



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA SUSPENSIÓN
MCPHERSON DEL TREN DELANTERO DE UN CHEVROLET
VITARA CLÁSICO APLICANDO HERRAMIENTAS
COMPUTACIONALES DE SIMULACIÓN ESTRUCTURAL Y
MANUFACTURA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

GEOVANNY DIEGO ARÉVALO CHIMBOLEMA

JHONATAN JAVIER HERNÁNDEZ NARVÁEZ

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA SUSPENSIÓN
MCPHERSON DEL TREN DELANTERO DE UN CHEVROLET
VITARA CLÁSICO APLICANDO HERRAMIENTAS
COMPUTACIONALES DE SIMULACIÓN ESTRUCTURAL Y
MANUFACTURA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: GEOVANNY DIEGO ARÉVALO CHIMBOLEMA

JHONATAN JAVIER HERNÁNDEZ NARVÁEZ

DIRECTOR: Ing. EDWIN RODOLFO POZO SAFLA

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Geovanny Diego Arévalo Chimbolema, Jhonatan Javier Hernández Narváez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, GEOVANNY DIEGO ARÉVALO CHIMBOLEMA Y JHONATAN JAVIER HERNÁNDEZ NARVÁEZ, declaramos que el presente trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de julio de 2022



Geovanny Diego Arévalo Chimbolema

020235225-8



Jhonatan Javier Hernández Narváez

040158804-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN MCPHERSON DEL TREN DELANTERO DE UN CHEVROLET VITARA CLÁSICO APLICANDO HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES DE SIMULACIÓN ESTRUCTURAL Y MANUFACTURA**”, realizado por los señores **GEOVANNY DIEGO ARÉVALO CHIMBOLEMA** y **JHONATAN JAVIER HERNÁNDEZ NARVÁEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edgar Fabian Sánchez Carrión PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-07-15
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-07-15
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-07-15

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de integración curricular a mis padres que me han estado apoyando durante todo el proceso de formación como profesional y con sus consejos me han incentivado para que salga adelante con la carrera hasta cumplir con el objetivo, a mis familiares y amigos que con sus consejos y apoyo han aportado para que pueda llegar a realizar cada uno de los objetivos propuestos durante en el transcurso de la academia.

Jhonatan

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico primero a Dios por permitirme terminar con éxito una etapa más de mi vida, por sostenerme en los momentos más difíciles y por dirigirme siempre por un buen camino.

A mis padres, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, a mi mamá que siempre estuvo pendiente de mí, motivándome, cuidándome, brindándome su confianza, y a mi padre que ha estado para impartirme buenos consejos y alentarme a no desmayar en el transcurso de la carrera universitaria, los dos han hecho un esfuerzo grande para hacer posible un sueño más, dedicándome tiempo, amor y confianza que era lo que más necesitaba.

Diego

AGRADECIMIENTO

A nuestros amigos por brindarnos confianza y por haber compartido y generado las mejores experiencias a lo largo de la carrera universitaria. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirnos las puertas para ser parte de esta prestigiosa institución y crecer de manera profesional enriqueciendo nuestros conocimientos y formando profesionales de calidad, también es grato poder agradecer a los ingenieros pertenecientes a la academia que gracias a sus enseñanzas se ha podido obtener los conocimientos suficientes para poder desarrollarnos en un ambiente profesional.

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICO.....	5
2.1. Estado del arte.....	5
2.2. Bases teóricas.....	6
2.2.1. <i>Reseña histórica del sistema de suspensión</i>	6
2.2.2. <i>Sistema de suspensión</i>	7
2.2.3. <i>Suspensión independiente</i>	9
2.2.3.1. <i>Suspensión McPherson</i>	9

2.2.3.2.	<i>Suspensión de doble horquilla</i>	10
2.2.3.3.	<i>Suspensión multibrazo</i>	10
2.2.4.	<i>Suspensión dependiente</i>	11
2.2.4.1.	<i>Suspensión de eje rígido</i>	12
2.2.4.2.	<i>Suspensión de eje semirrígido</i>	12
2.2.5.	<i>Suspensión activa</i>	13
2.2.6.	<i>Suspensión semi activa</i>	14
2.2.7.	<i>Suspensión pasiva</i>	14
2.2.8.	<i>Componentes principales de la suspensión</i>	15
2.2.8.1.	<i>Chasis o bastidor</i>	15
2.2.8.2.	<i>Ballestas</i>	16
2.2.8.3.	<i>Muelles Helicoidales</i>	18
2.2.8.4.	<i>Barra estabilizadora</i>	21
2.2.8.5.	<i>Barras de torsión</i>	22
2.2.8.6.	<i>Amortiguadores y tipos de amortiguadores.</i>	23
2.2.8.7.	<i>Amortiguador hidráulico</i>	24
2.2.8.8.	<i>Amortiguadores a gas</i>	25
2.2.8.9.	<i>Los Silentblocks o elementos aislantes</i>	26
2.2.8.10.	<i>Rotulas</i>	27
2.2.8.11.	<i>Buje y mangueta</i>	27
2.2.9.	<i>Geometría de la suspensión</i>	28
2.2.10.	<i>Convergencia y Divergencia</i>	28
2.2.11.	<i>Ángulo de caída (Camber)</i>	28
2.2.11.1.	<i>Influencia cinemática de la variación del Camber</i>	30
2.2.12.	<i>Ángulo de avance (Caster)</i>	30
2.2.12.1.	<i>Influencia cinemática de la variación del ángulo Caster.</i>	31
2.2.13.	<i>Soldadura</i>	32
2.2.13.1.	<i>Soldadura SMAW</i>	32
2.2.13.2.	<i>Soldadura GMAW</i>	33

2.2.13.3.	<i>Soldadura GTAW (TIG)</i>	35
2.2.14.	Planchas metálicas	35
2.2.14.1.	<i>Plancha laminada al caliente</i>	36
2.2.14.2.	<i>Plancha laminada al frio</i>	37
2.2.15.	Esfuerzos y deformaciones	38
2.2.16.	Software de diseño y simulación	38
2.2.16.1.	<i>Software (CAD) SOLIDWOKS</i>	38
2.2.16.2.	<i>Software (CAE)MSC Adams View.</i>	39
2.3.	Marco legal	39
2.3.1.	Inspección técnica.	39
2.3.2.	Regimiento de norma INEN	40
2.3.2.1.	<i>Físicos</i>	41
2.3.2.2.	<i>Mecánicos (resistencia a la tracción)</i>	41
2.3.2.3.	<i>Químicos</i>	41
2.3.2.4.	<i>Soldabilidad</i>	42

CAPÍTULO 3

3.	MARCO METODOLÓGICO	43
3.1.	Diagrama de etapas del proyecto	43
3.2.	Metodología de investigación	43
3.2.1.	Tipo de estudio	43
3.2.2.	Enfoque de la investigación.	44
3.2.3.	Métodos técnicas e instrumentos	44
3.2.4.	Método deductivo.	44
3.2.5.	Método sintético.	44
3.2.6.	Técnicas	44
3.2.7.	Instrumentos	45
3.3.	Desarrollo del proyecto	45

3.3.1.	<i>Cronograma</i>	45
3.3.2.	<i>Recursos y materiales</i>	46
3.3.2.1.	<i>Presupuesto</i>	46
3.3.2.2.	<i>Talento humano</i>	47
3.3.2.3.	<i>Equipos materiales</i>	47
3.3.3.	<i>Desarrollo del proyecto</i>	47
3.3.3.1.	<i>Bosquejo</i>	48
3.3.3.2.	<i>Simulación</i>	58
3.3.3.3.	<i>Selección de materiales</i>	80
3.3.3.4.	<i>Construcción</i>	84
3.3.3.5.	<i>Presentación final</i>	93

CAPÍTULO 4

4.	RESULTADOS	96
4.1.	Obtención de resultados	96
4.2.	Análisis de resultados	99

	CONCLUSIONES	103
--	---------------------------	-----

	RECOMENDACIONES	104
--	------------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Materiales empleados para la fabricación de muelles helicoidales.....	20
Tabla 2-2:	Especificaciones de láminas caliente en uso comercial y calidad estructural.....	36
Tabla 3-2:	Especificaciones generales de laminas al frio.....	37
Tabla 4-2:	Ficha técnica del vehículo a modificar.	40
Tabla 5-2:	Resistencias mínimas a la tracción de los aceros y sus grados	40
Tabla 6-2:	Propiedades mecánica del ensayo de tracción (valores mínimos)	41
Tabla 7-2:	Valores límites, composición química de la plancha de acero comercial.....	41
Tabla 8-2:	Valores límites de la composición química de la plancha de acero estructural. .	42
Tabla 9-2:	Límites máximos de la composición química.....	42
Tabla 1-3:	Planificación de actividades.....	45
Tabla 2-3:	Presupuestos de materiales y gastos directos.....	46
Tabla 3-3:	Gastos que influyen indirectamente en el rediseño del sistema de suspensión...	46
Tabla 4-3:	Presupuesto total	46
Tabla 6-3:	Propiedades mecánicas del laminado en frio y caliente.....	80
Tabla 7-3:	Comparativa entre ASTM A570 Y ASTM A36, propiedades mecánicas.	81
Tabla 8-3:	Propiedades mecánicas del laminado en caliente.....	81
Tabla 9-3:	Propiedades mecánicas del laminado en caliente.....	82
Tabla 10-3:	Propiedades mecánicas del laminado en caliente.....	83
Tabla 11-3:	Torque de pernos Milimétricos.....	90
Tabla 1-4:	Análisis dinámico sistema de suspensión McPherson.	96
Tabla 2-4:	Desplazamiento y variación de los ángulos de alineación, McPherson.....	97
Tabla 3-4:	Análisis dinámico sistema de suspensión Doble horquilla	97
Tabla 4-4:	Desplazamiento y comportamiento de los ángulos sistema modificado.....	98
Tabla 5-4:	Resultados del análisis estático	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Primer sistema de suspensión.....	7
Figura 2-2:	Suspensión de alto rendimiento (High-performans suspensión).....	7
Figura 3-2:	Suspensión McPherson.....	8
Figura 4-2:	Suspensión independiente	9
Figura 5-2:	Suspensión independiente McPherson – Subaru.....	10
Figura 6-2:	Suspensión independiente doble horquilla – Subaru.....	10
Figura 7-2:	Suspensión independiente Multilink	11
Figura 8-2:	Suspensión rígida	11
Figura 9-2:	Suspensión eje rígido con ballestas	12
Figura 10-2:	Suspensión eje rígido con ballestas	13
Figura 11-2:	Diferencia entre el comportamiento de la carrocería del camión en una curva: con suspensión pasiva (a) y con suspensión activa (b).	14
Figura 12-2:	Clasificación de los sistemas de suspensión.....	14
Figura 13-2:	Comparativa de fuerzas que actúan sobre una suspensión activa y pasiva.	15
Figura 14-2:	Chasis o bastidor de un vehículo.....	16
Figura 15-2:	Bastidor de plataforma.	16
Figura 16-2:	Componentes del conjunto de ballestas.....	17
Figura 17-2:	Comportamiento del conjunto de ballestas.....	17
Figura 18-2:	Gemela montada en la ballesta	18
Figura 19-2:	Muelles helicoidales	18
Figura 20-2:	Principio de funcionamiento de la barra estabilizadora.....	22
Figura 21-2:	Principio de funcionamiento la barra de torsión.....	22
Figura 22-2:	Amortiguadores y sus partes.	23
Figura 23-2:	Amortiguador Hidraulico.	24
Figura 24-2:	Bastidor de plataforma.	25
Figura 25-2:	Bastidor de plataforma.	25
Figura 26-2:	Amortiguador a gas.	26
Figura 27-2:	Elementos aislantes (neilon, elastómeros).....	26
Figura 28-2:	Elementos aislantes (neilon, elastómeros).....	27
Figura 29-2:	Sistema de suspension (mangueta y buje).	28
Figura 30-2:	Convergencia de las ruedas.	28
Figura 31-2:	Ángulos de Caídas.....	29
Figura 32-2:	Ángulo de Caída (camber)	29

Figura 33-2:	Determinación del ángulo de Caída (camber) según su inclinación	30
Figura 34-2:	Ángulo de avance (Caster)	31
Figura 35-2:	Posición del ángulo de avance.....	32
Figura 36-2:	Soldadura con arco de metal protegido (SMAW).	33
Figura 37-2:	Soldadura con arco de metal y gas (GMAW).	34
Figura 38-2:	Proceso Semiautomático 38a, proceso Automático 38b.	34
Figura 39-2:	Proceso Soldadura GTAW o TIG.....	35
Figura 40-2:	Logo software CAD.	39
Figura 41-2:	Logo software CAE.....	39
Figura 1-3:	Diagrama de etapas del proyecto.....	43
Figura 2-3:	Bosquejo bastidor Chevrolet Vitara Clásico	48
Figura 3-3:	Componentes del sistema McPherson Chevrolet Vitara	49
Figura 4-3:	Ensamble del Sistema McPherson.....	49
Figura 5-3:	Soporte de mesa superior.	50
Figura 6-3:	Soporte de la mesa superior, montado en el bastidor.	50
Figura 7-3:	Mesa superior	51
Figura 8-3:	Montaje de la mesa superior.....	51
Figura 9-3:	Rótula seguidora montada en el sistema rediseñado.	52
Figura 10-3:	Soporte inferior de la torreta.	52
Figura 11-3:	Ensamble con el soporte superior del amortiguador.	53
Figura 12-3:	Soporte superior del amortiguador	53
Figura 13-3:	Soporte superior del amortiguador acoplado al sistema.....	54
Figura 14-3:	Amortiguador sistema McPherson y amortiguador telescópico.....	54
Figura 15-3:	Amortiguador telescópico acoplado al sistema	55
Figura 16-3:	Mangueta Secundaria	55
Figura 17-3:	Mangueta secundaria y principal acoplada al sistema.....	56
Figura 18-3:	Desfase de eje de giro de la mesa inferior.	56
Figura 19-3:	Ensamble de la mesa inferior en el sistema.....	57
Figura 20-3:	Ensamble final, suspensión McPherson modificada.	57
Figura 21-3:	Diagrama de cuerpo libre.	60
Figura 22-3:	Diagrama de cuerpo libre.	60
Figura 23-3:	Diagrama de cuerpo libre del vehículo en un plano inclinado.	61
Figura 24-3:	Ensamble suspensión McPherson.....	63
Figura 25-3:	Medida de puntos clave del sistema	64
Figura 26-3:	Coordenadas del sistema McPherson	64
Figura 27-3:	Parámetros de simulación.....	65

Figura 28-3:	Gráfica Rigidez del neumático vs Presión de inflado.....	66
Figura 29-3:	Parámetros de simulación.....	67
Figura 30-3:	Comportamiento del ángulo de caída (Camber).....	68
Figura 31-3:	Comportamiento del ángulo de avance (Caster).	68
Figura 32-3:	Comportamiento del ángulo de inclinación (Kingpin).	69
Figura 33-3:	Comportamiento del ángulo de convergencia (Kingpin).	69
Figura 34-3:	Suspensión de doble horquilla.....	70
Figura 35-3:	Toma de medidas del sistema doble horquilla.	70
Figura 36-3:	Registro de coordenadas sistema de doble horquilla.....	71
Figura 37-3:	Configuración de parámetros del sistema de doble horquilla.....	72
Figura 38-3:	Parámetros de la simulación sistema doble horquilla.....	73
Figura 39-3:	Ángulo de caída (camber) vs desplazamiento vertical de la rueda.....	74
Figura 40-3:	Ángulo de avance (caster) vs desplazamiento vertical de la rueda	74
Figura 41-3:	Ángulo de inclinación (Kingpin) vs desplazamiento vertical de la rueda	75
Figura 42-3:	Ángulo de convergencia (Toe) vs desplazamiento vertical de la rueda	75
Figura 43-3:	Fuerza aplicada a la mesa inferior	76
Figura 44-3:	Anclajes del sistema.	76
Figura 45-3:	Deformación máxima del sistema	77
Figura 46-3:	Esfuerzo equivalente de Von – Mises	77
Figura 47-3:	Tensión máxima	77
Figura 48-3:	Fuerza aplicada a la mesa inferior modificada	78
Figura 49-3:	Asignación de soportes.....	78
Figura 50-3:	Deformación máxima	79
Figura 51-3:	Esfuerzo equivalente de Von – Mises	79
Figura 52-3:	Esfuerzo máximo.....	79
Figura 53-3:	Factor de seguridad	80
Figura 54-3:	Propiedades del acero ASTM A36.....	83
Figura 55-3:	Pernos excéntricos.....	84
Figura 56-3:	Rótula de suspensión para NISSAN Sentra.....	84
Figura 57-3:	Códigos G generadas para el corte en la maquina CNC.....	85
Figura 58-3:	Diseños visualizados en la maquina CNC.....	86
Figura 59-3:	Corte con Plasma en la maquina CNC.	86
Figura 60-3:	Elementos estructurales luego del corte CNC	87
Figura 61-3:	Elementos estructurales después del pulido, extracción de escorias.	87
Figura 62-3:	Doble de las piezas de acuerdo a los datos del diseño CAD.	88
Figura 63-3:	Armado de las piezas con puntos de suelda MIG.....	88

Figura 64-3:	Aplicación de cordones de soldadura MIG por cada pieza del sistema.	89
Figura 65-3:	Unión de los bujes y acople de los silentblocks.	89
Figura 66-3:	Ensamble mesa inferior y superior	90
Figura 67-3:	Acople de la mangueta secundaria	91
Figura 68-3:	Comprobación del ángulo de caída (Caster)	92
Figura 69-3:	Alineación de la manzana.....	92
Figura 70-3:	Alineación del Vehículo.....	93
Figura 71-3:	Sistema de suspensión nueva pintada.....	93
Figura 72-3:	Ensamble del sistema definitivo.....	94
Figura 73-3:	Ensamblados del sistema definitivo refuerzo de torreta.....	94
Figura 74-3:	Acople de amortiguadores en el sistema nuevo	95
Figura 75-3:	Prueba de campo con el nuevo sistema de suspensión.....	95

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4:	Comparativa ángulo de caída.....	99
Gráfico 2-4:	Comparativa ángulo de desplazamiento	100
Gráfico 3-4:	Comparativa ángulo de inclinación	101
Gráfico 4-4:	Comparativa ángulo de convergencia	102

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Herramientas utilizadas para el proceso de manufactura.

ANEXO B: Cálculos del centro de gravedad mediante el software MATHCAD

ANEXO C: Sistema rediseñado

RESUMEN

En el presente trabajo tuvo como objetivo realizar el rediseño del sistema de suspensión McPherson del tren delantero de un Chevrolet Vitara clásico, con la finalidad de mejorar las condiciones de manejo del vehículo en caminos de tercer orden. Para mejorar el comportamiento dinámico del sistema de suspensión se partió del modelado de componentes originales de la suspensión McPherson para posteriormente aplicar el rediseño respetando los puntos de soporte y los puntos donde se acoplan los componentes de la suspensión. Para el diseño de nuevos componentes se basó en la geometría del sistema de suspensión de doble horquilla por lo cual se diseñó nuevas piezas: soporte de mesa superior, mesa superior, mangueta secundaria, soporte superior amortiguador y refuerzo de torreta. Para la validación del diseño se realizó la simulación dinámica y estática de los dos sistemas donde determinó las curvas características de los ángulos de alineación, Camber, Caster y Convergencia, en donde las variaciones de estos fueron : $6,31^\circ$; $0,49^\circ$ y $9,76^\circ$ en el sistema original y de $0,97^\circ$; $0,36^\circ$; $2,49^\circ$ en el sistema modificado respectivamente, En el análisis estático aplicado a la mesa inferior el factor de seguridad fue de 2,64 en el sistema original y de 2,90 en el sistema modificado. Habiendo obtenido mejoras en la dinámica de la suspensión se realizó el proceso de manufactura y consecuentemente las pruebas de campo en donde se determinó que el vehículo mejoró sus condiciones de manejo y el trabajo de la suspensión aumento de 185 mm a 225 mm mejorando su adherencia con la superficie de la calzada en un 20%. Se concluye que el sistema rediseñado es eficiente en caminos de tercer orden y los ángulos de alineación se presentan en rangos normales. Se recomienda instalar este tipo de suspensión en vehículos Vitara que sean sometidos a condiciones extremas.

Palabras clave:<SISTEMA DE SUSPENSIÓN> <DINÁMICA DE SUSPENSIÓN>
<ÁNGULOS DE ALINEACIÓN> <ANÁLISIS ESTÁTICO> <MANUFACTURA>.

1943-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

In this work, the objective was to carry out the redesign of the McPherson suspension system of the front end of a classic Chevrolet Vitara brand, to improve the driving conditions of the vehicle on third-class roads. To improve the dynamic behavior of the suspension system, we started from the modeling of the original components of the McPherson suspension to subsequently apply the redesign respecting the support points and the points where the suspension components are attached. The new components are designed based on the geometry of the double wishbone suspension system. New parts were designed: upper table support, upper table, secondary spindle, upper shock absorber support, and turret reinforcement. The dynamic and static simulation of the two systems was carried out for the design validation, where the characteristic curves of the alignment angles, Camber, Caster, and Convergence, were determined, where the variations of these were: 6.31° ; 0.49° and 9.76° in the original system and 0.97° ; 0.36° ; 2.49° in the modified system respectively. In the static analysis applied to the lower table, the safety factor was 2.64 in the original system and 2.90 in the modified system. Obtaining improvements in the dynamics of the suspension, the manufacturing process was carried out, and consequently, the field tests determined that the vehicle improved its driving conditions and, the suspension work increased from 185 mm to 225 mm, improving its adherence with the road surface by 20%. It is concluded that the redesigned system is efficient on third-class roads and, the alignment angles are in normal ranges. It is recommended to install this type of suspension on Vitara brand vehicles which are held to extreme conditions.

Keywords: <SUSPENSION SYSTEM> <SUSPENSION DYNAMICS> <ALIGNMENT ANGLES> <STATIC ANALYSIS > <MANUFACTURE>.



Lcda. Patricia Moyota A. Mgs

0603611013

INTRODUCCIÓN

El sistema de suspensión es uno de los sistemas automotrices el cual cumple un sinnúmero de funciones en un vehículo. Estas funciones van desde soportar el peso del vehículo y distribuirlo uniformemente en cada una de las ruedas, absorber las irregularidades de la calzada, disminuir las vibraciones hacia la carrocería del vehículo protegiendo los componentes mecánicos de todo el vehículo, brindar comodidad en los pasajeros, mejorar la estabilidad del vehículo y mejorar la tracción manteniendo las ruedas motrices pegadas al suelo.

Debido a la gran variedad de clase de vehículos, existe un sinnúmero de variaciones de suspensiones las cuales están diseñadas para desempeñarse de la mejor manera dependiendo de las condiciones a la que sea sometido un vehículo, por ejemplo, en vehículos compactos y turismo la función es de brindar comodidad en los pasajeros y mayor estabilidad en altas velocidades; en camiones y pick up la suspensión debe soportar una mayor carga, y en vehículo de aventura la suspensión deben ser de altas prestaciones.

