necesario un sistema de suspensión con altas prestaciones. Con la mejora de los vehículos se necesita de un sistema de suspensión completo para satisfacer ámbitos de confort y seguridad. Se desarrolla nuevos elementos; los muelles llegan a reemplazar a las ballestas, se implementó amortiguadores, rótulas, barra estabilizadora y demás.

### 1.4.3.1 Neumáticos

En el libro de Milliken (1995) afirma lo siguiente: Las fuerzas y los momentos de torsión desarrollados por el neumático afectan al vehículo de varias maneras. Los neumáticos soportan el peso del vehículo, cualquier fuerza vertical desarrollada como la aerodinámica o el resultado del frenado en carretera. En la figura 1.1 se muestran diferentes modelos de banda de rodadura, importantes para diferentes superficies y comportamiento esperado.



**Figura 1.1** Modelos de banda de rodadura (Chuquirima, 2018)

Las interacciones entre los neumáticos y la carretera proporcionan fuerzas de tracción, frenado en curva, que ayudan a controlar y estabilizar el vehículo de las perturbaciones externas de la carretera y el viento.

Según Quiroz , Guascal , Manjarrés, & Arteaga (2015) “Un neumático se encuentra sometido a diferentes fuerzas y pares en consecuencia de la interacción con el suelo”. También se indica que “los principales factores que influyen en las prestaciones de los neumáticos una vez montados en el vehículo son:”

- Presión de inflado.
- Ángulo de caída (estático y dinámico).
- Anchura de la llanta.
- Temperatura de trabajo.

### 1.4.3.2 Muelles

Los muelles presentes en la figura 1.2 son “elementos elásticos que consiste en un resorte que soporta altas cargas, el peso de la masa suspendida del vehículo y absorbe energía producida por; impactos en los neumáticos debido a la transferencia de carga entre los ejes” (Quiroz , Guascal , Manjarrés, & Arteaga , 2015).

Las características fundamentales de los muelles son:

- Neumáticos con seguimiento del perfil de la calzada.
- Absorber perturbaciones producidas por baches, bordillos y demás.
- Mantener el control de esfuerzos del chasis.



**Figura 1.2** Muelle Helicoidal  
(López, 2013)

Seward (2014) menciona que:

En eventos de competición el propósito de los muelles es permitir el movimiento independiente del neumático cuando las cargas del mismo cambian sobre las superficies irregulares, con el objetivo de optimizar el máximo agarre del contacto del neumático.

El movimiento del resorte también ocurre como consecuencia del cambio de las cargas del neumático durante la aceleración, las curvas y el frenado. Las unidades de rigidez son N/m y por lo tanto es una medida de cuánto el muelle se mueve bajo una carga unitaria.

Según Cebolla Bono (2017), El muelle es formado por un hilo de acero enrollado entorno a un eje teórico. Las características del muelle, es decir la resistencia a ser deformado, depende de los siguientes valores:

- Longitud.
- Diámetro de las espiras.
- Coeficiente elástico del acero.

- Gradiente.
- Diámetro del hilo.

Según Galbarro (2022) existen tres principios en el diseño de los muelles helicoidales, los cuales son:

- a) Cuanto más rígido sea el material, mayor es el coeficiente de rigidez.
- b) Cuanto más pequeño sea el diámetro del muelle, mayor es el coeficiente de rigidez.
- c) Cuantas menos espiras útiles tenga el muelle, menor es el coeficiente de rigidez.

Para obtener los parámetros del muelle que se diseña, se usa las siguientes ecuaciones:

Se puede encontrar la constante de rigidez mediante dos tipos de ecuaciones (Galbarro, 2022).

- Constante de rigidez del muelle K [N/m], ecuación 1.1

$$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot N \cdot D^3} \quad [1.1]$$

Siendo:

G = módulo de elasticidad [N/m<sup>2</sup>]

D = diámetro medio del resorte [m]

d = diámetro de hilo [m]

N = número de espiras [-]

- Constante de rigidez del muelle k [N/m], ecuación 1.2

$$K = \frac{4 \cdot C - 1}{4 \cdot C - 4} + \frac{0,615}{C} \quad [1.2]$$

Donde:

C = Índice del muelle = D/d

La deflexión o desplazamiento de muelle se puede calcular mediante la ecuación 1.3

$$F = K \cdot x \quad [1.3]$$

Siendo:

F = fuerza que actúa sobre el muelle [N]

K = constante de rigidez [N/m]

x = desplazamiento del muelle [m]

En la Tabla 1.1 se muestra los principales materiales usados en la fabricación de muelles,

dichos materiales son clasificados por sus propiedades elásticas. Se especifican las principales características y sus valores medidos en laboratorios. Estos materiales definen el comportamiento esperado del muelle implementado en un sistema de suspensión, por tal manera es importante el análisis de diferentes materiales para elegir el mejor componente para el muelle helicoidal ya que cada sistema de suspensión varía según el modelo de vehículo y tipo de campo en el cual se moviliza el automóvil. Un sistema de suspensión debe tener mayor resistencia a los golpes en un vehículo todo terreno en comparación a un vehículo tipo turismo.

**Tabla 1.1** Características físicas de materiales usados en muelles

Nombre común	Especificación	Módulo elástico E (psi)	Módulo de elasticidad cortante G (psi)	Densidad, (lb/in <sup>3</sup> )	Máxima temperatura de servicio	Características físicas
Aceros alto contenido en carbono						
Alambre de piano	AS TM A228	30x10 <sup>6</sup>	11.5x10 <sup>6</sup>	0,283	250	Alta resistencia, excelente vida a la fatiga
Estirado en frío	AS TM A227	30x10 <sup>6</sup>	11.5x10 <sup>6</sup>	0,283	250	Uso general; pobre vida a la fatiga
Aceros inoxidables						
Martensítico	AISI 410,420	20x10 <sup>6</sup>	11x10 <sup>6</sup>	0,28	500	No satisfactorio para aplicaciones sub-acero
Austenítico	AIAI 301, 302	28x10 <sup>6</sup>	10x10 <sup>6</sup>	0,282	600	Buena resistencia a temperaturas moderadas
Aleaciones con base de cobre						
Latón para resorte	AS TM B134	16x10 <sup>6</sup>	6x10 <sup>6</sup>	0,308	200	Bajo costo; alta conductividad; propiedades mecánicas
Bronce fosforado	AS TM B159	15x10 <sup>6</sup>	6.3x10 <sup>6</sup>	0,32	200	Capacidad para soportar flexiones repetidas, aleación muy común
Cobre al berilio	AS TM B197	19x10 <sup>6</sup>	6.5x10 <sup>6</sup>	0,297	400	Alta resistencia elástica y fatiga

**Fuente:** (Inge mecánica)

### 1.4.3.3 AMORTIGUADORES

Martínez Silva (2015) enuncia que “el elemento de amortiguamiento es el cual permite mantener la masa suspendida y masa no suspendida bajo control. Reduce, restringe o impide las oscilaciones producidas al acumularse energía en los elementos elásticos”.

Las características que ofrecen los amortiguadores son:

- Controlar oscilaciones del chasis y bastidor.
- Controlar el rebote de los elementos elásticos.
- Mantener al neumático en contacto con la pista maximizando su adherencia.
- Modificar el comportamiento del sistema de suspensión según su tipo de configuración.

A continuación, se describen los modelos de amortiguadores más usados en el mercado.

Los amortiguadores mixtos son hidráulicos, mostrados en la figura 1.3, indican una configuración incluida muelle y amortiguador en un mismo componente. En las cámaras de aire tiene gas nitrógeno, haciendo que el regreso del fluido a las cámaras sea más eficiente, es decir después del rebote acelera el contacto de los neumáticos con el pavimento. La desventaja de este tipo de amortiguador es que vuelve la suspensión más rígida (NICOLAS, 2020).



**Figura 1.3** Amortiguadores mixtos  
(Antamba Guasgua Jaime, 2018)

Al tener un sistema de suspensión más rígida debes ser usada en vehículos aptos para cierto tipo de manejo donde el terreno sea demasiado irregular y así aprovechar al máximo la recuperación que tiene este amortiguador. Un vehículo con este tipo de amortiguadores puede ser considerado incómodo o poco confortable para ciertos pilotos u ocupantes inexpertos. En los últimos años se usa este tipo de amortiguador en vehículos de competencia tipo Rally u todo terreno. Ya que varios modelos de alta gama se puede configurar su comportamiento en compresión y rebote, la carga que pueden soportar para aprovechar al máximo el contacto del neumático con el suelo.

Los amortiguadores hidráulicos basan su funcionamiento principalmente con el uso de aceite, tiene dos cámaras que contienen aire, al tener el movimiento del vástago el aceite pasa de una cámara a otra con ayuda de unas válvulas reguladoras (NICOLAS, 2020).

Un amortiguador hidráulico posee menos rendimiento en las curvas y se genera burbujas en el paso de aceite por lo cual es indispensable utilizar aceites hidráulicos con una viscosidad específica para amortiguadores. En la figura 1.4 se muestra un amortiguador hidráulico, este modelo es el modelo más antiguo de amortiguador, pero soporta grandes cargas de la masa no suspendida ya que por lo general es usado en vehículos destinados a carga.



**Figura 1.4** Amortiguadores hidráulicos  
(Dictator, 2018)

#### **1.4.3.4 MESAS DE SUSPENSIÓN**

Soporta gran parte del peso y esfuerzo que soporta el sistema de suspensión.

Son brazos que unen el bastidor con las ruedas a través de la mangueta, por medio de rotulas las cuales limitan el movimiento a tres grados de libertad, permitiendo la rotación, las mesas de suspensión, poseen una forma de A, hay un brazo superior y otro inferior por cada rueda,

dependiendo del tipo o modelo del sistema de suspensión, los cuales transmiten las cargas al bastidor y de su geometría, así mismo como de su posición depende directamente el comportamiento dinámico del vehículo (Quiroz , Guascal , Manjarrés, & Arteaga , 2015).

#### 1.4.3.5 RÓTULAS O COGINETES ESFÉRICOS

Según Mejía González (2015) las rótulas “son elementos de alta resistencia, la mayoría son sometidos a un tratamiento térmico, con un vástago de rosca exterior y su cabeza rotativa permite el movimiento angular alrededor de un punto central en dos direcciones ortogonales con límites basados en la geometría del rodamiento”.

Estos elementos sirven como objetos de sujeción y otorga cierto grado de libertad para poder garantizar el correcto funcionamiento del sistema de suspensión, por lo general estos elementos están instalados en la mesa de suspensión.

En la figura 1.5 se muestran diferentes tipos de rótulas ya que estos componentes pueden ser reemplazados cuando sufren averías y según el tipo de sistema de suspensión son utilizados cada tipo de rótula según su configuración y dimensiones físicas.



**Figura 1.5** Tipos de rótulas  
(Lemforder, 2021)

#### **1.4.3.6 BRAZOS**

García (2016) afirma que un brazo de suspensión “es un elemento de unión entre masa suspendida y masa no suspendida. Permite un giro alrededor de uno de sus extremos, reduciendo así los grados de libertad en una zona determinada e impidiendo un desplazamiento longitudinal no deseado”.

#### **1.4.3.7 SILENTBLOCK**

Dentro de un sistema de suspensión se encuentra este elemento que sirve de acople entre distintos componentes, también son llamados casquillos de goma y eliminan pequeñas vibraciones que podrían ser transmitidas al chasis del vehículo. En gran mayoría se encuentran fabricados en materiales poliméricos elásticos y trabajan en compresión (García , 2016).

### **1.4.4 TIPOS DE SISTEMAS DE SUSPENSIÓN**

Según el diseño y necesidades de un vehículo se obtienen diferentes tipos de configuraciones en cuanto a sistema de suspensión, cada uno con sus beneficios y problemas.

#### **1.4.4.1 Suspensión rígida o dependiente**

En varios diseños de vehículos, dos ruedas se encuentran unidas por un eje rígido formando una sola pieza. En este tipo de suspensión el chasis esta sostenido por un juego de ballestas o muelles que sirven de elemento elástico y se complementa con un juego de amortiguadores.

Esta configuración une las ruedas de cada lado mediante el diferencial, por lo general en los neumáticos posteriores, lo cual significa que todo movimiento que afecte a una rueda es comunicado, el desplazamiento, hacia la otra rueda.

Este tipo de suspensiones es utilizado en vehículos de carga y todo terreno debido a su gran durabilidad ya que soportan gran carga e impactos muy fuertes. Incluso este tipo de suspensión es muy sencilla en su fabricación. Al tener pocos componentes se permite que un proceso de modificación y mejoramiento sea de un costo económico bajo, que puede reflejarse en una alta rentabilidad de un producto.

#### **1.4.4.1.1 Suspensión rígida con muelles**

Evidencia el uso de amortiguadores y muelles que conectan el eje rígido y une las dos ruedas con el chasis.

#### **1.4.4.1.2 Suspensión rígida con sistema de conexión**

El puente rígido esta asistido por los brazos de control, resortes y amortiguadores. Los brazos aumentan el control del desplazamiento vertical de los neumáticos.

#### **1.4.4.1.3 Suspensión rígida con sistema de barra tirante**

El eje rígido es acompañado por dos brazos tirantes, resortes y amortiguadores. Este sistema se emplea mayormente en autos de tracción delantera.

#### **1.4.4.2 Suspensión independiente**

Cada rueda cuenta con su sistema de suspensión está unido por un elemento llamado bastidor. Esto ayuda para que el movimiento de cada neumático este aislado del desplazamiento de la otra.

Este sistema de suspensión da sensaciones de manejo más suaves y precisos ya que cada rueda se adapta al perfil de la carretera. Esto es conveniente al momento de diseñar un vehículo, pero es contraproducente al momento de realizar una modificación al sistema ya que la mayoría hacen uso de un sistema de doble corona o doble mesa. Al tener más elementos dentro del sistema, se necesita de mayores costos de producción al momento de realizar una mejora en durabilidad, peso u otro campo de aplicación.

#### **1.4.5 CENTRO DE GRAVEDAD**

El diseño de la suspensión requiere conocer ciertas medidas del vehículo. Los datos tomados para el presente proyecto son de un vehículo todo terreno Santana modelo 350, está basado en el Suzuki Vitara, siendo prácticamente iguales ambos modelos (García, 2016).

Este modelo tiene un modelo de suspensión delantera McPherson con barra estabilizadora, en el tren posterior se encuentra un eje rígido con resortes helicoidales. El muelle esta encima del eje y el amortiguador se ancla por la parte posterior del eje.

Se puede determinar ciertos valores de especial interés los cuales son peso del vehículo y distribución de dicho peso en cada una de las cuatro ruedas del vehículo.

García (2016), determina que el centro de gravedad se puede considerarlo en el eje longitudinal el vehículo, es decir, las ruedas del lado izquierdo no soportan más peso que las del lado derecho o viceversa. Se utilizó un dinamómetro electrónico modelo MINIDIN, de la marca DINAKSA, con dicho dato se calcular varios valores para lograr un mejor dimensionamiento de los componentes de la suspensión.



**Figura 1.6** Pesaje de vehículo tipo Vitar Classic  
(García , 2016)

En la figura 1.6 se muestra el balanceo del vehículo vitara para determinar el centro de gravedad. Sabiendo que la batalla del vehículo o distancia entre ejes es de 2480mm y midiendo la posición a la que se eleva se puede determinar el centro de gravedad. (García, 2016)

García (2016) determina el centro de gravedad, tomado como referencia la distancia entre ejes, con las siguientes dimensiones

Distancia entre ejes = 2 480mm

Distancia medida para punto de equilibrio = 1 116mm dando 45% del peso en la parte posterior.

Porcentaje de peso delantero =  $2\ 480\text{mm} - 1\ 116\text{mm}$  dando 1 364 que representa el 55% del peso en la parte delantera.

Este dato permite conocer el reparto de peso del vehículo en ambos ejes. Ya que el sistema de suspensión delantera no soporta el mismo peso que el sistema de suspensión posterior, por tal motivo y para resultados más confiables al realizar una simulación estática es necesario conocer este desfase en el soporte del peso de cada neumático.

#### **1.4.6 CENTRO DE BALANCEO O ROLL CENTER**

Cuando las fuerzas centrífugas actúan sobre el vehículo, la masa suspendida entre los ejes delantero y trasero tiende a girar alrededor de un centro que se encuentra en un plano transversal a los ejes. Estos puntos se denominan centros de balanceo y son los puntos donde las fuerzas laterales generadas por los neumáticos y la pista actúan sobre el bastidor. Los centros de roll delantero y trasero están en ubicaciones diferentes (García, 2016).

### **1.5 SOLDADURA**

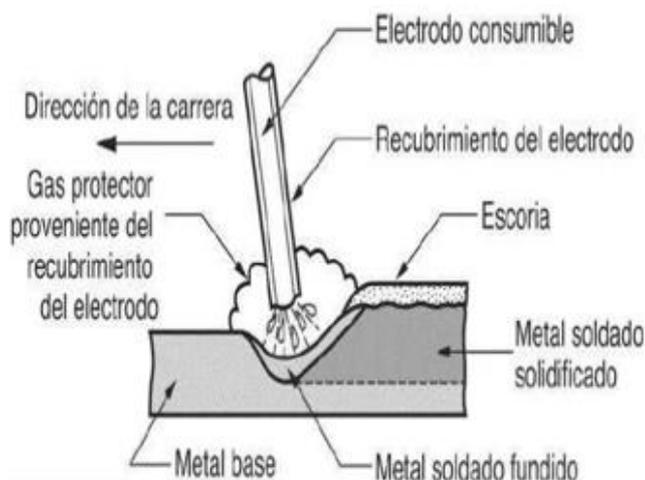
Moreno (2017) indica que la soldadura es un proceso por el cual se unen dos materiales diferentes donde se debe alcanzar cierto calor o presión para llegar a su punto de fusión. Depende de las características físico – químicas de los materiales a ser soldados se necesitan diferentes procedimientos de soldadura. Por este causal, a nivel de la industria mundial, existen diferentes tipos de soldadura donde los más comunes son GMAW, GTAW y SMAW.

#### **1.5.1 SOLDADURA SMAW**

La soldadura de arco con metal protegido (Shielded Metal Arc Welding) o SMAW se caracteriza por que hace uso de un electrodo consumible, el cual se encuentra recubierto totalmente por un material químico especial que actúa como agente de protección ya que crea un fundente que protege el cordón de soldadura de la oxidación y la corrosión por acción de agentes medioambientales externos. Este recubrimiento se encuentra constituido por celulosa pulverizada (como: madera y polvo de algodón) mezclado con carbonato oxido y demás sustancias que se integran con el uso de aglutinante de silicato. El material de relleno debe ser compatible con el metal al cual va a ser soldado. Este proceso se da por el uso de calor disipado, gracias al arco eléctrico, el cual funde los materiales de aporte para el cordón de soldadura y una capa protectora atmosférica y escoria, la velocidad de fundición del

electrodo y la estabilidad del arco puede ser regulada mediante el amperaje usado (Moreno, 2017)

En la figura 1.7 se detalla ciertos elementos y materiales usados en la soldadura SMAW.



**Figura 1.7** Soldadura con arco de metal protegido SMAW  
(Moreno, 2017)

### 1.5.2 SOLDADURA GMAW

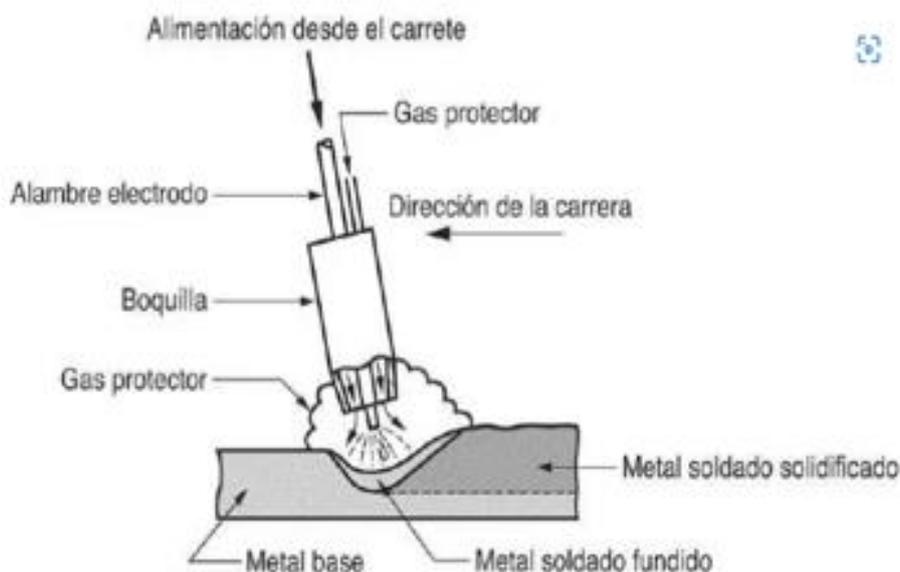
Según afirma la American Welding Society (AWS) la soldadura GMAW (Gas Metal Arc Weilding) es parte de la soldadura de tipo MAG/MIG que es un tipo de soldadura metálica por gas activa y soldadura por gas inerte, según corresponde. Se lo realiza mediante un arco estable entre el electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar (Moreno, 2017).

Aquí el proceso de soldadura se realiza gracias al electrodo conformado por un alambre metálico descubierto que se envuelve por un gas que sirve de protección al arco eléctrico. Los gases utilizados para este tipo de soldadura son:

- Inertes
  - Argón
  - Helio
- Activos
  - Dióxido de carbono

El diámetro de este alambre va desde los 0,8mm a 6,5mm. Este es seleccionado según el material a ser soldado y el aporte que necesita con el material de relleno (Moreno, 2017).

En la figura 1.8 se detalla ciertos elementos y materiales usados en la soldadura GMAW.



**Figura 1.8** Soldadura de arco de Metal Gas (GMAW)

(Moreno, 2017)

Este tipo de soldadura puede ser semiautomática en la cual la velocidad de aporte del hilo, la tensión del arco, intensidad de soldadura, caudal de gas se lo regula de forma manual, así como regular el avance de la antorcha o punta de soldadura. La configuración automática regula todos las características y parámetros de soldadura de manera previa al proceso de soldadura.

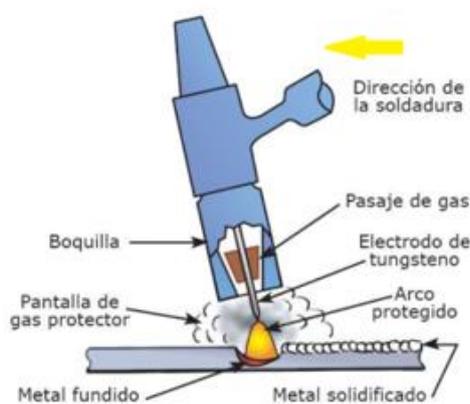
El uso de soldadura MIG se usa en aceros inoxidable y resistentes al calor, al igual de materiales no ferrosos como cobre, magnesio, aluminio y demás materiales. El proceso de soldadura MAG se usa para fundir y soldar materiales de aceros al carbono y aceros de baja aleación.

### 1.5.3 SOLDADURA GTAW

La soldadura de Gas Tungsten Arc Welding o TIG hace uso de un electrodo de tungsteno no consumible para el proceso de soldadura.

Este proceso hace uso de un electrodo refractario con una atmosfera gaseosa, este tipo de soldadura puede usarse con o sin metal como material de aportación, se usa un gas inerte que por lo general es el Argón el cual aísla la atmosfera del cordón de soldadura y evita la contaminación del material. El gas inerte se usa para protección del área soldada y evitar la oxidación y corrosión que puede ocasionarse por contaminación del medio ambiente (Cenaltec, 2022).

En la figura 1.9 se detalla ciertos elementos y materiales usados en la soldadura GTAW o TIG.



**Figura 1.9** Proceso de soldadura GTAW o TIG

(Marin, 2016)

### 1.6 PLANCHAS METÁLICAS

La plancha de acero es un producto de uso común en la industria civil, industrial, automotriz, metalurgia, herreros y demás. Estas pueden estar constituidas de acero o hierro fundido y dependiendo de sus procesos de manufactura obtiene una textura y características físico – químicas especiales como resistencia a altas temperaturas, corrosión y oxidación atmosférica, resistencia a torsión y compresión, así como esfuerzos.