Un sistema de suspensión es un conjunto de conexiones mecánicas, muelles y amortiguadores que conectan las ruedas con el chasis. Tradicionalmente ha desempeñado dos funciones: gestionar la maniobrabilidad y el frenado del vehículo para la seguridad, y mantener a los pasajeros cómodos frente a los baches, las vibraciones y otros factores. Es un sistema mecánico de muelles o amortiguadores que conecta las ruedas y los ejes al chasis de un vehículo de ruedas.

En el tren delantero del Chevrolet Vitará clásico, se encuentra un sistema de suspensión independiente tipo McPherson la cual debe soportar cargas extremas y transitar por caminos de tercer orden cumpliendo con las exigencias para las cuales el vehículo ha sido diseñado y en el tren trasero este vehículo presenta un sistema de suspensión dependiente de eje rígido el cual se conecta a la carrocería por medio de muelles helicoidales.

CAPÍTULO 1

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El Chevrolet Vitara es conocido en algunos países como España y Canadá como el Suzuki Vitara, este vehículo es la evolución del Suzuki hormiga que inició su fabricación en el año de 1988, presentándose como un modelo con un mayor confort cambiando en el tren delantero la clásica suspensión por ballestas a un sistema de suspensión independiente McPherson mejorando sus prestaciones sobre el asfalto manteniendo las propiedades de un todo terreno (Suzuki 4x4 club Ecuador, 2014, p. 3).

El sistema de suspensión McPherson fue diseñada por Earl S. McPherson de allí su nombre, en el año de 1951, este modelo de sistema de suspensión fue implementado patentado por primera vez en un Ford Consul y posteriormente en Zephyr. En la actualidad este sistema de suspensión es ampliamente utilizado en vehículos modernos, esto se debe a su bajo costo de fabricación, y su versatilidad para ser instalado en lugares estrechos e incluso puede ser fácilmente implementado en el tren trasero de los vehículos (Rincón, 2019, p. 1).

Como nos presenta (Rincón, 2019) en un estudio realizado sobre el “Análisis de esfuerzos del brazo inferior de la suspensión de puntal McPherson en vehículos compactos” hace referencia sobre las falla más común que presente este sistema de suspensión al ser sometida a un trabajo exigente en un ambiente en condiciones extremas, con muchos desniveles y pendientes pronunciadas, también hace referencia a las correcciones respectivas que se hace sobre el brazo inferior con ayuda de análisis de elementos finitos lo que permite aplicar correctivos en el modelo real del diseño.

Por este motivo, la utilización de herramientas computacionales de diseño y simulación de elementos estructurales ayuda a la determinación del comportamiento físico de cada uno de los componentes del sistema de suspensión, así como también permite identificar las fallas dentro de un sistema o de un diseño lo que nos facilita poder tomar medidas correctivas dentro del mismo sistema evitando así una construcción con errores que conllevaría un gasto excesivo en la producción.

1.2. Planteamiento del problema

En los Vehículos Chevrolet Vitara Clásicos el sistema McPherson puede desenvolverse bien en pavimento y en vías que estén en buenas condiciones. Uno de los problemas que presenta este tipo de sistema es en su geometría, debido a que, por su simplicidad, el ángulo de la rueda varía

al momento de subir o bajar la suspensión, es decir que la llanta no se conserva completamente vertical, si no que va a variar su ángulo dependiendo de la posición de la suspensión lo que genera un problema de estabilidad en el vehículo.

El Chevrolet Vitara clásico al ser un vehículo todo terreno la suspensión está sometida a una serie de esfuerzos y estas cargas se representan en la mesa inferior, estos esfuerzos en muchos casos conllevan a la fisura de la mesa inferior y en algunos casos se puede llegar a romper hasta el amortiguador. Además, puesto que el amortiguador es un elemento estructural, está sometido a esfuerzos de flexión, por lo que la fricción que se genera en el amortiguador, entre el émbolo y el cilindro, es mayor que en otras suspensiones. Eso provoca mayor transferencia de vibraciones de la rueda a la carrocería, lo que conlleva menor confort (Rincón, 2019, p. 2)

1.3. Justificación

La suspensión es uno de los sistemas automotrices el cual cumple la función de absorber las irregularidades del ambiente, mantener en contacto las ruedas con la superficie en donde se desplaza y reducir los ruidos y vibraciones protegiendo las piezas del vehículo y brindando un mayor confort en los pasajeros (Peña, y otros, 2019, p. 2). Si bien es cierto la mayoría de los vehículos modernos vienen equipados con un sistema de suspensión conocido como McPherson, el cual es un sistema simple con una estructura que ocupa un espacio reducido lo que la hace que su coste de fabricación sea reducido. Este sistema es muy versátil el cual también se puede implementar en el tren trasero de los vehículos (Rincón, 2019, p. 4)

Los vehículos Vitaras se han destacado por ser vehículos todo terreno, económicos y aptos para circular por cualquier ambiente, por lo cual el sistema de suspensión en estos vehículos debe prestar las características suficientes para desenvolverse en caminos de tercer orden y por ambientes áridos, si bien es cierto, la suspensión en este tipo de vehículos no ha variado desde el año 1995, en dónde se incorporó un sistema independiente McPherson en el tren delantero.

Conociendo estos detalles se enfocará en realizar el rediseño y la construcción de una suspensión para el tren delantero de un Chevrolet vitara clásico, donde se buscará mejorar el diseño y las prestaciones del sistema convencional.

Este nuevo sistema se podrá implementar en todos los modelos de Chevrolet Vitara clásicos que compartan el mismo bastidor en los cuales se buscará mejorar las prestaciones de la suspensión en la conducción y mejorar la geometría del sistema original, llevándolo a una variante de un sistema de suspensión de doble horquilla con el que se pretende disminuir las vibraciones y lograr un mayor confort en el interior del habitáculo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Rediseñar y construir el sistema de suspensión McPherson de un Chevrolet Vitara clásico aplicando herramientas computacionales de, Simulación estructural y manufactura con el fin de mejorar las prestaciones de un sistema convencional.

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar fuentes bibliográficas de los sistemas de suspensión McPherson para poder establecer parámetros funcionales para el rediseño.
- Realizar el modelado de los componentes del sistema de suspensión utilizando herramientas CAD.
- Rediseñar los componentes del sistema de suspensión analizando la selección de materiales y cargas que intervienen en el sistema de suspensión.
- Analizar dinámicamente los componentes del nuevo sistema de suspensión con ayuda de un software CAE bajo las condiciones de cargas existentes.
- Seleccionar los procesos de manufactura adecuados para la construcción de las partes de la suspensión rediseñada.
- Realizar las pruebas en el sistema de suspensión rediseñado para comprobar el funcionamiento de la suspensión.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICO

2.1. Estado del arte

En el trabajo realizado por (Tobar, 2017, pp. 43-51.) señala que para mejorar las condiciones de trabajo forzado y el condiciones severas de conducción, ha sido necesario el rediseño del sistema de suspensión, dirección y transmisión aplicadas a un Toyota Land Cruiser RJ 70.

En lo relacionado con el sistema de suspensión el autor nos habla sobre las mejoras que se ha realizado al remplazar componentes, estos son muelles helicoidales de mayor rigidez y mayor número de espiras activas logrando aumentar el recorrido de trabajo del amortiguador, el autor menciona sobre la mejora que se realiza en la tecnología del amortiguador para mejorar las condiciones de manejo, estabilidad y resistencia para trabajos pesados. Al momento de cambiar los resortes por unos de mayores dimensiones, se habla también del rediseño de la base de los mismos y para que exista un mejor rendimiento ha sido necesario remplazar los bocines de goma debido al desgaste.

El resultado obtenido con esta de la modificación del sistema de suspensión del Toyota Land Cruiser RJ 70 ha sido ganar mayor altura y la carrera de trabajo también a aumentado considerablemente en un 26%.

En la publicación realizada por (Rincón, 2019, pp. 2-6.) menciona fallas en los sistemas de suspensión McPherson debido a las condiciones extremas de manejo. Lo que pretende el autor es buscar una alternativa que conlleve el mejoramiento del brazo de suspensión. Para ello se ha considerado las condiciones de trabajo de la misma y por medio de simulaciones computarizadas a un prototipo creado a partir de una pieza original con la finalidad de, “realizar un rediseño o refuerzo de la misma para aumentar la vida útil de la pieza sin disminuir su eficiencia de trabajo establecidas por la normatividad técnica.”

La metodología que se ha utilizado para el desarrollo de esta investigación se basa en una investigación de campo el cual consiste en identificar las fallas más comunes del sistema McPherson indagando a talleres cercanos en la ciudad de Ocaña, una vez determinado el problema se ha procedido a realizar el rediseño y simulación de esfuerzos por fatiga a lo que es sometida la mesa inferior con la ayuda de softwares computacionales, una vez realizado el análisis estructural se ha procedido a tomar medidas correctivas, reforzando el sistema original y así minimizar las fallas.

Como resultado de este proyecto el autor ha logrado identificar la zona con mayor afectación el cual se encuentra en la unión del brazo inferior con el chasis, además de presentarse deformidades en el centro de la pieza que con su continuo uso puede llegar al punto de no poder ser utilizada. Se ha utilizado también como aporte importante el trabajo de titulación realizado por (Enriquez, y otros, 2020, pp. 55-64) en donde el autor estudia el comportamiento de un corrector de camber y caster, para ello se basa en la utilización de elementos finitos, este análisis el autor lo realiza en el sistema de suspensión McPherson con el fin de poder determinar los ángulos de alineación del sistema de dirección.

Para ello el autor parte del modelado del sistema utilizando el software de SolidWorks para la realización de los modelos CAD. Para obtener mejores resultados y los márgenes de error sean mínimos se ha utilizado un escáner 3D para la obtención del dimensionamiento tridimensional del sistema, con el modelo CAD realizado y con el diseño tridimensional el autor se ayuda del complemento Capture Geomagic para poder exportar directamente los elementos escaneados, y realiza así la verificación del dimensionamiento y la desviación del modelado, con esto lo que se busca es conseguir un modelo definitivo en donde las desviaciones del modelado en relación del original sean mínimas. Una vez obtenido el modelo CAD definitivo el autor procede a realizar la simulación con ayuda del software ANSYS EDUCATIONAL.

Un aspecto importante a destacar de este software es que presenta características adecuadas que nos permite reestructurar el modelo y realizar un análisis más aproximado a la realidad. Una vez que todos los parámetros sean definidos en ANSYS el autor procede a evaluar los cálculos y así desarrollar una matriz que le ayude a la resolución de problemas con el método de elementos finitos y así dar una solución al análisis

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Reseña histórica del sistema de suspensión.

Desde la antigüedad los vehículos han sido un elemento esencial para permitir el desplazamiento de las personas de un sitio a otro, y con el pasar del tiempo se ha visto en la obligación de dar confort a los ocupantes, con el fin de minimizar cualquier perturbación o efectos físicos que ocasiona el movimiento, mantener estable el vehículo en diferentes caminos: “Los primeros sistemas de suspensión aparecieron junto con la idea de utilizar los carruajes en el siglo XIX, hasta ese entonces utilizados solo para el transporte de productos y mercadería.” (Gavilanez Endara , 2016, p. 14), en cambio para transportar a las personas estos eran incómodos por su rigidez, a la hora de moverse por lo que empezaron a buscar soluciones y a experimentar con diferentes materiales donde estaban convencidos que al utilizar unas correas de cuero en las cabinas del

carruaje y el eje que tenía un soporte de metal era efectiva donde esta quedaba suspendida de los cuatro lados. (Gavilanez Endara , 2016, p. 14)

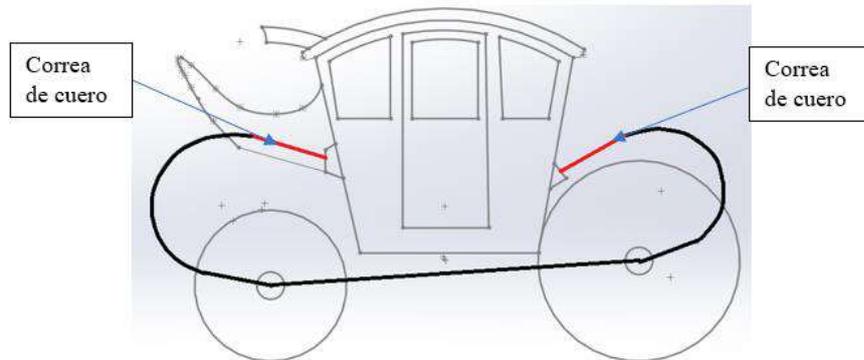


Figura 1-2: Primer sistema de suspensión

Fuente: Serrano, 2006

Con esta idea se realizó un gran avance y los profesionales en esas épocas que eran los médicos, mencionaron como una ventaja al usar este sistema evitaban el problema que tenían en el confort físico, como dolores espaldares, cintura y piernas de los ocupantes, por esta razón buscaron materiales con más elasticidad hasta que en 1898 fabricaron el primer amortiguador para un vehículo.

2.2.2. Sistema de suspensión

La suspensión es uno de los sistemas automotrices presentes en los vehículos, este a lo largo de los años ha ido evolucionando constantemente, partiendo desde una suspensión basada en correas hasta las que hoy se conoce como suspensiones de alto rendimiento (Bello, 2021, p. 24).



Figura 2-2: Suspensión de alto rendimiento (High-performans suspensión)

Fuente: Subaru-Technology, 2021

Un vehículo al transitar por la calle es sometido a un sinnúmero de vibraciones producidos al entrar en contacto la rueda con la superficie de la calzada, estas vibraciones son transmitidas hacia el habitáculo del automóvil generando así sensaciones de malestar e incomodidad en los

ocupantes que al trascender en el tiempo y al no ser controladas puede generar altos niveles de fatiga. Por otro lado, estas vibraciones también se distribuyen a lo largo de todo el vehículo ocasionando una afección a los diferentes componentes mecánicos que se deterioran de forma acelerada (Bello, 2021, p24).

El sistema de suspensión cumple diferentes funciones en un vehículo, una de ella es absorber las vibraciones producidas por las irregularidades de la calzada, gracias a los componentes elásticos de la suspensión estas vibraciones se reducen lo máximo posible generando mayor confort en los ocupantes y protegiendo a los componentes del vehículo (Bello, 2021, p24).

Otro de las funciones de este sistema es de mantener siempre en contacto las ruedas con la calzada además de distribuir los pesos de todo el vehículo apropiadamente con la finalidad de asegurar el manejo durante la marcha del vehículo, controlando la geometría de la dirección permitiéndole al conductor tener un mayor control en todo momento. En lo relacionado con las ruedas motrices independientemente de configuración del vehículo (tracción delantera o tracción trasera) asegura un agarre óptimo para la transmisión de potencia proveniente desde el motor hacia las ruedas (Bello, 2021, p.25).

Para garantizar las características óptimas de manejo del vehículo tanto en estado estable como en estado transitorio, las ruedas deben estar en una posición definida con respecto a la superficie de la carretera con el fin de generar las fuerzas laterales necesarias. La acumulación y el tamaño de las fuerzas laterales de las ruedas se definen mediante cambios específicos de la convergencia y la inclinación de las ruedas en función del rebote y el movimiento de la carrocería como resultado de la cinemática del eje y las fuerzas operativas. Esto permite tener en cuenta condiciones de funcionamiento específicas, como la carga y la tracción. Al establecer la geometría y la cinemática del eje correspondientes, también es posible evitar el hundimiento o la elevación indeseable de la carrocería durante el frenado o la aceleración y garantizar que el vehículo no presente ninguna tendencia al sobreviraje y muestre un comportamiento de transición predecible para el conductor (Criolla, 2009, p.205).



Figura 3-2: Suspensión McPherson

Fuente: Edporsan, 2017

Los vehículos en la actualidad presentan una gran variedad de tipos de suspensiones, esto varía dependiendo de las condiciones de uso del vehículo y del fabricante. Algunos sistemas comparten componentes similares que cumplen con la misma función (Bello, 2021, p.25).

2.2.3. Suspensión independiente

En la actualidad estas suspensiones se sitúan en la mayoría de los vehículos pequeños o autos, la condición principal que cumple este sistema es la de permitir el movimiento vertical libremente de una rueda sin afectar el movimiento de la rueda opuesta. Hay algunos tipos de suspensiones independientes, sin embargo las más utilizadas son la de doble brazo en A, (Doble horquilla), McPherson y Multilink para los ejes delanteros (Jornsen Reimpell, 2001, p.7).

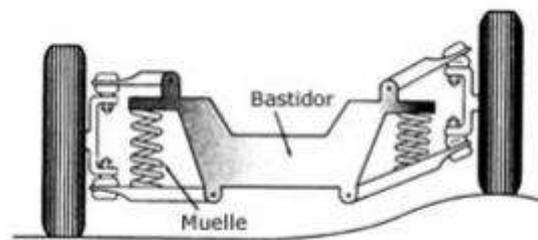


Figura 4-2: Suspensión independiente

Fuente: Dominguez, 2017

Cinemáticamente, un mecanismo de suspensión de doble brazo en A es un eslabón de cuatro barras con el chasis como eslabón de tierra y el acoplador como eslabón portador de la rueda. La suspensión McPherson es un mecanismo de deslizamiento invertido que tiene el chasis como eslabón de tierra y el acoplador como eslabón portador de la rueda (Jornsen Reimpell, 2001, p.10).

2.2.3.1. Suspensión McPherson

La suspensión McPherson es una evolución de la suspensión de doble horquilla. El brazo transversal superior se sustituye por un punto de pivote en el panel de paso de la rueda, que toma el extremo del vástago y el muelle helicoidal. En este punto se concentran las fuerzas procedentes de todas las direcciones y éstas provocan tensiones de flexión en el vástago del pistón.

El sistema McPherson es uno de los más usados en vehículos pequeños y turismos debido a que ocupan un espacio reducido como a su vez puede ser instalado en el tren posterior de los vehículos al presentar una estructura mas sencilla y por su costo económico (Jornsen Reimpell, 2001, p.7).



Figura 5-2: Suspensión independiente McPherson – Subaru

Fuente: Subaru-Technology, 2021

2.2.3.2. *Suspensión de doble horquilla*

Este tipo de suspensión consiste en dos brazos transversales a cada lado del vehículo, que se montan para girar en el bastidor, en el sub chasis de la suspensión o en la carrocería y, en el caso del eje delantero, se conecta por el exterior al pivote de la dirección o a las cabezas giratorias mediante las rótulas. Cuanto mayor sea la distancia efectiva entre los brazos transversales, menores serán las fuerzas en los brazos de control de la suspensión y sus soportes, es decir, la deformación de los componentes es menor y el control de las ruedas es más preciso (Jornsen Reimpell, 2001, p.8).



Figura 6-2: Suspensión independiente doble horquilla – Subaru

Fuente: Subaru-Technology, 2021

2.2.3.3. *Suspensión multibrazo*

Conocida también como *Multilink*, fue desarrollada por Mercedes – Benz en 1982 para la serie 190. Se caracteriza por utilizar hasta cinco eslabones para controlar las fuerzas y el par de las ruedas en función de la geometría, cinemática y la aplicación de las fuerzas al eje. La posición de los eslabones o los brazos se acomodan dependiendo del espacio disponible en donde se instalen por lo cual se puede encontrar en diferentes configuraciones. Una de las ventajas que nos ofrece

este tipo de suspensiones es el libre e independiente desplazamiento del pivote lo que permite un control de la convergencia de las ruedas, así como su inclinación y ancho de vía desde el punto de vista de la acumulación de fuerzas de los neumáticos en función del rebote con una definición casi libre del centro de balanceo y, por lo tanto, una muy buena posibilidad de equilibrar las propiedades de dirección, mejorando la maniobrabilidad en la conducción (Jornsen Reimpell, 2001, p.10).

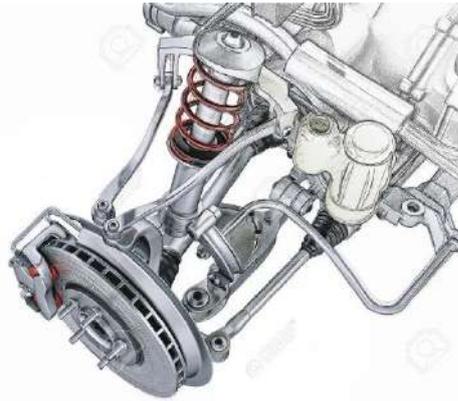


Figura 7-2: Suspensión independiente Multilink

Fuente: 123RF, 2020

2.2.4. Suspensión dependiente

A diferencia de las suspensiones dependientes este tipo de suspensión su componente base es una viga rígida que conecta las ruedas entre sí impidiendo que estas se muevan libremente, por lo cual estas se van a mover de forma sincronizada, Figura 7-2. Actualmente las suspensiones dependientes se utilizan en camiones y en el tren trasero de turismos y vehículos todo terreno en especial. Una de las ventajas que nos ofrece el sistema dependiente es la imposibilidad de variación el la alineación de las ruedas por cambios espontáneos (Navarrete, 2017, p. 6).

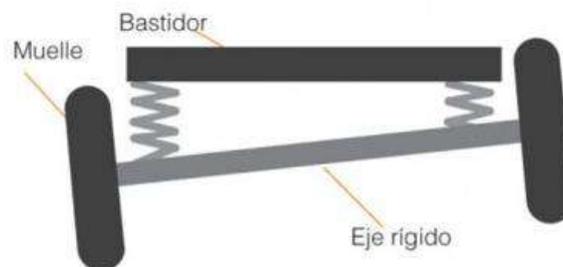


Figura 8-2: Suspensión rígida

Fuente: Navarrete, 2017

2.2.4.1. Suspensión de eje rígido

La suspensión de eje rígido pertenece a la suspensión dependiente, esto se debe a que las ruedas de cada lado se conectan entre sí por medio de un eje afectando el comportamiento de una rueda sobre la otra. Este eje viene a formar parte de la masa no suspendida del sistema y se monta sobre elementos elásticos ya sean ballestas o muelles helicoidales. Gracias a las piezas de suspensión altamente desarrolladas y el diseño adecuado de los muelles y la amortiguación, se ha podido mejorar el comportamiento de los ejes motrices rígidos. Sin embargo, ya no se encuentran en vehículos turismos de diseño estándar si no sólo en vehículos de tracción en las cuatro ruedas y sobre todo los vehículos todo terreno (Jornsen Reimpell, 2001, p. 15).

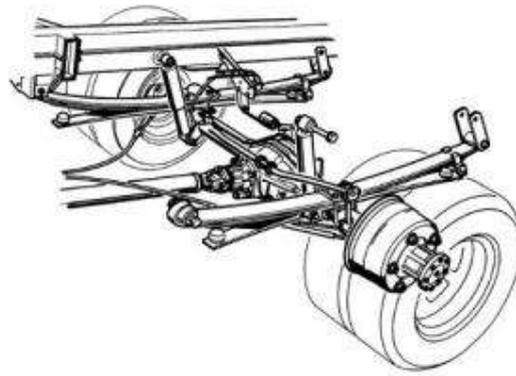


Figura 9-2: Suspensión eje rígido con ballestas

Fuente: Jornsen Reimpell, 2001

2.2.4.2. Suspensión de eje semirrígido

La suspensión de eje semirrígido podría verse como el nuevo diseño de eje trasero y aun se utiliza en los vehículos de tracción delantera de tamaño pequeño y mediano. Consta de dos brazos de arrastre soldados a un travesaño giratorio y fijado a la carrocería mediante brazos de arrastre. Este elemento absorbe todos los momentos de fuerza verticales y laterales y, debido a su desplazamiento respecto al centro de la rueda, debe ser menos rígido a la torsión y funcionar simultáneamente como barra estabilizadora. El eje tiene numerosas ventajas y, por tanto, se encuentra en varios coches de pasajeros que han salido al mercado, una de las principales características de este diseño es que no tiene brazos y barras de control (Jornsen Reimpell, 2001, p. 17).



Figura 10-2: Suspensión eje rígido con ballestas

Fuente: Jornsens Reimpell, 2001

2.2.5. Suspensión activa

La suspensión activa también conocida como suspensión inteligente, utilizada por algunos fabricantes con la finalidad de brindar una mayor seguridad al momento de la conducción. Este tipo de suspensiones tiene la particularidad de ser controlada a través de actuadores hidráulicos los cuales son capaces de generar fuerzas que contrarrestan el balanceo y cabeceo del vehículo, manteniendo la estabilidad en cada una de las ruedas, acoplándose individualmente a el perfil de la calzada mejorando los niveles de confort, maniobrabilidad y control del vehículo en todos los ámbitos de conducción (Gerrero, y otros, 2016, p. 4).

Este sistema consta de un módulo el cual se encarga de monitorear constantemente el perfil de la carretera, y envía las señales a cada uno de los cuadrantes, en este momento empieza el trabajo del actuador hidráulico que mediante bombas, actuadores y servo válvulas controla la estabilidad del vehículo (Gerrero, y otros, 2016, p. 5).

Una de las desventajas que presenta este tipo de suspensiones son los elevados costes de fabricación por lo cual algunos fabricantes optan por opciones más económicas. En la Figura 11-2, podemos visualizar el comportamiento de la suspensión activa en comparación con una suspensión pasiva en una camión al momento de tomar una curva.

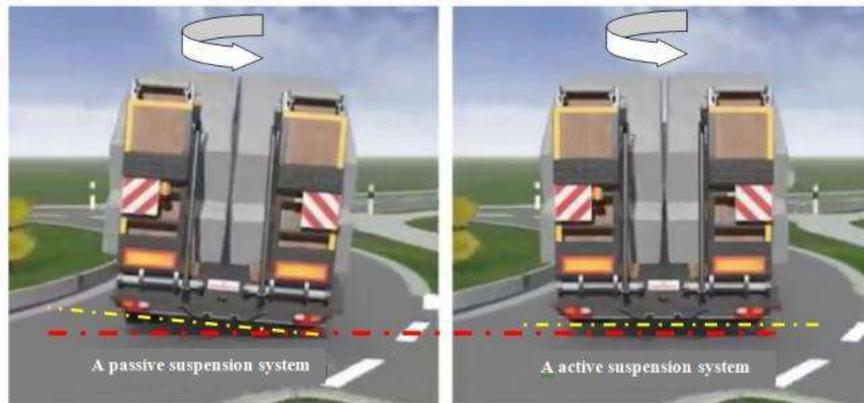


Figura 11-2: Diferencia entre el comportamiento de la carrocería del camión en una curva: con suspensión pasiva (a) y con suspensión activa (b).

Fuente: Hamza, 2022

2.2.6. Suspensión semi activa

Las suspensiones semiactivas a diferencia de la activa, lo que se modifica es el constante de amortiguamiento, esto gracias a la ayuda de un controlador externo que se encarga de regular esta constante. El control externo actúa cuando las frecuencias son bajas, en cambio cuando existe frecuencias altas se encarga de controlar mediante elementos activos. Las suspensiones semi activas se las puede encontrar en vehículos livianos y autos deportivos, cabe resaltar que este sistema no utiliza una fuente externa de energía por lo cual la regulación se logra mediante el uso de amortiguadores semiactivos (Ezeta, y otros, 2013, p. 2).

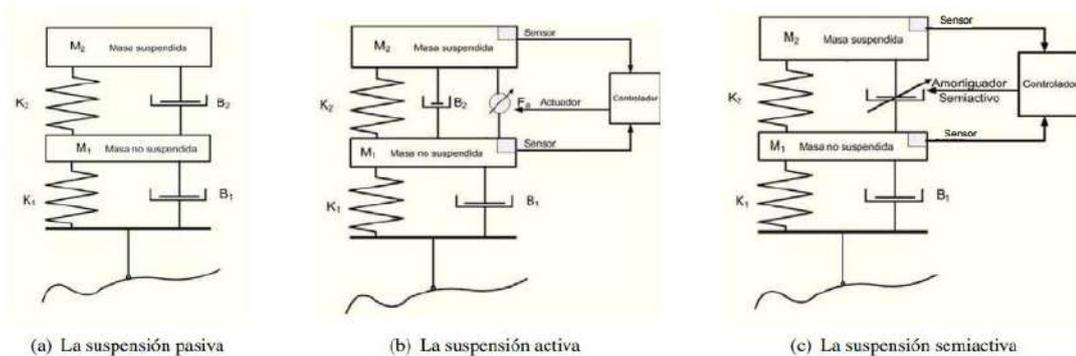


Figura 12-2: Clasificación de los sistemas de suspensión.

Fuente: Jorge Urel Ezeta, 2013

2.2.7. Suspensión pasiva

Las suspensiones pasivas son las que comúnmente conocemos como el conjunto muelle - amortiguador. Presentan una sola configuración, al no recibir energía por actuadores externos no pueden modificarse a lo largo del trayecto o de la ruta, por lo cual hace que el sistema sea

confortable, seguro y de fácil maniobrar en algunos ambientes, pero en otros se torna incómodo inestable y difícil de maniobrar.

El conjunto muelle – amortiguador interactúan de forma conjunta, esto es, la energía proveniente de las irregularidades de la calzada se almacena al comprimirse el muelle, ya sea helicoidal o por ballestas, esta energía almacenada se disipa gracias a la ayuda del amortiguador disminuyendo las vibraciones lo máximo posible para lograr una conducción cómoda y segura. Al aumentar la carga en este tipo de suspensiones se disminuye la carrera de trabajo sintiéndose las vibraciones más fuertes en el interior del vehículo (Ezeta, y otros, 2013, p. 4).

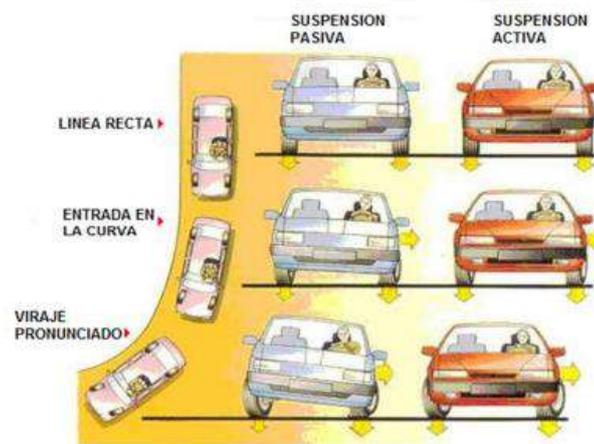


Figura 13-2: Comparativa de fuerzas que actúan sobre una suspensión activa y pasiva.

Fuente: Hamza, 2022

2.2.8. Componentes principales de la suspensión

La suspensión es un sistema que está formado por componentes elásticos de disipación y estructuras rígidas o estructurales, cada uno cumple una función específica en un sistema, existiendo en algunos casos variantes pero que cumplen con los mismos principios de funcionamiento.

2.2.8.1. Chasis o bastidor

El chasis o bastidor es un componente esencial para el vehículo, todos los sistemas del automóvil se encuentran adheridos a este de una u otra manera como son la carrocería, el grupo mecánico (motor, elementos del sistema de suspensión, transmisión, etc). Es un armazón rígido esta estructura se encuentra compuesta, de dos fuertes largueros (L) y varios travesaños (T), los cuales aseguran el soporte de cargas Fig. (14-2) y su rigidez, es el encargado de absorber los distintos tipos de esfuerzos mientras mantenga fija los elementos que lo rodee. (Gutiérrez Q, 2013, p. 01)

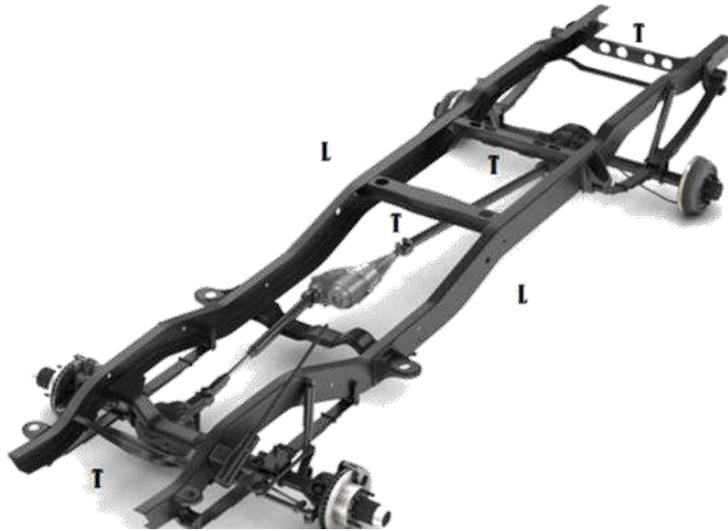


Figura 14-2: Chasis o bastidor de un vehículo.

Fuente: David Plaza, 2015

Se menciona que los primeros chasis o bastidores fueron contruidos de madera, posteriormente reemplazado por el metal, al inicio con perfiles y tubos, posteriormente añadido también planchas con remache que era el elemento de unión. En el presente este tipo de fabricación ya no existe, el chasis usa acero de alta calidad combinando así ligereza y rigidez de igual manera la facilidad de acople de elementos adyacentes. (Plaza Vallejo, 2015, p. 01)

En la actualidad las grandes empresas realizan la manufactura de sistema de auto bastidor, llamado carrocería autoportante o monocasco y bastidor de plataforma donde la carrocería y el chasis forman un solo conjunto Fig. 15-3. (Gutiérrez Q, 2013, p. 4).

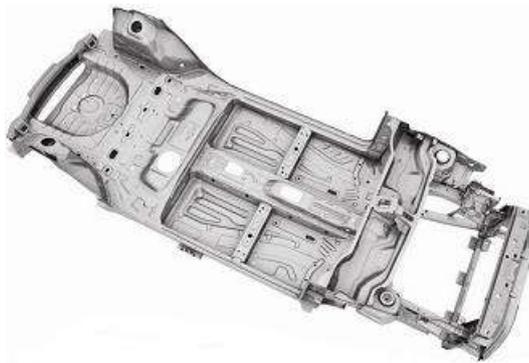


Figura 15-2: Bastidor de plataforma.

Fuente: Rodríguez, 2022

2.2.8.2. Ballestas

Están contruidos por un conjunto de láminas de aceros montadas entre sí unidos por un tornillo pasante y se alinean a través de una serie abrazaderas en forma de U permitiendo que estas

permanezcan fijas entre sí. Este conjunto en la parte superior se encuentra la hoja maestra, la cual se puede identificar como la más hoja más larga del conjunto y a sus extremos se forman dos ojos donde se alojan los casquillos por donde pasar los pernos que conectará el sistema con los soportes del bastidor.

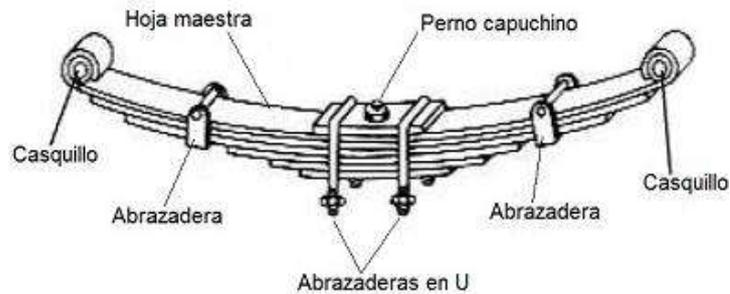


Figura 16-2: Componentes del conjunto de ballestas

Fuente: Rodríguez, 2022

En condiciones normales (sin carga) este conjunto se encuentra presentando una deflexión por lo cual al momento en que la rueda pasa por alguna irregularidad estas tienden a ponerse rectas, esto significa que el batidor debe presentar dos soportes, uno fijo y uno articulado que permite el desplazamiento de un extremo de las ballestas para que alcance la condición de carga. Este soporte se basa en una pieza intermedia que une el bastidor con el casquillo de la hoja maestra llamada gemela (Rodríguez, 2022, pp. 4-7)..

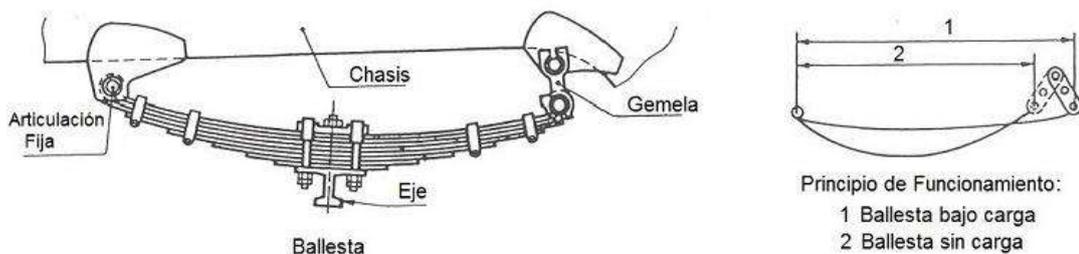


Figura 17-2: Comportamiento del conjunto de ballestas

Realizado por: Rodríguez, 2022

Este sistema lo podemos encontrar en camiones, furgonetas, camiones industriales, coches de carga y vehículos todo terreno debido a que las hojas pueden soportar grandes cargas, entre más hojas presente, mayor carga soporta.



Figura 18-2: Gemela montada en la ballesta

Fuente: Rodríguez, 2022

2.2.8.3. Muelles Helicoidales

Los muelles helicoidales son los más utilizados en los sistemas de suspensión, están formados por alambre de acero de alta resistencia enrollado espiralmente, los cuales varían en su diámetro y la longitud de paso, los diámetros están comprendidos entre 10 y 15 mm lo cual afecta directamente a la rigidez del muelle.

En una suspensión son los componentes encargados de absorber las irregularidades del suelo y la diferencia de las ballestas estos ocupan un espacio reducido en el vehículo y mejoran el recorrido vertical de la suspensión. Otra de las ventajas se basa en una mejor absorción de energía debido a que en estas no se genera energías parásitas como ocurre con las ballestas que se generan por un rozamiento entre ellas (Rodríguez, 2022, pp. 8-11).



Figura 19-2: Muelles helicoidales

Fuente: Rodríguez, 2022

Para el diseño de muelles helicoidales existen tres principios los cuales son:

- “El material de fabricación mientras más rígido sea, mayor es el coeficiente de rigidez”.
- “Entre más pequeño sea el diámetro del muelle mayor será el coeficiente de rigidez”.
- “Entre menor sea el número de espiras activas del muelle, menor el coeficiente de rigidez” (Oliva, 2017, p. 45) .

Al momento de trabajar con un muelle es necesario conocer su constante de rigidez, K [N/m], la cuál nos dice que tan rígido es el muelles.

Este valor se calcula a través de la Ecuación (1).

$$K = \frac{G * d^4}{8 * N * D^3} \quad (1)$$

Donde:

G es el módulo de rigidez del material de fabricación $[\frac{N}{m^2}]$

d es el diámetro del hilo de acero [m]

D es el diámetro del resorte

N es el número de espiras del muelle

Otra forma de hallar la constante es a través de la ecuación (2) también conocida como constante de Wahl y se expresa en las mismas unidades (Rodríguez, 2022, p. 10).

$$K_{WAHL} = \frac{4 * c - 1}{4 * c - 4} + \frac{0.615}{c} \quad (2)$$

Donde:

$c = D/d$

La deflexión o desplazamiento (x) que sufre un muelle al ser sometido a una fuerza por medio de la ecuación (3).

$$F = K * x \quad (3)$$

En este caso F tiene que estar expresada en N y el valor de K tiene que ser constante en todo el resorte.

Como se ha mencionado en apartados anteriores, una de las funciones del sistema de suspensión es la de mantener el contacto entre las ruedas y la superficie de la calzada, dicha función es realizada por el muelle por ende la rigidez de este será importante para lograr el confort en el vehículo (Rodríguez, 2022, p. 11).

Algunos análisis que se han realizado nos dice que la comodidad de una persona está definida al margen de una oscilación por segundo, si excede este margen el sistema nervioso se excita encambio con un margen inferior puede causar sensaciones de mareo en los ocupantes. Para poder diseñar una suspensión ideal la frecuencia debe mantenerse en un rango de 30 a 60 oscilaciones por minuto (Rodríguez, 2022, p. 14).

Las oscilaciones son el sinónimo de frecuencia la cual se determina como una variable inversa del tiempo ecuación (4).

$$f = 1/T \quad (4)$$

Para determinar el periodo de oscilación del resorte aplicamos la ecuación (5)

$$T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{F}{K * g}} \quad (5)$$

Donde:

T = Periodo (tiempo) de oscilación

F = fuerza aplicada [N]

K = constante de rigidez [N/m]

g = gravedad (9,81 m/s²).

Los resortes al ser utilizados para una serie de aplicaciones, estos varían en su material de construcción por ende en la Tabla 1 podemos visualizar los principales materiales empleados para la fabricación de muelles.

Tabla 1-2: Materiales empleados para la fabricación de muelles helicoidales

Nombre común	Especificación	Módulo Elástico, E, psi	Módulo de elasticidad cortante, G, psi	Densidad, ρ, lbf/in ³	Máxima temperatura de servicio °F	Principales características
Alambres con alto contenido de carbono						
Alambre de piano	ASTM A228	3,00E+07	1,15E+07	0,283	250	Alta resistencia; excelente vida a la fatiga
Estirado en frío	ASTM A227	3,00E+07	1,15E+07	0,283	250	Uso general; pobre vida a la fatiga
Aceros inoxidables						
Martensítico	AISI 410, 420	2,90E+07	1,10E+07	0,28	500	No satisfactorio para aplicaciones sub-acero
Austenítico	AISI 301, 302	2,80E+07	1,00E+07	0,282	600	Buena resistencia a temperaturas moderadas; baja relajación de esfuerzos
Aleaciones con base de cobre						
Latón para resorte	ASTM B134	1,60E+07	1,60E+07	6,00E+06	200	Bajo costo; alta conductividad; propiedades

						mecánicas deficientes
Bronce fosforado	ASTM B159	1,50E+07	1,50E+07	6,30E+06	200	Capacidad para soportar flexiones repetidas; aleación muy común
Cobre al berilio	ASTM B197	1,90E+07	1,90E+07	6,50E+06	400	Alta resistencia elástica y a la fatiga; Templable
Aleaciones con base níquel						
Inconel 600		3,10E+07	1,10E+07	3,07E-01	600	Buena resistencia: Alta resistencia a la corrosión
Inconel X - 750		3,10E+07	1,10E+07	2,98E-01	1100	Endurecimiento por precipitación; para altas temperaturas
Ni-Span C		2,70E+07	9,60E+06	2,94E-01	200	Módulo constante sobre un amplio rango de temperatura

Fuente: Rodríguez, 2022

Realizado por: Arévalo D; Hernández J. 2021

2.2.8.4. Barra estabilizadora

La barra estabilizadora es un elemento elástico de la suspensión, se la coloca a lo largo del tren delantero o tren trasero independientemente. A medida que un vehículo dependiendo de las circunstancias es sometido a diversos factores que modifican la distribución de las masas constantemente, al generarse una de estas alteraciones, por ejemplo, cuando un vehículo toma una curva el peso tiende a ejercer una fuerza centrífuga hacia un lado del vehículo que si esta es excesiva termina ocasionando el vuelco del vehículo, es aquí donde interviene la barra estabilizadora, la cual se encarga de corregir esos comportamientos exagerados de inclinación del vehículo contrarrestando los esfuerzos generados por una rueda hacia la otra (Rodríguez, 2022, p. 15).

Es un componente de seguridad activa del vehículo ya que gracias a sus comportamientos mecánicos se encarga de mantener las ruedas en balance y que estas estén pegadas al suelo en todo momento.

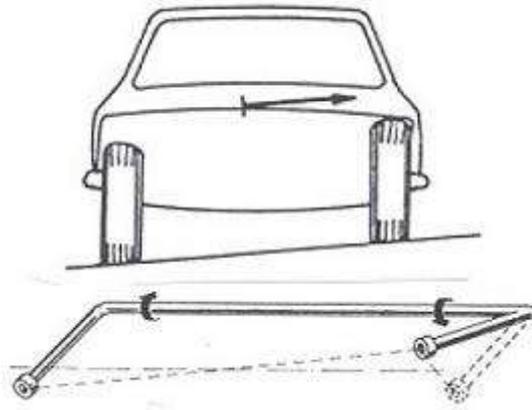


Figura 20-2: Principio de funcionamiento de la barra estabilizadora.

Fuente: Rodríguez, 2022.

2.2.8.5. Barras de torsión

Este tipo de barra son elaboradas con aceros con propiedades elásticas mejoradas, este sistema no genera fricción por lo que absorben energía de mejor manera por lo cual algunos fabricantes han apostado por este sistema dejando a un lado a los muelles y las ballestas en especial en suspensiones semi independientes (Rodríguez, 2022, p. 17).

El principio de funcionamiento de este sistema es muy simple, se basa en una barra de acero elástico la cual se deforma dependiendo de la carga aplicada, este vuelve a recuperar la condición inicial siempre y cuando no se supere el límite elástico. Uno de los extremos se une a la carrocería o bastidor generando un apoyo fijo, el otro lado se encuentra formando una palanca solidaria al eje de la rueda (Rodríguez, 2022, p. 18).

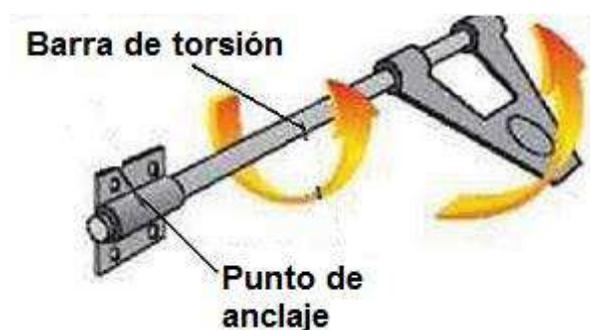


Figura 21-2: Principio de funcionamiento la barra de torsión.

Fuente: Rodríguez, 2022.