Los tipos de plancha de acero existentes en el mercado ecuatoriano son ASTM-A131/ ASTM-A36/ (INVALTU, 2020).

### **1.6.1 PLANCHA LAMINADA AL CALIENTE**

Su proceso de manufactura se lo realiza con el uso de dos rodillos industriales que al aplicar presión y calor modifica y manipula al acero según ciertos criterios y especificaciones para reducir el espesor hasta el cual es necesitado. Obteniendo ciertas planchas de los siguientes tipos como, acero para fundir, acero de mediana y alta resistencia, acero comercial y acero de baja aleación. Es usado comúnmente en obras civiles, vigas, puentes, estructuras auto portantes, tanques de almacenamiento y equipos mecánicos (INVALTU, 2020).

### **1.6.2 PLANCHA LAMINADA AL FRIO**

Este material se obtiene mediante un proceso en el cual se enfría el acero mientras se está laminando en estado caliente, disminuyendo su temperatura de manera progresiva, mejorando las texturas superficiales y obteniendo espesores más delgados. Este tipo de planchas es usado en acabados superficiales como muebles metálicos, paneles, carrocerías de vehículos y demás (INVALTU, 2020).

## **1.7 ESFUERZOS Y DEFORMACIONES**

El esfuerzo se lo define como una fuerza interna que se presenta en un material de forma contraria a una fuerza aplicada. Los esfuerzos en los materiales que comprenden un mecanismo o sistema están siempre presentes y el cálculo es necesario e indispensable para tomar decisiones en el diseño. Así se determinan las fuerzas internas que actúan dentro de los materiales que soportan algún tipo de fuerza. Para determinar la cantidad de esfuerzos se hace uso de la siguiente formula (Precio, 2020).

$$Esfuerzo = \frac{Fuerza}{Área}$$

La deformación de un cuerpo se presenta cuando un cuerpo sufre cambios en su forma y medidas originales, esto se debe a las fuerzas que intervienen sobre una superficie determinada y pueden ser elásticas o plásticas, en algunos casos se puede recuperar su forma original después de sufrir una deformación (Maholyeal, 2015).

Los distintos tipos de esfuerzos y deformaciones se presentan según la presión sometida al cuerpo y las características físicas del elemento y se presentan esfuerzos como:

- Esfuerzos de flexión
- Esfuerzo de torsión
- Esfuerzo cortante
- Deformación elástica
- Deformación plástica

## **1.8 SOFTWARE DE DISEÑO Y SIMULACIÓN**

El diseño asistido por computador es una herramienta que ayuda a reducir gastos en el diseño, optimizar tiempos y recursos. Se puede obtener piezas u objetos con exactitud y altos niveles de tolerancia necesarios para ensambles de maquinaria de alta precisión. Reduciendo costos y tiempos en los procesos de manufactura (Solidworks, 2017).

### **1.8.1 SOFTWARE (CAD) SOLIDWORKS**

Es un software CAD de diseño asistido por computador que modela piezas y ensambles en 3D y 2D que dispone con diversas funciones que permiten realizar todo tipo de mecanismos. Esta herramienta informática permite realizar medidas exactas en las piezas para su posterior manufactura, que permite reducir costos en los prototipos (Solidworks, 2017).

Para el presente proyecto se utiliza software de prueba para el diseño de los nuevos elementos del sistema de suspensión

### **1.8.2 SOFTWARE (CAE) MSC Adams**

Un software de simulación realiza ciertos análisis de movimiento dinámico y cinemático del proyecto deseado. Determinando la funcionalidad de piezas y elementos móviles cuando el sistema se encuentra en movimiento. Esto permite evaluar la funcionalidad y mejoras de los mecanismos estudiados. Se usa software de prueba gratuita para la realización de los análisis.

## **1.9 CIRCUITO TODO TERRENO**

La primera característica técnica indispensable dentro de un vehículo todo terreno recae sobre las ruedas. Los neumáticos son el medio principal para permitir a un todo terreno de

una fuerza de propulsión suficiente para superar las condiciones de propulsión y adherencia más difíciles.

Otra característica técnica especial que debe cumplirse es la resistencia de sus componentes. En una travesía de tipo todo terreno existe carreteras con grandes piedras, desniveles pronunciados cercanos al metro de diferencia y muchos escenarios de gran dificultad. Por tal motivo los componentes mecánicos, estructurales y articulados, deben soportar altos niveles de esfuerzo y torsión como producto de la marcha del vehículo sobre suelos irregulares.

### **1.9.1 CRITERIO DE SELECCIÓN PARA UNA MODIFICACIÓN**

Basados en la primera característica técnica de un todo terreno se procede a determinar los criterios necesarios para mejorar la tracción en las ruedas, para ofrecer una mejor adherencia contra el perfil de calzada. Es necesario establecer sobre qué tipo de sistema de suspensión se obtiene mejores resultados para desarrollar un producto que cumple con las características necesarias para ofrecer excelentes prestaciones.

### **1.9.2 SUSPENSIÓN RÍGIDA SUPERIOR A UN SISTEMA INDEPENDIENTE EN APLICACIÓN TODO TERRENO**

Para el todo terreno se necesita de un sistema de suspensión que soporte grandes esfuerzos, que se adapte a distintos perfiles de carretera y permita una gran fuerza de tracción. Para cumplir estas exigencias se reconoce al sistema de suspensión de eje rígido como un sistema de suspensión de mejores prestaciones ya que cumple con las siguientes cualidades:

- Máxima robustez para maltrato y carga

Se posee un armazón fabricado en materiales que soportan grandes esfuerzos y cubre al diferencial, ejes de ruedas y demás elementos. El sistema usa menos elementos articulados, así como un reducido número de piezas lo cual genera un sistema más reforzado y con menor número de elementos.

- Efecto palanca en las ruedas.

Todo movimiento es compartido. Al tener un neumático más elevado va a generar una fuerza de reacción en la otra rueda lo cual incrementa la tracción en aquella que busca un buen contacto con la calzada. La fuerza de adherencia es la ejercida por el

sistema de suspensión más la fuerza del neumático comprimido. Este efecto único de un diferencial con bloqueo permite superar cualquier desnivel de calzada.

- Permite una mayor articulación

Proporciona una separación de las ruedas con el chasis muy elevado, beneficiando el seguimiento de los neumáticos contra el perfil de calzada en terrenos de campo muy difíciles.

- Altura al suelo constante.

El eje rígido tiene al diferencial como componente central de su estructura. Al estar conectado a las dos ruedas permite que este se mueva al ritmo de los neumáticos cumpliendo con una altura constante al suelo sin importar los obstáculos a superar. Por ejemplo, en el salto de un vehículo, al volver a tener contacto los neumáticos con el suelo, el diferencial no golpea contra el suelo.

- Facilidad para realizar modificaciones.

Permite un cambio de diámetro de rueda más grande, modificar la altura de la suspensión, los muelles o ballestas y demás modificaciones. Todo facilitado por que el ángulo camber de los neumáticos permanece siempre constante.

Bajo estos principios y determinando las exigencias que debe cumplir un vehículo todo terreno en base a su principal característica técnica se considera de mayor utilidad realizar modificaciones en un vehículo con sistema de suspensión de eje rígido y diseñándolo como un producto atractivo para un posible mercado brindando grandes prestaciones y demostrando bajo evidencia los beneficios de un sistema de suspensión dependiente con sus componentes modificados.

Un buen punto de partida es modificar la altura libre del suelo y la separación del eje rígido con respecto al chasis, lo cual mejora las prestaciones antes enumeradas. Se estudia los efectos negativos, así como positivos que implicaría realizar una modificación en el sistema de suspensión, siempre buscando cumplir con objetivos de seguridad y confort para los ocupantes.

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se realizó el rediseño de los componentes del sistema de suspensión rígido para el vehículo Vitara Classic, se realizó un análisis estructural inicial para determinar la correcta funcionalidad de los elementos a diversas condiciones.

Es necesario establecer una metodología de diseño para una correcta selección de decisiones en cuanto al diseño CAD, simulación y evaluación de resultados para establecer el camino óptimo hacia la producción de los elementos de una manera eficiente y cumpliendo estándares de calidad aceptables.

Al diseñar el sistema de suspensión se tiene en cuenta que este sistema es quien absorbe todo tipo de irregularidad de la calzada y trabaja en factores de alta fatiga de sus elementos mecánicos. Por este motivo es necesario cumplir ciertas características físicas de sus elementos que permite el correcto funcionamiento del sistema en conjunto y una vida útil considerable para la categoría en la que se usa el vehículo.

El correcto funcionamiento de las piezas sometidas a fatiga es importante, bajo un proceso ingenieril, la reducción de peso y material es importante para economizar el costo de producción y el mejoramiento de las prestaciones del vehículo. Para esto se realiza una simulación de elementos finitos, con los datos que se obtuvo se evita el sobredimensionamiento de elementos y reducción de puntos débiles en la estructura.

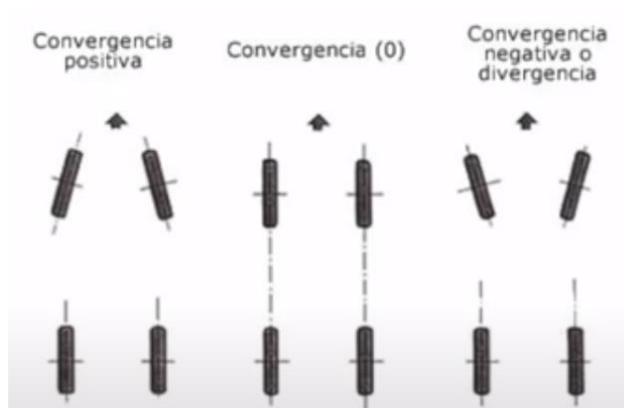
Un análisis dinámico mediante simulación computacional indica el comportamiento de los nuevos elementos que conforman el sistema de suspensión del vehículo, datos como la oscilación de los muelles, absorción de energía de los amortiguadores y movimiento de los elementos en un sistema de coordenadas tridimensional.

El diseño final obtenido en este capítulo se lo envía al proceso de manufactura. Se realiza varios modelos en el proceso de diseño, pero es indispensable elegir la configuración del sistema de suspensión que muestre mayor eficiencia.

## 2.2 CONVERGENCIA Y DIVERGENCIA

El objetivo principal de la convergencia es mantener las llantas en una línea recta y de manera vertical. Existen deportes de competición en los cuales los neumáticos necesitan una convergencia diferente a cero debido a la característica del vehículo. En vehículos comerciales de tipo turismo los neumáticos deben conservar una convergencia 0 para lograr un desgaste homogéneo en la banda de rodadura de la llanta.

En la figura 2.1 se puede evidenciar dos neumáticos con convergencia positiva y negativa.



**Figura 2.1.** Convergencia en neumáticos (zonagravedad, 2019)

### 2.2.1 ÁNGULO DE AVANCE

Se lo conoce también como avance, siendo la inclinación hacia delante o hacia atrás del eje de suspensión, con respecto a la vertical. Para una mayor explicación se detalla tres tipos de ángulos de avance.

- Ángulo de avance positivo: se da cuando el eje de la dirección está delante del punto de contacto del neumático con el suelo, provocando el llamado arrastre en la llanta posterior. Como también el ángulo de avance positivo mantiene la estabilidad de la dirección, pero al ser mayor causa que el volante se torne duro y tenga vibraciones a bajas velocidades.
- Ángulo de avance negativo: facilita el giro del volante en curvas, pero al conducir en una recta el vehículo tiende a moverse a la izquierda o

derecha, teniendo menor estabilidad en el frenado.

- Ángulo de avance nulo: esto quiere decir que la dirección es vertical, dando un efecto neutro en la estabilidad, alineando el eje de la dirección al punto de contacto del neumático.

### **2.2.2 ÁNGULO DE INCLINACIÓN**

Se entiende por ángulo de inclinación a la inclinación ya sea dentro o fuera de la parte superior del neumático, lo que se puede medir en grados, minutos o segundos. Si el ángulo de inclinación es mayor tiende a frenar el vehículo y desgaste de los neumáticos (Ramirez, 2020).

Ángulo de inclinación negativo: se logra visualizar que la llanta se inclina hacia dentro y el vehículo se desplaza hacia el lado que tiene mayor ángulo de inclinación negativo.

Ángulo de inclinación positivo: la llanta del vehículo se aleja del centro del mismo.

## **2.3 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO**

El diseño dentro del desarrollo del presente proyecto, se debe “aplicar diversas técnicas y principios científicos con el propósito de definir un dispositivo, un proceso o un sistema de suficientes detalles que permitan su realización (Norton, 2004).”

Para una correcta selección de procedimientos de diseño es necesario entender el problema al cual se busca darle una solución, toda el área de la ingeniería se basa en dar solución a problemas existentes bajo procesos establecidos y así establecer criterios preliminares. Es indispensable garantizar la solución eficiente del problema, basados en hipótesis y revisión bibliográfica.

Norton (2004) establece una lista con diez pasos para un correcto proceso de diseño.

1. Identificación de la necesidad
2. Investigación Preliminar
3. Planteamiento de objetivo
4. Especificaciones de desempeño

5. Ideación e invención
6. Análisis
7. Selección
8. Diseño detallado
9. Creación de prototipos y pruebas
10. Producción

## **2.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO**

Para realizar un correcto diseño del nuevo sistema de suspensión es necesario obtener información que ayuda a dimensionar ciertas piezas y elegir materiales que permiten obtener el mayor beneficio al nuevo modelo, todo esto busca realizar procesos eficientes durante el diseño y posteriormente la manufactura de componentes.

### **2.4.1 TIPO DE ESTUDIO**

En el presente documento y desarrollo del proyecto para trabajo de titulación se toma como guía dos tipos de estudio.

Un estudio exploratorio, es usado con el objetivo de retomar datos extras sobre el tema y conocer problemas que pueden surgir durante el desarrollo del proyecto. Es necesario la revisión de bibliografía especializada en el tema.

Un estudio aplicado posterior a un desarrollo del proyecto permite que el mismo sea usado en diferentes modalidades tales como diferentes tipos de vehículos que comparten plataforma o sean similares y se les pueda realizar ciertas modificaciones al producto desarrollado.

### **2.4.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

Este proyecto tiene un enfoque de tipo experimental sin tomar en cuenta datos estadísticos ya que el rediseño que se realiza es de una forma empírica en cuanto a la toma de mediciones del sistema de suspensión. Una correcta elección de materiales y procesos es indispensable para el proyecto y por tanto se necesita realizar una correcta revisión bibliográfica y técnica, esto último es guiado bajo un proceso ingenieril.

### **2.4.3 MÉTODOS TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

La aplicación de método científico de prueba, error y planteamiento de una hipótesis es válida para el presente proyecto debido a su estructura que organiza procesos sistemáticos y organizados las cuales permiten obtener resultados tangibles que dan solución a la hipótesis permitiendo así generar conocimiento sobre el proyecto y tema de investigación. La fabricación final del nuevo modelo de suspensión se lo realiza mediante la experimentación y gracias a este método se obtiene resultados que satisfagan la necesidad.

#### **2.4.3.1 Método deductivo**

Este proceso establece como un inicio de estudio, todos los temas conocidos del proyecto e ir indagando hacia lo desconocido. Haciendo uso de las piezas propias y originales del vehículo se toman medidas como levantamiento de datos, lo que permite el desarrollo del nuevo sistema de suspensión, todo basado en la revisión bibliográfica.

#### **2.4.3.2 Método sintético**

El método sintético permite tomar decisiones en cuanto a procesos, protocolos, análisis y organización de piezas de acuerdo a su función y así obtener un proceso de fabricación o manufactura eficiente. Todo esto basado a un cierto razonamiento científico que se plantea en el primer capítulo.

#### **2.4.3.3 Técnicas**

Es indispensable la recolección de datos y levantamiento de información basados en un proceso histórico y para esto se necesita iniciar desde una tesina documental. Esto es necesario para un análisis basado en una observación indirecta para los primeros bocetos con datos concretos.

#### **2.4.3.4 Instrumentos**

Los instrumentos y herramientas de investigación han sido los avalados por la comunidad científica, los cuáles son en forma digital las plataformas de Google académico, Science Direct, Scopus y páginas oficiales de empresas reconocidas.

Muchas de las mediciones se las evidencia en modelos digitales y para esto es necesario el uso de software CAD, basado en estos diseños se realiza las modificaciones necesarias para cumplir con los objetivos y desarrollar un nuevo sistema de suspensión con alta confiabilidad, resistencia y bajo una normativa apropiada.

### **2.5 TALENTO HUMANO**

El talento humano del presente proyecto es constituido por las personas que han planteado el proyecto, sus tutores y demás guías. Como autores de la tesis Andrango Guatemal Ronny Mauricio - Rodríguez Ramírez Mayra Lizbeth son los desarrolladores del proyecto y encargados de realizar todos los procesos necesarios para llegar a la obtención de resultados que satisfagan los objetivos planteados en el mismo.

### **2.6 EQUIPOS Y MATERIALES**

Dentro de las herramientas utilizadas en el proyecto es necesario un computador que sirve para ejecutar el software de diseño usado en el modelado y rediseño del sistema de suspensión del vehículo posterior, se necesita de otro software para llevar los modelos en 3D a códigos para una cortadora de plasma CNC la cual es indispensable para el corte en las planchas laminadas de diferentes grosores ya que esta herramienta permite un corte rápido y preciso optimizando así recursos en el proceso de manufactura. Con las piezas ya cortadas a la medida indicada se usa herramientas de mano como amoladoras para la extracción de escoria, propias del corte, y se procede al doblado de la chapa metálica con el uso de una dobladora industrial que brinda dobleces en ángulos más precisos y se puede manejar los dobleces en diferentes grosores de las planchas, todo esto con soporte de una herramienta de graduación y una regla falsa que permitiera la facilidad del uso de medición de ángulos.

Una vez con todos los elementos de chapa metálica obtenidos se procede a la soldadura de las piezas y para esto se necesita una soldadura de proceso MIG por las características del

material metálico que se ha elegido para poder asegurar su larga vida útil, soportando grandes cargas de esfuerzos a estrés mecánico en las piezas, debido a un excelente proceso de soldadura sin escorias, oxidaciones, porosidades ni perforación en los materiales.

La materia prima esencial para la fabricación de las piezas es las planchas de acero y se necesita diferentes grosores para realizar las piezas y que se ajusten a los modelos CAD diseñados en computadora. El grosor es de 3mm 5mm y 9mm en diferentes elementos. Otro material utilizado en gran medida ha sido el tubo de acero laminado el cual sirve en articulaciones de la suspensión como uniones de las mesas o brazos de suspensión, estos deben ser cortados de la medida y con exactitud para no tener desperdicio de material.

Dentro de las herramientas no se contempla el uso de las máquinas para el proceso de pintura de las piezas ya que esto se lo realiza en otra empresa especializada en este proceso para mejorar la calidad del producto.

## **2.7 DIMENSIONAMIENTO DEL DISEÑO**

El diseño realizado busca mejorar el rendimiento y comportamiento de la suspensión, sometiendo al vehículo a una ruta establecida de todo terreno. Es necesario comprender que, al modificar las dimensiones de ciertos elementos, pueden aparecer ciertas cargas o esfuerzos en ciertos componentes, así que es necesario entender este fenómeno para realizar un correcto dimensionamiento, mejorando la prestación del sistema de suspensión, pero sin perder el control, confort y seguridad del vehículo. En este diseño es evidenciado la creación de nuevas piezas, las cuales brindan las características necesarias para poder determinar que el sistema de suspensión ha sido modificado de forma correcta, bajo un estándar de calidad óptimo. Todos los elementos fueron diseñados para soportar las cargas a las cuales fueron sometidas para brindar seguridad y confiabilidad. Es necesario identificar zonas críticas en el diseño y reforzarlas de ser necesario, pero sin llegar a un sobredimensionamiento del sistema. Para este punto se detallan las etapas por las cuales ha pasado el desarrollo del proyecto para obtener el nuevo sistema de suspensión. Esto reduce el fallo de componentes durante su evaluación y así ser presentado al mercado como un producto confiable y desarrollado bajo un proceso ingenieril.

### **2.7.1 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA SUSPENSIÓN**

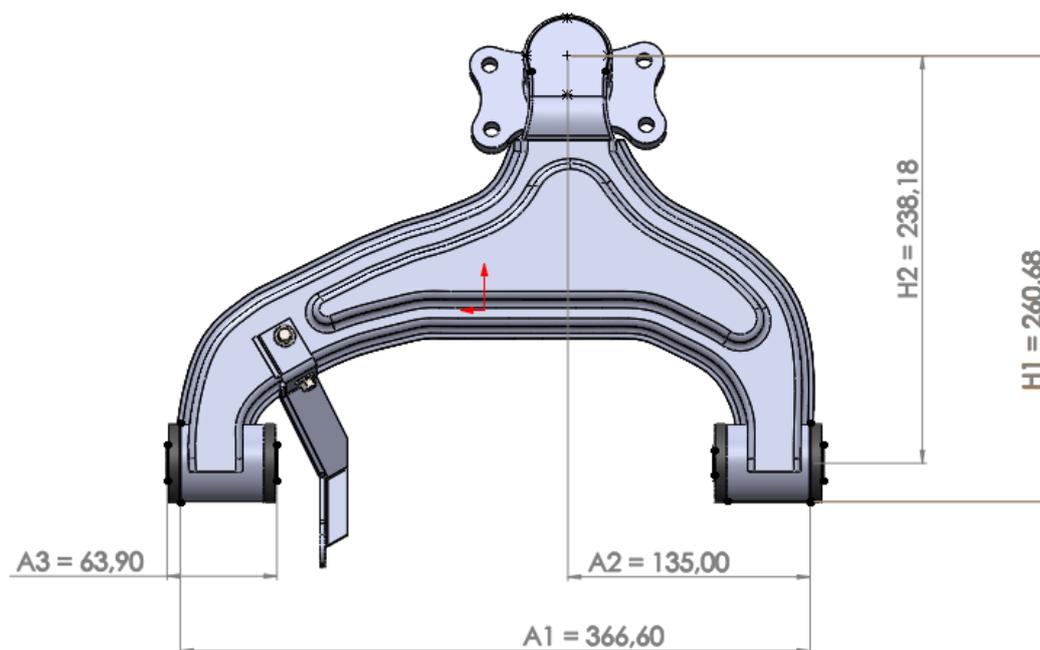
En el proyecto se ha aplicado un proceso de ingeniería inversa, ya que en la empresa auspiciante existen modelos de suspensión funcionales, pero han sido diseñadas de manera empírica y con un aspecto visual poco llamativo. Es necesario cumplir con las cotas y dimensiones necesarias para satisfacer los objetivos del proyecto, el cuál es elevar el bastidor con respecto a la distancia del suelo, pero sin afectar características estructurales y funcionales del vehículo

### **2.7.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA MESA DE SUSPENSIÓN ORIGINAL**

Para optimizar el proceso de diseño se realizó el modelado computacional de la parte posterior del bastidor del vehículo para tener un modelo CAD manejable con medidas originales del vehículo. Estas medidas deben tener un respaldo físico, sea con mediciones por procesos comunes o basados en fichas técnicas del vehículo.

Para realizar la modificación del sistema de suspensión es necesario tener un punto inicial en el cual se considera los elementos originales del vehículo para tomar sus medidas indispensables que posteriormente necesitaron ser modificadas para el correcto funcionamiento del sistema de suspensión. Es importante tener en cuenta puntos de conexión, medidas de separación y ángulos relativos. Estos modelos deben ser diseñados en el software y ser lo más fiel a la original, con la finalidad de optimizar el proceso de rediseño y ayude en la fabricación de las nuevas piezas, ya que existen medidas que son fijas y medidas que son modificadas en los nuevos modelos.

Se identifican todos los elementos presentes en el sistema de suspensión posterior y se indican los componentes que pueden ser modificados para la obtención final del objetivo principal de proyecto el cual es elevar la altura del vehículo y mejorar las prestaciones de la suspensión para ser usada para uso en todo terreno. En la figura 2.2 se puede observar la mesa de suspensión para el sistema de eje rígido, el cual es modificado para cumplir con el objetivo de rediseñar el sistema de suspensión. Se realizó una digitalización del componente original para un mejor diseño del nuevo sistema de suspensión y para posteriores mediciones y simulaciones.