2.2.8.6. Amortiguadores y tipos de amortiguadores.

El amortiguador es el encargado de absorber la energía provocada por el componente elástico de la suspensión es decir es el encargado de disminuir las oscilaciones no deseadas en un movimiento periódico o absorbe la energía proveniente de golpes impacto, (Salazar Yamazca, 2015 pág. 20) en ese momento al actuar el amortiguador frena el movimiento mediante un sistema de válvulas que tiene en el interior y de esta manera el fluido o gas que tiene en el interior se traslada de un lugar al otro, de la cámara, por lo tanto el amortiguador se puede decir que es una bomba de aceite compuesta por un vástago un cilindro unido a un pistón y válvulas calibradas. A medida que la suspensión se expande y contrae el fluido es obligado a pasar por estas válvulas. (Gavilanez Endara , 2016, p. 32)

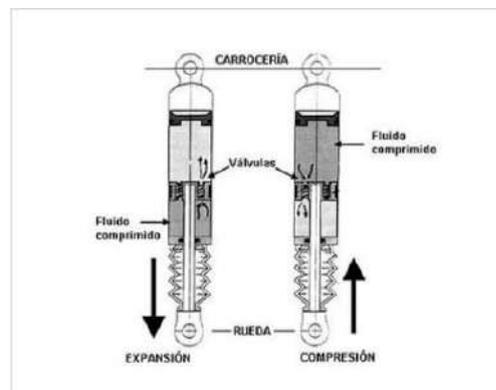


Figura 22-2: Amortiguadores y sus partes.

Fuente: Gavilanez , 2016.

Este elemento se encarga de frenar o amortiguar las oscilaciones de los muelles, y así evitando que se transmitan a la carrocería, transformando en calor el efecto de masa oscilante. (Gavilanez Endara , 2016, p. 33) Sin la existencia del amortiguador, la carrocería del vehículo oscilaría continuamente cuando las llantas entraran en contacto con irregularidades perdiendo equilibrio y desestabilizando el automotor. De todos los elementos, el amortiguador es un componente común que forma parte de la suspensión, pueden ser de fricción (pocos usados), de gas o hidráulicos que por lo general se dividen en giratorios, de pistón y telescópicos. (Rodríguez Galbarro, 2022 pág. 73)

Los tipos de amortiguadores de acuerdo al sentido de trabajo y según su fluido son:

a) *Según el sentido de trabajo*

Amortiguadores de simple impacto.

Amortiguadores de doble impacto.

b) *Según el fluido de amortiguación.*

Amortiguadores de gas

Amortiguadores Hidráulicos

Los más aplicados en la actualidad de estos amortiguadores son los de doble efecto, hidráulicos y telescópicos.

2.2.8.7. Amortiguador hidráulico

Los amortiguadores hidráulicos son los más utilizados, así como los, que son a gas el cual se compone de uno o dos cámaras selladas, se encuentran separadas por un pistón, su funcionamiento es que el volumen de una de estas cámaras se encuentra llena de un fluido, en general aceite, y según se produzca el movimiento del vástago, este fluido se traslada a la otra cámara por agujeros o válvulas calibradas. Por lo general los agujeros de paso, permanentemente son los que trabajan cuando el amortiguador se encuentra en un rango normal de funcionamiento, cuando el vehículo entra en una curva esta cumple la función de equilibrar el movimiento oscilatorio de la masa suspendida. Por otra parte, las válvulas son calibradas según la presión el cual debe ser vencida, cuando una rueda cae en un bache o desnivel brusco esta debe abrir para dejar pasar el aceite concentrado en una de las cámaras como se muestra en la Fig. 23-2. (Gavilanez Endara , 2016, p. 35)

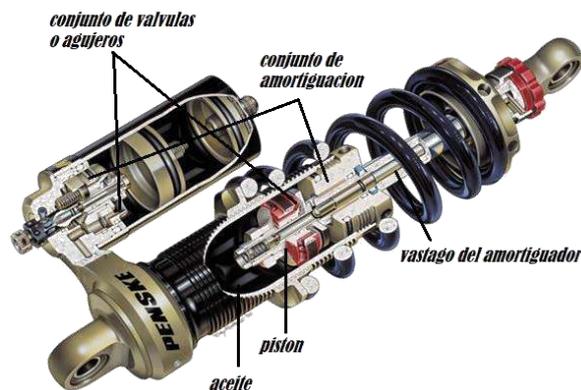


Figura 23-2: Amortiguador Hidraulico.

Fuente: Mundo Motor, 2016.

Existe dos tipos de amortiguadores hidráulicos.

Amortiguadores de doble tubo.- Son los mas comunes en esta clase los no presurizados (aceite) y presurizados (aceite y gas). Estos amortiguadores de doble tubo constan de dos cámaras: llamadas interior y reserva, como se muestra en la Fig. (24-2). Estas disponen de válvulas en el pistón y en la base del amortiguador, llamada válvula de pie. En este sistema al penetrar el vástago al interior del amortiguador, el aceite concentrado en la cámara interior fluye si poner resistencia por los agujeros del pistón al otro lado de la cámara que en si se encuentra vacío. (Rodríguez Galbarro, 2022, p. 73)

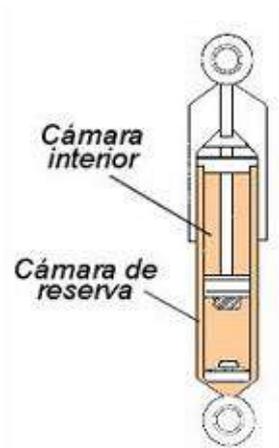


Figura 24-2: Bastidor de plataforma.

Fuente: Rodríguez, 2022

Amortiguadores monotubo.- se desarrollaron luego del doble tubo, pero poco a poco se a utilizado en vehiculos de alta prestaciones y vehiculos de competiciones. Estos amortiguadores estan compuesats de dos camaras divididas por un piston flotante, por un lado contiene gas y por el otro lado gas a presion. Por esta razon tambien se lo conoce como amortiguadores hidraulicos presurizados, con la diferencia que el piston contiene solo válvulas. (Rodríguez Galbarro, 2022, p. 73)

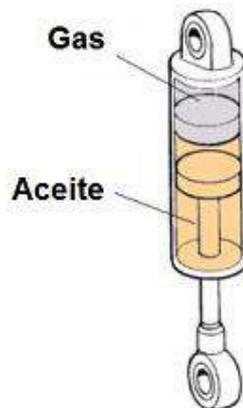


Figura 25-2: Bastidor de plataforma.

Fuente: Hermenegildo Rodríguez, 2022

2.2.8.8. Amortiguadores a gas

En estos amortiguadores el principio es el mismo que el de los amortiguadores hidráulicos, lo que cambia es que en vez de un fluido liquido se va a usar en la cámara un gas inerte como el nitrógeno con gran cantidad de presión, las prestaciones de la sensibilidad de estos amortiguadores son mas eficaces usan el mismo principio, pero al pasar el gas por las válvulas reguladas, son mas agiles y se traslada de lado a lado rápidamente, en este tipo de amortiguador igualmente se cuenta con

un fluido que específicamente sirve para lubricar las piezas móviles, como son pistón cilindro y válvula. (Gavilanez Endara , 2016, p. 36)

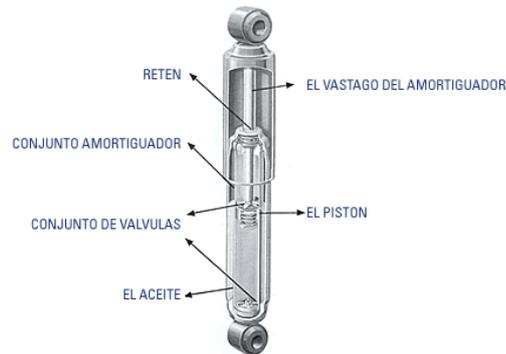


Figura 26-2: Amortiguador a gas.

Fuente: Mundo Motor, 2016

2.2.8.9. Los Silentblocks o elementos aislantes

Los silentblocks son aislantes que se sitúan entre el chasis y los componentes móviles del vehículo al igual, entre los amortiguadores, en general en el sistema de suspensión, están fabricadas de la combinación de materiales elastómero y metal (generalmente, tejido de hilo de acero inoxidable y materiales de nailon caucho) esta se encarga de amortiguar las reacciones que se efectúan en los apoyos al moverse, los componentes mecánicos como se puede observar en la Fig. (27-2) que los silentblocks se encuentran entre las partes móviles y fijas de manera que ayuda a ser suave y silencioso el sistema de suspensión del vehículo. Estos elementos aislantes son propensos a un desgaste prematuro por lo que son realizados de materiales elastómeros, se recomienda sustituirlo cada cierto tiempo y al realizar la sustitución realizar una alineación de la dirección y de la suspensión. (Rodríguez Galbarro, 2022, p. 73)

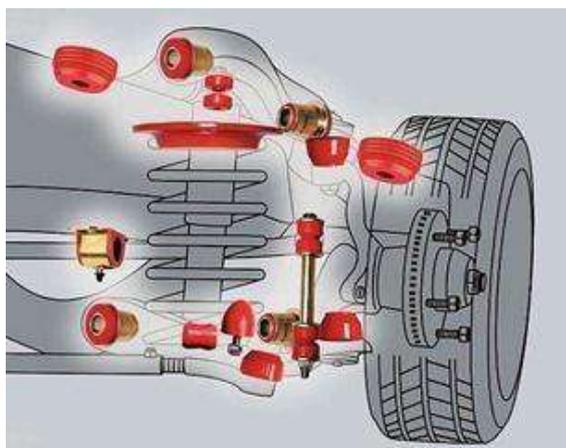


Figura 27-2: Elementos aislantes (neilon, elastómeros).

Fuente: Rodríguez, 2022

2.2.8.10. Rotulas

Elemento esencial de la suspensión la misión que tiene es de unir los sistemas de suspensión y dirección del vehículo, dando la maniobrabilidad a las ruedas de girar y pivotar con facilidad. Existen diferentes tipos de rotulas que se los nombra de acuerdo a su uso como los de (carga) si reciben y transmiten carga, seguidoras (no recibe peso, solo guía el movimiento de la rueda), y en fin las rotulas de carga se dividen en rotulas de compresión y tracción, todo dependiendo a la forma que recibe el peso del vehículo. Este elemento es sensible y debe ser reemplazado si recibe un golpe, si su guarda polvo este partido, o por los años de uso. No obstante, son piezas muy seguras, son sometidas a grandes esfuerzos, son fabricadas con materiales muy resistentes, estas piezas están en constante movimiento en el sistema de suspensión. (Rodríguez Galbarro, 2022, p. 73)

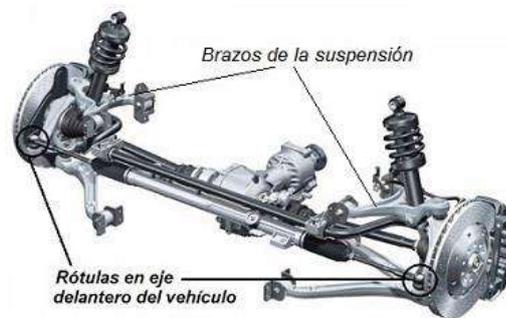


Figura 28-2: Elementos aislantes (neilon, elastómeros).

Fuente: Rodríguez, 2022

2.2.8.11. Buje y mangueta

La mangueta es una pieza del sistema de suspensión, que sirven para la unión del buje, la rueda y los elementos del sistema de suspensión, como son; amortiguador, triángulo inferior tirante, la mangueta es una pieza fabricada de acero aleado. La mangueta difiere de acuerdo a los modelos de los vehículos, es diseñada teniendo en cuenta las características geométricas de cada vehículo. El buje es la pieza donde está fijada la rueda y el sistema de frenos al igual que lo rodamientos que necesita el vehículo para girar libremente. (Rodríguez Galbarro, 2022, p. 73)



Figura 29-2: Sistema de suspension (mangueta y buje).

Fuente: Rodríguez, 2022

2.2.9. Geometría de la suspensión

La suspensión del vehículo es el encargado de proporcionar al pasajero en el habitáculo el adecuado confort, protege las piezas móviles, seguridad en marcha y previene la inclinación excesiva de la carrocería durante los frenados y viraje del vehículo. El diseño de la suspensión y el chasis juegan un papel importante a la hora de la maniobrabilidad del vehículo. Cada sistema de suspensión es diseñado de acuerdo a las prestaciones que realiza los distintos tipos de vehículos como (todo terrenos, sedan, vehículos de competencia, etc). (Enriquez, y otros, 2020, p. 7)

2.2.10. Convergencia y Divergencia.

Son medidas que al visualizar desde la parte superior con respecto a la inclinación de las ruedas están separadas o encontradas, estos ángulos de incidencia son considerados de acuerdo al desgaste de la rueda, la alineación de estos ángulos tiene que ser con la mayor precisión posible para un desgaste parejo de la rueda. (Reluz Fiestas, 2019, p. 12)

Convergencia. Las ruedas delanteras por la parte frentera están dirigidas una a la otra, en los vehículos de tracción trasera son compensados así por la tendencia de las ruedas al abrirse. Divergencia. Las ruedas delanteras por la parte frontal son dirigidas hacia afuera ligeramente en esta situación existe un arrastre de dirección. (Automotriz.org, 2017, p. 17)

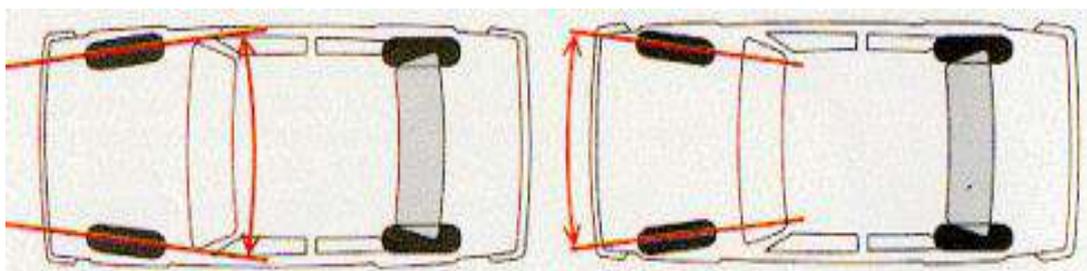


Figura 30-2: Convergencia de las ruedas.

Fuente: mecamicoautomotriz, 2017

2.2.11. Ángulo de caída (Camber)

El ángulo Camber se localiza entre el plano vertical de la carretera y el plano central de la rueda existen 3 tipos de Camber.

Camber positivo (1) con la definición anterior podemos decir que las ruedas están mas separadas por arriba que por abajo, esto ocasiona el desgaste en el mecanismo de la dirección y facilita el

manejo del vehículo siempre que las dos ruedas tengan la misma inclinación. Camber negativo (2) es cuando las ruedas están cercas una de la otra por la parte superior, con suspensión independiente puede cambiar de negativa a positiva o viceversa la rueda. Camber Nulo (3) las ruedas permanecen verticales con respecto al piso con esta disposición la dirección se torna dura. (Automotriz.org, 2017, p. 18)

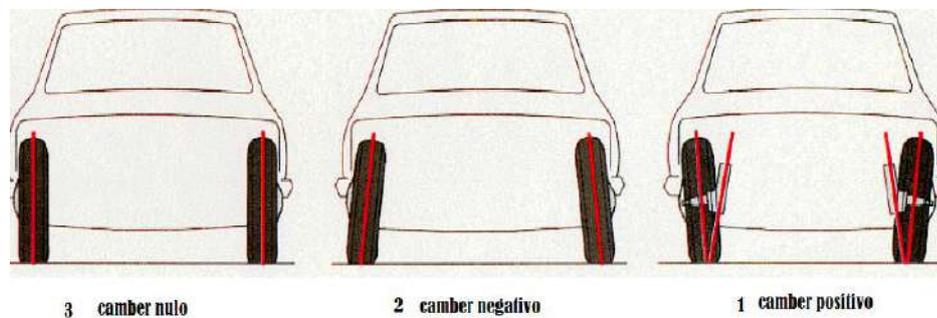


Figura 31-2: Ángulos de Caídas.

Fuente: mecamicoautomotriz, 2017

No necesariamente debe ser el mismo ángulo para ambos por esta razón se a determinado un rango de tolerancia de más o menos 30 (0.5°) de diferencia de ambos, en la fig. (32-2) se visualiza el ángulo correspondiente de caída que, resulta de las ruedas y la superficie desde unas perspectiva frontal (Enriquez, y otros, 2020, p. 9a).

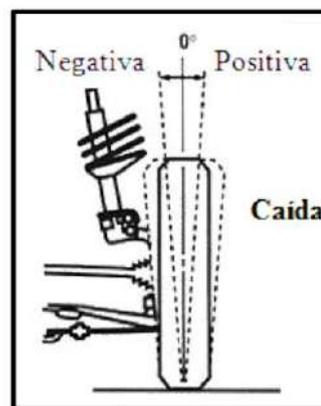


Figura 32-2: Ángulo de Caída (camber)

Fuente: Pashley, 2012

De esta manera hay varias configuraciones que puede presentar en ángulo de caída, de acuerdo al tipo de función que ejerza el vehículo, por lo cual para el vehículo liviano este ángulo está diseñado con una ligera caída positiva que es de 0.1°. Al realizar esto se debe garantizar que el vehículo no tenga caída positiva al momento de la conducción ya que en las curvas usara mayor tracción directo a los neumáticos, provocando así esfuerzos innecesarios provocando desgastes innecesarios. (Enriquez, y otros, 2020, p. 9b)

2.2.11.1. Influencia cinemática de la variación del Camber

La suspensión independiente tiene la desventaja, que cuando están en curvas el ángulo de caída de la rueda es igual que el de la carrocería, ósea la parte exterior de la rueda tiende a una caída positiva, por lo tanto, bajo máxima carga la adherencia del neumático se reduce.

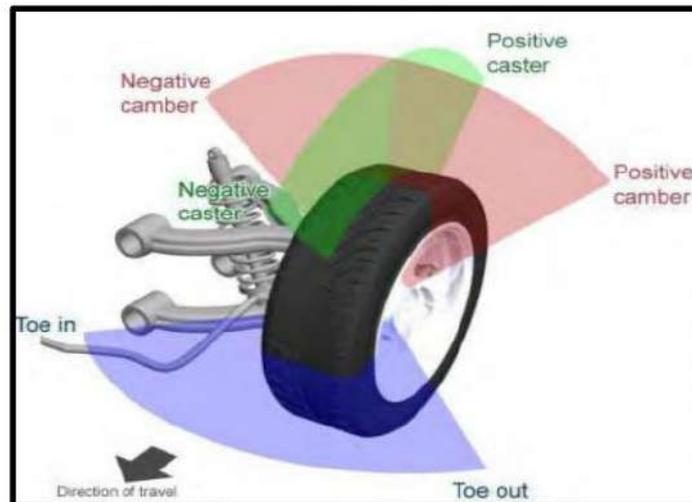


Figura 33-2: Determinación del ángulo de Caída (Camber) según su inclinación

Fuente: González , 2012

En la Fig.33-2 se observa la inclinación que presenta el ángulo de la rueda respecto al contacto de la superficie, depende de la posición de la rueda para la variación del ángulo, si apunta para dentro es un ángulo negativo caso contrario es un ángulo positivo. La forma de contacto cambia gradualmente de un rectángulo a un triángulo al aumentar el ángulo de inclinación Camber en estado estático, y la presión de contacto se acumula todo en la superficie de inclinación lo que ocasiona un desgaste desigual al neumático. Para que no ocasionar esto se diseña suspensiones donde las ruedas y la superficie generen un Camber negativo cuando la suspensión este en compresión, y cuando este en contracción un Camber positivo. (Enriquez, y otros, 2020, p. 10c)

2.2.12. Ángulo de avance (Caster)

Todos los vehículos de la actualidad se mueven gracias a una propulsión, que son aguantadas por una fuerza de resistencia a la rodadura, el cual retrasa la marcha y esa dirección es contraria al movimiento del vehículo.

El ángulo de avance (Caster) se encuentra formado entre el eje de pivote de la mangueta con el plano vertical del eje de la rueda visto lateralmente es la distancia entre el punto ideal de contacto

de la rueda con el piso y el punto de intersección del eje de dirección, se le conoce como *Kinematic trail* o *Caster offset*. (Enriquez, y otros, 2020, p. 14d)

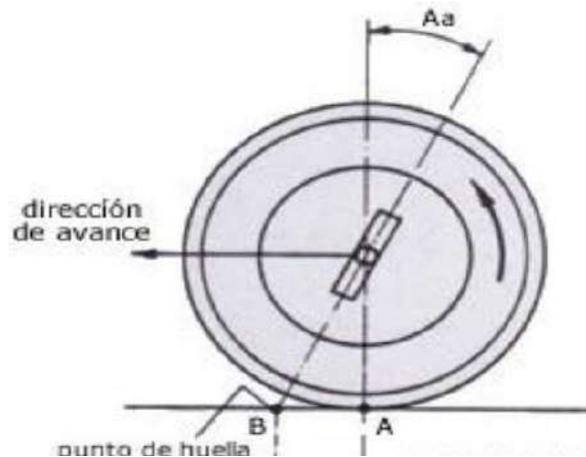


Figura 34-2: Ángulo de avance (Caster)

Fuente: Enriquez , 2020

En la Fig. (34-2) se observa donde el ángulo de salida “Aa” en vista lateral analizado entre la línea de proyección de la sujeción de la vertical y los brazos de control. Para las suspensiones de doble horquilla o con brazos de sujeción inferior y superior es definido entre la línea que une el centro de geometría de las rotulas. Para realizar una correcta alineación del ángulo de avance es necesario estabilizar el sistema de dirección mediante la auto alineación de las ruedas directrices. La ventaja que tiene el ángulo de avance es permitir que en el vehículo se desplace en línea recta, una simple analogía se puede realizar con un coche de un supermercado que tiene el centro del eje en la parte posterior de la rueda, y así permitiendo la rotación y que el coche vaya con una trayectoria rectilínea. Es decir, si la fuerza de resistencia a la rodadura actúa en la parte posterior del eje la rueda se mantiene alineada según sea el avance de la dirección. La desventaja de esta es cuando actúa sobre suelos irregulares, generando fuerzas sobre la rueda, ocasionando inestabilidad y vibraciones (Enriquez, y otros, 2020, p. 14d)

2.2.12.1. Influencia cinemática de la variación del ángulo Caster.

Cuando el ángulo de avance no es el adecuado, tampoco tiene los parámetros de los rangos de tolerancia dispuestos por el fabricante o a su vez el ángulo Caster de cada rueda varía entonces el vehículo sufrirá imperfecciones involuntarias en la dirección si halando o retrocediendo lateralmente durante el manejo.

Es necesario regirse a los datos del fabricante y tener en cuenta el ángulo de avance especificada, y así conseguir que la rueda vaya en sentido rectilíneo y previniendo el tambaleo del vehículo.

Para la estabilidad de la dirección es necesario que el Caster sea positivo, mejora la estabilidad en altas velocidades, y la dirección retoma la línea recta al soltar el volante luego de realizar un giro. (Enriquez, y otros, 2020, p. 15) Como se indica en la Figura (35-2), el ángulo de avance puede identificarse en varias posiciones, dependiendo si el eje pasador está adelantado con respecto al eje de avance el ángulo será negativo. Por otra parte, si la línea imaginaria del ángulo no tiene inclinación alguna, en tal caso es recta por lo tanto el ángulo será nulo. (Enriquez, y otros, 2020, p. 16)

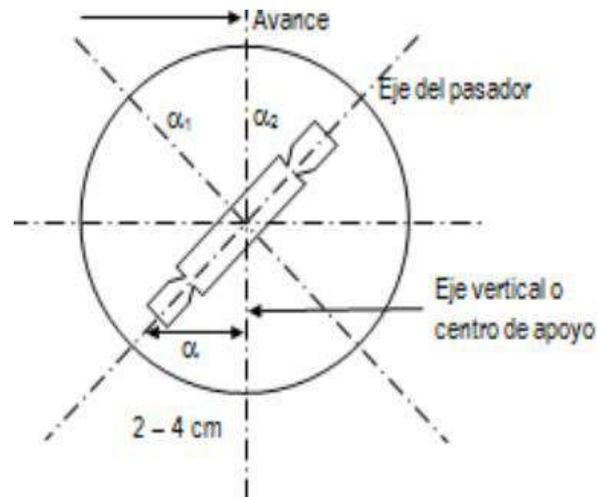


Figura 35-2: Posición del ángulo de avance.

Fuente: Bustamante, 2020

2.2.13. Soldadura

Es un proceso de unión de materiales donde se funden dos o mas piezas con la superficie en contacto, al aplicar convenientemente calor o presión. (Moreno, 2017, p. 01). Tenemos varios tipos de soldadura usados en diferentes industrias, a nivel mundial pero los mas destacados y comunes son SMAW, GMAW y GTAW.

2.2.13.1. Soldadura SMAW

La soldadura con arco de metal protegido SMAW, por sus siglas en inglés (Shielded Metal Arc Welding) es un proceso de (AW) el cual usa un electrodo consumible, esta varilla de metal se encuentra cubierto con material químico, que genera un fundente y protección. Se puede observar el proceso en la Figura (36-2). Esta varilla tiene un diámetro de 2.5 a 9.5 mm (3/32 a 3/8 in) y una longitud entre 225 y 450mm (9 y 18 in). Para su aplicación el metal de relleno tiene que ser compatible con el metal que se va a soldar. El recubrimiento consiste en celulosa pulverizada (ejemplo, polvo de algodón y madera) con la mezcla de carbonato oxido y otros elementos integrados mediante un aglutinante de silicato. En ocasiones se adhiere polvo de metal para así

proporcionar en mayor amplitud el relleno y agregar elementos aleantes. En el proceso el calor disipado funde el recubrimiento proporcionando una atmosfera protectora y escoria. También ayuda a regular la velocidad con el que se funde el electrodo y estabilizar el arco. (Moreno, 2017, p. 8)

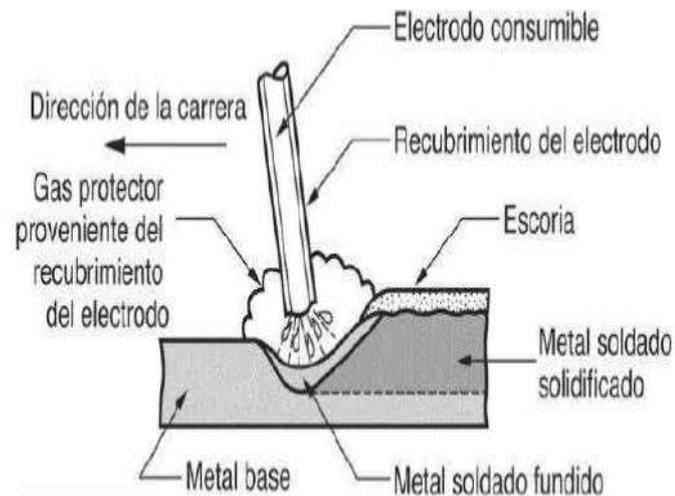


Figura 36-2: Soldadura con arco de metal protegido (SMAW).

Fuente: Moreno, 2017

2.2.13.2. Soldadura GMAW

La soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding) según afirma la Sociedad Americana de soldadura (AWS), pertenece a la soldadura MAG/MIG que menciona, soldadura metálica por gas activa y soldadura metálica por gas inerte respectivamente. Este proceso es efectuado con un arco estable entre el electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar. (Moreno, 2017, p. 10)

Es un proceso donde el electrodo es un alambre metálico descubierto, la protección se efectúa inundando el arco eléctrico con un gas. El diámetro del alambre puede ser desde 0.8 a 6.5 mm (1/32 a 1/4 in), este tamaño es tomado de acuerdo al espesor de las piezas que se va a unir. Los gases inertes usados para esta unión son, el argón y el helio y gases activos como es el Dióxido de carbono. (Moreno, 2017, p. 11)

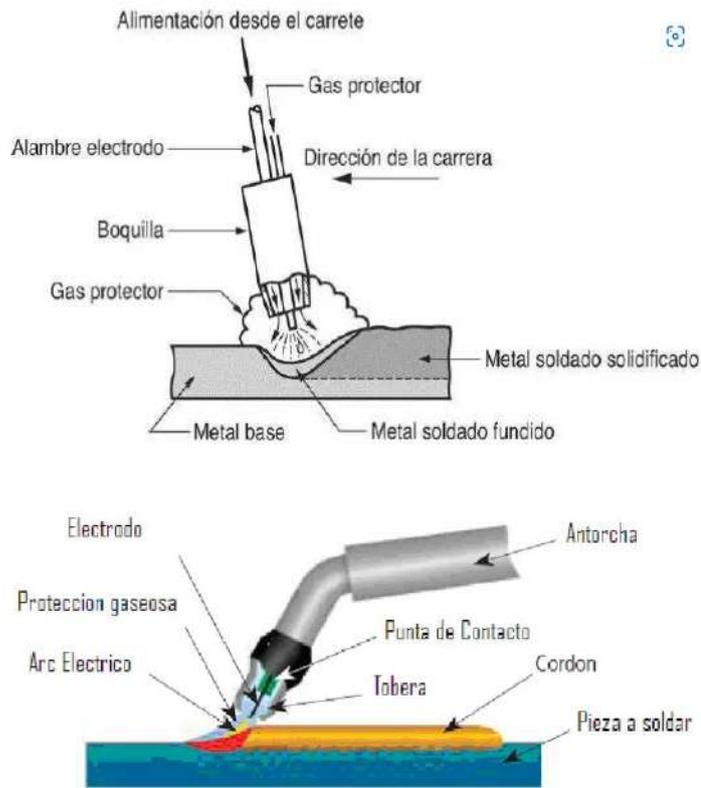


Figura 37-2: Soldadura con arco de metal y gas (GMAW).

Fuente: Moreno, 2017

El proceso puede ser Semiautomático como se muestra en la Fig. (38a-2). El proceso de regular la velocidad de alimentación del hilo, tensión del arco, intensidad de soldadura, caudal de gas se lo realiza manualmente, al igual que regular el avance de la antorcha de soldadura. Automático este proceso tiene todos sus parámetros incluido la velocidad de soldadura se regulan previamente, y su uso en el proceso es automático como se puede observar en la Fig. (38b-2). (Precio, 2013, p. 03)



Fig. 38a-2



Fig. 38b-2

Figura 38-2: proceso Semiautomático 38a, proceso Automático 38b.

Fuente: Precio, 2013

La aplicación del MIG es para soldar aceros inoxidable y aceros resistentes al calor, así como materiales no ferrosos que son, cobre, magnesio, aluminio, etc. La soldadura MAG es para soldar aceros al carbono y aceros de baja aleación.

2.2.13.3. Soldadura GTAW (TIG)

Siglas en inglés de esta soldadura (GTAW), Gas Tungsten Arc welding o TIG (Tungsten Inert Gas), es un proceso en el cual se usa un electrodo de tungsteno no consumible para la soldadura. Este procedimiento es con electrodo refractario bajo atmósfera gaseosa, se la puede usar con o sin metal de aportación, el gas inerte por lo general Argón aísla la atmósfera que se está soldando y así evitar la contaminación. Su característica principal de este gas es proteger toda la área que se encuentra soldando contra la contaminación y oxidación que existe en el medio ambiente. (Cenaltec, 2022, p. 5)

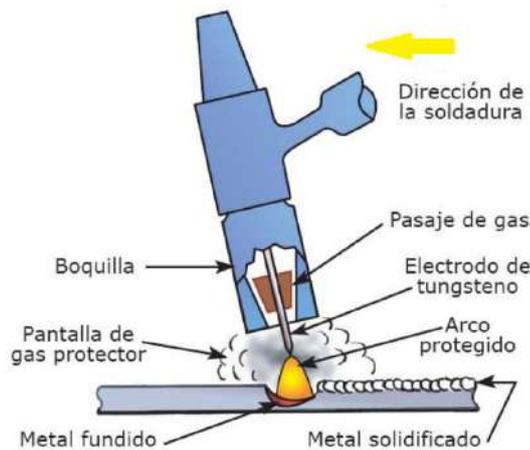


Figura 39-2: Proceso Soldadura GTAW o TIG.

Fuente: DeSoldador, 2020

2.2.14. Planchas metálicas

Este es un producto que pueden ser de acero o hierro fundido se utiliza, de acuerdo con el uso ya sea estructuras civil, automotriz, industrial entre otras. Cada una depende de su textura y la resistencia a altas temperaturas, corrosiones atmosféricas, resistencia a torceduras y esfuerzos. Tenemos un sin número de planchas de acuerdo a su especificación, pero se nombrará los más usados en el área industrial.

Plancha acero. En Ecuador existe las siguientes planchas de acero, peso y medidas de acuerdo con las normas ASI-304/ ASI-316/ ASTM-A131/ ASTM-A36/ ASTM- A653/ GIS- G3141/ JIS-G3302/ SAE-1010/ AA110H14/ AA5052 H114. (INVALTU, 2020 pág. 01)

2.2.14.1. Plancha laminada al caliente

Su fabricación es mediante el uso de dos rodillos industriales los cuales mediante presión y el calor manipula el acero siguiendo criterios, especificaciones para reducir el espesor. Obteniendo los siguientes resultados, acero comercial, acero para fundir, hacer de mediana y alta resistencia, por último, de baja aleación. Este tipo de planchas se usas en Vigas, puentes, estructuras metálicas autopartes, tanques de almacenamiento, torres de alta presión y equipos mecánicos. (INVALTU, 2020, p. 02)

Tabla 2-2: Especificaciones de láminas caliente en uso comercial y calidad estructural.

Planchas laminadas al Caliente											
Especificaciones Generales											
Norma				Ver tabla							
Espesores				1,20mm a100 mm							
Rollos				ancho 1000,1220, 1500, 1800							
Plancha				4x8 y a media							
CALIDAD COMERCIAL											
NOR MA	COMPOSICIÓN QUÍMICA							PROPIEDADES MECÁNICAS			
	% C	% MN	%P	%S	%SI	% AL	% CU	Esfuerzo máximo (Mpa)	Alargamiento %	Dobla do 180°	NORMA EQUIVALENTE
JIS G 3131 SPHC	0,08 0,013	0,3 0,6	0,02 máx	0,025 máx.	0,05 máx	0,02 0,08	0,2 máx	270 min	29 min	0=Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 máx	0,025 máx.	0,04 máx	0,02 0,08	0,2 máx				JIS G3132 SPHT1
SEA 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 máx	0,025 máx.	0,03 máx	0,02 0,08	0,2 máx				ASTM A635 ASTM A-570 GRADO 33
CALIDAD ESTRUCTURAL											
NOR MA	COMPOSICIÓN QUÍMICA							PROPIEDADES MECÁNICAS			
	% C	% MN	%P	%S	\$SI	% CU	FLUEN CIA (Mpa)	ESFUERZO MAX (Mpa)	Alargamiento %	Doble do 180°	NORMA EQUIVALENTE



Planchas De Acero 1220 X 2440

ASTM A 588M GRADO A	0,19 máx.	0,8 1,25	0,04 máx	0,05 máx.	0,3 0,6	0,25 0,40	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 GADOC	0,12 0,18	0,3 0,6	0,02 5 máx	0,03 máx.	0,04 máx	0,2 máx	250 min	380 516 máx.	25 min	0=1,5 e	SAE 1015
JIS G-3101 SS41M	0,17 0,23	0,2 0,6	0,02 5 máx	0,025 máx.	0,04 máx	0,25 máx	250 min	400 min	21 min		SEA 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 máx	0,05 máx.	0,4 máx	0,20 máx	250 min	400 min	20 min		

Fuente: Dipac Productos de acero,2018

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

2.2.14.2. Plancha laminada al frio

Este acero en frio es fabricado en un procedo don el acero es enfriado mientras se está laminando en un estado caliente, obteniendo espesores delgados y mejor aspecto superficial. Es tipo de planchas son utilizados en acabados de superficies como en la carrocería del vehículo, muebles metálicos, paneles etc. (INVALTU, 2020, p. 03)

Tabla 3-2: Especificaciones generales de laminas al frio.

PLANCHA LAMINADO AL FRIO						
NORMA	ASTM A366, JIS 3141, SPCC SAE1008, SAE 1010					
Espesores	0,40 a 1,90					
Rollos	x 1219					
Planchas	4x8 y medidas especiales					
CALIDAD	DESIGNACION	CARBON	MAGNESO	FOSFORO	AZUFRE	ALUMINIO
Calidad Comercial	CS TIPO A CS	0,10 0,02	0,6 0,6 0,6	0,03 0,03 0,03	0,035 0,035 0,035	
	TIPO B CS	a 0,15				
	TIPO C	0,08				
Embutido leve	FS TIPO A FS	0,10 0,02	0,5 0,5	0,02 0,02	0,035 0,035	
	TIPO B	to 0,10				
Embutido Profundo	DDS EDDS	0,06 0,02	0,5 0,4	0,02 0,02	0,025 0,020	0,01

					0,040	
Estructural SS Grd	30(230) 37 (255)			0,040 0,10	0,040	
	40(275) 50 (340)	0,20 0,20		0,10 0,20	0,040	
	50 (340) 80	0,25 0,40		0,040	0,040	
	(550)	0,50 0,20		0,040	0,040	
					0,040	

Fuente: Dipac Productos de acero,2018

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

2.2.15. Esfuerzos y deformaciones

El esfuerzo es una fuerza interna que existe en el material el cual es contrario a la fuerza aplicada. La aplicación de esfuerzos en los distintos materiales existe y el cálculo es indispensable para tomar la mejor decisión. De esta manera nos enfocamos a lo que sucede dentro del miembro que soporta una fuerza. Para determinar la magnitud de la fuerza tenemos la formula que es: (Precio, 2020, p. 01)

$$esfuerzo = \frac{fuerza}{\text{Área}} = \frac{F}{A}$$

La deformación se define cuando un cuerpo cambie su forma, efectuado por fuerzas que intervienen sobre él, la deformación puede ser elástica o no elástica y en algunos caso el objeto recupera su forma original, es medido a través de la magnitud. (Maholyleal, 2015, p. 08)

Existen diferentes tipos de esfuerzos y deformaciones que actúan de acuerdo a la presión sometido cada elemento como son (Esfuerzo de flexión, Esfuerzo de torsión, Esfuerzo cortante, Deformación elástica, Deformación plástica)

2.2.16. Software de diseño y simulación

Un software de diseño en la actualidad es una herramienta de mucha ayuda para poder generar con exactitud una pieza o objeto y tener errores mínimos al momento del ensamble, de igual manera para poder cotizar la cantidad de material necesaria para la manufactura de la pieza. (solidworks, 2017, p. 01a)

2.2.16.1. Software (CAD) SOLIDWOKS

Es un Software CAD de diseño (diseño asistido por computadora) sirve para modelar piezas, ensambles 3D y 2D. equipado con múltiples funciones los cuales sirven para realizar todo tipo de moldes y de igual manera incorpora la función de simulación y así verificar resistencias de las piezas. Software muy útil para realizar medidas exactas de las piezas para la manufactura. (solidworks, 2017, p. 01b)



Figura 40-2: Logo software CAD.

Fuente: Solidworks, 2020

2.2.16.2. Software (CAE)MSC Adams View.

Es un software CAE de simulación el cual realizará análisis de movimiento y dinámico del proyecto. Y así permitiendo estudiar la dinámica que cada una de la pieza móvil efectúa. Para poder conocer las cargas y fuerzas de las piezas del sistema de suspensión y así verificar las mejoras y optimizaciones pertinentes.



Figura 41-2: Logo software CAE.

Fuente: Numyhton, 2021

2.3. Marco legal

Para la elaboración de nuevas partes del vehículo o modificaciones se tendrá en cuenta normas referentes a la dureza del material, y el uso del mecanismo, posterior de identificar la existencia de dicho material para la manufactura, de igual manera por ser un sistema complejo la modificación será regido a normas ISO, INEN.

2.3.1. Inspección técnica.

El objetivo es identificar que parte de la suspensión está en exposición de deformaciones que puedan afectar la conducción del vehículo. Así ocasionando arrastre de la llanta el cual esta expuesto directamente a la superficie

Tabla 4-2: Ficha técnica del vehículo a modificar.

Ficha técnica Suzuki Vitara clásico 1,6 16v			
motor	4 en línea	Tracción	Integral (AWD,4x4)
combustible	Gasolina	Potencia	97 PS / 96 HP / 71 KW
Alineación	MPI	Dimensión	Altura 167.0 cm Ancho 136.0 cm Longitud 362.0 cm
Cilindrada	1590 cm ³	Peso con conductor	1135 kg
Válvulas	16 válvulas	Peso vacío	1045 kg
Suspensión delantera	Independiente McPherson, coil springs. Anti-roll bar	Suspension trasera	De Dion axle. Coil springs

Fuente: ultimateSPECS,2022

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

2.3.2. Regimiento de norma INEN

INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) para la fabricación del sistema nuevo se tendrá que regir a esta norma el cual menciona el tipo de plancha metálica a usarse. Las características de calidad es el objetivo que la norma mencionada, de igual forma los ensayos a los que se deben realizar a las planchas delgadas de hacer al carbono laminadas en frío y caliente, y en frío esta norma no cubre planchas para la caldera. (NORMAS TECNICAS ECUATORIANAS , 2013, p. 01)

las planchas de acero delgadas se los clasifica de acuerdo a la resistencia mínima a la tracción del acero y sus grados son:

Tabla 5-2: Resistencias mínimas a la tracción de los aceros y sus grados

A34	A34E	A34ES
A37	A37E	A37ES
A42	A42E	A42ES
A50	A50E	A50ES

Fuente: NTE, INEN,2013

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

A = Indica acero al carbono

Los Numero como 34 etc= indica la resistencia mínima a la tracción

E= plancha de calidad estructural

S= plancha es de calidad soldable

Por lo tanto, las planchas de acero con grado A34, A37, A42, A50 tienen calidad comercial. (NORMAS TECNICAS ECUATORIANAS, 2013 pág. 01)

2.3.2.1. Físicos

El comprador especificara las dimensiones de las planchas de acero según sea referido por la norma. Y las tolerancias de las planchas delgadas de acero serán regidas a las normas NTE INEN 115. (NORMAS TECNICAS ECUATORIANAS , 2013, p. 02)

2.3.2.2. Mecánicos (resistencia a la tracción)

Se indica en la tabla -2 los valores de la resistencia a la tracción, alargamiento de las planchas delgadas y el limite de influencia del acero al carbono en calidad estructural. (NORMAS TECNICAS ECUATORIANAS , 2013, p. 03)

Tabla 6-2: Propiedades mecánica del ensayo de tracción (valores mínimos)

Requisito	unidad	Grado del acero				Método de ensayo
		A34 A34E A34ES	A37 A37E A37ES	A42 A42E A42ES	A50 A50E A50ES	
Resistencia a la tracción	daN/mm ² (kgf/mm ²)	33,4 (34)	36,4 (37)	41.2 (42)	49 (50)	NTE INEN 109 NTE INEN 121
Limite de fluencia	daN/mm ² (kgf/mm ²)	17,6 (18)	19,6 (20)	23,5 (24)	29,5 (30)	
alargamiento Porcentual según espesor e en mm (a)						
$e \leq 1,0$	.	20%	17%	14%	13%
$1,0 < e \leq 1,5$	.	21%	18%	15%	14%
$1,5 < e \leq 3,0$	.	22%	20%	16%	15%
$3,0 < e \leq 5,0$	.	24%	22%	18%	17%
(a) Con probetas de 50 mm de distancia entre marcas						

Fuente: NTE, INEN, 2013

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021.

2.3.2.3. Químicos

Tabla 7-2: Valores límites, composición química de la plancha de acero comercial.

Elemento	Grado de Acero				Método de ensayo
	A 34	A 37	A42	A50	
C%	0,2	0,2	0,25	0,3	NTE INEN 120

P%	0,04	0,06	0,06	0,06	NTE INEN 107
S%	0,05	0,05	0,05	0,05	NTE INEN 108

Fuente: NTE, INEN,2013

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021.

Tabla 8-2: Valores límites de la composición química de la plancha de acero estructural.

Elemento	Proceso de convertidor	Otros procesos		Método de Ensayo
		Análisis de cuchara	Análisis de comprobación	
	A32E, A37E A42E	A34E, A42E A37E A50E	A34E, A37E; A42E, A50E	
C%	0,18	0,20 0,23	0,23	NTE INEN120
P%	0,08	0,040 0,040	0,05	NTE INEN107
S%	0,05	0,050 0,050	0,065	NTE INEN108

Fuente: NTE, INEN,2013

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

2.3.2.4. Soldabilidad

Los límites de composición químico ocupadas en planchas de calidad estructural se ve en la siguiente tabla.

Tabla 9-2: Límites máximos de la composición química.