**Figura 2.2** Cotas de diseño mesa de suspensión

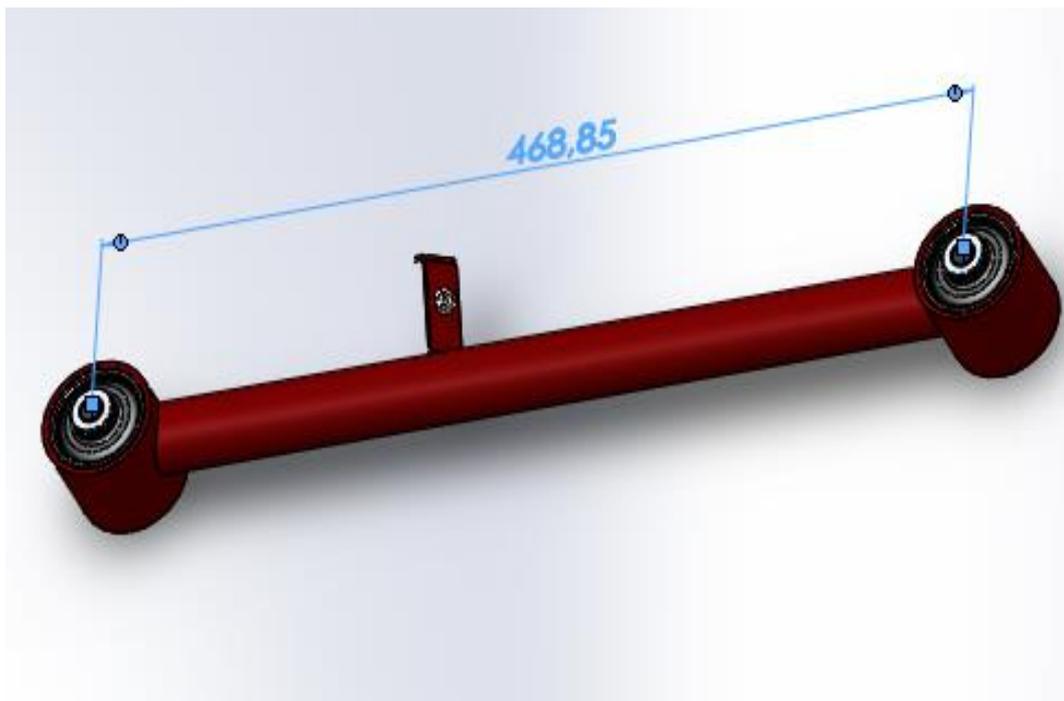
Las Cotas A1 y A2 son cotas fijas del diseño. Las cotas A3, H1 y H2 son cotas modificables, todas las medidas están dadas en milímetros. Es importante respetar estas medidas de las cotas fijas en el dimensionamiento del nuevo sistema de suspensión, de caso contrario el ensamblado en el vehículo es difícil, ya que la tolerancia entre estos elementos es muy estricta.

### 2.7.3 DIMENSIONAMIENTO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN ORIGINAL

El componente permite que el ángulo de avance se mantenga alineado en la rueda posterior izquierda y derecha. En este elemento se sujeta la manguera del sistema de frenado, es indispensable tener la manguera del sistema hidráulico inmovilizado y así evitar cortes o daños. Es importante garantizar el funcionamiento del sistema de frenos para el funcionamiento seguro del vehículo.

El elemento denominado como brazo de suspensión original, este hace uso de Silentblock para la absorción de ciertas vibraciones en el vehículo.

Este elemento soporta grandes cargas de torsión, compresión y momentos, mientras mantiene la plataforma del vehículo desplazada, la distancia entre los puntos de sujeción de este componente es de 468mm como se observa en la figura 2.3.

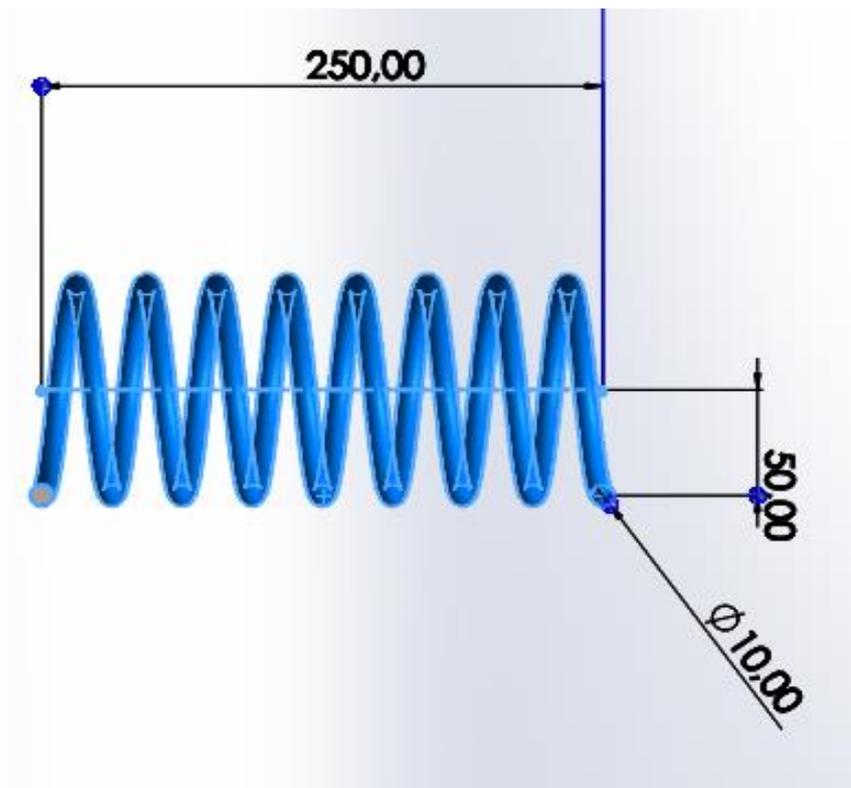


**Figura 2.3** Distancia entre ejes del brazo de suspensión

#### **2.7.4 DIMENSIONAMIENTO DEL MUELLE ORIGINAL**

El muelle es el elemento deformable elástico del sistema de suspensión, de este depende su rigidez o rapidez de reacción. Es el elemento que brindar seguridad y confort. El coeficiente elástico de este muelle depende del material del cual está fabricado y del diámetro del hilo del cual fue diseñado. Según el comportamiento que requiere para el muelle se puede aumentar el diámetro del hilo. Para el uso del vehículo en todo terreno lo recomendable es tener un sistema de suspensión más rígido con un alto soporte de esfuerzos, por el perfil de carretera extremadamente irregular, esto sacrifica el confort a los ocupantes, pero aumenta en gran medida el contacto del neumático con el suelo y el soporte estructural frente a grandes impactos.

En la figura 2.4 se muestra las dimensiones originales del muelle del sistema de suspensión original. Se evidencia que existe una distancia de 250mm desde la base hasta la parte superior. El nuevo muelle llega a una medida de 350mm de largo.



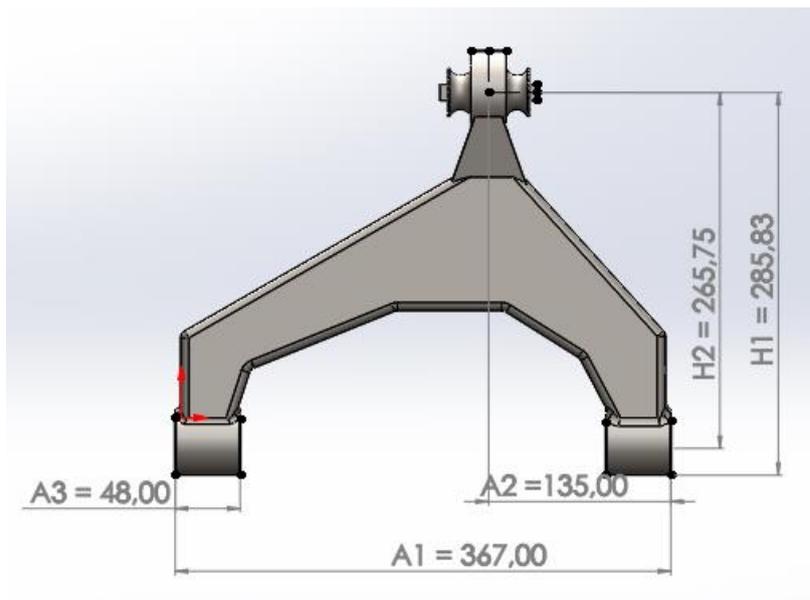
**Figura 2.4** Medidas del muelle original

## **2.8 DIMENSIONAMIENTO DE LA MESA DE SUSPENSIÓN MODIFICADA**

Una vez obtenidas las medidas fijas y modificables del sistema de suspensión, se procedió al modelamiento de nuevas piezas que cumplan con la elevación de la altura del vehículo y el reforzamiento del sistema de suspensión. El primer elemento con el cual inicia la modificación fue el alargamiento de la tercera mesa de suspensión, la cual debe respetar medidas indispensables para el montaje de la pieza en el vehículo. A continuación, se puede evidenciar la pieza modificada y ciertas medidas indispensables, para entender de mejor manera las medidas que han sido cambiadas.

Este nuevo modelo es diseñado para unir la masa suspendida con la masa no suspendida del vehículo brindando una sujeción lo suficientemente resistente a tensión, compresión y torsión sin ser un perjuicio para los elementos de carrocería del vehículo. Esta pieza es pensada en ser un elemento de fácil instalación.

Una vez encontrado el diseño más eficiente se incrementa un elemento auxiliar, en el cual se coloca un resorte para los frenos. Este soporte está instalado en la parte inferior izquierda para ser similar al soporte de la mesa original. Cumpliendo con un funcionamiento eficiente.



**Figura 2.5** Dimensiones de la tercera mesa modificada

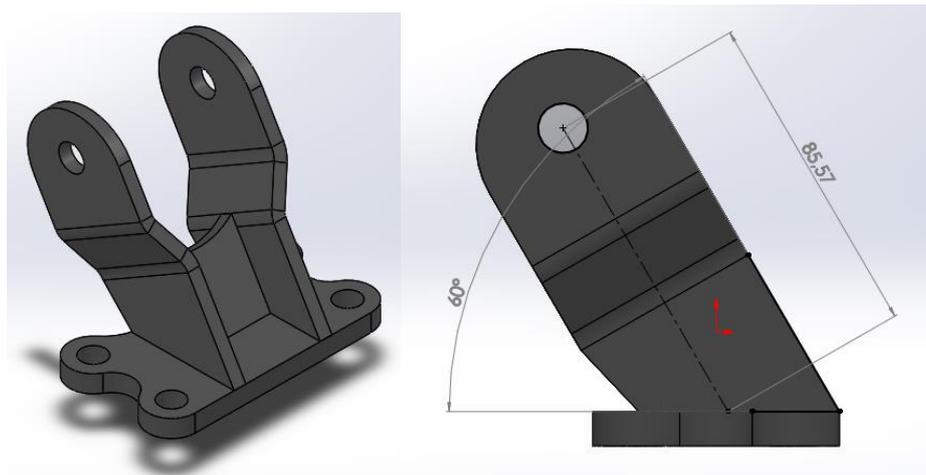
En la figura 2.5 se evidencian ciertas cotas. La cota A3 se reduce en 16mm debido a que se instalara Silentblock de mayor tamaño que el original. La cota H2 de incrementa en 23,15mm de la distancia entre centros para compensar el incremento de la altura del vehículo.

Esta mesa de suspensión está ubicada en la misma posición del sistema original y está anclada a los soportes de la carrocería por el contacto de los bocines junto a sus respectivos Silentblock que mejora las prestaciones de la suspensión al absorber mínimas vibraciones. La unión a los soportes originales permite la articulación de la mesa de suspensión en un solo sentido, limitando el movimiento a un único grado de libertad. Esto evita movimiento de tipo rotula indeseados.

### **2.8.1 CUERPO AXIAL DE LA MESA DE SUSPENSIÓN**

Con la tercera mesa ya diseñada se procede a la fabricación de un cuerpo que reemplace la función del axial. El diseño busca cumplir el ángulo de desfase de la mesa original para facilitar los procesos de manufactura de todo el sistema. Este elemento debe acoplarse al diferencial con los puntos de conexión original y para esto se usa las medidas antes tomadas del modelo original.

Para compensar el desfase que existe entre la mesa de suspensión y el diferencial del vehículo es necesario diseñar un cuerpo axial o rótula que puede verse en la figura 2.6.



**Figura 2.6** Desfase y distancia del cuerpo axial

Este cuerpo axial, de la figura 2.6 tiene un ángulo de desfase entre la conexión de la mesa y el diferencial de  $60^\circ$  y una distancia de 85,57mm para compensar las modificaciones de la mesa de suspensión.

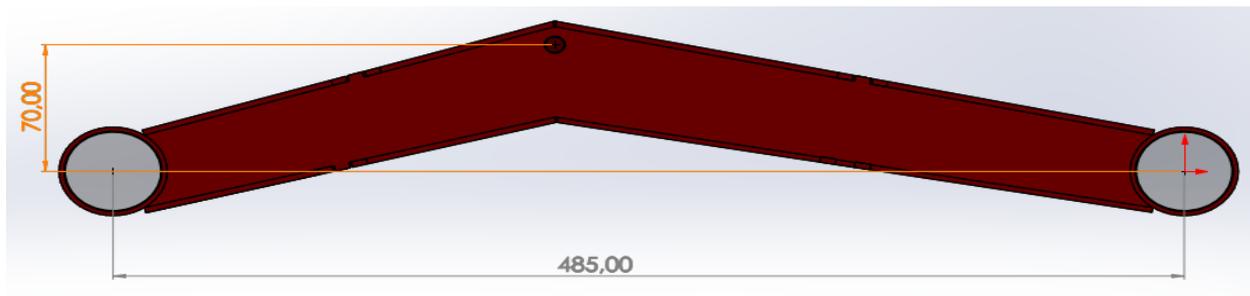
## **2.9 DIMENSIONAMIENTO DEL BRAZO DE SUSPENSIÓN MODIFICADO**

El brazo de suspensión ayuda en la limitación de movimiento del cuerpo del diferencial y brinda apoyo en el soporte en cuanto a rigidez del sistema. Sirve como elemento de regresión para mantener las ruedas pegadas a la superficie del suelo. Esta debe sufrir un alargamiento por la separación producida entre la masa suspendida y el eje del diferencial. Es un efecto secundario de la elevación de la altura del vehículo y este debe ser contrarrestado. De no realizar este proceso la pieza original sufriría esfuerzos de tensión más elevados, así como otros componentes.

El diseño del brazo de suspensión es pensado para sujetar la manguera del freno sin agregarle tensión al elemento, ya que el sistema de frenado es un sistema de seguridad activa y no se debe comprometer su funcionamiento.

La distancia de centro a centro entre los puntos de sujeción se incrementa en 16,15mm y 70mm de altura con el soporte para la manguera del sistema de frenos.

Se descarta un diseño tubular por la dificultad de doblar un tubo de acero estructural hasta el ángulo correcto, ya que para obtener este ángulo preciso se requiere de una maquinaria especializada. Realizar este proceso a mano requiere de un trabajo muy esforzado y por tal motivo se ha optado por este diseño de la figura 2.7.



**Figura 2.7** Dimensiones del brazo de suspensión modificado

En la figura 2.7 se evidencia el diseño final para el brazo de suspensión, el cual está diseñado para manufacturarse como chapa metálica.

## **2.10 DIMENSIONAMIENTO DEL SOPORTE PARA AMORTIGUADOR**

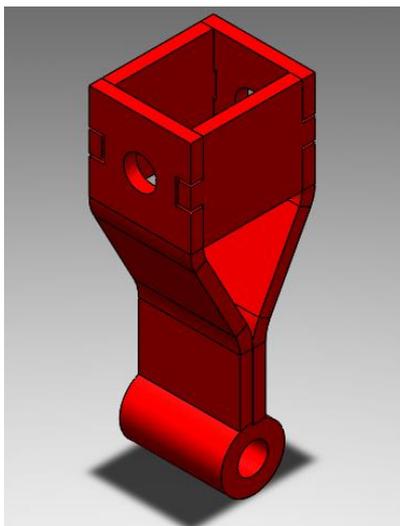
El sistema de suspensión modificado puede llegar a tener un costo monetario elevado para cierto mercado objetivo, para lo cual se diseña un soporte para evitar el cambio de los amortiguadores, este elemento debe evitar que aparezcan nuevos grados de libertad y debe diseñarse para que trabaje como una pieza de extensión y no como una nueva articulación ya que esto afecta la alineación de las ruedas, así como el nivel con respecto al suelo del bastidor.

La distancia de recorrido del amortiguador permanece constante por el uso de este elemento, pero la distancia de separación entre el soporte superior e inferior en el cual es instalado el amortiguador va a cambiar, para que el neumático pueda desplazarse en su totalidad y garantizar el seguimiento correcto al perfil de carretera.

Este diseño busca ser sencillo pero funcional, incluso ayuda a reducir el tiempo de manufactura del elemento.

El uso del mismo garantiza que el recorrido del amortiguador no sea reducido al momento de la modificación en el sistema de suspensión, esto ayuda a mantener un buen confort para los ocupantes y un correcto funcionamiento del nuevo sistema de suspensión.

El diseño final del elemento está considerado para ser de fácil instalación, y que pueda ser ensamblado sin la necesidad de realizar perforaciones o cortes en la estructura original del vehículo, permitiendo desinstalar esta modificación en caso de ser requerido por el usuario del vehículo.



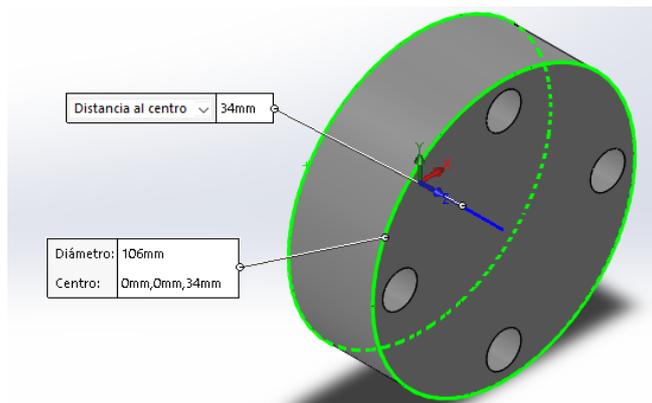
**Figura 2.8** Soporte para amortiguador

En la figura 2.8 se ilustra el diseño final que se obtiene para el aumento del amortiguador y evitando que el grado de libertad en las bases del amortiguador pueda aumentar. Esto evita que se formen articulaciones no deseadas e impida el correcto funcionamiento del sistema de suspensión. Está diseñado para manufacturarse en chapa metálica con un espesor de 5mm para que soporte ciertas cargas y garantizar la durabilidad del componente.

## **2.11 DISEÑO DE UN SEPARADOR DE ESPACIO PARA LA FLECHA CARDÁN**

Al instalar el nuevo sistema de suspensión, se modifica la distancia entre la salida de la caja de cambios y el diferencial, esta distancia está constituida originalmente por la flecha cardán. Reemplazar este último elemento completamente sería muy costoso y, en ocasiones, difícil de encontrar en el mercado. Al aumentar la altura del chasis con respecto al suelo la flecha cardán sufre de ciertos esfuerzos para el cual no fue diseñado. La flecha cardán sufre de nuevas fuerzas de tensión, compresión y para evitar un fallo estructural o agrietamientos del elemento se fabrica una pieza metálica que soporte estos nuevos esfuerzos.

Este elemento es necesario para liberar el esfuerzo en tensión que puede ser generado por las modificaciones realizadas en el sistema de suspensión posterior del vehículo, este elemento es utilizado como un elemento de conexión y soporte estructural entre la flecha cardán y el diferencial posterior del automotor.



**Figura 2.9** Dimensiones del espaciador para flecha cardán

Tiene un espesor de 34mm y puede evidenciarse en la figura 2.9 que muestra el diseño del espaciador.

## 2.12 DIMENSIONAMIENTO DEL MUELLE ALARGADO

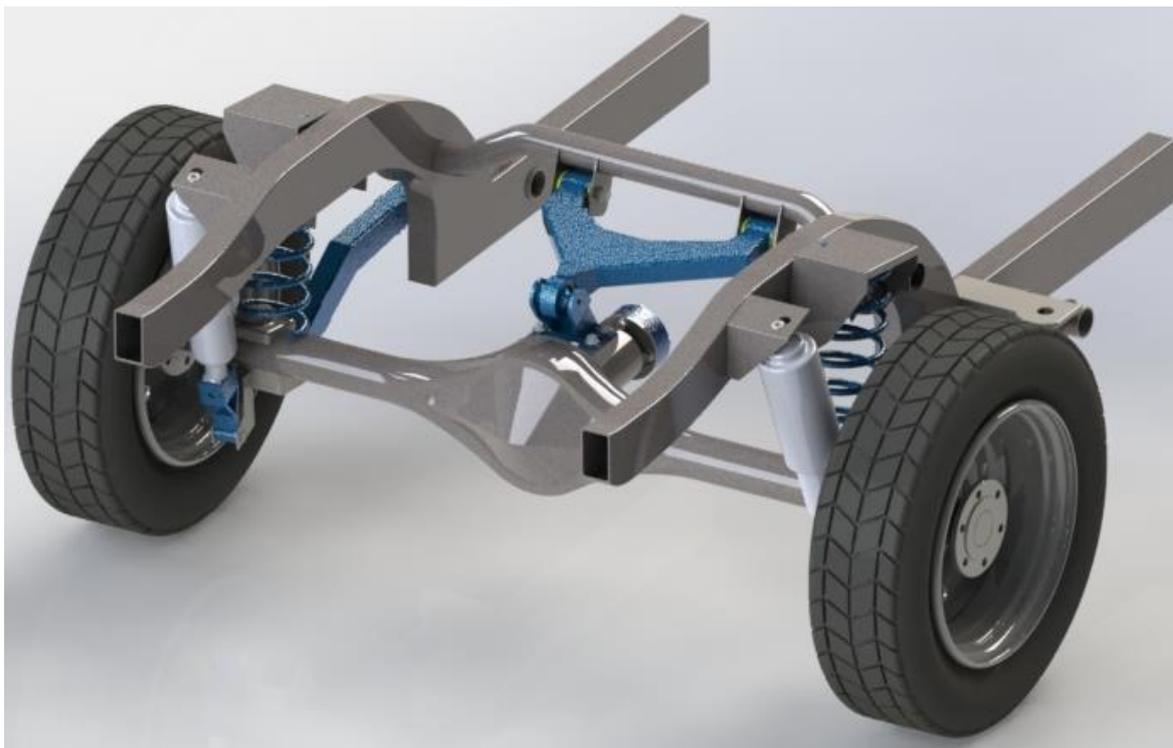
En trabajos artesanales se coloca un cuerpo de goma entre el contacto superior del muelle y su soporte, esto ocasiona que el muelle no se alinee de manera correcta, llevando a un funcionamiento incorrecto, incluso puede llegar a formarse fisuras en la carrocería del vehículo. El muelle es comprado con las nuevas dimensiones para evitar problemas a futuro, este tiene un hilo más grueso y una mayor separación entre vueltas del muelle, alargando así su longitud final.

## 2.13 ENSAMBLE DE MODELOS CAD

Para una breve visualización de los modelos diseñados se realizó un ensamble con los demás elementos portantes del sistema de suspensión. Los componentes de color rojo son los cuales han sido modificados.

En la figura 2.10 se puede evidenciar todos los componentes modificados en un ensamble CAD para verificar el correcto diseño de los elementos, respetando las cotas necesarias y obtener una vista previa del sistema de suspensión nuevo. Los componentes de color rojo son aquellos que han sido modificados, tomando en cuenta un proceso iterativo y ordenado.

Es necesario realizar una representación en un modelo 3D del chasis original del vehículo para verificar que todas las medidas y dimensiones usadas en el diseño sean las correctas y no tener problemas al momento de ensamblar el sistema de suspensión en el vehículo.