Elemento	Proceso de Convertidor	Otros proceso	Método de Ensayo
C%	0,15	0,15	NTE INEN120
Mn%	0,6	0,6	NTE INEN118
P%	0,08	0,04	NTE INEN107
S%	0,05	0,05	NTE INEN108

Fuente: NTE, INEN,2013

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

CAPÍTULO 3

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diagrama de etapas del proyecto

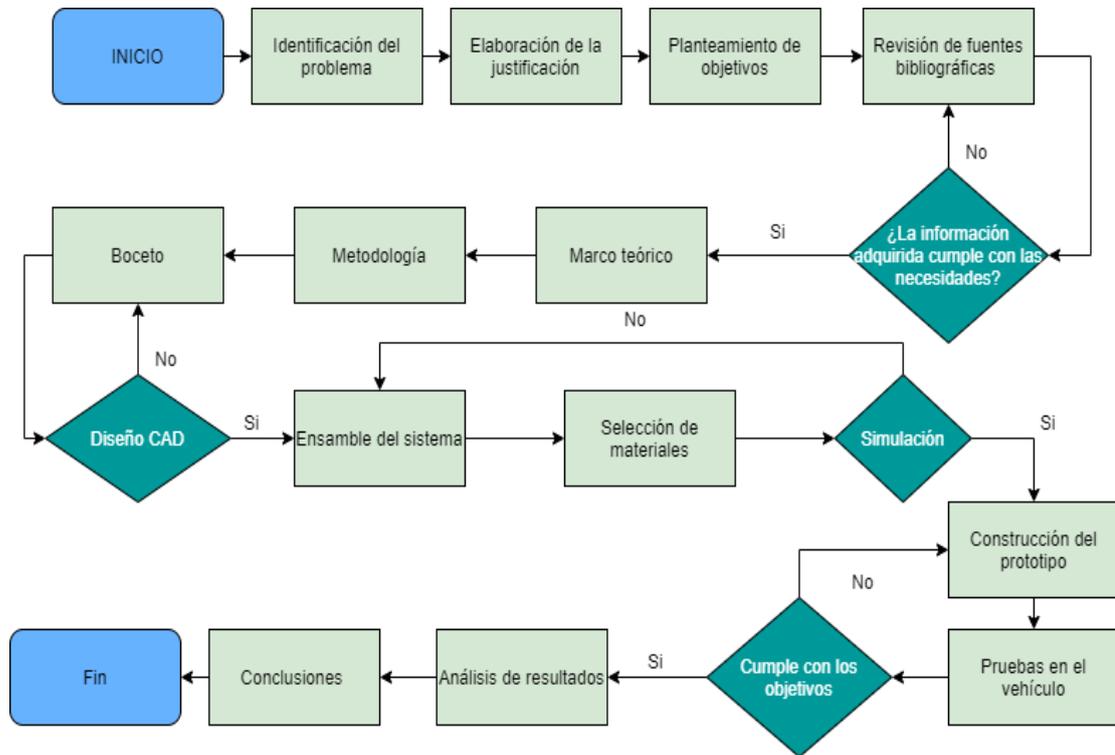


Figura 1-3. Diagrama de etapas del proyecto

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

3.2. Metodología de investigación

3.2.1. Tipo de estudio

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación se ha basado en dos tipos de estudio:

El estudio de tipo exploratorio se ha utilizado este método con la finalidad de conocer más sobre el tema, y familiarizarse con los problemas en el área de estudio, para lograr esto se ha realizado las respectivas investigaciones sobre temas similares los cuales nos ayudan para el desarrollo del presente trabajo.

Estudio aplicado, una vez que se haya desarrollado el proyecto, se procederá con el estudio aplicado, lo cual conlleva a que, una vez terminado el presente proyecto, podrá ser usados en las diferentes series de vehículos que tengan la misma carrocería.

3.2.2. Enfoque de la investigación.

Enfoque usado es el cualitativo ya que en el diseño de la investigación no se tomará datos estadísticos, por lo que se recolectará datos sin mediciones numéricas. Los datos para usar son las normas INEN, ISO 9001 los cuales nos ayudará a la elaboración del proyecto.

De igual manera es de tipo experimental sin datos estadísticos, porque se rediseñará el sistema de suspensión mediante las mediciones del sistema antes mencionado. Por último el método de revisión bibliográfica será de mucha ayuda para la selección de materiales que servirá para la construcción del sistema nuevo.

3.2.3. Métodos técnicas e instrumentos

Para la realización del proyecto se lo realizó con el método científico, por su estructura a seguir procesos de observación sistemática, planteamiento y abordar resultados tangibles lo que permite adquirir nuevos conocimientos sobre el sistema de suspensión. La experimentación realizada se obtendrá mediante este método y así lograr el resultado de ensamblar la nueva suspensión.

3.2.4. Método deductivo.

Este método consiste en llegar a lo desconocido de lo conocido, del sistema ya conocida y ensamblada en el vehículo se tomará datos de cada pieza y así generar piezas con referencia a investigaciones bibliográficas y crear el sistema de suspensión nuevo.

3.2.5. Método sintético.

Este método sintético es de razonamiento científico se usa porque para la realización del sistema de suspensión se necesita seguir pasos o protocolos, analizar cada pieza, organizarlo de acuerdo a su función, para poder ensamblar paso a paso según sea necesario y así obtener el resultado requerido.

3.2.6. Técnicas

Para realizar el proyecto partimos de la técnica documental mediante esta, se realiza la recolección de datos e información de sucesos históricos relacionados con la fabricación del sistema de suspensión, de forma que recogida la información se procede al análisis, mediante la técnica de

observación indirecta el cual nos ayudará a poder obtener una leve idea de cómo realizar un primer boceto basándonos en los trabajos con informaciones concretas.

3.2.7. Instrumentos

En este apartado se indica instrumento mediante los cuales, se llegó a la información necesitada, y tenemos la plataforma Google Académico, Scopus, Science Direct, y videos tutoriales los cuales en la actualidad van ganado terreno por su confiabilidad.

De igual manera el despiece del sistema de suspensión del vehículo, para tener en claro las partes móviles y modificables para esto se requiere el uso del software CAE (SolidWorks), que partiendo de la toma de medidas del sistema original generar diseños, y al usar el software CAE poder simular y generar resultados de resistencias y modificaciones hasta un cierto limite.

3.3. Desarrollo del proyecto

3.3.1. Cronograma

Tabla 1-3: Planificación de actividades

Actividades	abr-2021				may-2021				jun-2021				jul-2021				ago-2021				sep-2021			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 Identificación del problema																								
2 Revisión Bibliográfica																								
3 Recopilación de Información																								
4 Marco Teórico																								
5 Marco Metodológico																								
6 Estudio de cada elemento que está conformando el sistema de suspensión																								
7 Diseño y Rediseño del boceto																								
8 Ensamble de los elementos en un software CAD																								
9 Simulación del ensamble en un software CAE																								
10 Obtener los materiales																								
11 Realizar los cortes del material																								
12 Construcción de cada elemento del sistema de suspensión																								
13 Realización de las pruebas con el nuevo sistema de suspensión																								
14 conclusión de resultado final verificando su correcto funcionamiento																								
15 Verificar y corregir la información del trabajo realizado																								

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

3.3.2. Recursos y materiales

3.3.2.1. Presupuesto

Tabla 2-3: Presupuestos de materiales y gastos directos

Gastos Directos				
	Materiales	cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
1	Plancha acero al carbono A36 3 mm	3	85,00	\$255,00
2	Plancha acero al carbono A36 5 mm	1	156,00	\$156,00
3	Amortiguadores	2	100,00	\$200,00
4	Muelles	2	80,00	\$160,00
5	Rotulas para la mesa inferior	2	14,00	\$28,00
6	Rotulas para le mesa superior	2	10,00	\$20,00
7	Bujes	8	8,00	\$64,00
8	Bocín	8	15,00	\$120,00
9	Pintura Automotriz	5 litros	8,00	\$30,00
10	Corte CNC	1	50,00	\$50,00
11	Soldadura MIG	1	100,00	\$100,00
12	Disco de corte	10	\$ 1.20	\$12,00
13	Amoladora	1	20,00	\$20,00
14	Taladro	1	20,00	\$20,00
15	Brocas	1	5,00	\$5,00
16	Dobladora	1	20,00	\$20,00
Total				\$1.260,00

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

Tabla 3-3: Gastos que influyen indirectamente en el rediseño del sistema de suspensión

Gastos Indirectos		
	Materiales	Costo total (\$)
1	Transporte	\$ 100,00
2	Hospedaje	\$ 80,00
3	Imprevistos	\$ 50,00
4	Alimentación	\$ 100,00
5	Impresión de documentos y compra de artículos de oficina	\$ 50,00
6	Componentes varios	\$ 50,00
Total		430

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

Tabla 4-3: Presupuesto total

Total gastos	
Gastos directos	\$ 1.260,00

Gastos indirectos	\$ 430,00
Total	\$ 1.690,00

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2021

3.3.2.2. *Talento humano*

El talento humano que se ha abarcado en el presente trabajo está conformado por las siguientes personas; como Tutor Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla, Asesor Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz y como autores y directores: Geovanny Diego Arévalo Chimbolema, Jhonatan Javier Hernández Narváez los cuales son los encargados de la creación del proyecto.

3.3.2.3. *Equipos materiales*

Para la construcción del sistema de suspensión es indispensable el uso de la cortadora CNC el cual nos permite realizar cortes con precisión, ya que para realizar los dobles es indispensable la exactitud. Se usará una dobladora de planchas de acero grande el cual es necesario para realizar los dobles con medidas de ángulos exactos, que el software indicara, con la ayuda de un graduador automotriz y una escuadra de inglete las piezas quedaran con sus respectivos ángulos.

Otro equipo para usar es la soldadura MIG que servirá para la unión de las partes de cada pieza, sin dejar escoria y sin dejar porosidades en las piezas soldadas.

La pulidora es uno de los materiales usados para las imperfecciones que queda luego de realizar el corte a plasma. De igual manera el taladro que servirá para realizar agujeros necesarios en la torreta del bastidor.

Materiales para ocupar, la principal plancha de acero laminado en caliente de 3 y 5 mm de espesor los cuales son usadas para la construcción de las partes de la suspensión y que tengan un mejor desempeño. Así como el tubo de acero laminado que será cortado con medidas exactas para ocuparlos como bujes de las mesas de suspensión superior e inferior.

3.3.3. *Desarrollo del proyecto*

Teniendo en cuenta las características de funcionamiento y las modificaciones que son necesarias para obtener un sistema de suspensión que se asemeje a la de doble horquilla se han diseñado nuevas piezas y a su vez se han modificado las existentes manteniendo en estas los puntos críticos de anclajes en donde se conectan los diferentes componentes como la barra estabilizadora y los terminales de la dirección.

A continuación, se detalla las diferentes etapas aplicadas para el desarrollo del nuevo sistema de suspensión.

3.3.3.1. Bosquejo

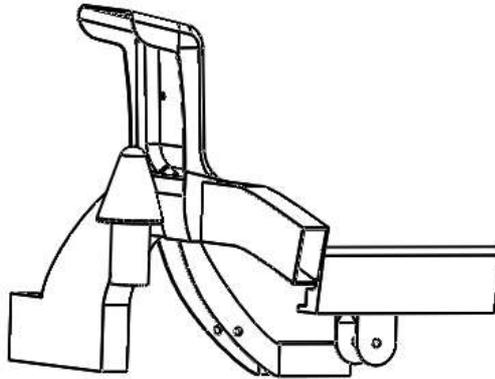


Figura 2-3: Bosquejo bastidor Chevrolet Vitarra Clásico

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En primer lugar, se realizó el bosquejo de $\frac{1}{4}$ del bastidor del vehículo, en él se montarán los diferentes componentes de la suspensión, para la elaboración del diseño, se tomaron medidas directamente del bastidor del vehículo apoyándose también de medidas existentes en los planos del bastidor del vehículo, de esta manera se digitaliza para el ensamble de las partes del sistema de suspensión.

a) Bosquejo sistema de suspensión original

Para poder lograr el rediseño del sistema McPherson en un software CAD es necesario tener un punto de partida, en este caso, se debe realizar el bosquejo del sistema de suspensión original, para ello se ha procedido a tomar las medidas reales de las piezas y los puntos de apoyo, como son el centro de apoyo del resorte los puntos de unión de la rótula y los puntos de acople de los brazos de la mesa inferior con el bastidor, con la finalidad de que estas puedan ser modificadas o a su vez reutilizadas en el nuevo sistema.

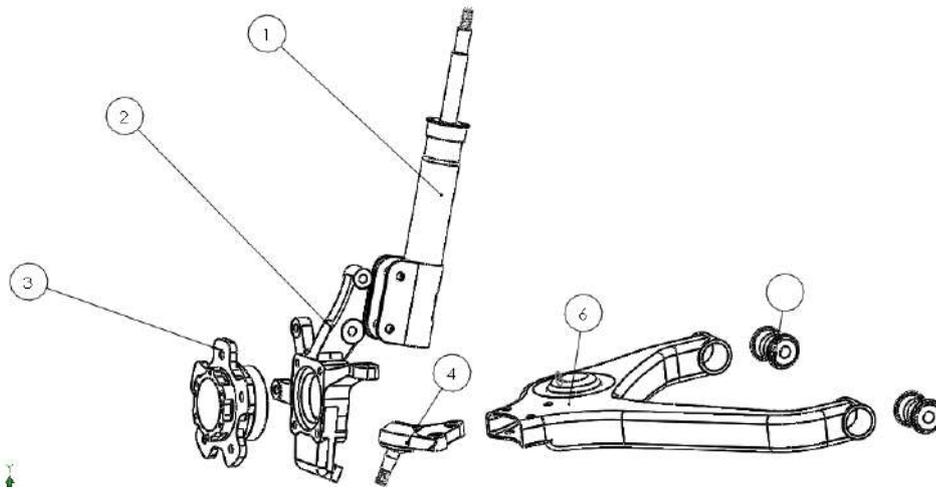


Figura 3-3: Componentes del sistema McPherson Chevrolet Vitara

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Al observar, en la Figura 4-3 se identifica cada uno de los componentes a través de números los cuales se detallan a continuación.

1. Conjunto amortiguador del sistema McPherson
2. Mangueta de rueda (araña).
3. Manzana de la rueda
4. Rótula
5. Bocines
6. Mesa inferior.



Figura 4-3: Ensamble del Sistema McPherson

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

b) Diseño de componentes de sistema de suspensión modificado

Una vez que se ha realizado el diseño correspondiente del sistema de suspensión original, se procede a realizar su rediseño, Este nuevo sistema al ser un símil a uno de doble horquilla, es necesario diseñar un soporte en donde se pueda anclar la nueva mesa, para este diseño se toma medidas en la torreta del bastidor se toma mediadas del alto y ancho, o el espacio necesario para no dañar la carrocería a la hora de ensamblar la pieza, este diseño se lo puede visualizar en la Figura 5-3.



Figura 5-3: Soporte de mesa superior.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Este soporte está diseñado para ser montado en la parte trasera de la torreta y tendrá un desface entre los brazos de acople y la base de sujeción lo suficiente para que no haya la necesidad de cortar la carrocería, el soporte de la mesa superior se fija en la torreta del bastidor como se muestra en la Figura 6-3.

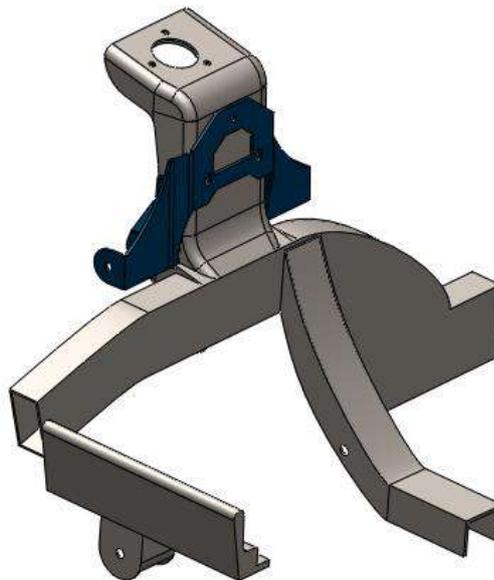


Figura 6-3: Soporte de la mesa superior, montado en el bastidor.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una vez realizado el diseño del soporte, tomando las medidas de las bases se procede a realizar el diseño de la mesa superior, este componente presente un soporte dos soportes en la parte superior donde se conecta el amortiguador del sistema, y en la parte inferior de la mesa se conecta una rótula extra que será la guía para cuando el sistema se comprima o se expanda dependiendo de las condiciones de funcionamiento.

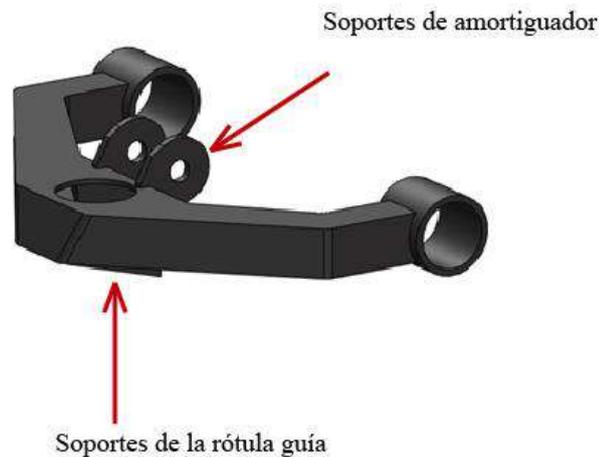


Figura 7-3: Mesa superior

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

La mesa superior va a estar anclada al nuevo soporte ya antes mencionado, en cada uno de los brazos de la mesa, va a estar colocados bocines que permanecerán en contacto permanente con los anclajes del soporte evitando así el movimiento axial de la mesa y permitiendo que esta se articule en un solo sentido, dependiendo el movimiento de la rueda, en la Figura 8-3 podemos determinar el montaje de la mesa superior en el sistema.

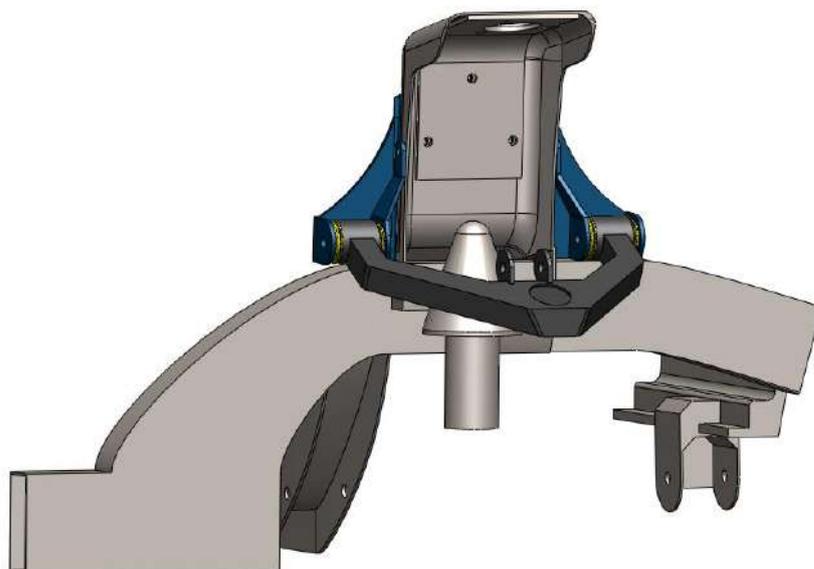


Figura 8-3: Montaje de la mesa superior.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Con la mesa superior diseñada se procede a realizar el modelado de la rótula, esta rótula es un componente extra que se le ha implementado al sistema rediseñado, la cual brinda la flexibilidad al sistema de suspensión, así como facilita el giro de las ruedas cuando entra en funcionamiento en sistema de dirección. Esta rótula se ubica en el soporte de la rótula de la mesa superior y se fijará a esta por medio de arandelas de seguridad para su fijación, este tipo de rótulas es común encontrarlas en vehículos de la marca Nissan.

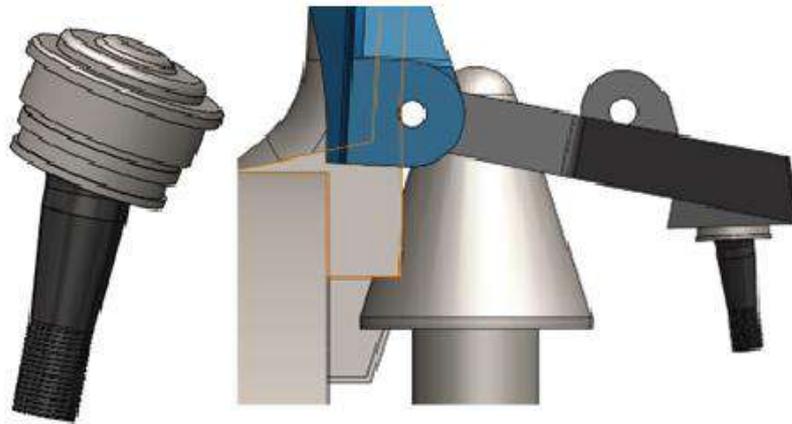


Figura 9-3: Rótula seguidora montada en el sistema rediseñado.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Para un mejor soporte en el rediseño de esta suspensión se implementó una pieza en la parte inferior de la torreta, y que así cuando el amortiguador realice su función no tenga deformaciones la torreta del bastidor.



Figura 10-3: Soporte inferior de la torreta.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

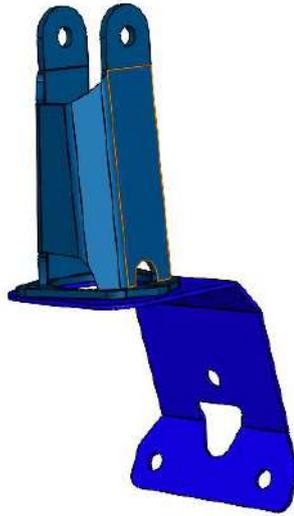


Figura 11-3: Ensamble con el soporte superior del amortiguador.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Para ampliar la carrera de trabajo del amortiguador, se ha implementado un nuevo soporte Figura 12-3. Este soporte aumenta en cinco pulgadas el desplazamiento del amortiguador, esta pieza está diseñada con la finalidad de permitir que el amortiguador trabaje en sus condiciones máximas, el amortiguador va a estar conectado en la parte superior del soporte y esta se localiza en la parte superior de la torreta, sirviendo como una extensión de la misma Figura 13-3.



Figura 12-3: Soporte superior del amortiguador

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

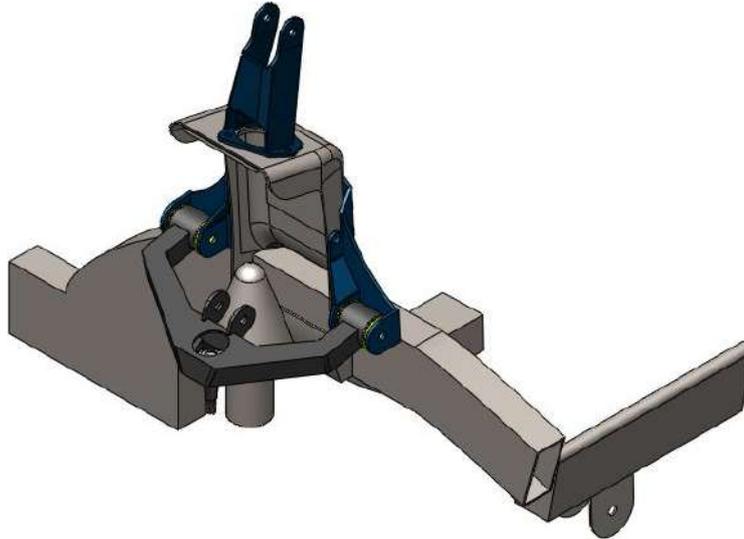


Figura 13-3: Soporte superior del amortiguador acoplado al sistema

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una de las características de los sistemas de suspensión McPherson es el amortiguador, el cual suele ser algo robusto y en uno de sus extremos se conecta directamente con la mangueta de la rueda, y el otro extremo se conecta a la torreta del vehículo, En este caso este amortiguador será reemplazado por un amortiguador telescópico que se instalará en los soportes de la mesa superior y del soporte superior Figura 14-3, cabe recalcar que este nuevo resorte presentan el mismo recorrido de trabajo que el amortiguador original.

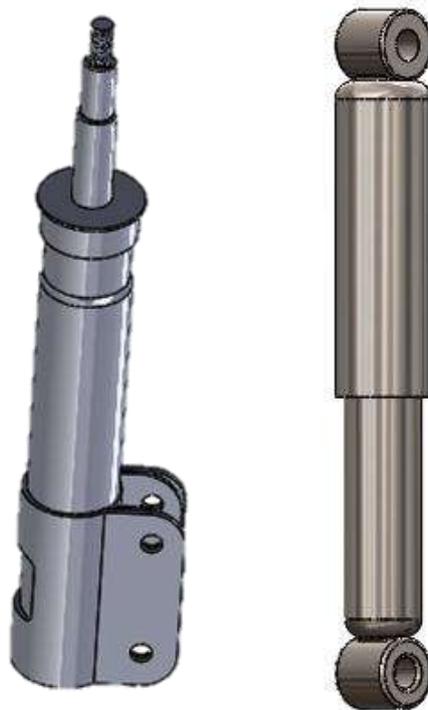


Figura 14-3: Amortiguador sistema McPherson y amortiguador telescópico.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

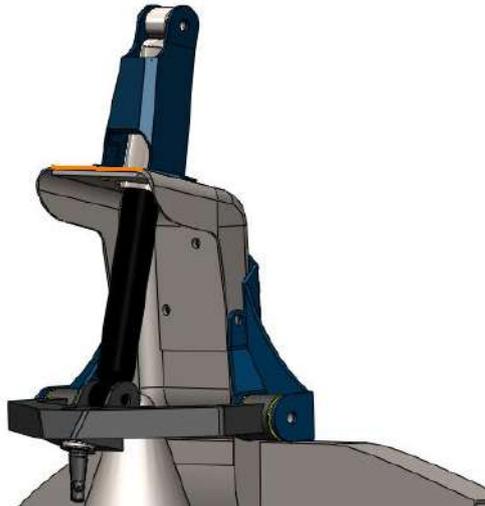


Figura 15-3: Amortiguador telescópico acoplado al sistema

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Continuando con el rediseño de componentes del sistema, pasamos al diseño de la mangueta secundaria, esta viene siendo una extensión de la mangueta original del vehículo, este nuevo componente conecta la rótula de la mesa superior con la mangueta y en su diseño presenta una ranura donde se coloca un perno excéntrico con la finalidad de poder controlar el ángulo de caída de la rueda (Camber). Al ser una extensión de la mangueta original por ende va a girar en el mismo sentido sin afectar el movimiento del vehículo. Cabe recalcar que en la parte superior de sus laterales existe un orificio con la finalidad de poder dar el apriete a la tuerca de la rótula superior.

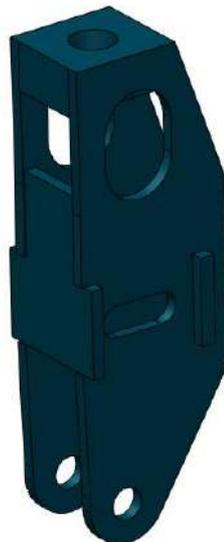


Figura 16-3: Mangueta Secundaria

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

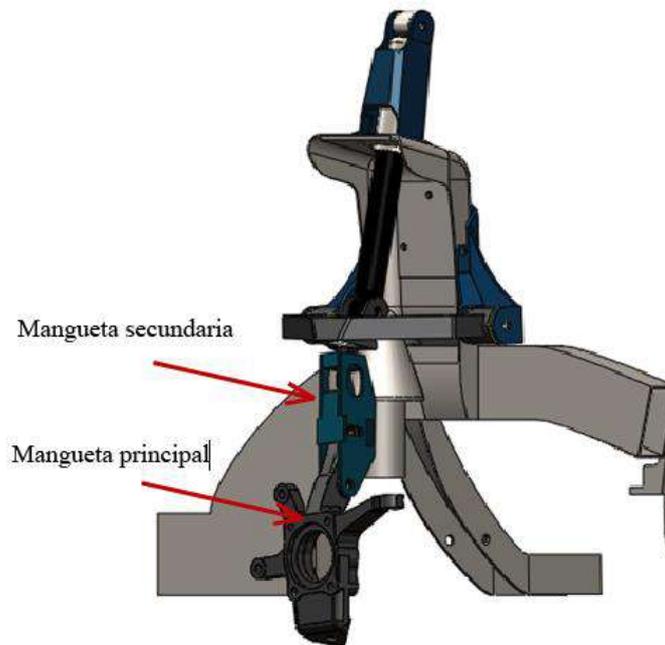


Figura 17-3: Mangueta secundaria y principal acoplada al sistema

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Y, por último, uno de los sistemas que se ha rediseñado es la mesa inferior, basándonos en el boceto del sistema original, una de las particularidades de este sistema es que conserva los puntos de anclaje tanto de la barra estabilizadora como la de la holgura donde se asienta el muelle helicoidal. La mesa inferior rediseñada presenta un desfase de 50 mm desde el suelo respecto al eje de giro de los bocines Figura 18-3, esto con la finalidad de que exista un mayor recorrido de la rueda sin necesidad de que varíe drásticamente el comportamiento del ángulo de caída de la rueda.

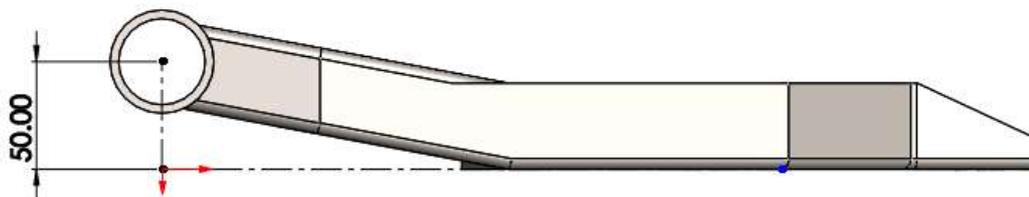


Figura 18-3: Desfase de eje de giro de la mesa inferior.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En el sistema, la mesa inferior se fija en los soportes del bastidor y en su parte frontal se conecta a la rótula que se encarga de conectar a la mangueta primaria, la mesa inferior es el componente que está sometido a un mayor esfuerzo, debido a que en ella se asienta el muelle que soporta las cargas del vehículo.

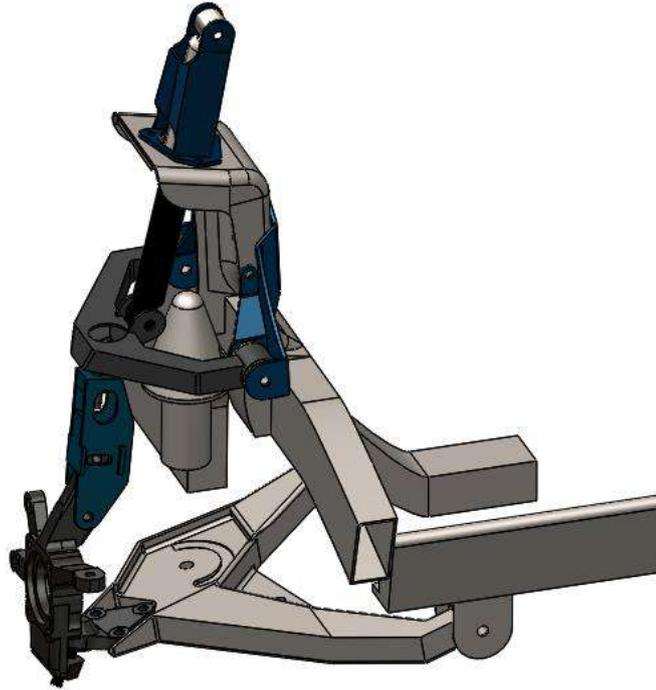


Figura 19-3: Ensamble de la mesa inferior en el sistema

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una vez concluido el diseño de cada uno de los componentes se procede a realizar el ensamble general del sistema en el cual se realizaran los respectivos análisis Figura 20-3.

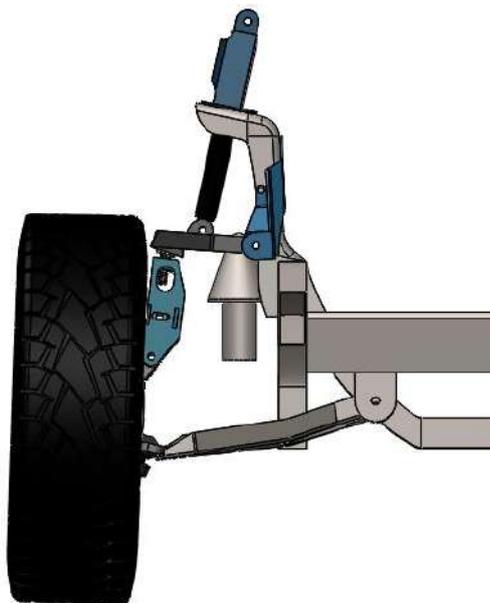


Figura 20-3: Ensamble final, suspensión McPherson modificada.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

3.3.3.2. Simulación

Para poder validar el diseño realizado es necesario realizar la simulación de cada uno de los sistemas de suspensión (original y modificado), esto con la finalidad de comprobar que si existen mejoras en el comportamiento de cada uno de estos sistemas.

a) Centro de gravedad

Uno de los parámetros importantes para realizar la simulación es importante determinar la rígides del resorte para ello aplicamos la ecuación 1.

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

Los parámetros del resorte se determinan dependiendo del material de construcción del resorte, en la Tabla 1-2 identificamos los materiales de fabricación de muelles helicoidales, por lo general estos tipos de resortes son fabricados acero con alto contenido de carbono, ASTM 228 correspondiente al alambre de piano.

Tabla 5-3: Elementos de construcción del muelle helicoidal

Nombre común	Especificaciones	Módulo Elástico, E, psi	Módulo de elasticidad cortante, G, psi	Densidad, ρ, lbf/in ³	Máxima temperatura de servicio °F	Principales características
Alambres con alto contenido de carbono						
Alambre de piano	ASTM A228	3,00E+07	1,15E+07	0,283	250	Alta resistencia; excelente vida a la fatiga

Fuente: Rodríguez, 2022

Realizado por: Arévalo D; Hernández J. 2021

Sabiendo 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: $G = 11.5 \times 10^6$ PSI,

llevándolo al sistema internacional de medida tenemos que: $G = 79.29 \times 10^9 \frac{N}{m^2}$

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

$$d = 14 \text{ mm} \rightarrow 0,014 \text{ m}$$

$$D = 105 \text{ mm} \rightarrow 0,105 \text{ m}$$

$$N = 6 \text{ espiras activas}$$

Aplicando la fórmula de la constante tenemos que la rigidez del sistema es de:

$$K = \frac{79,29 \times 10^9 \frac{N}{m} * 0,014^4 \text{ m}}{8 * 6 * 0,105^3 \text{ m}}$$

$$K = 54817,778 \frac{N}{m}$$

Si se obtiene la constante de forma experimental se lo realiza aplicando una masa al muelle helicoidal del sistema, esto con la finalidad de que el valor de esta constante sea más real, para ello utilizamos la ecuación 3

$$F = K * x$$

Despejando el valor de K quedaría expresado de la siguiente manera:

$$K = \frac{F}{x}$$

Para determinar el valor de F se aplicó una masa de 80 Kg sobre el muelle y como ya se sabe la fuerza debe estar expresada en N por lo que se debe multiplicar dicho valor por la gravedad obteniendo así una fuerza equivalente de:

$$F = 784,8 \text{ N}$$

Aplicando esta fuerza sobre el muelle obtenemos un desplazamiento del mismo, este desplazamiento viene a ser el valor de x el cual es igual a 17 mm por ende el valor de la constante es igual a:

$$K = \frac{784,8 \text{ N}}{0,015 \text{ m}} = 46164,71 \frac{N}{m}$$

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

$$\text{Batalla (distancia entre ejes)} \rightarrow L = 2200 \text{ m}$$

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

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

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

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

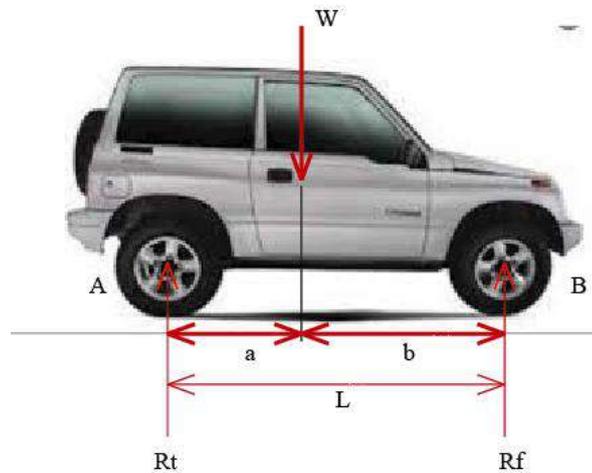


Figura 21-3: Diagrama de cuerpo libre.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

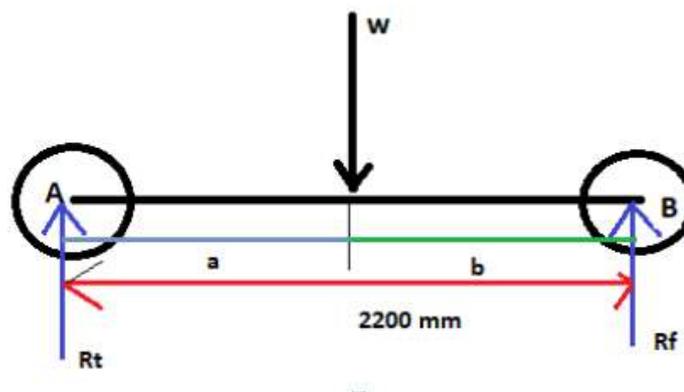


Figura 22-3: Diagrama de cuerpo libre.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Con el diagrama de cuerpo libre procedemos a calcular cada una de las variables.

$$\sum Fy = 0$$

$$Rt + Rf = W$$

$$Rf = W * 0,45 = 4613.153 \text{ N}$$

$$Rt = W - Rf = 5638,298 \text{ N}$$

Sumatoria de momentos respecto al punto A:

$$\sum MA = 0$$

$$W * a - Rf * L = 0$$

Despejando el valor de a:

$$a = \frac{Rf * L}{W} = \frac{4613,153 \text{ N} * 2,2 \text{ m}}{10251,45 \text{ N}} = 0,99 \text{ m}$$

Por tanto el valor de b es:

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

Encontrado el valor de a y b, procedemos a levantar el eje trasero del vehículo y calcular el exceso de peso existente en el eje delantero.

El eje posterior al ser elevado 80 mm la medida del resorte disminuyó en 2 mm entonces el valor del peso ganado es de:

$$F = K * x = 46164,71 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0,002 \text{ m} = 94,847 \text{ N}$$

Con estos datos obtenidos realizamos el diagrama de cuerpo libre del vehículo en un plano inclinado.

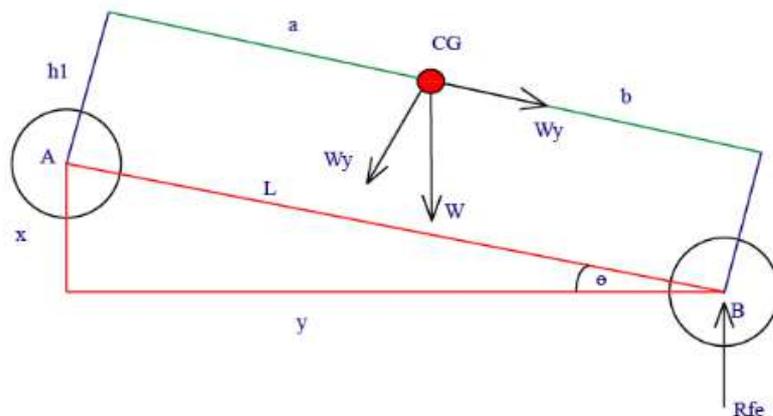


Figura 23-3: Diagrama de cuerpo libre del vehículo en un plano inclinado.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En primer lugar se calcula el ángulo formado entre la diagonal **L** y la recta **y**:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{0,08}{2,2}\right) = 2,08^\circ$$

Posteriormente se determina el valor de y :

$$y = \sqrt{L^2 - x^2} = \sqrt{2,2^2 - 0,08^2} = 2,1985 \text{ m}$$

Luego aplicamos la fórmula para determinar el centro de gravedad:

$$h1 = \frac{L * Pe}{W * \tan(\theta)}$$

$$h1 = 0,56 \text{ m}$$

El valor $h1$, viene a ser la altura del centro de gravedad tomada desde el eje del vehículo, si se desea saber el centro de gravedad respecto al suelo se suma el radio de la rueda el cual se determina de la siguiente manera:

$$\text{Radio de la rueda} = \frac{\text{Ancho} * \text{altura} * 2 + 25,4 * \text{Rin}}{2000}$$

$$\text{Radio de la rueda} = \frac{195 * 0,60 * 2 + 25,4 * 15}{2000} = 0,3075 \text{ m}$$

Obteniendo así el valor del centro de gravedad:

$$\text{Centro de gravedad} = h1 + \text{radio de la rueda}$$

$$CG = 0,8675 \text{ m}$$

b) Análisis dinámico suspensión original

Los parámetros necesarios a determinar en la simulación dinámica del sistema de suspensión McPherson son:

Ángulo de avance o Caster

Ángulo de caída o Camber

Ángulo de convergencia o Toe

Para el desarrollo de la simulación se ha utilizado el Software Adams Car, donde se efectuaron la simulación de los parámetros ya mencionados, cabe recalcar que para la simulación se ha utilizado

los ensamblajes y sub – ensamblajes propios del software y se ha modificado los puntos críticos del sistema de suspensión, esto basándonos en el diseño ya realizado en SolidWorks, en la Figura 24-3 podemos determinar el ensamble del sistema de suspensión McPherson.

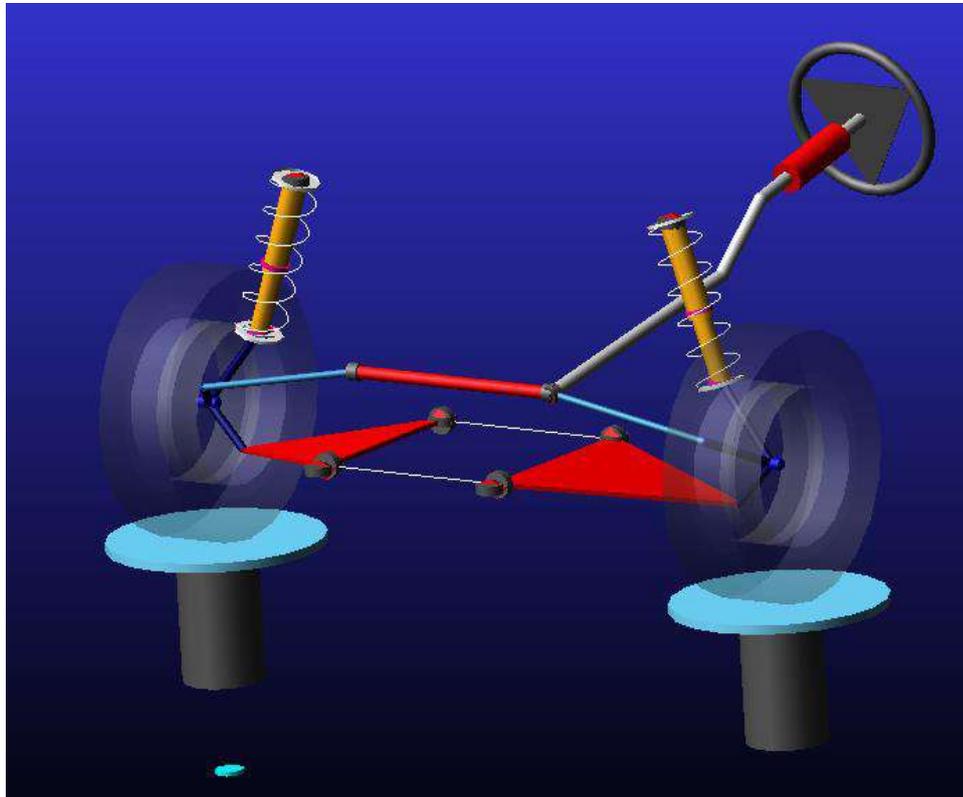


Figura 24-3: Ensamble suspensión McPherson

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una vez que se ha insertado el sistema, en el ensamble desarrollado en SolidWorks se basa para determinar las coordenadas de cada uno de los componentes en sus puntos de anclaje componentes del sistema, en la figura 25-3 se muestra cómo han sido tomadas cada una de las medidas y en la figura 26-3 se especifica las coordenadas de cada uno de los puntos clave de cada componente.

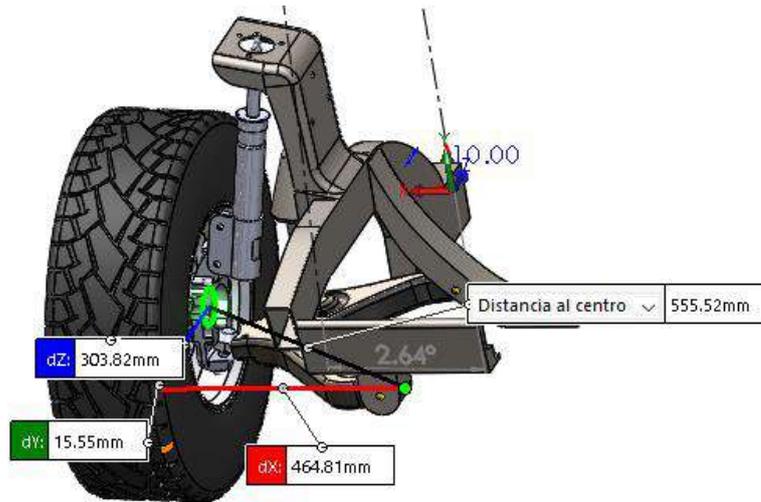


Figura 25-3: Medida de puntos clave del sistema

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

	loc_x	loc_y	loc_z
hpl_drive_shaft_inr	0.0	-200.0	302.75
hpl_lca_front	-304.0	-220.0	285.5
hpl_lca_outer	-6.0	-634.0	207.0
hpl_lca_rear	146.0	-220.0	275.5
hpl_spring_lwr_seat	18.0	-593.0	471.0
hpl_strut_lwr_mount	18.0	-593.0	471.0
hpl_subframe_front	-340.0	-220.0	285.0
hpl_subframe_rear	150.0	-220.0	275.5
hpl_tierod_inner	-132.5	-250.0	450.0
hpl_tierod_outer	-132.5	-640.0	378.0
hpl_top_mount	26.0	-482.0	815.0
hpl_wheel_center	0.0	-722.5	305.0

Figura 26-3: Coordenadas del sistema McPherson

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Ingresado las coordenadas se procede a configurar los parámetros de entrada del sistema, Figura 27-3.