**Figura 2.10** Ensamble elementos modificados

## 2.14 SIMULACIÓN ESTRUCTURAL Y DINÁMICA

La simulación estructural permite evaluar el correcto funcionamiento de cada componente bajo cierta carga que puede presentarse durante la vida útil del sistema de suspensión, con esta simulación se obtiene el factor de seguridad el cual es un indicador adimensional para garantizar la resistencia de los elementos a los esfuerzos de carga, torsión, tensión o compresión.

La simulación dinámica evidencia el comportamiento en carretera de los elementos del sistema de suspensión. Con estos datos se puede evaluar el comportamiento esperado que se puede obtener con el sistema de suspensión nuevo y la cantidad que puede mejorar el agarre de los neumáticos con respecto a la calzada.

### 2.14.1 CENTRO DE GRAVEDAD

El centro de gravedad es uno de los parámetros importantes para realizar las simulaciones. Es importante determinar la rigidez del resorte para ello se aplica la ecuación 1.1.

$$K = \frac{G*d^4}{8*N*D^3} \quad [1.1]$$

Los parámetros del resorte se determinan dependiendo del material de construcción del

resorte, en la Tabla 1.1 se identifica los materiales de fabricación de muelles helicoidales, por lo general estos tipos de resortes son fabricados acero con alto contenido de carbono, ASTM A228.

Conociendo el material de construcción del muelle helicoidal se puede realizar el cálculo de la constante de rigidez de la suspensión.

En este sistema de medida americano el valor de del módulo elástico es:

$$G = 11,5 \times 10^6 \text{ Psi}$$

llevándolo al sistema internacional de medida se tiene que:

$$G = 79,29 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Entonces con los datos resultantes a través de las mediciones realizadas en el muelle se obtiene los siguientes resultados:

$$d_{original} = 10\text{mm} \rightarrow 0,010\text{m}$$

$$d_{modificado} = 13\text{mm} \rightarrow 0,013\text{m}$$

$$D_{original} = 100\text{mm} \rightarrow 0,100\text{m}$$

$$D_{modificado} = 100\text{mm} \rightarrow 0,100\text{m}$$

$$N_{original} = 9 \text{ espiras activas}$$

$$N_{modificado} = 9 \text{ espiras activas}$$

Aplicando la fórmula de la constante se tiene que la rigidez del sistema es de:

$$K_{original} = \frac{79,29 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0,010^4 \text{ m}}{8 * 9 * 0,100^3 \text{ m}} \quad K_{modificado} = \frac{79,29 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0,013^4 \text{ m}}{8 * 9 * 0,100^3 \text{ m}} \quad [1.1]$$

$$K_{original} = 1,10 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$K_{modificado} = 3,15 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Con la constante de rigidez se puede determinar el centro de gravedad, dicho valor es utilizado como un valor de entrada para ejecutar la simulación en el software. Los datos brindados por la ficha técnica del vehículo dan los siguientes datos:

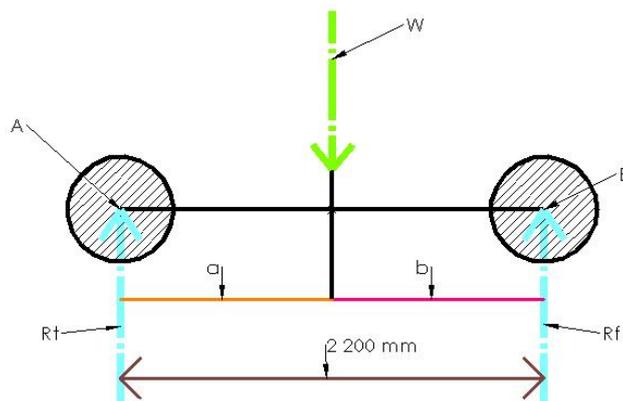
$$\text{Batalla (distancia entre ejes)} \rightarrow L = 2,20 \text{ m}$$

$$\text{Masa del vehículo} = 1045 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso del vehículo} \rightarrow W &= \text{Masa del vehículo} * \text{Gravedad} = 1045 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ &= 10251,45 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Distribución de peso} = 55 \text{ delantera} / 45 \text{ posterior}$$

Con estos datos se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre el vehículo.



**Figura 2.11** Diagrama de cuerpo libre del vehículo

Con el diagrama de cuerpo libre de la figura 2.11 se continua a calcular cada una de las variables con una ejecución de sumatoria de fuerzas en el eje Y

$$\sum F_y = 0$$

$$R_t + R_f = W \quad [2.1]$$

$$R_f = W * 0,45 = 4\,613,153\,N$$

$$R_t = W - R_f = 5\,638,298\,N$$

Donde:

$R_f$  = Reacción en el neumático posterior

$R_t$  = Reacción en el neumático delantero

Sumatoria de momentos respecto al punto A:

$$\sum MA = 0$$

$$W * a - R_f * L = 0 \quad [2.2]$$

Despejando el valor de a:

$$a = \frac{R_f * L}{W} = \frac{4\,613,153\,N * 2,2\,m}{10\,251,45\,N} = 0,99\,m \quad [2.3]$$

Por tanto, el valor de b es:

$$b = 2,2\,m - 0,99\,m = 1,21\,m$$

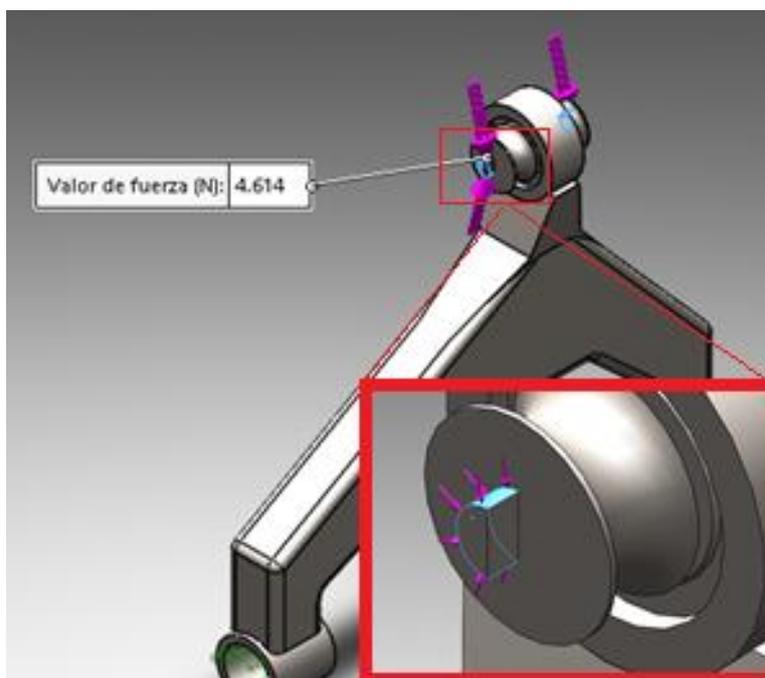
### 2.14.2 ANALISIS ESTÁTICO DE LA MESA DE SUSPENSIÓN

Un componente que se encuentra sometido a cargas extremas es la mesa de suspensión, en esta se soporta principalmente el peso de un medio del bastidor del vehículo, así como el chasis y la estructura del mismo. Esto se debe a que el componente une la masa suspendida con la masa no suspendida directamente en el diferencial del vehículo. Gran parte de este

peso es soportado por el amortiguador y el muelle, pero de la misma manera estos elementos ya están diseñados para soportar una carga o peso muerto y por eso es importante analizar la resistencia estructural de la mesa de suspensión posterior.

La distribución de pesos del vehículo se encuentra el 45% del peso para la parte posterior dando un peso de 470,25 kg de peso muerto que debería soportar la mesa posterior si todo el peso fuera soportado solo por esta.

Con estos valores se puede establecer la porción de masa total del vehículo que no está soportada por elementos elásticos de la suspensión. Este tipo de masa es la que recibe todas las perturbaciones directas desde el asfalto, y deben disipar la energía una fuerza para el análisis estático de 4614 N como se evidencia en la figura 2.12

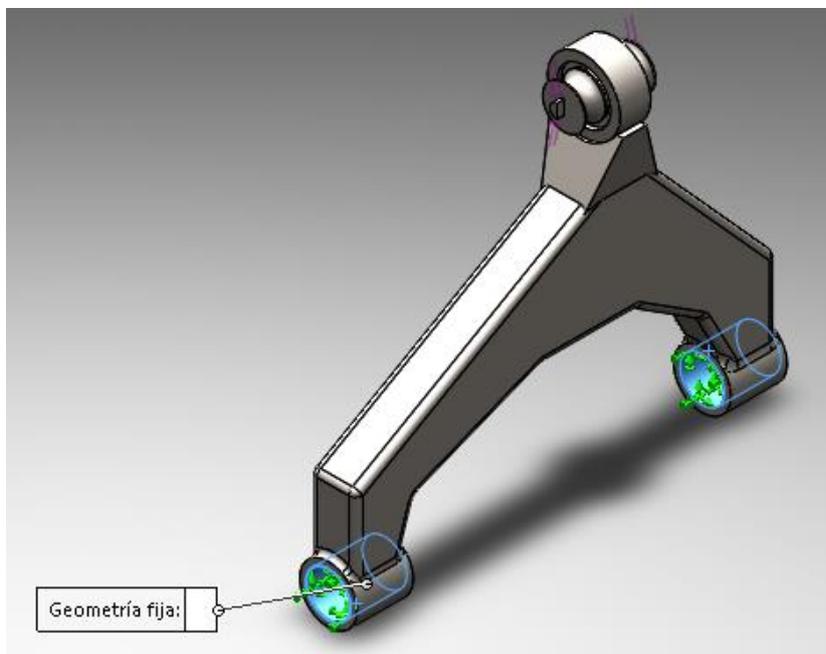


**Figura 2.12** Fuerza de 4614 N aplicada a la mesa de suspensión

La parte superior de la mesa, donde se instala la rótula, se lo toma como el punto de movimiento en dónde se aplica la fuerza para el análisis. La fuerza se aplica a lo largo de una superficie circular. Esto permite que la fuerza sea aplicada en varias direcciones. La mesa de suspensión al ser un elemento móvil comúnmente no trabaja con esfuerzos normales a un solo eje de referencia.

En la parte inferior de la mesa de suspensión, el eje dónde se ubica los Silentblock y bujes es sujetado hacia el bastidor del vehículo por lo tanto este cuerpo se lo toma como una

geometría fija, es decir un punto anclado. Este punto de anclaje es necesario en la simulación ya que permite ejercer esfuerzos en el elemento a ser simulado. Permite generar un momento con la ayuda de la fuerza ejercida y el punto de geometría fija. En la figura 2.13 se representa la geometría fija de la mesa de suspensión.



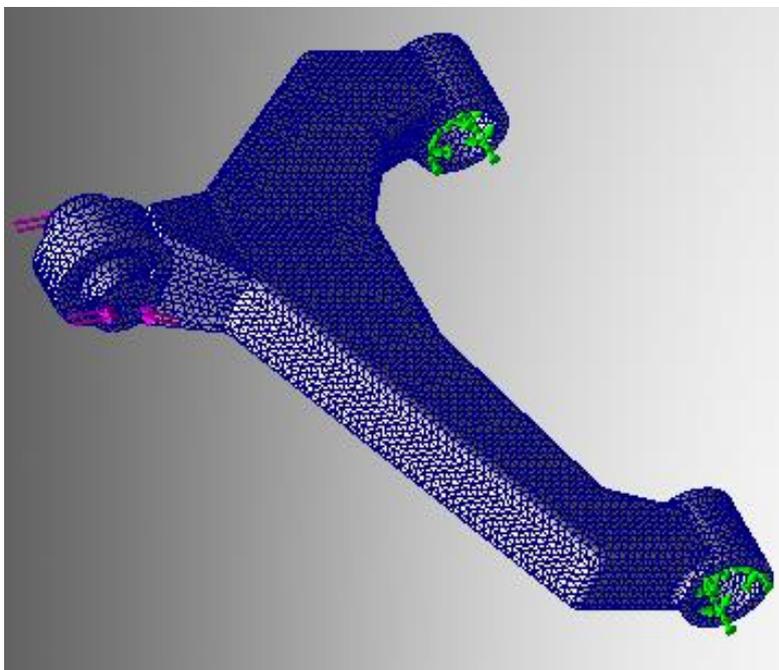
**Figura 2.13** Geometría fija aplicada a la mesa de suspensión

Con la fuerza y geometría fija ya establecidas se procede a realizar un mallado del elemento, esto es necesario para realizar la simulación de esfuerzos estáticos por método de elementos finitos. Este mallado ayuda a calcular esfuerzos en el material seccionando en áreas más pequeñas, reduciendo el gasto computacional de la simulación. Para el presente estudio se realiza un mallado fino, debido a que algunas zonas pueden generar conflicto con un mallado normal debido a su geometría y curvaturas.

En la mesa de suspensión se encuentra un acople ensamblado que sirve de punto de apoyo en el sistema de freno. Este elemento puede ser despreciado en el análisis estructural, por motivo de que el mismo no es fundamental en el soporte de cargas y solo es un elemento de acople para otro sistema. La fuerza del estudio no es transmitida a ese elemento por tal manera este componente ha sido eliminado en el diseño.

Al realizar el mallado se debe realizar una inspección visual en zonas de curvaturas para evidenciar algún fallo en el mallado. Esto puede determinarse al ver cuadros del mallado con una forma poco natural y no homogénea con el resto del mallado. Para solucionar este

inconveniente puede cambiarse el tamaño del mallado a uno más fino, sin sobrepasar ciertas dimensiones ya que esto podría ocasionar problemas en el cálculo de resultados de la simulación FEM o desarrollar un mayor gasto computacional para la solución del estudio del análisis estructural.



**Figura 2.14** Mallado del cuerpo estructural

El mallado del elemento se representa en la figura 2.14 con característica de mallado fino. Con los valores ya establecidos de puntos de anclaje y fuerza de acción, se procede a realizar la simulación con mallado específico y se analiza los resultados del análisis estructural en el cual se analiza Von Mises, esta indica la resistencia que presenta el elemento estructural antes de sobrepasar el límite elástico, como primer resultado para establecer el esfuerzo máximo que se soporta en la estructura.

### **2.14.3 COMPARACIÓN DE ANALISIS DINÁMICO DE LA SUSPENSIÓN ORIGINAL Y MODIFICADA**

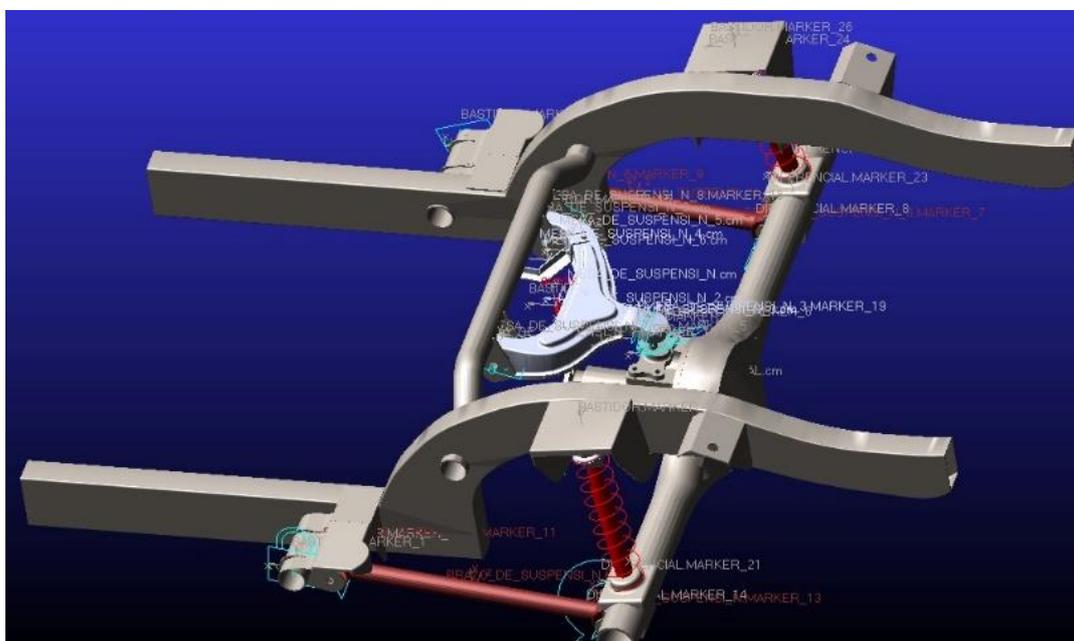
Para llevar a cabo este análisis se utiliza el software Adams, donde se ejecuta la simulación dinámica para la evaluación del comportamiento del sistema de suspensión cuando se encuentra sometida a ciertas cargas.

Este análisis permite comparar la reacción en carretera del vehículo con el sistema de suspensión ensamblado, nos ayuda a tener un pronóstico de las prestaciones que pueden obtenerse con el nuevo diseño.

Se realiza una comparativa entre la dinámica del sistema de suspensión original y modificado, para tener un punto de referencia entre los valores obtenidos por la simulación,

Basado en el diseño modificado del sistema de suspensión realizado en SolidWorks, se logra adoptar una plantilla o ensamble en el software para simulación dinámica, donde se verifica la localización de puntos críticos que tiene el sistema de suspensión.

En la plantilla del software se coloca las conexiones fijas como puntos de sujeción y las conexiones móviles, de esta forma puede generarse un movimiento similar al producido por el vehículo cuando se encuentra en carretera. Debe analizarse previamente los puntos en los cuales se colocarán las conexiones móviles, y bajo cierta hipótesis los puntos de sujeción son los cuales se encuentran conectados con el bastidor y los puntos móviles son solidarios al diferencial y sus componentes aledaños. Para el análisis dinámico se coloca al muelle directo en el programa Adams, para tal proceso se necesita conocer la constante de rigidez del resorte que ha sido calculado con anterioridad, para el modelo original se obtiene un valor de  $1,10 \times 10^4 \frac{N}{m}$ . en la figura 2.15 se logra determinar el ensamble de la suspensión original.

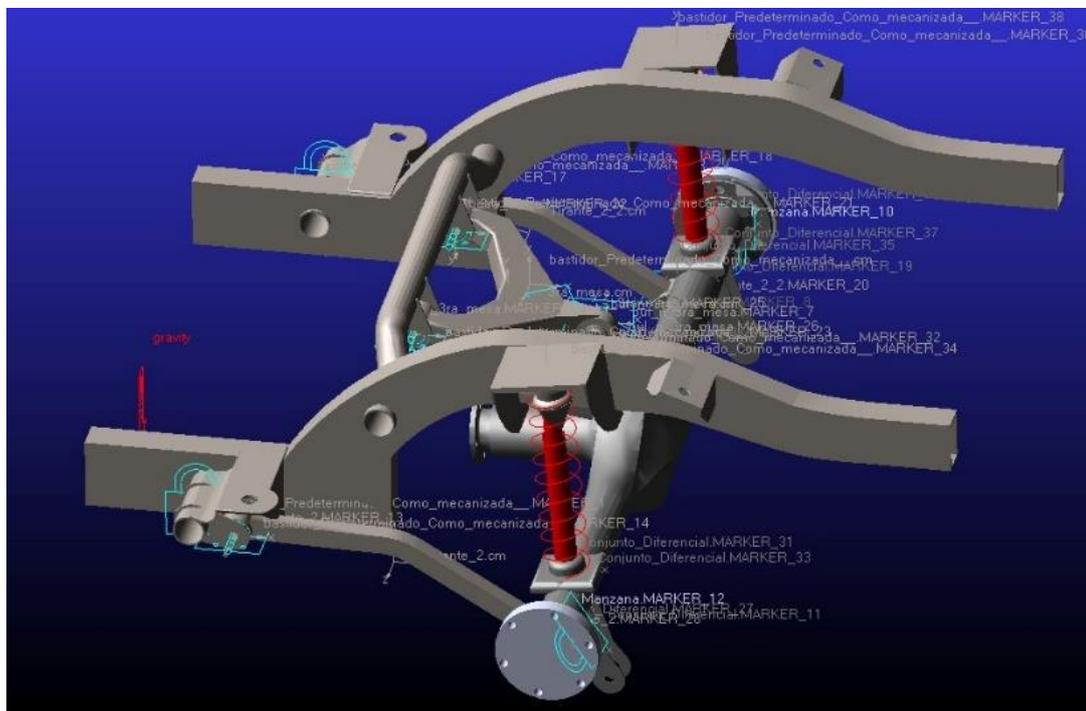


**Figura 2.15** Ensamble de suspensión original para simulación dinámica

La mesa y brazos de suspensión son elementos estructurales, los cuales no afectan en gran medida al comportamiento dinámico del sistema, son importante como puntos de sujeción. El muelle y amortiguador son los cuales determinan la reacción del neumático cuando sobrepasa ciertos obstáculos y de tal manera se debe analizar su comportamiento para determinar la dinámica de la suspensión.

La constante de rigidez calculada para la simulación en el sistema de suspensión diseñado tiene un valor de  $3,15 \times 10^4 \frac{N}{m}$  que representa aproximadamente el triple del valor original, con este valor se forma la hipótesis de que el nuevo muelle diseñado es mucho más rígido que el muelle original del vehículo. Para un correcto análisis y comprobación de la hipótesis son necesarias las gráficas de la simulación dinámica.

En la figura 2.16 se muestra el ensamble del sistema de suspensión diseñado con los puntos de conexiones móviles ubicados de forma que permite el estudio dinámico del muelle.



**Figura 2.16** Ensamble de suspensión modificada para simulación dinámica

## 2.15 SELECCIÓN DE MATERIALES

Con los nuevos diseños ya establecidos es necesario especificar el material en el cual son construidos, dependiendo de las especificaciones como espesor y resistencias que deben ser

necesariamente cumplidas para la correcta funcionalidad de los elementos y el mecanismo general que sería el sistema de suspensión.

Cada pieza tiene un valor específico según las dimensiones de la materia prima que es transformado en modelos manufacturados con la asistencia de una cortadora CNC de plasma que ayuda en los procesos de corte para obtener un acabado del producto más rápido y preciso y continuar con el doblado de las piezas y la soldadura.

### 2.15.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL EN PLANCHAS METÁLICAS

Cómo se evidenció en el capítulo uno, la plancha de acero laminada en caliente puede ser usada de manera estructural debido a sus capacidades físicas y es la más usada en la industria automotriz y mecánica.

La plancha laminada en frío tiene aplicaciones más estéticas debido a su ligereza y facilidad de manipulación. En la tabla 2.1 se detalla una comparación entre un material laminado en caliente y laminado en frío para identificar de manera fácil sus propiedades físicas y estructurales

**Tabla 2.1** Comparación entre plancha metálica laminada en caliente y frío

Propiedades mecánicas		
	Laminado en Caliente	Laminado en Frío
Resistencia a la tracción (MPa)	492	586
Límite elástico (MPa)	310	483

**Fuente:** Ferros Planes, 2018.

Una vez realizada la evaluación de las láminas, se selecciona el modelo más conveniente y sería la plancha laminada en caliente, se busca modelos que son encontrados en el mercado nacional tomando en consideración medidas como largo, ancho, espesor y peso de la lámina. Según información recopilada el espesor de estas planchas puede ir desde los 1.5mm hasta 12mm y según los modelos diseñados se necesita planchas de 3mm, 5mm, 6mm y 9mm.

Los productos que se asemejan en gran medida a estas características y que se encuentran presentes en el mercado ecuatoriano son las láminas ASTM A570, la cual tiene un proceso de laminado en frío, y ASTM A36, que se obtiene por laminado en caliente, las cuales a continuación se realiza una comparativa y se determina cuál de las dos opciones permite un

acabado óptimo en el proceso de manufactura, así mismo establecer el material que permita obtener una mayor rentabilidad económica.

En la tabla 2.2 se muestra la comparativa entre dos productos laminados en frío y caliente, esto permite obtener una acertada decisión para la selección de materiales usados en el proceso de manufactura que garantiza una larga duración y tolerancia al trabajo para el cual está diseñado

**Tabla 2.2** Comparativa de propiedades mecánicas entre ASTM A36 Y ASTM A570

Propiedades Mecánicas		
	ASTM A36	ASTM A570
Límite elástico mínimo (MPa)	250	345
Alargamiento a la rotura (%)	22	22
Resistencia al corte (MPa)	300	320

**Fuente:** MakeltFrom, 2016

En la tabla 2.3 se define comportamientos y características térmicas, los cuales indican características de soldadura y expansión térmica.

**Tabla 2.3** Comparativa de propiedades térmicas entre ASTM A36 Y ASTM A570

Propiedades Térmicas		
	ASTM A36	ASTM A570
Calor latente de fusión (J/g)	250	250
Terminación de Fusión (°C)	1460	1460
Inicio de fusión (°C)	1420	1420

**Fuente:** MakeltFrom, 2016

Al realizar una comparativa entre ambos modelos se observa que el modelo ASTM A570 brinda mayores prestaciones en cuanto a características mecánicas, pero al ser un material altamente resistente presenta problemas cuando se realizan los dobleces en las piezas para su posterior proceso de soldadura y esto aumenta el tiempo de fabricación. Por otro lado, la lámina ASTM A36 es más accesible en el mercado, tiene un costo mucho menor y su manejo en la máquina dobladora es más sencillo, así como su proceso de soldadura, este material ofrece una mayor calidad en los ya que el material presenta características de soldabilidad muy buenas.

Por estas razones el acero ASTM A36 es el seleccionado para la manufactura de las piezas, así obtener procesos más eficientes que representan rentabilidad y confiabilidad al producto final.

### 2.15.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL EN TUBOS METÁLICOS

Este material también es escogido con sus características y composición de laminado en caliente para dar compatibilidad hacia los demás materiales, así brindar mayor resistencia a la estructura final. Este producto se encuentra presente en el mercado con el modelo ASTM A36 y AISI 1045.

En la tabla 2.4 se evalúan los dos modelos realizando una comparativa entre sus características físicas térmicas y estructurales.

**Tabla 2.4** Características del tubo de Acero laminado en caliente

Tubo de Acero laminado en caliente		
	ASTM A36	AISI 1045
Longitud (m)	6,10	
Terminación de Fusión (°C)	1 460	1 460
Inicio de fusión (°C)	1 420	1 420
Límite de resistencia (MPa)	320	

**Fuente:** MakeltFrom, 2016

Se selecciona el material ASTM A36 para tener facilidad de soldadura al momento de unir todas las piezas que conforman el sistema de suspensión.

### 2.15.3 SELECCIÓN DE MATERIAL EN SILENTBLOCK

Este material viene fabricado en goma o nylon y sirve como un elemento asistente en puntos de unión de varias piezas móviles, como la mesa y brazos de suspensión, con elementos fijos como el bastidor. Este material permite la absorción de pequeñas vibraciones presentes en el vehículo y que no pueden ser corregidas con el muelle, es necesario usar pasadores para instalar tuercas de sujeción en los puntos articulados.

Este elemento viene fabricado en diferentes dimensiones para la instalación en varias configuraciones de sistemas de suspensión vehicular.

El modelo que se ha seleccionado para la fabricación de piezas es el FR-9658, presente en la figura 2.17, seleccionado por sus dimensiones físicas las cuales han sido consideradas en el diseño para un correcto ensamblaje del sistema completo en el vehículo.



**Figura 2.17** Silentblock Seleccionado modelo FR – 9658

## **2.16 PROCESO DE MANUFACTURA**

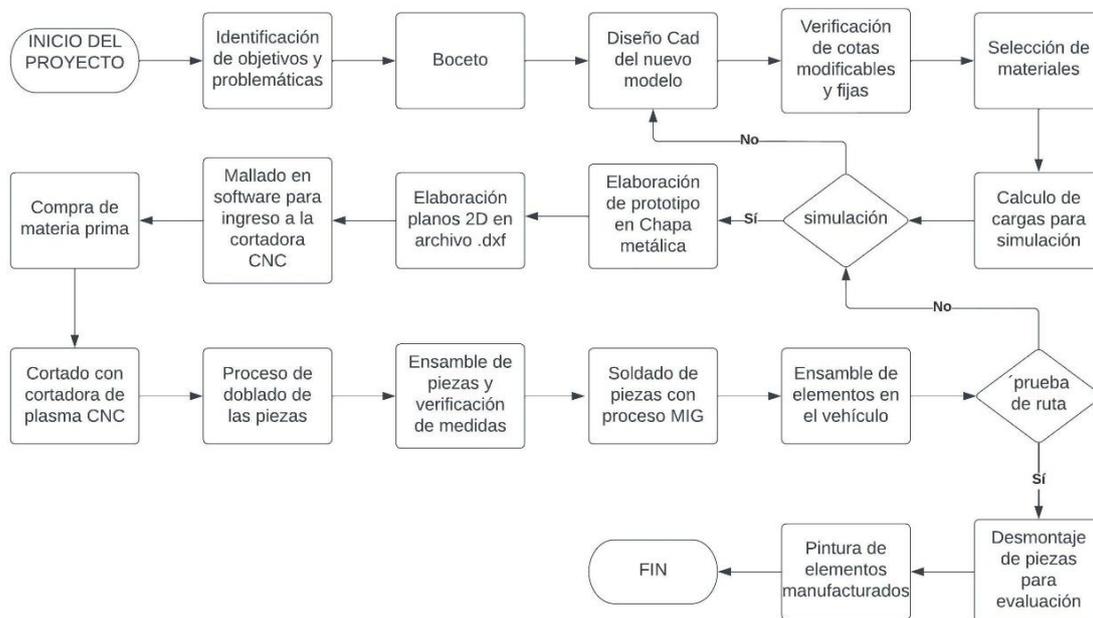
A continuación, se detalla el proceso de manufactura de los componentes del sistema de suspensión posterior. Un proceso de manufactura debe ser detallado para poder replicarlo en un proceso de producción en masa. En este apartado se detalla documentos en formato .dxf necesarios para realizar el corte en CNC, planos para el doblado de las piezas y ensamblaje de las mismas y hojas de procesos.

Se detalla brevemente los procesos de construcción de la suspensión, entre esos procesos se tiene, medición, diseño, exportar a formato .dxf, corte con CNC de plasma, uso de amoladora, proceso de soldadura, evaluación en campo ensamblado en el vehículo de pruebas, realizar una evaluación visual y finalizando con el proceso de pintura.

Es necesario cumplir los pasos del proceso de diseño y manufactura siguiendo un orden lógico para poder obtener al final un producto con alta fiabilidad en su uso, reducir los tiempos de producción y garantizar un buen control de calidad.

En el siguiente flujograma de la figura 2.18 se presenta una simplificación del proceso de diseño y posteriores pasos para llevar a cabo la manufactura del nuevo sistema de suspensión

con todas sus piezas. Se puede notar que cada proceso importante de evaluación tiene cierto nivel de retroalimentación para poder solucionar problemas que se evidenciarían por cualquier motivo, como diseño, simulación, selección de materiales o aplicación de procesos.



**Figura 2.18** Flujograma de proceso de manufactura

### 2.16.1 IDENTIFICACIÓN DE OBJETIVOS Y PROBLEMÁTICAS

El proyecto es designado para realizar un re-diseño en el sistema de suspensión posterior de un vehículo para uso en todo terreno. Por tal motivo se modifica dimensiones de ciertos elementos mecánicos usando diseño por computadora, simulación por elementos finitos procesos de manufactura y evaluación de resultados.

Se hizo uso de bibliografía especializada para comprender conceptos necesarios en un proceso de diseño. El diseño de los nuevos elementos se realizó con software Solidworks el cual permite hacer un diseño asistido por computadora para facilitar la creación del boceto y prototipo de los elementos. Los cuales son la mesa y los brazos de suspensión, un acople para evitar el cambio de un amortiguador y un muelle con nuevas dimensiones.

Estos elementos diseñados en software CAD deben pasar por un proceso de simulación de cargas estáticas por el proceso de elementos finitos. Esto ayuda a establecer un factor de seguridad confiable y que evite el sobre dimensionamiento de las piezas.

Obtenido el modelo apropiado se elaboró planos para su posterior manufactura usando procesos como corte con plasma en maquinaria CNC, soldadura de proceso MIG y montaje de las piezas en el vehículo.

Con los nuevos componentes ensamblados en el vehículo se procede a realizar una prueba de ruta para verificar la confiabilidad de los elementos y su resistencia al trabajo efectuado de la misma manera se evalúa las nuevas prestaciones que ofrece el sistema de suspensión.

### 2.16.2 BOCETO

Cómo primer boceto se obtienen las medidas fijas, expresadas en la figura 2.19, las cuáles serían los puntos de anclaje entre la mesa de suspensión y el chasis, así como los puntos de anclaje y desfase con respecto al diferencial, estas medidas no son modificadas, pero existen medidas que si se realizó un modificación como la longitud de centro a centro de los brazos de suspensión, el recorrido del muelle y la distancia entre el centro del punto de anclaje de la mesa con respecto al centro de conexión con el cuerpo axial. Estas medidas son importantes para realizar el prototipo y así tener componentes que se acoplan a las dimensiones del vehículo sin afectar al alineamiento y generar sobrecargas en los demás elementos.

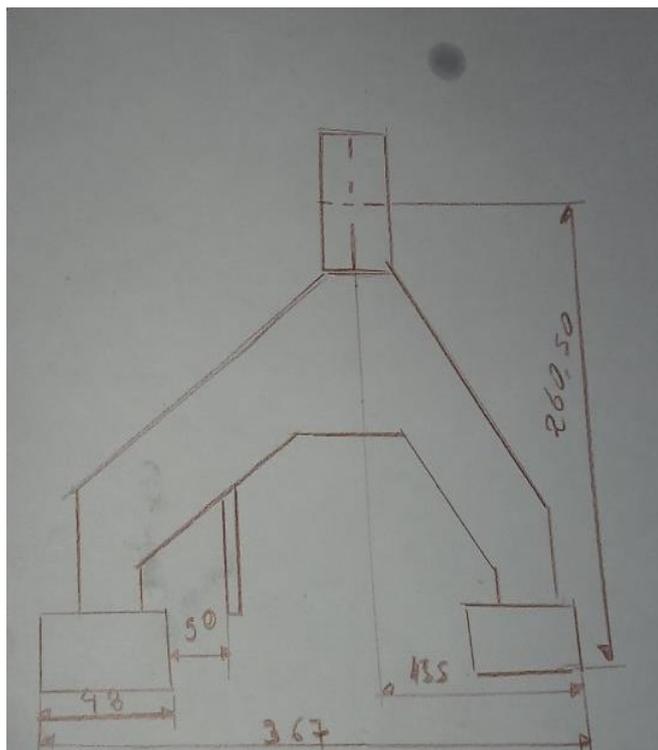


Figura 2.19 Bocetos con medidas para diseño de la nueva mesa de suspensión

### 2.16.3 DISEÑO CAD DEL NUEVO MODELO

Con las medidas obtenidas en el boceto se realiza el diseño CAD de los nuevos elementos, los cuales se indican en la figura 2.20. Estos elementos respetan las cotas fijas obtenidas en el boceto y las cotas modificadas han sido dimensionadas de una manera correcta para evitar el sobre dimensionamiento de elementos y obtener un factor de seguridad en las simulaciones que sea aceptable para el trabajo que va a realizar los componentes. El diseño CAD se realizó con el uso de SolidWorks. La mesa de suspensión se diseña con el objetivo de posteriormente poder ser fabricada con el proceso de chapa metálica.



**Figura 2.20** Nuevos diseños del sistema de suspensión

Los planos y dimensiones de los modelos son presentados en la hoja de procesos que se describen a continuación en este presente proyecto.

### 2.16.4 SELECCIÓN DE MATERIALES

Para la simulación por elementos finitos de cargas de estáticas se necesita asignarle un material a el elemento diseñado. Mediante revisión bibliográfica e investigación de materiales presentes en el mercado local se ha establecido al material laminado en caliente ASTM A36 como el material base para los elementos fabricados en Chapa metálica. Se elige el mismo material para los tubos estructurales.

### **2.16.5 CÁLCULO DE CARGAS PARA SIMULACIÓN**

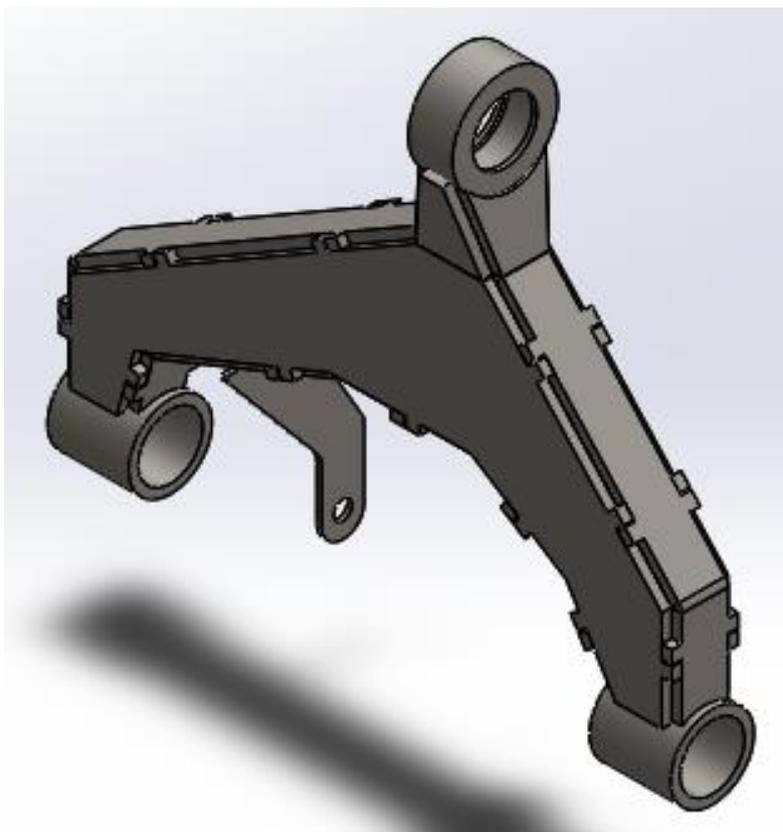
El cálculo de cargas para la simulación se lo realiza únicamente en el elemento designado como mesa de suspensión ya que este componente va a soportar más carga en comparación a los demás elementos. Este conecta la masa suspendida y no suspendida del vehículo en la parte posterior del sistema de suspensión. Es importante mencionar que esta fuerza determinada es de 4614 Newton para la simulación estática del elemento estructural, este valor es seleccionado por ser el valor más alto posible que sea soportado por el elemento al momento de colocar todo el peso posterior del vehículo sobre la mesa de suspensión como único soporte. En el momento en que se proceda al ensamble de los componentes del sistema de suspensión, esta fuerza no es la soportada por el elemento, debido a que parte del peso del vehículo se reparte entre los muelles y los amortiguadores, pero esta fuerza permite tener un punto de referencia para evitar el fallo del elemento. Los puntos fijos son los puntos de anclaje que conectan a la mesa de suspensión con el chasis del vehículo.

### **2.16.6 SIMULACIÓN**

Con la selección de materiales y el cálculo de cargas ya establecido se realiza la simulación de cargas y esfuerzos estáticos por medio de elementos finitos usando el mismo software de diseño. Este proceso permite establecer el esfuerzo máximo que está soportando el elemento y si es capaz de trabajar sin deformarse. De la simulación se obtiene el cálculo de Von-Mises, el cual indica el esfuerzo máximo que está soportando el elemento antes de tener una deformación plástica, es decir, que no pueda recuperar sus propiedades físicas, mecánicas y estructurales. Otro dato importante que se indica es la deformación máxima que tiene el elemento después de soportar las cargas que se le ha aplicado. El factor de seguridad es la característica más importante que se analiza de la simulación, esto ayuda a determinar que el componente va a ser capaz de realizar su trabajo sin tener fallos estructurales, es decir, sin sufrir agrietamientos o rotura. También permiten determinar que el elemento no se encuentre sobredimensionado, ya que esto representaría peso extra del sistema de suspensión, así como mayor uso de materiales, lo cual representan una pérdida económica en cuanto al aprovechamiento de estos. El factor de seguridad establecido debe ser aproximadamente de 1.2 para determinar el correcto funcionamiento del elemento. Si se cumple con esta condición se procede a la obtención de un modelo 2D y planos para pasar al proceso de manufactura y así obtener el sistema de suspensión manufacturado. Si no se cumple con esta condición, se debe regresar al diseño CAD y trabajar en las zonas de conflicto.

### 2.16.7 ELABORACIÓN DE PROTOTIPO EN CHAPA METÁLICA

Para la fabricación del elemento se procede a realizar un diseño CAD, pero esta vez usando el proceso de chapa metálica, esto permite obtener un modelo 2D extrapolado a 3D que ayuda con la verificación de las cotas necesarias para que el prototipo pueda cumplir con las dimensiones requeridas para el ensamble y montaje en el vehículo. Se tiene proceso de chapa metálica para poder facilitar el proceso de soldadura y así fabricar la pieza en el menor tiempo posible.



**Figura 2.21** Mesa de suspensión en chapa metálica

En la figura 2.21 se evidencia el modelo de la mesa de suspensión realizada en chapa metálica, se observa ciertas pestañas que fueron diseñadas para facilitar el proceso de soldadura y así poder armar el componente de manera rápida.

### 2.16.8 ELABORACIÓN DE PLANOS 2D EN ARCHIVO .DXF

Con el modelo obtenido en chapa metálica se procede a obtener los planos de fabricación de los elementos, estos sirven para obtener las medidas necesarias en el proceso de doblado de la chapa metálica y la soldadura de los elementos antes de realizar los modelos en 2D

necesarios para realizar los cortes en CNC, se coloca cierta señal en los puntos de doblado de cada pieza cortada para facilitar el trabajo del técnico que debe ensamblar este conjunto y así evitar medir y señalar el lugar del doblado en todo momento, realizando un proceso de ensamblaje mucho más fácil y rápido.



**Figura 2.22** Planos 2D de los nuevos diseños

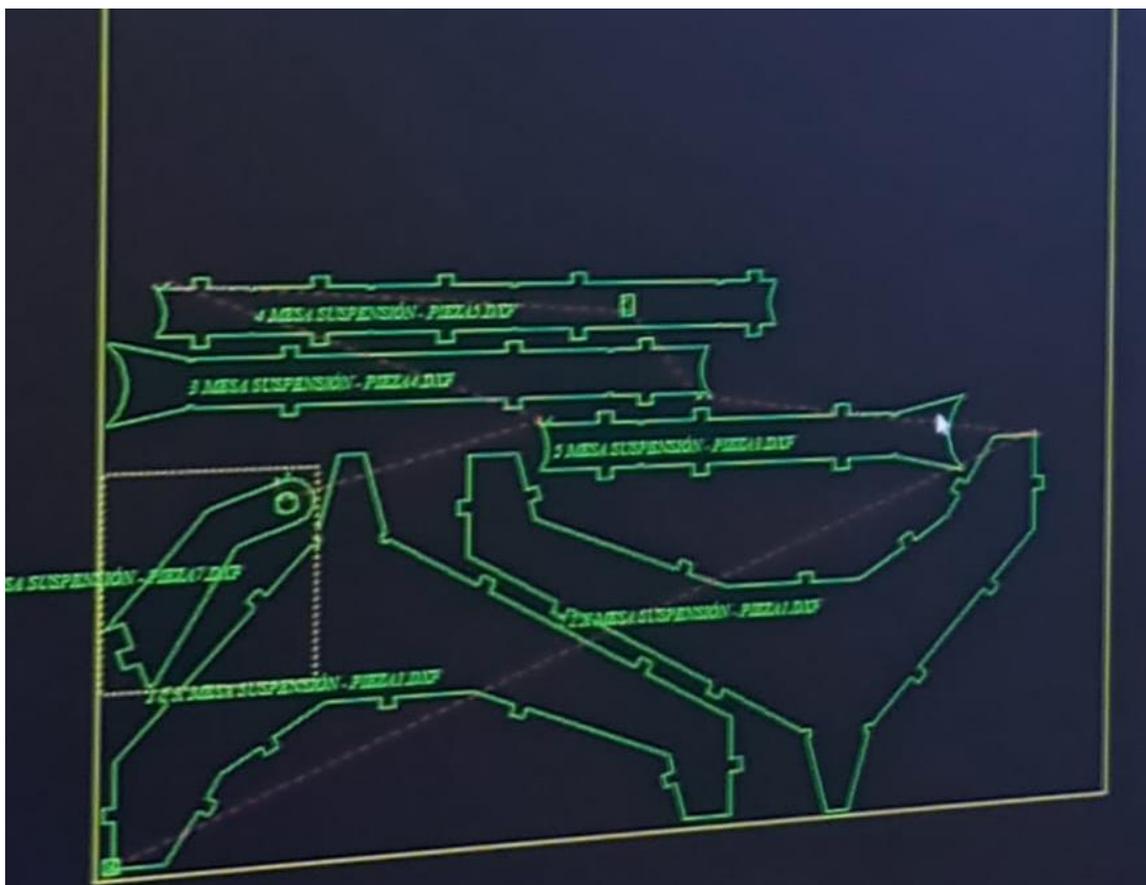
También es necesario obtener los archivos .dxf del diseño en chapa metálica para posteriormente poder ingresar los datos a un software que realiza la ubicación de elementos para hacer el corte de plasma en CNC. Es importante realizar el proceso de unir líneas en el archivo .dxf para que el corte en plasma sea continuo y de calidad. Los planos 2D se muestran en la figura 2.22.

### **2.16.9 PLANOS PARA CORTADORA CNC**

Para proceder al corte de plasma en CNC es importante tener planos con los elementos de chapa metálica en 2D, esto se realiza con la ayuda de un software especializado que genera un código de coordenadas para el corte CNC. En este proceso acomodan las piezas de la manera en qué se aprovecha mayormente el material, evitando la generación excesiva de residuos, esto ayuda a reducir costos de producción.

Al realizar una fabricación de elementos en masa puede realizarse el corte de cada elemento

en toda una plancha de acero laminado, para poder acomodar cada elemento de manera mucho más ordenada, reduciendo los espacios que quedan inutilizados. En algunos espacios puede colocarse ciertos elementos de menor tamaño para aprovechar el material, ya que si se corta piezas en una plancha completa es complicado volver a usarla para un nuevo corte. Esto a consideración del técnico encargado de realizar el croquis y corte en plasma CNC. En la figura 2.23 se puede evidenciar el croquis de la mesa de suspensión para realizar el corte en CNC, este mapa genera un código de coordenadas el cual ingresa en la máquina cortadora, esta sigue las medidas establecidas por el diseño de chapa metálica.



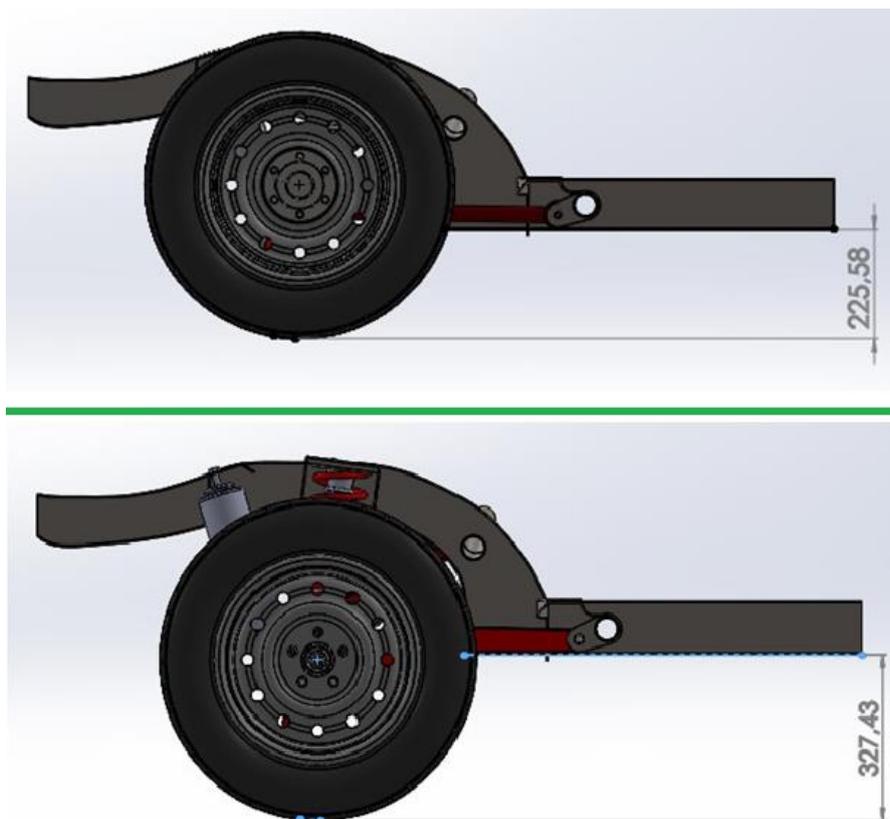
**Figura 2.23** Croquis para corte en plasma CNC

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 RESULTADOS DEL DISEÑO

En la figura de 3.1 se muestra la diferencia de alturas entre los distintos sistemas de suspensión, esta modificación evidencia una diferencia de 102mm de elevación de altura con el nuevo sistema de suspensión.



**Figura 3.1** Comparativa de alturas entre los sistemas de suspensión

Como resultado del diseño de suspensión se obtiene los planos necesarios para la fabricación de los elementos. Estos planos están basados directamente en el modelo de chapa metálica o miembro estructural de los elementos. Estos planos poseen las cotas necesarias y especificaciones del material que son importantes en el proceso de manufactura del sistema de suspensión. También se obtiene los planos en 2D que serán necesarios para los cortes con la maquinaria CNC. Estos planos deben tener ciertas características necesarias para el correcto funcionamiento de la maquinaria. A continuación, se detallan los planos y archivos 2D en cada apartado correspondiente.

### 3.1.1 PLANOS

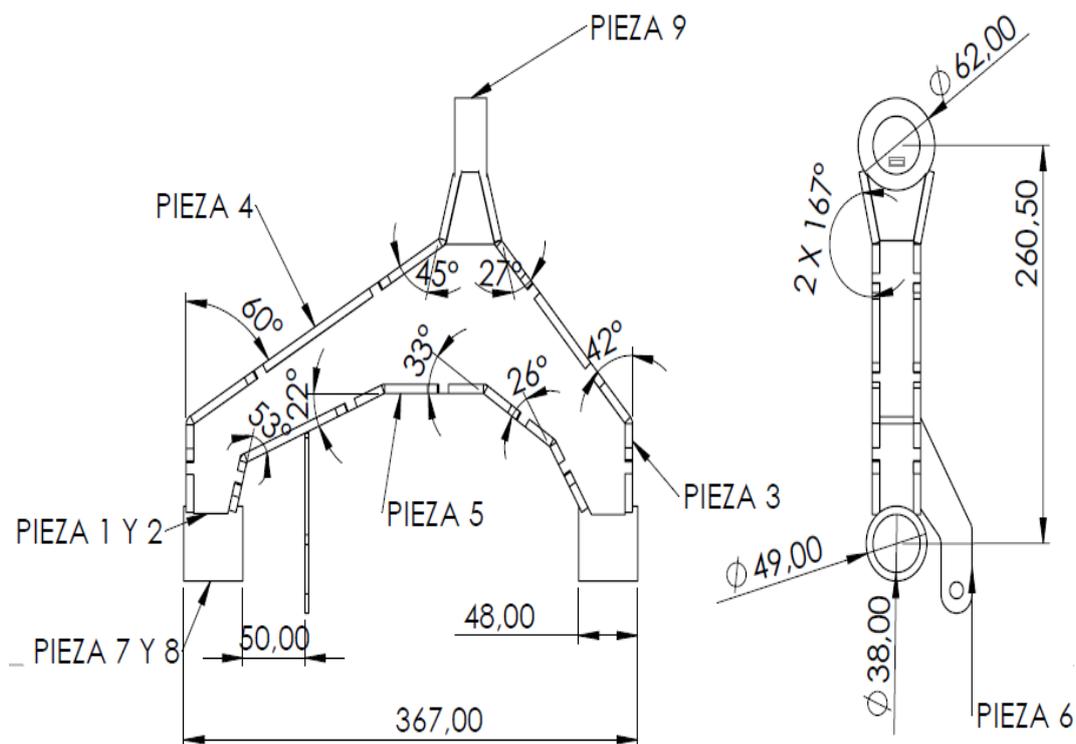
Los planos están generados en software CAD y seccionados según el componente que va a ser fabricado. En cada plano se especifica las cotas importantes para el proceso de fabricación como el doblado de la chapa metálica, verificación de ángulos y medidas para una correcta soldadura. Las medidas se expresan en milímetros por ser medidas muy utilizadas en talleres y es el sistema más usado por los técnicos. El plano de cada pieza es complementario a la hoja de proceso, el seguimiento exacto de cada cota determina la fácil manufactura del elemento.

El cumplimiento de cotas y ángulos garantiza la inexistencia de desfase de medidas en todo el sistema de suspensión que permite un correcto funcionamiento y comportamiento del vehículo.

#### 3.1.1.1 Mesa de suspensión

La mesa de suspensión es fabricada en chapa metálica con espesor de 4mm para las piezas 1 a 6. Las piezas 7 y 8 son similares en dimensión y material, estas son de tubo estructural. La pieza 9 es un elemento torneado.

En la figura 3.2 se muestran cotas y ángulos necesarios para la manufactura de la mesa de suspensión para un ensamble rápido.

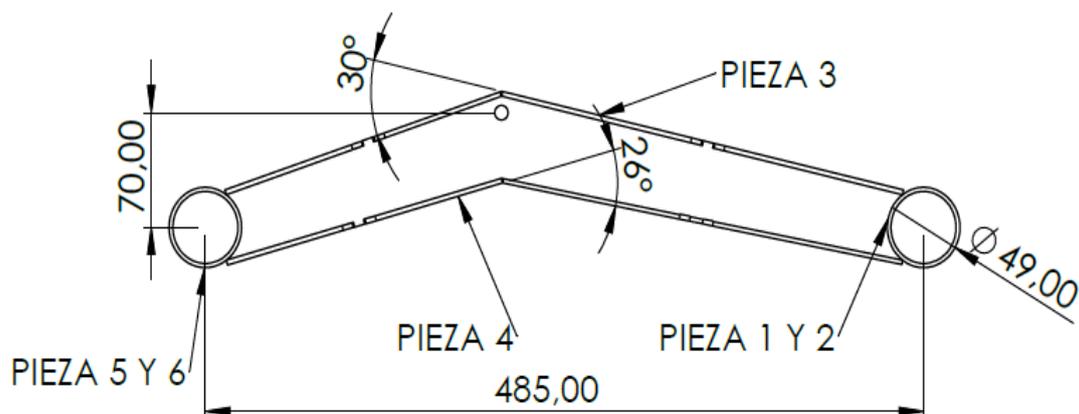


**Figura 3.2** Sección del plano de mesa de suspensión

### 3.1.1.2 Brazo de suspensión

El brazo de suspensión son fabricado en chapa metálica de 3mm de espesor en las piezas 1-4. Las piezas 5 y 6 será fabricadas de tubo estructural.

En la figura 3.3 es evidenciado un plano para la manufactura del brazo de suspensión, con cotas indispensables para el ensamble.

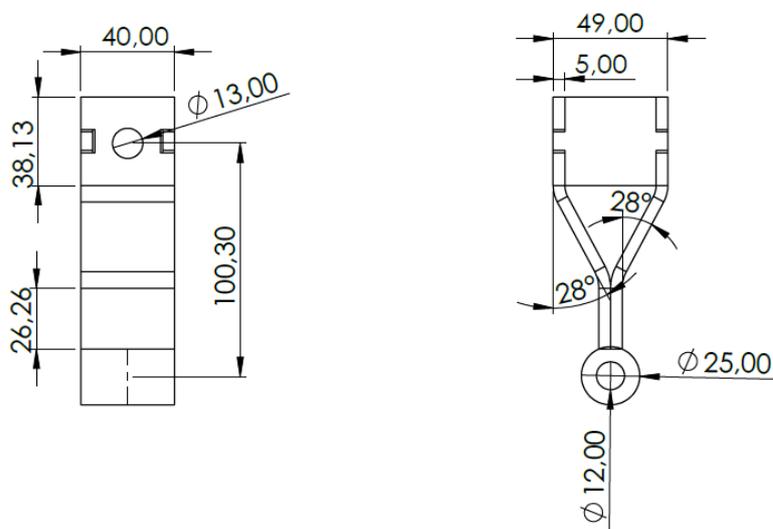


**Figura 3.3** Sección del plano de mesa de suspensión

### 3.1.1.3 Acople para amortiguador

Las piezas 1 y 2 son fabricadas en chapa metálica de 5mm de espesor, las piezas 3 y 4 están fabricadas con un espesor de 3mm y la pieza 5 es de tubo de acero estructural, todo en material ASTM A36

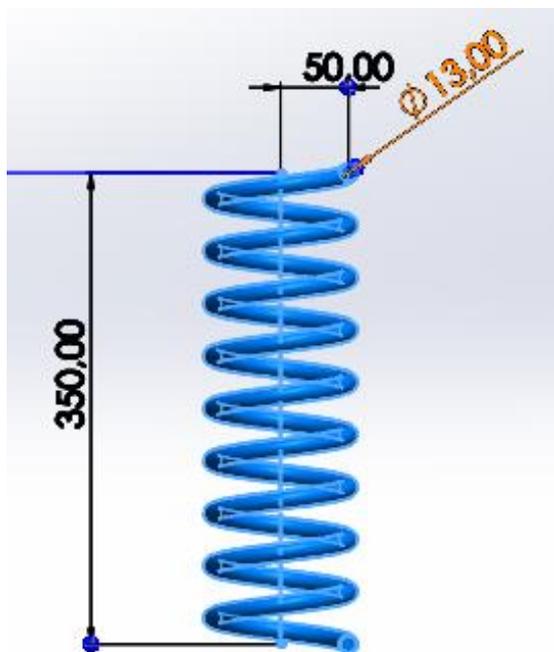
En la figura 3.4 se visualiza un plano del soporte para amortiguador. Teniendo un diseño simple pero que evita la aparición de un sistema articulado.



**Figura 3.4** Sección del plano de soporte para el amortiguador

### 3.1.1.4 Muelle

El muelle solo puede ser fabricado por maquinaria especializada y debe ser adquirido con las siguientes medidas, con nueve números de vueltas. En la figura 3.5 se muestra el diámetro del hilo de fabricación para el muelle modificado, el diámetro y recorrido del mismo.



**Figura 3.5** Medidas del nuevo muelle

### 3.1.2 ARCHIVOS 2D

Los planos en 2D son elaborados con la función de chapa metálica del software SolidWorks. Este permite realizar un plano con el contorno del elemento fabricado en chapa metálica. Al obtener de plano con la ayuda de otro software especializado se deberá realizar el proceso de unir líneas. Está será importante para que el corte con el plasma CNC sea continuo y no tenga pinchazos de corte durante el proceso.

Para ayudar en el doblado de la chapa metálica se coloca señales en los puntos de dobles cuando la chapa metálica se encuentra desplegada, para así facilitar el trabajo de doblado y evitar mediciones constantemente para encontrar el punto de doblado.

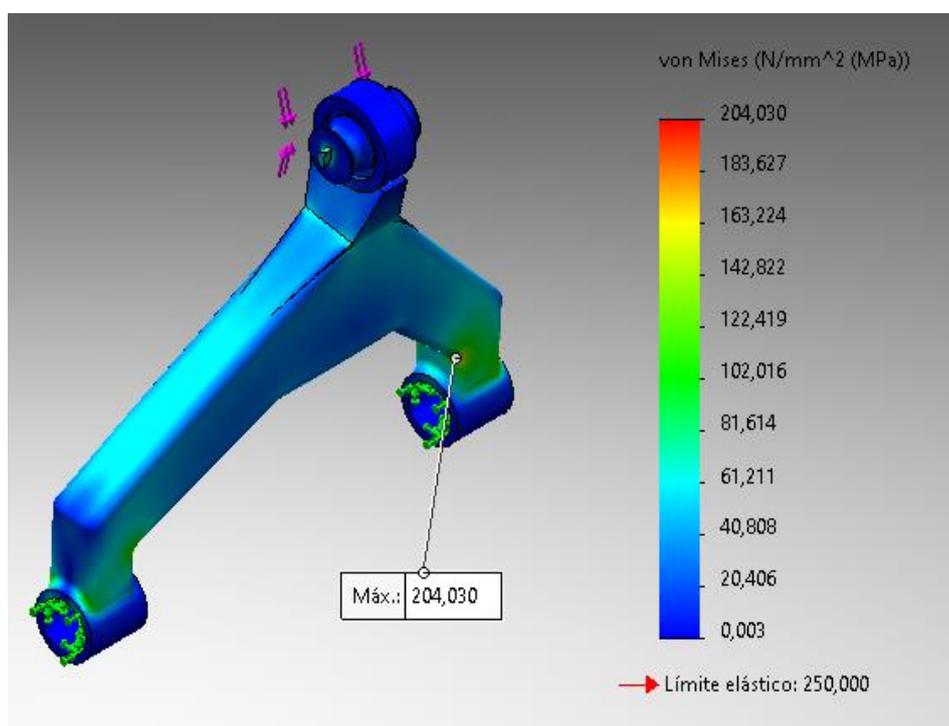
Con todos los elementos en chapa metálica y sus planos respectivos en 2D se obtiene los modelos similares a la Figura 2.33 presente en este documento, estos archivos deberán ser guardados en formato (.dxf) para posterior ser mallados e ingresados a la cortadora CNC.

## 3.2 RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Las simulaciones permiten predecir el correcto funcionamiento estructural del modelo y las prestaciones dinámicas mejoradas que se puede obtener, todo antes de la manufactura de los elementos para así reducir costos en el proceso de desarrollo.

### 3.2.1 SIMULACIÓN ESTRUCTURAL ESTÁTICA

En la Figura 3.6 se establece el valor máximo de esfuerzo en la parte inferior de la suspensión debido a la dirección en la que se aplica la fuerza y se define como un valor de 204 MPa, muy por debajo del límite elástico del material el cual se encuentra en 250 MPa, indicando un correcto funcionamiento del elemento.



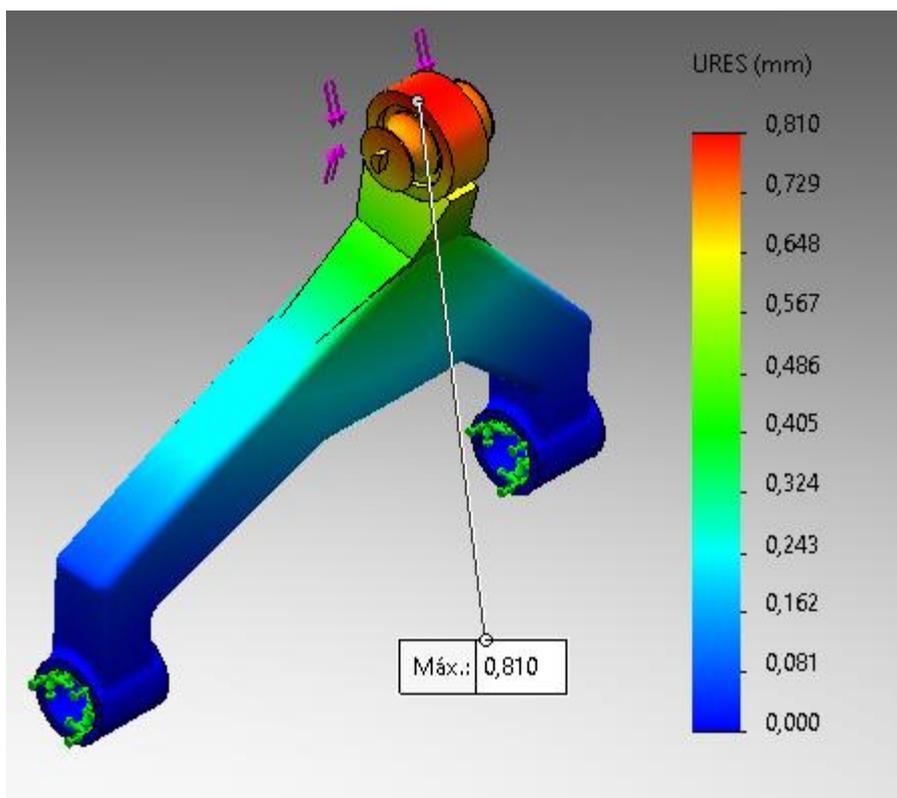
**Figura 3.6** Análisis de tensiones Von Mises en cuerpo estructural

Esto indica que cualquier deformación que sea ocasionada en el componente puede permitir que el elemento retome su forma original. Al tener un valor máximo de Von Mises inferior al límite elástico del material permite pronosticar que la mesa de suspensión no se deforme al soportar la carga para la cual es siendo diseñada. Es importante un correcto análisis de este factor puesto que es el inicio del análisis de resultados de la simulación de esfuerzos estructurales.

El análisis de deformaciones es indispensable para evitar el desfase de piezas del sistema de suspensión cuando estos están sometidos a cierta carga o esfuerzo. Una deformación excesiva de los elementos podría ocasionar la aparición de nuevos esfuerzos en tensión o compresión que comprometan el correcto funcionamiento a largo plazo del diseño.

La deformación máxima por lo general se encuentra cerca de los puntos fijos establecidos en el diseño o próximos a la zona en la cual se ha aplicado la fuerza establecida para la simulación, debido al esfuerzo ocasionado. Este valor es lo mínimo posible y es relacionado al dimensionamiento que tiene la mesa de suspensión. Esto ayuda al posterior análisis del factor de seguridad que se establece para el funcionamiento y soporte de carga del elemento que se está estudiando.

En la figura 3.7 se evidencia el punto exacto en el cual se encuentra la deformación máxima del elemento. Se analizarán las deformaciones físicas dando como deformación máxima 0.81mm en la parte superior donde se conectará el cuerpo axial, esta deformación se considera tolerable ya que evita un desfase en relación a los demás elementos que constituyen el sistema de suspensión y componentes propios del vehículo.



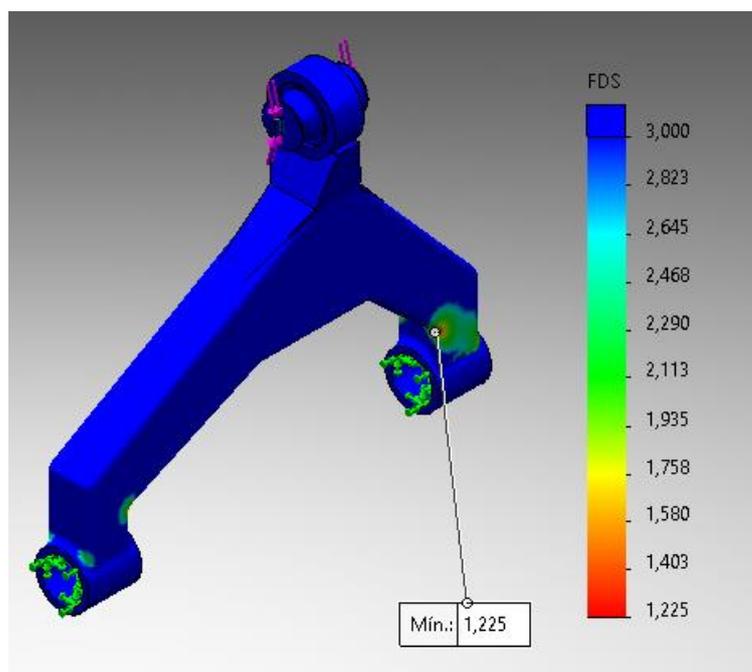
**Figura 3.7** Deformaciones del cuerpo estructural

Se establece la confiabilidad de un correcto funcionamiento de la mesa de suspensión cuando esta se encuentra soportando cierta carga y la deformación es inferior a 1mm.

En caso de obtener una deformación excesiva evidencia un posible fallo en el elemento cuando sea sometido a cierta fuerza de trabajo. En el presente estudio del valor de la deformación de material es muy reducida debido a que ya ha sido analizado la tensión de Von Mises con anterioridad y este pronostica un soporte estructural, a la carga del componente simulado, muy favorable.

El factor de seguridad establece que el sistema soporte una carga superior a la cual está siendo sometida en la simulación FEM, es importante este análisis porque en el uso general del diseño puede darse un caso o situación en la cual la carga máxima usada para el estudio sea sobrepasada y esto no ocasione una ruptura en el elemento.

El factor de seguridad mínimo como resultado del estudio se establece en un valor de 1,225 y se podría determinar que la estructura soportará las cargas sin ningún problema. En la Figura 3.8 se indica la zona de cantidad de FDS mínimo cercano al punto de valor máximo de tensión Von Mises, estos dos valores deben estar relacionados en su ubicación, en caso de no ser esto verdad se deberá analizar el motivo por el cual no se cumpla con lo anterior mencionado.



**Figura 3.8** Factor de seguridad del cuerpo estructural

Con la obtención del valor de FDS se concluye el análisis de resultados del estudio estructural del sistema con la ayuda de simulación por elementos finitos. Como ha sido expuesto con anterioridad el elemento llamado mesa de suspensión está correctamente diseñado para soportar cargas en el caso más desfavorable para el componente.

En el resultado del análisis estructural solo se ha simulado las cargas en la mesa de suspensión. Ya que el elemento es el que más esfuerzos va a soportar y un fallo en dicho componente sería catastrófico para el correcto funcionamiento de vehículo. Es importante analizar el esfuerzo de Von mises, la deformación que sufre ante la carga ejercida y el factor de seguridad. Todo esto ha sido expresado en el capítulo anterior y en el presente apartado se discutirán sus resultados.

En el esfuerzo de Von mises presente en la figura 3.6 de este documento se muestra claramente que el esfuerzo máximo soportado por la mesa de suspensión será de 204 MPa. El material que se ha elegido para la fabricación de los componentes es el acero ASTM A36, el cual tiene un límite elástico de 250 MPa. Cuando se supera este límite elástico el mecanismo va a sufrir deformaciones plásticas, es decir, que el material perderá sus propiedades mecánicas y tendrá deformaciones físicas los cuales pueden ser alargamientos no deseados o deformación en las cotas del mecanismo.

En cualquiera de los casos el sobrepasar el límite elástico es un indicador de que el objeto de estudio no soportará las cargas que se están ejerciendo. En la presente simulación se puede determinar que la mesa de suspensión va a soportar la carga que se está ejerciendo y ya que el límite máximo de Von mises está muy por debajo del límite elástico del material y de tal manera puede determinarse que la mesa de suspensión está diseñada correctamente.

Pasando al siguiente punto. El cuál es la deformación del mecanismo en la Figura 3.7 se puede evidenciar la deformación debido a la carga ejercida en el componente. Esta deformación tiene un valor máximo de 0.81mm el cual se considera tolerable, como se evidencia en el apartado anterior el mecanismo tiene la posibilidad de recuperar su forma original sin sufrir cambio alguno y una deformación por debajo de 1mm es considerablemente despreciada en el funcionamiento real cuando ya se encuentra el sistema de suspensión ensamblado en el vehículo. Al no sufrir una deformación considerable es un indicador de un correcto funcionamiento del objeto de estudio.

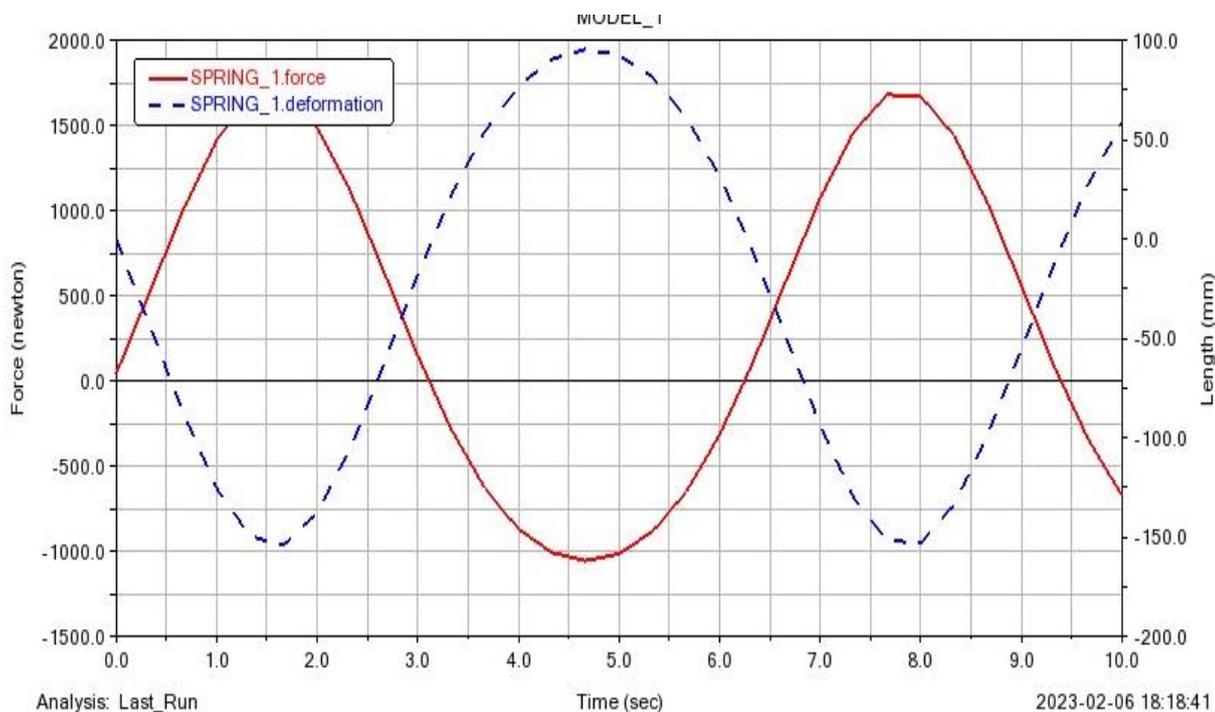
Por último, el factor de seguridad es un indicador del correcto funcionamiento del elemento e indica que no se ha sobredimensionado la mesa de suspensión. En la Figura 3.8 se indica que el valor mínimo de factor de seguridad es 1.225, este valor es adimensional ya que no

representa una magnitud física sino un indicador de funcionabilidad. Al obtener este factor de seguridad se predice con seguridad que la mesa de suspensión soportará el esfuerzo generado por la fuerza de 4614 Newton que se está aplicando. Sí se obtiene un valor de FDS cercano a 2 es un indicador de que se ha sobredimensionado el elemento y esto puede traer problemas en cuanto al aumento de peso y el costo de fabricación.

Al obtener todos estos valores de Von Mises, deformación y factor de seguridad se indican que la mesa de suspensión y el diseño del nuevo sistema de suspensión trabajará de manera óptima con las fuerzas que pueden ser aplicadas en el vehículo y no sufra fallo alguno.

### 3.2.2 SIMULACIÓN DINÁMICA

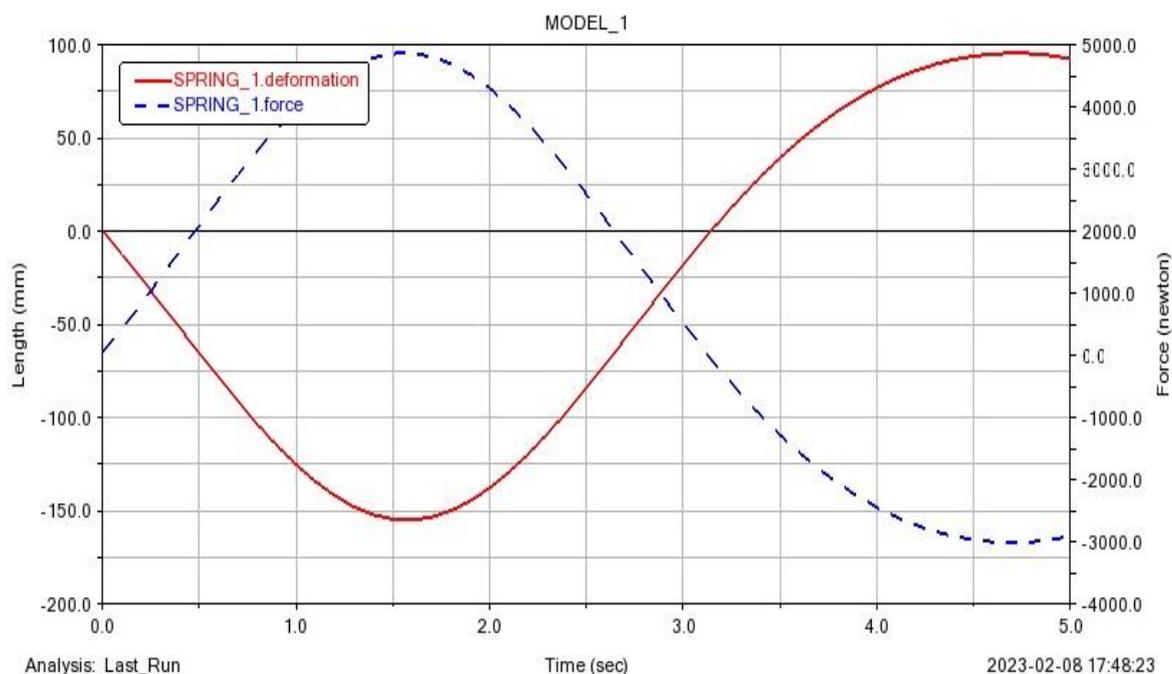
Se toma en cuenta puntos críticos en zonas del muelle, en la figura 3.9 se observa el comportamiento del muelle original, analizando la fuerza ejercida de 1 750 N se tiene una deformación que sufre el muelle de 150mm aproximadamente que muestra al muelle comprimido. Este estudio se lo realiza en función del tiempo, por tal motivo se presenta la gráfica con forma de ondas.



**Figura 3.9** Comportamiento del muelle original en función del tiempo

En el análisis del muelle modificado, presente en la figura 3.10, se logra observar que la relación de la fuerza y deformación del material es muy diferente al caso anterior, este

análisis del sistema de suspensión con una fuerza ejercida de 4500 Newton logra deformar 150 mm al muelle en compresión.



**Figura 3.10** Comportamiento del muelle modificado en función del tiempo

De la simulación dinámica se ha obtenido que el sistema de suspensión es más rígido debido al cambio de diámetro del hilo del resorte helicoidal. Esto genera que el resorte sea más rígido por tanto las sensaciones que presentan la suspensión hacia los ocupantes va hacer un poco más brusca pero este sistema suspensión está diseñado para soportar grandes cargas y esfuerzos debidos al camino irregular por los cuales circulan los vehículos todo terreno.

El usuario debe ser consciente de esta característica, debido a que el objetivo principal es alargar la vida útil del sistema de suspensión logrando que soporte grandes cargas sin sufrir fisuras ni roturas de los elementos y mejorar el agarre del neumático con respecto al suelo cuando se pasa por terrenos muy irregulares. Lo que se trata es reducir al mínimo las complicaciones que podría tener los ocupantes en cuanto a confort.

### 3.3 RESULTADOS DEL PROCESO DE MANUFACTURA

Para los resultados del proceso de manufactura se detallan las hojas de procesos donde se indica actividades secuenciales que deben realizarse, es decir, desde los planos en 2D hasta obtener un elemento ya fabricado o manufacturado que se encuentra con sus acabados finales.

En las hojas de procesos que se muestran a continuación en los anexos se encuentran las actividades resumidas para facilitar el entendimiento del técnico que realiza la fabricación de los elementos, debido a que es un proceso repetitivo existen actividades que no deben ser detalladas en gran medida. En la hoja de procesos se encuentra un pequeño croquis basado de los planos mostrados anteriormente, pero también se obtiene acceso a los planos completos para servir de guía al técnico que realiza la actividad de manufacturar de los componentes. El proceso de pintado debe realizarse en un centro especializado, por lo cual no se encuentra como una actividad a realizar en las hojas de procesos.

### **3.3.1 COMPRA DE MATERIA PRIMA**

Para el corte de las piezas es necesario comprar la materia prima, la que consta de una plancha de acero ASTM A36 con espesor de 4mm la cual es usado para la fabricación de elementos que son cortados en la máquina CNC. Así mismo se requiere de tubo de acero estructural con diámetro exterior de 49mm y espesor de 11mm. Se requiere planchas de acero en 9mm y 6mm para diferentes piezas que se necesita fabricar para el sistema de suspensión. De igual manera se requiere de piezas fabricadas en torno que se deberá enviar a fabricar en gran cantidad para poder reducir el precio de fabricación y tener elementos disponibles cuando se los requiera así mismo es necesario la compra de tubo estructural de 14mm de exterior para poder fabricar los bujes que se instalarán en los Silentblock ubicados en la zona de anclaje de la mesa, así como los puntos de conexión del brazo de suspensión. Los Silentblock son necesarios para reducir vibraciones y evitar oscilaciones en el vehículo que puedan generar malestar en los ocupantes. Todos estos materiales se los debe tener a disposición para la fabricación de la mesa de suspensión y así reducir los tiempos de manufactura.

### **3.3.2 CORTADO CNC CON PLASMA**

Una vez con los materiales a disposición y la colocación de los elementos realizado correctamente, se procede al corte de plasma en la máquina CNC el cual ayuda a obtener cortes precisos reduciendo el tiempo de manufactura. El uso de esta maquinaria es indispensable puesto que, al no disponer de ésta, el corte de las piezas para un proceso de armado como chapa metálica sería demasiado laborioso y no obtendría la precisión necesaria en las medidas establecidas. Es necesario tener a un técnico capacitado para este proceso ya que la punta de corte debe estar siempre a una distancia razonable para que el corte pueda

traspasar el material en este caso se usa materiales desde los 3mm hasta los 9mm de espesor, por lo cual el pulso de corte no será similar en todos los casos, así controlar un correcto acabado en el proceso de corte.

### 3.3.3 HOJA DE PROCESOS

En una hoja de procesos se indica ciertos procedimientos a seguir según un orden lógico para llegar a manufacturar una pieza mecánica, en este documento se muestra planos para corte, doblaje y soldadura. Este documento es detallado de tal forma que el técnico que realice los procesos de manufactura pueda seguir las instrucciones de manera fácil y rápida. Este documento ayuda a realizar procesos eficientes y reducir el tiempo de fabricación de las piezas.

En la figura 3.11 se muestra la hoja de procesos para la manufactura del cuerpo axial necesario en la mesa de suspensión, el resto de documentos se encuentra más a detalle en el apartado de anexos.

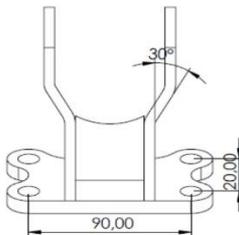
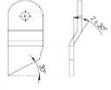
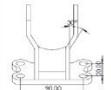
Procesos de Manufactura	CUERPO AXIAL			Fecha: 01 / Diciembre/2022	
Escala 1:5	Material: Acero ASTM A36	Espesor	2,6 mm	N° de piezas: 4 medidas en mm	
					
Maquinaria:	CNC corte de plasma	amoladora	Suelda de tipo MIG	dobladora	herramientas de medición
Orden	Operación	Croquis	Nombre de plano		
1*	Mallar los documentos .dxf del enlace para corte en CNC. Plancha de 9 mm para la base				
2*	Corte de elementos de chapa metálica en CNC, posterior remoción de escoria con amoladora y disco de desbaste				
3*	Doblado de pieza 1 y 2 según plano individual (Todos los planos en el enlace)		Plano 1		
4*	Ensamble de las piezas 1 - 4 con puntos de soldadura MIG		Plano 2		
5*	Ensamble junto a las piezas obtenidas en torno con puntos de soldadura MIG				
6*	Verificación de cotas, tras aprobación soldar las piezas con cordón de soldadura MIG				

Figura A4. Hoja de procesos de cuerpo axial para mesa de suspensión

Figura 3.11 Hoja de procesos para cuerpo axial

### 3.3.4 PROCESO DE DOBLADO DE LAS PIEZAS



**Figura 3.12** Doblado de Chapa Metálica con uso de graduador y escuadra falsa

En la Figura 3.12 se observa la medición del doblado realizado, este proceso es indispensable para un correcto ensamble y soldadura entre todas las piezas que conforman cada componente del sistema de suspensión.

Una vez obtenida las piezas cortadas se debe retirar la escoria del material la cual se produce por el corte de plasma, para esto se usa martillos y de amoladora con disco de desbaste. Con los elementos ya preparados se procede a realizar los dobleces necesarios que requiere el modelo. Se usa una dobladora de chapa para obtener los ángulos necesarios y establecidos por los planos. Es importante que estos ángulos sean lo más precisos posible para facilitar el armado y la soldadura de las piezas. Este proceso se realizará con la ayuda de un graduador, una escuadra falsa y una dobladora de planchas mecánicas la cual facilita el trabajo.

### 3.3.5 ENSAMBLE DE PIEZAS Y VERIFICACIÓN DE MEDIDAS

Cortadas las piezas y dobladas a sus ángulos requeridos se proceden a un pre-ensamblaje de la mesa usando una soldadura de puntos en partes específicas para verificar que las medidas sean correctas y no tener problemas al momento de ensamblar en el vehículo. Este proceso se realiza con la soldadura de puntos ya que en el caso de haber obtenido un ángulo incorrecto o una cota no deseada en el proceso de verificación se procede a cortar este punto de suelda y proceder a una corrección de medidas para evitar el desperdicio de material y obtener el mayor provecho económico que sea posible.



**Figura 3.13** Ensamble brazo de suspensión con puntos de suelda MIG

En la figura 3.13 es observable un elemento del sistema de suspensión, el cual está sujeto por puntos de suelda, esto permite realizar cualquier corrección necesaria para poder obtener el dimensionamiento correcto. También es importante que exista cierto paralelismo entre los soportes fabricados en tubo estructural para que no exista algún tipo de tracción cuando el elemento sea ensamblado y pueda garantizar que los neumáticos sean alineados de forma correcta.

Cuando se verifique que las cotas y ángulos de cada elemento están acorde a los planos antes diseñados se puede proceder con el proceso de suelda correspondiente, el cual debe ser realizado por un técnico capacitado.

### **3.3.6 SOLDADO DE PIEZAS CON PROCESO MIG**

Una vez ya verificadas las medidas físicas del elemento pre-soldado en comparación a los planos ya establecidos se procede a completar la soldadura de los elementos para darle la forma final y la resistencia que necesita para trabajar en el sistema de suspensión y obtener los mayores beneficios de cada elemento. Tomando en cuenta el material base del cual son fabricados las piezas, el mejor proceso de soldadura que permitirá utilizar es el proceso de soldadura MIG el cual brinda grandes prestaciones en cuanto a resistencia. Es recomendable que este proceso sea realizado por un técnico con experiencia para obtener un cordón de soldadura que sea continuo, que tenga la penetración necesaria en el material y no sea contaminado con agentes externos para así evitar corrosión, oxidación y porosidades. Una vez ya soldados los elementos se procede al pulido de los mismos para eliminar cualquier

tipo de imperfección o escoria presentes por el proceso de soldadura. Hay que tener en cuenta que en este proceso se debe soldar tanto los elementos de chapa metálica con el tubo estructural y las piezas obtenidas por el torno para así tener el elemento ya fabricado de manera correcta. Posterior a la soldadura se realiza la instalación de Silentblock y bujes necesarios para poder tener el sistema suspensión completo y proceder a un ensamblaje en el vehículo.



**Figura 3.14** Mesa de suspensión con Silentblock instalados

La figura 3.14 muestra la mesa del sistema de suspensión posterior totalmente ensamblada bajo un proceso de soldadura MIG y se instaló los Silentblock con sus respectivos pasadores, estos serán necesarios para el ensamblaje en el vehículo.

Posterior al proceso de soldadura se utiliza una amoladora con disco de desbaste para eliminar las costras y escoria producidas por la soldadura. En este proceso se puede evaluar la correcta aplicación del cordón de soldadura y de ser posible tomar las correcciones necesarias para garantizar el trabajo realizado.

### **3.3.7 ENSAMBLE DE ELEMENTOS EN EL VEHÍCULO**

Todos los de elementos ya fabricados y ensamblados los componentes adicionales necesarios es posible continuar con el armado del sistema de suspensión en el vehículo para así determinar que las medidas han sido tomadas correctamente y así evidenciar la modificación que ha tenido el vehículo con respecto a su altura. Sí todos los pasos anteriores han sido realizados correctamente siguiendo los planos especificados se permite ensamblar los

elementos con facilidad y el vehículo no presente problemas en cuanto a desfases de los elementos que no sean propios del sistema de suspensión. Con el nuevo sistema ensamblado en el vehículo se procede a una inspección visual y posterior una alineación de los neumáticos con maquinaria especializada.



**Figura 3.15** Mesa de suspensión modificada instalada

En la Figura 3.15 se muestran los elementos del sistema de suspensión rediseñado los cuales cumplen con elevar el sistema de suspensión y por tal razón aumentar la distancia del bastidor al suelo en 100mm.

### **3.3.8 PRUEBA DE RUTA**

Con el vehículo se procede a realizar una prueba de ruta para comprobar el correcto funcionamiento del sistema de suspensión, así como las nuevas prestaciones que éste ofrece para el aprovechamiento máximo del vehículo en todo terreno. Es indispensable obtener una ruta en la cual se pueda pasar el vehículo por grandes baches, con obstáculos considerables y por un terreno mayormente irregular, esto es indispensable para llevar al máximo el esfuerzo que está soportando el sistema y poder evidenciar cualquier fallo que pueda presentarse tanto estructural como dinámico.

### 3.3.9 DESMONTAJE DE PIEZAS PARA EVALUACIÓN

Una vez finalizada la prueba de ruta se realiza un desmontaje de las piezas para facilitar una inspección visual en los cordones de soldadura, verificar que no exista deformaciones o agrietamientos de material, en el caso de detectar algún fallo estructural se debe realizar la corrección de este fallo de manera tecnicada y qué garantiza un mejor resultado en la próxima prueba de ruta que debe realizarse. Dado el caso de no existir ningún fallo o desperfecto en los elementos se puede concluir que el sistema de suspensión está diseñado correctamente bajo un criterio técnico y siguiendo procesos de ingeniería.

### 3.3.10 PINTURA DE ELEMENTOS MANUFACTURADOS

Una vez ya concluido que los elementos tienen la resistencia estructural predicha y brinda las mejoras dinámicas esperadas. Se procede con el pintado de las piezas para protegerlas de corrosión y oxidación, así como brindarles un acabado visual más estético. Con esto se determina el final del proceso de manufactura, el sistema de suspensión puede ser producido en masa y ofrecido a futuros clientes, obteniendo beneficios económicos del presente proyecto.

Se indica el sistema de suspensión modificado posterior al proceso de pintura que evita la corrosión y oxidación de los elementos, esta puede realizarse en diferentes colores que permitan una modificación más estética agradable a la vista de posibles compradores.

## 3.4 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RUTA

Esta prueba deberá realizarse con una persona que pueda entender las nuevas prestaciones del vehículo y diferenciar entre un vehículo modificado y un vehículo estándar. Con esta prueba se evalúa el correcto funcionamiento del sistema de suspensión tanto en funcionamiento dinámico como estructural.



Figura 3.16 Vehículo en prueba de ruta

La figura 3.16 muestra el vehículo de prueba realizando una conducción en cierta ruta preestablecida para determinar el comportamiento del diseño y el soporte a las cargas que está sometido al ser usado el vehículo en un circuito todo terreno. Esta prueba se realizó por un piloto con experiencia y conocimientos del área, necesarios para poder comprobar las prestaciones del nuevo sistema de suspensión.

En la prueba de ruta se muestra una mejor prestación del sistema de suspensión posterior en cuanto se encontraba en baches con altos grados de desnivel, la suspensión ejercía más fuerza en los neumáticos permitiendo salir de forma más fácil de estos obstáculos. De igual manera, la suspensión permite evadir obstáculos como rocas o llantas de forma más fácil y evitando que el impacto sea trasladado hacia el conductor. También se pudo evidenciar que los componentes soportan una gran carga debido a que se realizó una prueba de salto con el vehículo, todo esto realizado por un conductor capacitado para realizar este tipo de pruebas. Después de las pruebas de ruta se hace una inspección visual a los elementos donde no se encuentra deformación alguna en los cordones de soldadura o en las placas metálicas que conforman todo el sistema de suspensión por tal motivo se puede deducir que todo el sistema trabaja funcionalmente en cuanto al aspecto mecánico y estructural. Se logró captar mejoras físicas, estructurales, de seguridad y mayor adherencia con el suelo, ya que al cambiar los muelles también se modifica la fuerza que estos ejercen cuando se indique balanceo a bajas velocidades.

### **3.5 COSTOS**

El apartado económico es importante para el presente proyecto. Por tal motivo se indica a continuación el presupuesto invertido. Diferenciando costos explícitamente para la fabricación del sistema de suspensión de los gastos del recurso humano. Es necesario indicar este apartado para que sirva de guía en futuros proyectos.

En la tabla 3.1 se establece los costos de productos y servicios del proyecto.

**Tabla 3.1** Presupuestos, costos para realización del proyecto

<b>Gastos Directos</b>				
	Materiales	cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
1	Plancha acero ASTM A36 3mm, 4mm, 5mm y 9mm	-	50	50
2	Piezas torneadas	-	30	30
3	Muelles	2	115	230
4	Tubo acero ASTM A36 2'' x 6m	0,3m	40	2
5	Tubo acero ASTM A36 ½'' x 6m	0,3m	10	0,50
6	Pintura Automotriz	-	50	50
7	Corte CNC	1	15	15
8	Soldadura MIG	1	15	15
9	Silentblock	6	2,1	12,6
10	Dobladora	1	10	10
13	Discos abrasivos	1	10	10
<b>Total</b>				<b>425,10</b>
<b>Gastos indirectos</b>				
	Materiales			Costo total (\$)
1	Transporte			100
2	Suministros de oficina			40
<b>Total</b>				<b>140</b>
<b>Presupuesto total</b>				
Gastos Directos (\$)				425,10
Gastos Indirectos (\$)				140
<b>Total</b>				<b>565,10</b>

El costo total del proyecto es de \$565,10. Los gastos directos de la tabla 3.1 que representan \$425,10 son el costo de fabricación del sistema de suspensión diseñado y con un porcentaje de 40% de utilidades monetarias, establecido por la empresa auspiciante, el valor con el cual sale al mercado el sistema de suspensión es de \$600.

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- Los parámetros que definen el comportamiento del sistema de suspensión de eje rígido son la rigidez del muelle y su altura, además se identificó que las cotas fijas que deben respetarse en el proceso de diseño corresponden a los puntos de anclaje de la mesa de suspensión al bastidor y su conexión con el diferencial del eje posterior, mientras que las cotas modificables pertenecen a la longitud del brazo tensor, la distancia entre los puntos de anclaje de la mesa y el diferencial, la distancia entre puntos de sujeción de los amortiguadores y las dimensiones principales del muelle como altura y diámetro de hilo.
- Se diseñó los elementos del sistema de suspensión posterior compuestos por la mesa de suspensión, brazo tensor, acople de amortiguador y acople de flecha cardán. Mediante la simulación estructural del sistema de suspensión se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1,225 lo cual garantiza el correcto funcionamiento del kit de suspensión.
- Los resultados de la simulación dinámica mostraron que el sistema diseñado podrá soportar 3 veces más fuerza que el sistema de suspensión original.
- Los modelos diseñados permiten un rápido proceso de manufactura que garantiza una mayor producción en menor tiempo, además este kit de sistema de suspensión posterior puede ser instalado en el vehículo Vitara Classic por personas con conocimientos básicos de mecánica ya que se elimina los procesos de perforación y cortes en la estructura del vehículo, que es el problema actual de otros modelos que se encuentran comercializados en el mercado local.
- Con el nuevo kit de suspensión ensamblado en el vehículo, se aumentó la altura del bastidor con respecto al suelo en 100mm o 4in. Al realizar la prueba de ruta se evidenció una mejora en el contacto de los neumáticos con el suelo en terrenos extremadamente irregulares, mostrando que la suspensión ayuda en el agarre del neumático e impulsa la rueda cuando se encuentra suspendida en el aire, esto permite superar obstáculos de gran tamaño sin tener impactos en la estructura del vehículo, características importantes para un futuro mercado objetivo de ventas.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Para la fabricación de los bocetos se puede guiar con modelos de suspensión modificados ya existentes, esto para agilizar la toma de medidas indispensables para el diseño y facilitar el trabajo a realizarse.
- Con la instalación de componentes que no son originales del vehículo pueden generarse esfuerzos en ciertos elementos, por ejemplo, la conexión entre flecha cardan y diferencial, para compensar este problema se diseñó un elemento totalmente nuevo, de esta manera debe darse un análisis y solución en futuros proyectos para garantizar la durabilidad de todo el sistema.
- Es indispensable conocer el mercado local donde se realiza el proyecto para obtener un valor comercial final razonable. Hay que tener amplio conocimiento en materiales y maquinarias presentes en la zona que faciliten la fabricación de componentes.
- Los procesos de corte con el plasma CNC y soldadura deben ser realizados por un técnico con experiencia en el trabajo a realizarse para garantizar un buen acabado en el producto final y poder llevar un control de calidad sobre el producto.
- Se puede realizar a futuro un aligeramiento en la mesa de suspensión, para reducir material innecesario y manufacturar productos más eficientes en relación al peso total del nuevo sistema de suspensión que se diseñó.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alamo Viera, M. (2016). *Modelación y control de un sistema de suspensión semiactiva con amortiguador magnetorreológico*. Piura: Universidad de Piura.
- Alberti Urbieto, J. (2003). *Amortiguadores y suspensión. Manuales de automoción*. Obtenido de [www.tecnun.com/automocion](http://www.tecnun.com/automocion): <https://es.scribd.com/doc/146270628/Manual-TECNUM-Amortiguadores-y-suspension-pdf>
- Antamba Guasgua Jaime, G. P. (2018). Análisis de la variación térmica en el amortiguador de un vehículo liviano bajo condiciones de trabajo de periodo regular. *Revista Publicando*, 875.
- Barros, D. J. (2011). *Estudio teórico de la alineación de un vehículo para visión artificial*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid .
- Cebolla Bono, B. (2017). *Modelado y caracterización de sistemas de suspensión en vehículos automoviles* . Valencia, España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería del diseño.
- Cenaltec. (2022). *Inadel - Cenaltec*. Obtenido de [https://www.bing.com/search?q=soldadura+GAW++pdf&qs=n&form=QBRE&msbsrank=2\\_3\\_0&sp=-1&pq=soldadura+gaw+pdf&sc=5-17&sk=&cvid=767D0D261D404346B4C8D28C20685247&ghsh=0&ghacc=0](https://www.bing.com/search?q=soldadura+GAW++pdf&qs=n&form=QBRE&msbsrank=2_3_0&sp=-1&pq=soldadura+gaw+pdf&sc=5-17&sk=&cvid=767D0D261D404346B4C8D28C20685247&ghsh=0&ghacc=0)
- Chuquirima, L. (2018). *Tipos de Neumaticos* .
- Dictator. (2018). Funcionamiento de amortiguador de aceite. *DICTATOR*, 6.
- Galbarro, H. R. (18 de 07 de 2022). *Sistema de Suspensión en lo Vehículos*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>
- García , F. J. (2016). *Diseño de suspensión hidráulica para un vehículo todo terreno*. Sevilla: Dep. de Ingeniería y ciencias de los materiales y del transporte.
- García, F. J. (2016). *Diseño de suspensión hidráulica para un vehículo todo terreno*. Sevilla, España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- García, F. J. (2016). *Diseño de suspensión hidráulica para un vehículo todo terreno*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Gonzalez, A. D. (13 de Diciembre de 2004). *Modelación, identificación y control de una suspensión automotriz*. Monterrey, Nuevo León , México: Tecnológico de Monterrey.
- Hu, X. L. (2021). Introducing lightweight design early in the suspension design process: A design framework. *Journal of Cleaner Production*, 279.
- INVALTU. (2020). *INVALTU tuberías y válvulas industriales*. Obtenido de <http://www.invaltu.ec/planchas-de-acero/>
- Lemforder. (2021). *Rótulas de suspensión*. Friedrichshafen AG.
- López, E. M. (2013). *Cálculo de resortes*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

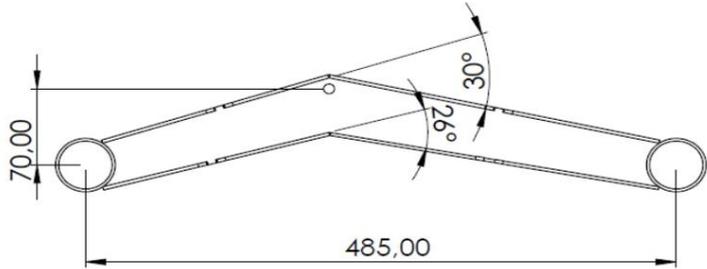
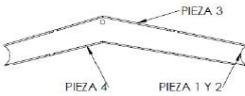
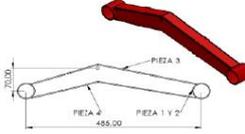
- Łukaszewicz, K. (2017). Use of CAD Software in the Process of Virtual Prototyping of Machinery. *Procedia Engineering*, 425.
- Luque , P., Alvarez, D., & Vera, C. (2008). *Ingeniería del automovil. sistemas y comportamiento dinámico*. Madrid: Thomson Editoriales.
- Maholyleal. (03 de 05 de 2015). *Slideshare*. Obtenido de Presentación esfuerzo y deformación.
- Marin, H. A. (2016). *Soldadura y estructuras*. Obtenido de <http://soldadurayestructuras.com/proceso-gtaw.html>
- Martínez Silva, R. (2015). *Técnicas de modelado y optimización del sistema de muelles y amortiguadores de vehículos de competición. Estudio particularizado para el monoplaza ART-15*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Mejía González, D. S. (2015). *Diseño de manguetas delanteras y posteriores de un vehículo monoplaza para la competición en la formula SAE*. Cuenca: Ingeniería Automotriz.
- Milliken, W. F., & Milliken, D. L. (1995). *Race Car Vehicle Dynamics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Moreno, D. (15 de 05 de 2017). *A Academia*. Obtenido de Soldadura y tipo de S: [https://www.academia-edu/17263567/Soldadura\\_y\\_Tipos\\_de\\_Soldadura](https://www.academia-edu/17263567/Soldadura_y_Tipos_de_Soldadura)
- MotorGiga. (2021). *Diccionario Motor Giga*. Obtenido de <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/todo-terreno-definicion-significado/gmx-niv15-con195733.htm>
- NICOLAS, N. E. (2020). *Estudio de la eficiencia térmica*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- Norton, R. (2004). *Diseño de maquinaria* . México : McGraw Hill.
- ponce, E. (08 de 12 de 2020). *Autocosmos*. Obtenido de <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2020/08/12/la-historia-del-sistema-de-suspension-en-los-automoviles>
- Precio. (2020). *Academia.edu*. Obtenido de Esfuerzos y deformaciones: [https://www.academia.edu/37504992/CONCEPTOS\\_DE\\_ESFUERZOS\\_Y\\_DEFORMACIONES\\_SIMPLES](https://www.academia.edu/37504992/CONCEPTOS_DE_ESFUERZOS_Y_DEFORMACIONES_SIMPLES)
- Quiroz , L., Guascal , E., Manjarrés, F., & Arteaga , O. (2015). *Diseño y construcción de un chasis para el vehículo formula SAE*. Latacunga: Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. Carrera de Ingeniería Automotriz.
- Quishpe Sacancela, A. D., & Toapanta Paca, F. S. (2014). *Diseño, construcción e implementación de los sistemas de suspensión, dirección y frenos de un vehículo blindado 4x4*. Latacunga.
- Ramírez, P. (2020). *Mantenimiento programado de vehiculos*. BELLAVISTA: INSTITUTO DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICO.
- Seward, D. (2014). *Race Car Design*. New York: Palgrave.
- Solidworks. (2017). *SOLIDBI Inspira tu innovación*. Obtenido de <https://solid-bi.es/solidworks/>

Urbieto, J. A. (s.f.). *Amortiguadores y suspensión*. Navarra: Escuela Superior de Ingenieros .  
zonagravedad (Dirección). (2019). *Dinámica 25: Ángulo de apertura ( convergencia y divergencia )*  
[Película].

## **ANEXOS**

Procesos de Manufactura	MESA DE SUSPENSIÓN			Fecha: 1 / Diciembre/2022	
Escala 1:5	Material: Acero ASTM A36	Espesor	4 mm	N° de piezas: 8	
				medidas en mm	
Maquinaria:	CNC corte de plasma	amoladora	Suelda de tipo MIG	dobladora	herramientas de medición
Orden	Operación	Croquis	Nombre de plano		
1°	Mallar los documentos .dxf del enlace para corte en CNC		-		
2°	Corte de elementos de chapa metálica en CNC, posterior remoción de escoria con amoladora y disco de desbaste		-		
3°	Doblado de pieza 1 y 2 según plano individual (Todos los planos en el enlace)		Plano 1		
4°	Doblado de pieza 3 según plano individual		Plano 2		
5°	Doblado de pieza 4 según plano individual		Plano 3		
6°	Doblado de pieza 5 según plano individual		Plano 4		
7°	Ensamble de las piezas 1 - 7 con puntos de soldadura MIG		Plano 5		
8°	Ensamble junto a las piezas obtenidas en torno con puntos de soldadura MIG		Plano 6		
9°	Verificación de cotas, tras aprobación soldar las piezas con cordón de soldadura MIG				
10°	Colocar Silenblocks y bujes en los puntos de anclaje. Así como piezas del cuerpo axial				

Figura A1. Hoja de procesos de mesa de suspensión

Procesos de Manufactura	BRAZO DE SUSPENSIÓN			Fecha: 01 / Diciembre/2022	
				N° de piezas: 6	
Escala 1:5	Material: Acero ASTM A36	Espesor	3 mm	medidas en mm	
					
Maquinaria:	CNC corte de plasma	amoladora	Suelda de tipo MIG	dobladora	herramientas de medición
Orden	Operación	Croquis	Nombre de plano		
1°	Mallar los documentos .dxf del enlace para corte en CNC				
2°	Corte de elementos de chapa metálica en CNC, posterior remoción de escoria con amoladora y disco de desbaste				
3°	Doblado de pieza 3 plano individual (Todos los planos en el enlace)		Plano 1		
4°	Doblado de pieza 4 según plano individual		Plano 2		
5°	Ensamble de las piezas 1 - 4 según el plano con puntos de soldadura MIG		Plano 3		
6°	Ensamble junto a las piezas obtenidas en torno con puntos de soldadura MIG		Plano 4		
7°	Verificación de cotas, tras aprobación soldar las piezas con cordón de soldadura MIG				
8°	Instalar silenblocks y bujes en los puntos de anclaje				

**Figura A2.** Hoja de procesos de brazo de suspensión

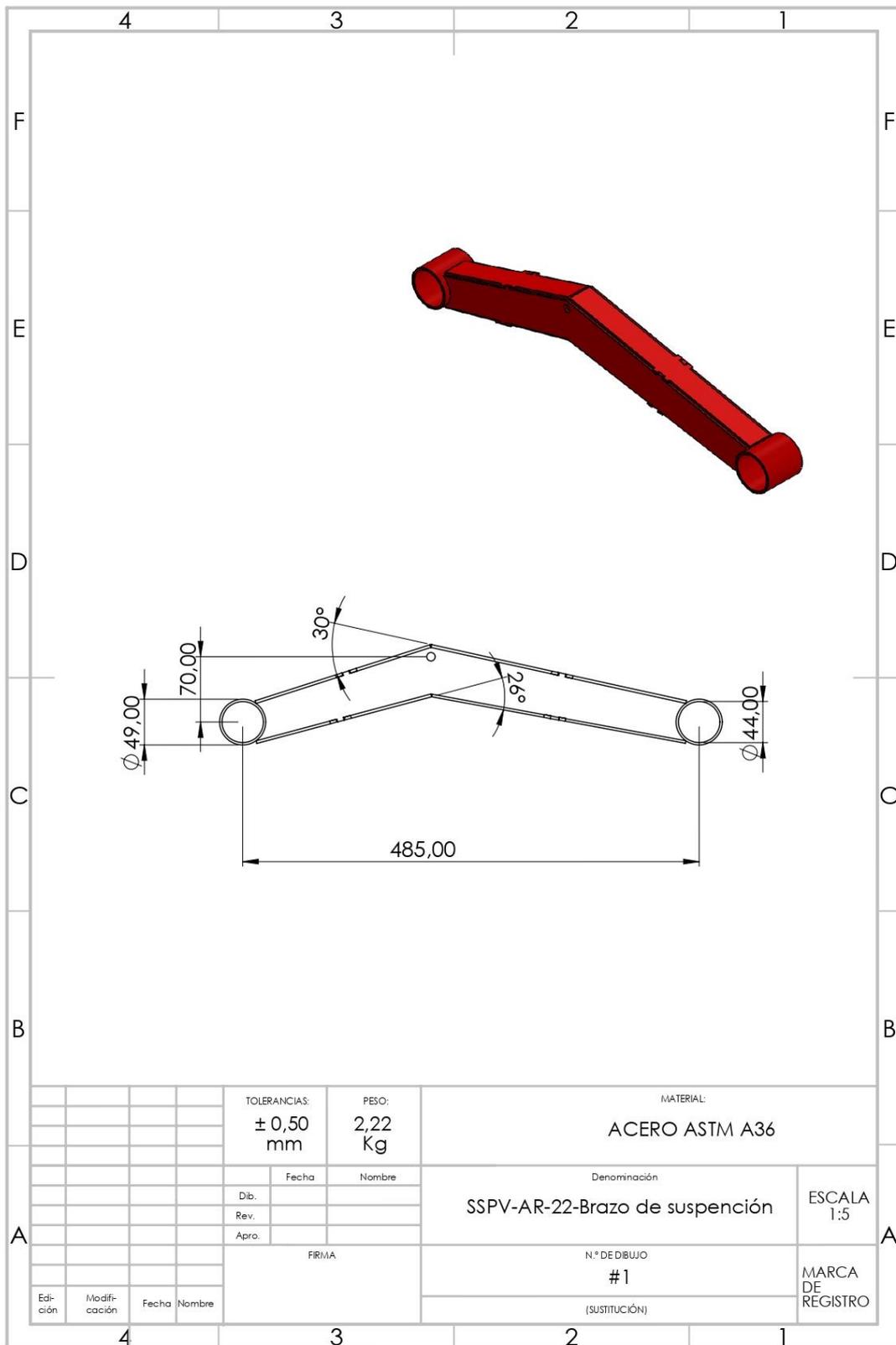
Procesos de Manufactura	EXTENSIÓN PARA AMORTIGUADOR			Fecha: 01 / Diciembre/2022	
				N° de piezas: 5	
Escala 1:5	Material: Acero ASTM A36	Espesor	3 mm	medidas en mm	
Maquinaria:	CNC corte de plasma	amoladora	Suelda de tipo MIG	dobladora	herramientas de medición
Orden	Operación	Croquis	Nombre de plano		
1°	Mallar los documentos .dxf del enlace para corte en CNC		-		
2°	Corte de elementos de chapa metálica en CNC, posterior remoción de escoria con amoladora y disco de desbaste		-		
3°	Doblado de pieza 1 y 2 según plano individual (Todos los planos en el enlace)		Plano 1		
4°	Doblado de pieza 3 Y 4 según plano individual		Plano 2		
5°	Ensamble de las piezas 1 - 5 con puntos de soldadura MIG				
6°	Ensamble junto a las piezas obtenidas en torno con puntos de soldadura MIG		Plano 3		
7°	Verificación de cotas, tras aprobación soldar las piezas con cordón de soldadura MIG				

**Figura A3.** Hoja de procesos de extensión de amortiguadores

Procesos de Manufactura	CUERPO AXIAL			Fecha: 01 / Diciembre/2022	
				N° de piezas: 4	
Escala 1:5	Material: Acero ASTM A36	Espesor	9 ; 6 mm	medidas en mm	
Maquinaria:	CNC corte de plasma	amoladora	Suelda de tipo MIG	dobladora	herramientas de medición
Orden	Operación		Croquis	Nombre de plano	
1°	Mallar los documentos .dxf del enlace para corte en CNC. Plancha de 9 mm para la base			-	
2°	Corte de elementos de chapa metálica en CNC, posterior remoción de escoria con amoladora y disco de desbaste			-	
3°	Doblado de pieza 1 y 2 según plano individual (Todos los planos en el enlace)			Plano 1	
4°	Ensamble de las piezas 1 - 4 con puntos de soldadura MIG			Plano 2	
5°	Ensamble junto a las piezas obtenidas en torno con puntos de soldadura MIG				
6°	Verificación de cotas, tras aprobación soldar las piezas con cordón de soldadura MIG				

**Figura A4.** Hoja de procesos de cuerpo axial para mesa de suspensión





**Figura A6.** Plano de brazo de suspensión

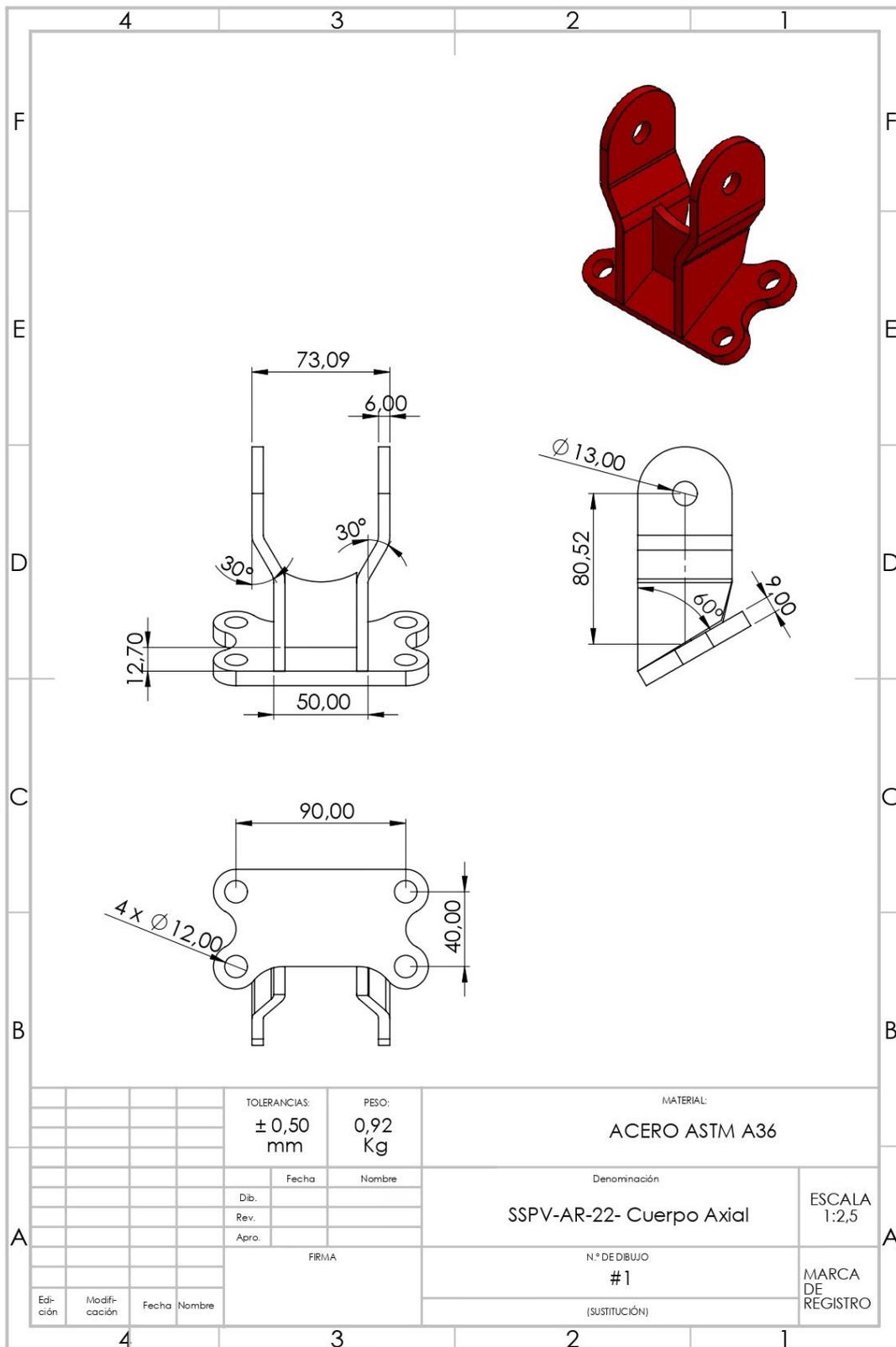


Figura A7. Plano de cuerpo axial

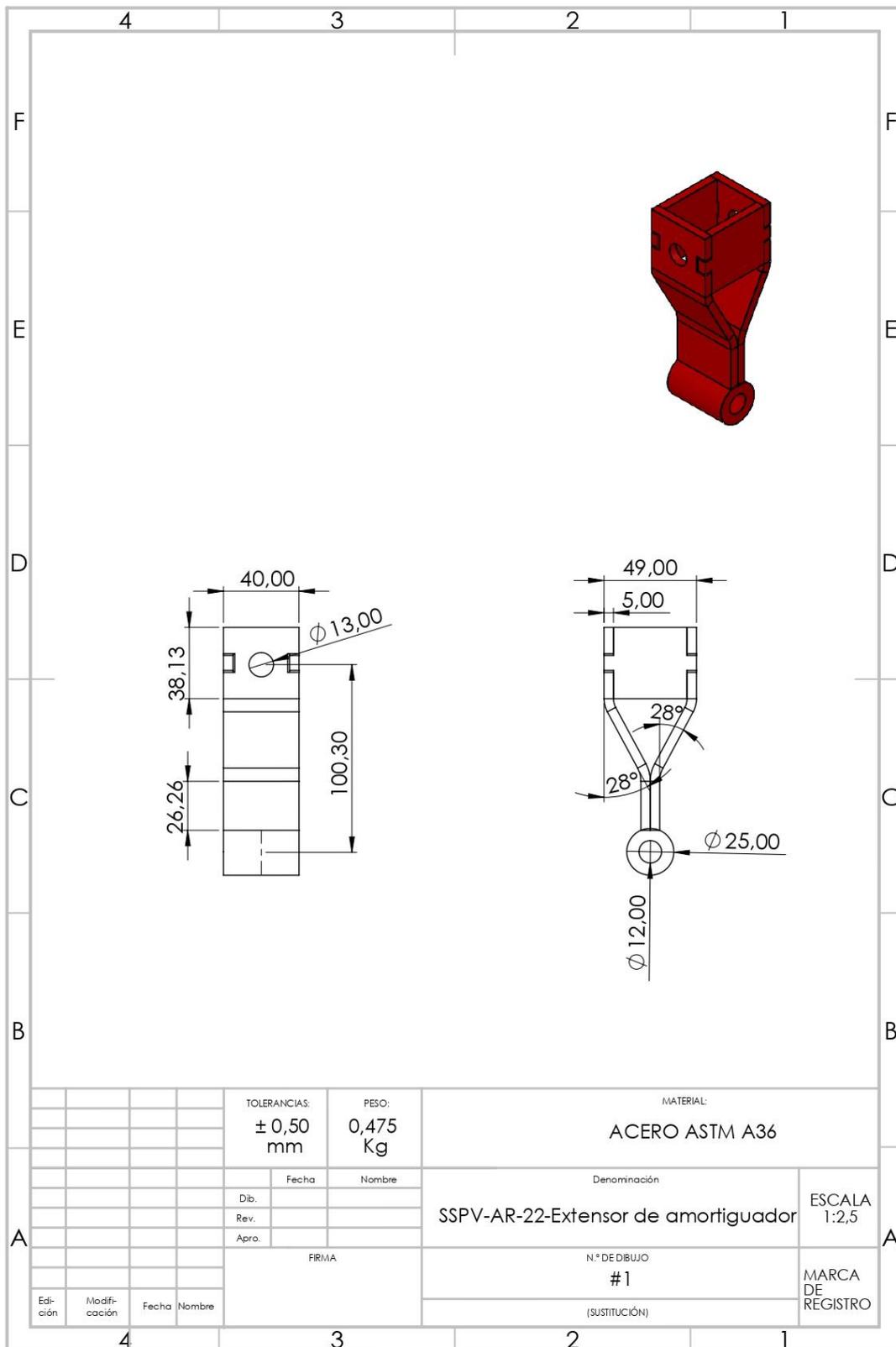


Figura A8. Plano de extensor de amortiguador