Suspension Analysis: Setup Parameters

Suspension Assembly: McPherson_Assembly

Suspension Settings

Actuation Type: Contact Patch Wheel Center

Tire Model: User Defined

Tire Unloaded Radius: 307.5

Tire Loaded Radius: [Greyed out]

Tire Stiffness: 247.5

Tire Property File: RIGID_WHEEL

Wheel Mass: 25

Cm Offset: 0.0

Dual Wheels: Active Inactive

Dual Wheel Offset: 300.0

Dual Cm Offset: 0.0

Vehicle Parameters

Sprung Mass: 1045

CG Height: 867.5

Wheelbase: 2200

Drive Ratio (% Front): 45

Brake Ratio (% Front): 50

[Icon] OK Apply Cancel

Figura 27-3: Parámetros de simulación

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Es importante en este punto aclarar que los parámetros ingresados ya han sido calculados en apartados anteriores a excepción del parámetro *Tire Stiffness* (rigidez del neumático), éste parámetro lo determinamos en la Figura 28-3.

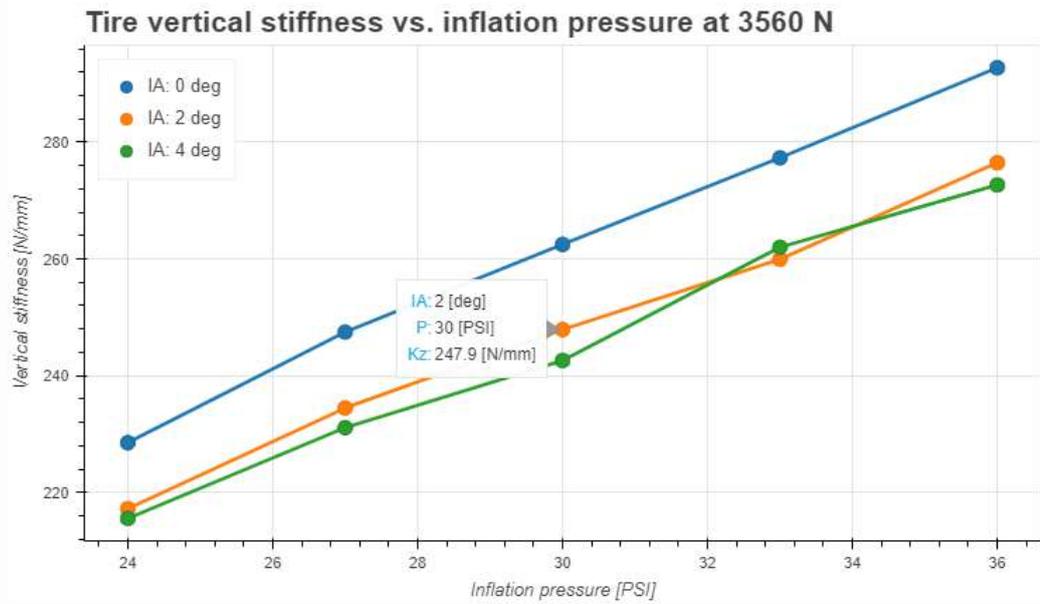


Figura 28-3: Gráfica Rigidez del neumático vs Presión de inflado

Fuente: Tse, 2021

La gráfica anterior nos muestra el comportamiento de la rigidez de la rueda en función de la presión de inflado del neumático, en el caso real, el neumático tiene una presión de 30 PSI de presión y el neumático en condiciones normales presenta un ángulo de 2,3 grados, por ende, la curva en la que se determina la rigidez es la de color amarillo, la cual determina que la rigidez del neumático es de 247,9 N/mm.

Configurado todos los parámetros de sistema, en Adams Car, se procede a realizar la simulación, en la gráfica 29-3 se determina los parámetros de la simulación.

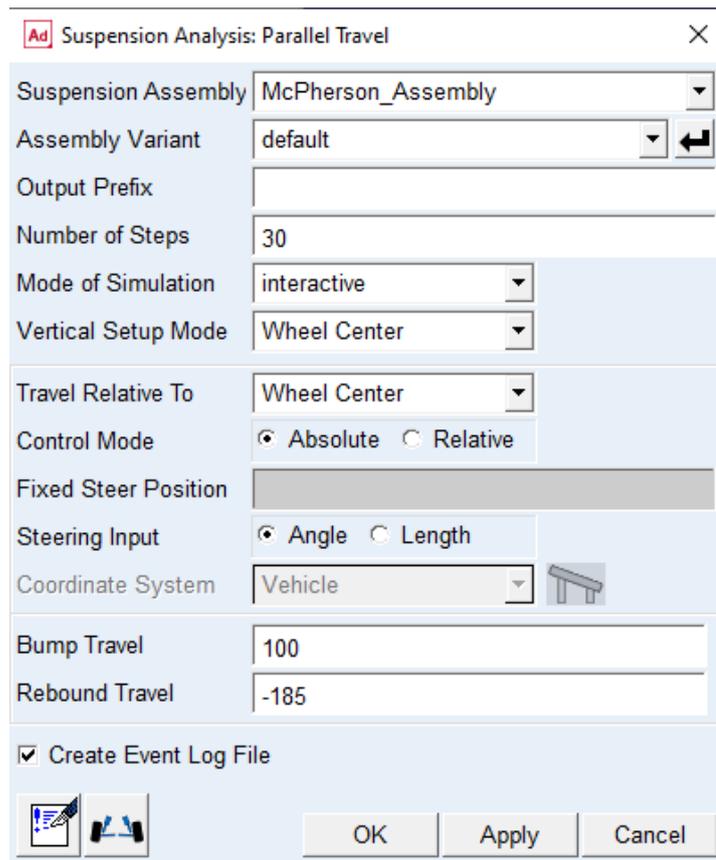


Figura 29-3: Parámetros de simulación

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Se ha determinado que el valor de *Bump Travel* y *Rebound Travel* (compresión y expansión del sistema), son de 100 y -185 mm respectivamente.

Realizada la simulación tenemos como resultado las siguientes curvas característica:

En la Figura 30-3 se puede visualizar el comportamiento del ángulo de caída (Camber) respecto al desplazamiento de la rueda, según se muestra en la gráfica el Camber varía dependiendo del desplazamiento del neumático es decir, si la suspensión se comprime, el Camber es negativo, en cambio si el sistema se expande el Camber es positivo.

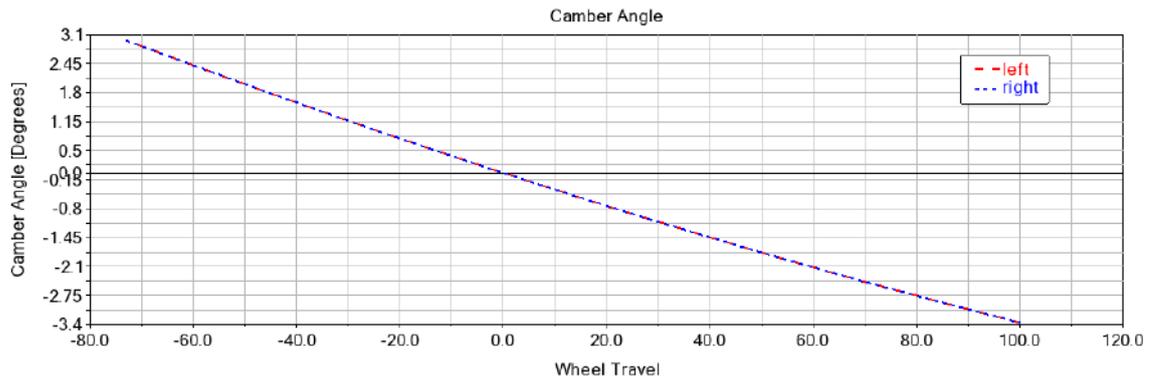


Figura 30-3: Comportamiento del ángulo de caída (Camber).

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En la figura siguiente se puede observar el comportamiento del ángulo de avance del vehículo, en este caso el comportamiento del ángulo de avance es opuesto al ángulo de caída, la variación del ángulo varía en lo mínimo y a lo largo del desplazamiento de la rueda este ángulo siempre va a ser positivo.

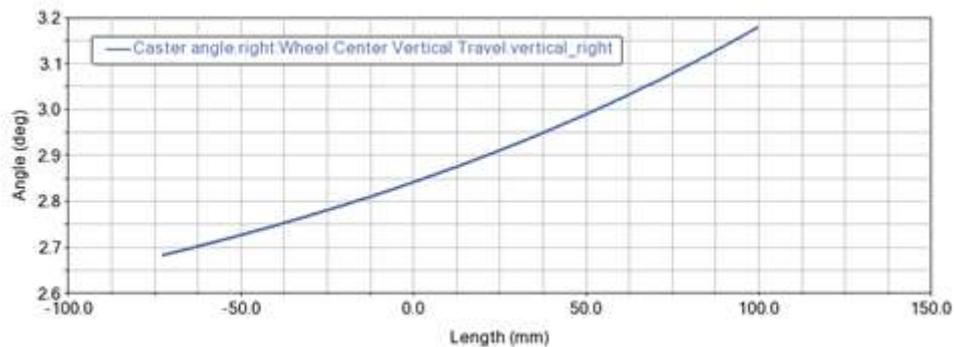


Figura 31-3: Comportamiento del ángulo de avance (Caster).

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En la figura 32-3 se indica el comportamiento del ángulo de salida del sistema también conocido como Kingpin, el ángulo Kingpin varía dependiendo el recorrido de la suspensión aumentando el ángulo de salida a medida que se comprime más el sistema.

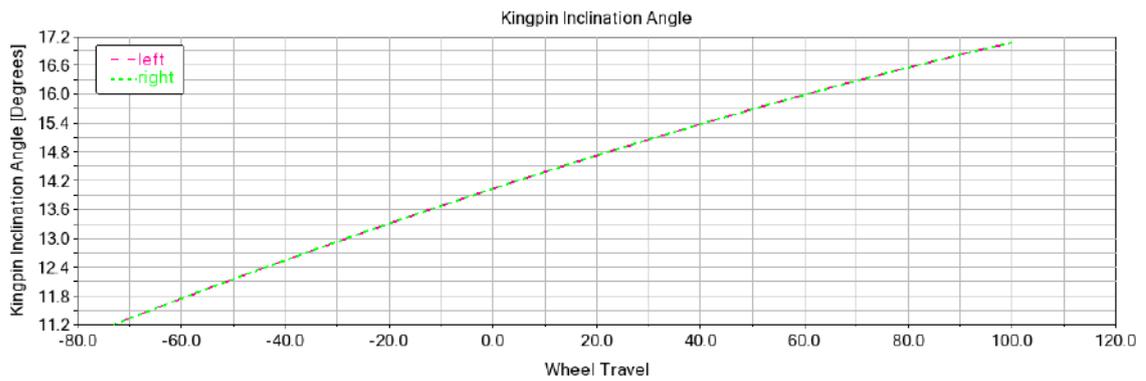


Figura 32-3: Comportamiento del ángulo de inclinación (Kingpin).

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Por último se presenta el comportamiento del ángulo de convergencia (Toe), al igual que en los otros apartados obtenidos luego de la simulación, la variación del ángulo en función del desplazamiento es notable, como se puede dar cuenta, la convergencia del neumático es positiva cuando el sistema se expande y es negativa en cuanto el sistema se comprime.

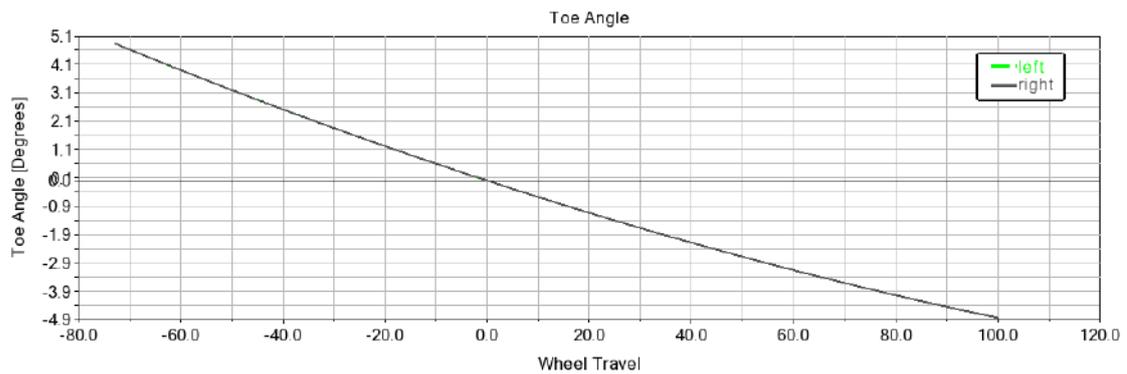


Figura 33-3: Comportamiento del ángulo de convergencia (Kingpin).

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

b) Análisis dinámico suspensión rediseñada

Para el análisis dinámico del sistema rediseñado (doble horquilla) en el software Adams Car, también se utilizará los ensamblajes y sub – ensamblajes propios del software, en este caso el ensamblaje a utilizar corresponderá a un sistema de doble horquilla o en inglés *Double Wishbone* figura 34-3.

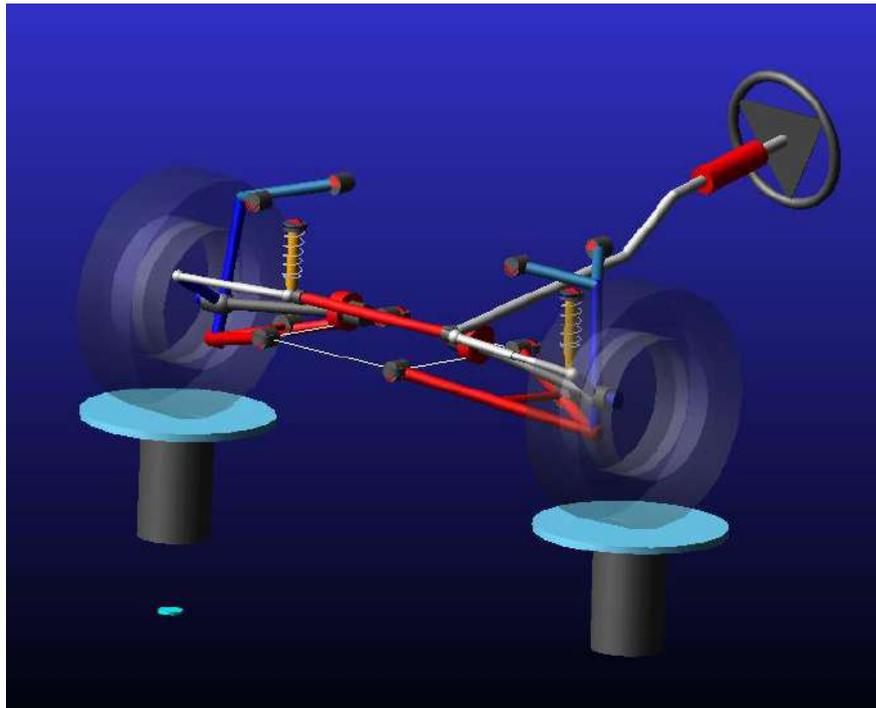


Figura 34-3: Suspensión de doble horquilla.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Con el ensamble creado se procede a tomar las medidas del modelo que se ha diseñado en SolidWorks (Figura 35-3) de los componentes que intervienen en el análisis dinámico y registrarlos en la tabla de coordenadas que se presenta en el software (Figura 36-3).

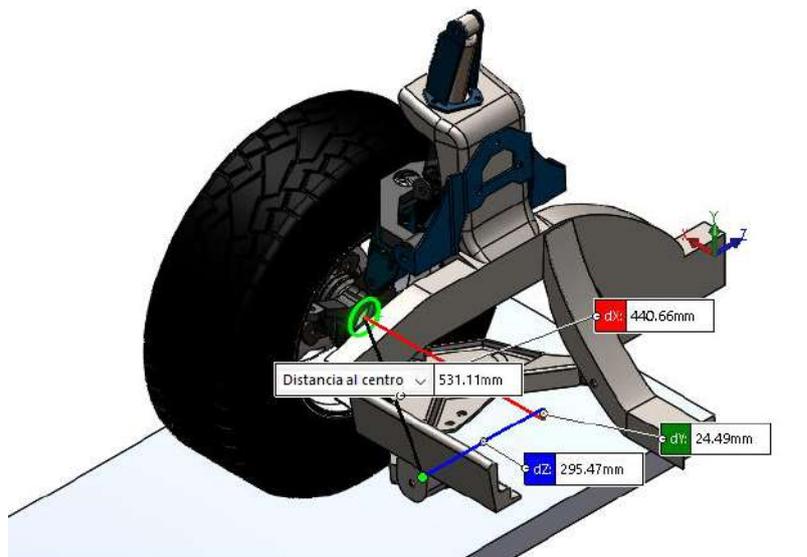


Figura 35-3: Toma de medidas del sistema doble horquilla.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Ad Hardpoint Modification Table

Assembly Subsystem .DHorquilla_Assembly.C

	loc_x	loc_y	loc_z
hpl_drive_shaft_inr	0.0	-200.0	345.0
hpl_lca_front	-290.0	-220.0	375.0
hpl_lca_outer	-10.0	-635.0	250.0
hpl_lca_rear	160.0	-220.0	360.0
hpl_lwr_strut_mount	75.0	-470.0	305.0
hpl_subframe_front	-300.0	-220.0	376.0
hpl_subframe_rear	200.0	-220.0	360.0
hpl_tierod_inner	-145.0	-280.0	450.0
hpl_tierod_outer	-130.0	-662.0	425.0
hpl_top_mount	75.0	-465.0	560.0
hpl_uca_front	-95.0	-435.0	657.0
hpl_uca_outer	21.0	-595.0	619.0
hpl_uca_rear	205.0	-435.0	657.0
hpl_wheel_center	0.0	-752.0	346.0

Figura 36-3: Registro de coordenadas sistema de doble horquilla

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una vez registrado las coordenadas, se procede a configurar los parámetros del ensamble, que al ser aplicado al mismo vehículo conservan las mismas características del sistema anterior Figura 37-3.

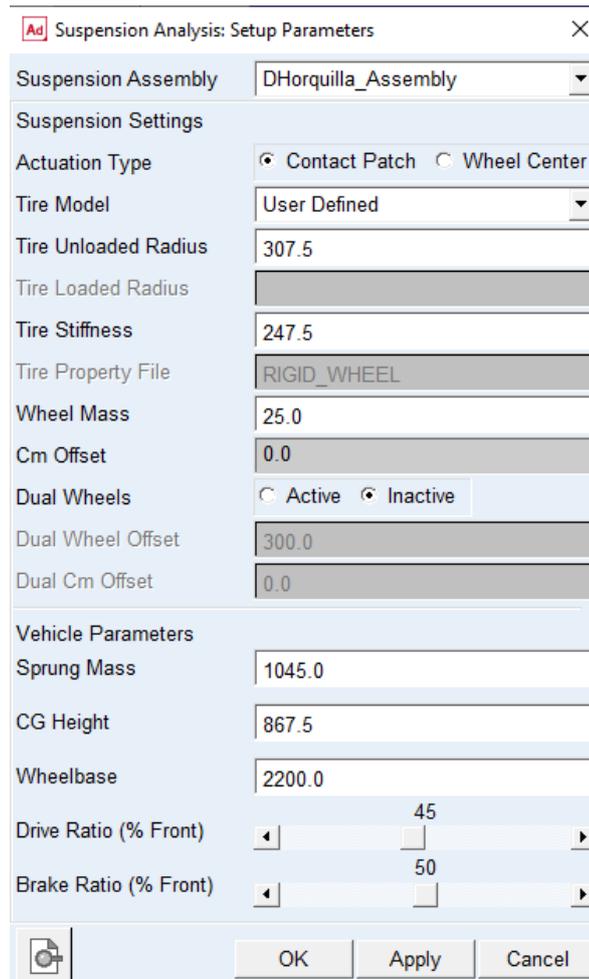


Figura 37-3: Configuración de parámetros del sistema de doble horquilla

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una vez realizado la configuración, se procede a definir los parámetros de la simulación Figura 38-3, donde se ha determinado el valor de *Bump Travel* y *Rebound Travel* (compresión y expansión del sistema), son de 100 y -185 mm respectivamente al igual que el caso anterior.

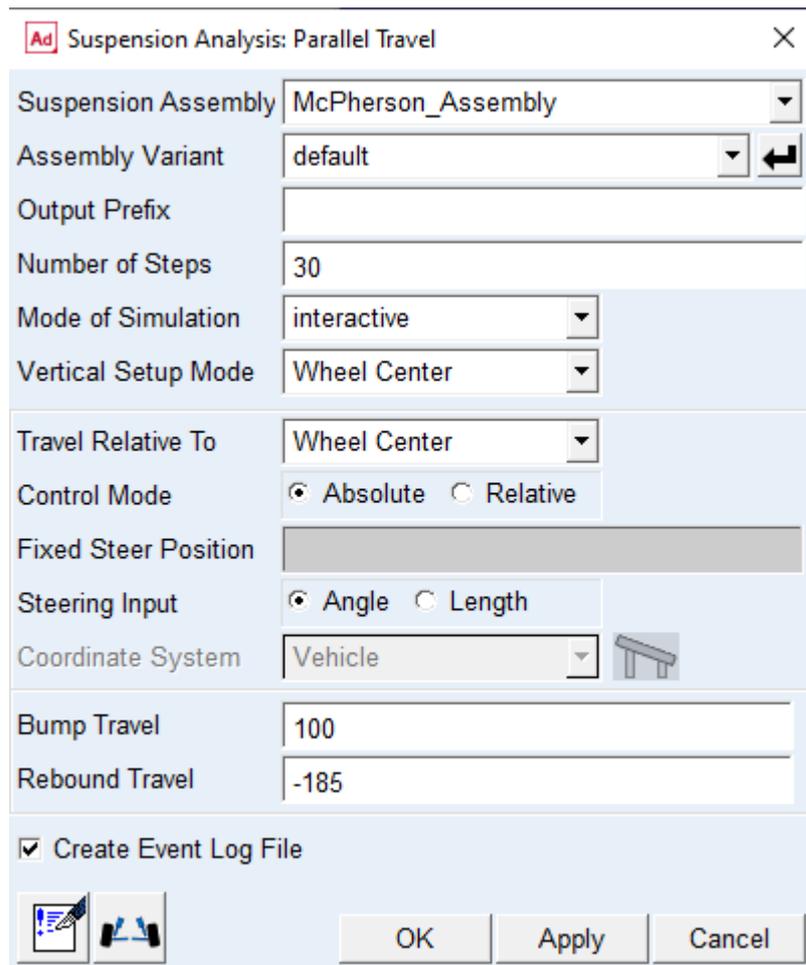


Figura 38-3: Parámetros de la simulación sistema doble horquilla

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una vez que se ingresado los datos de entrada se ejecuta la simulación la cual nos ha dado como resultado las siguientes curvas características.

En la figura 39-3 podemos visualizar la curva característica del ángulo de caída del sistema rediseñado, el ángulo va incrementando a medida que el desplazamiento de la rueda se mueve hacia arriba, en otras palabras, cuando el sistema de suspensión se comprime el ángulo tiende a aumentar.

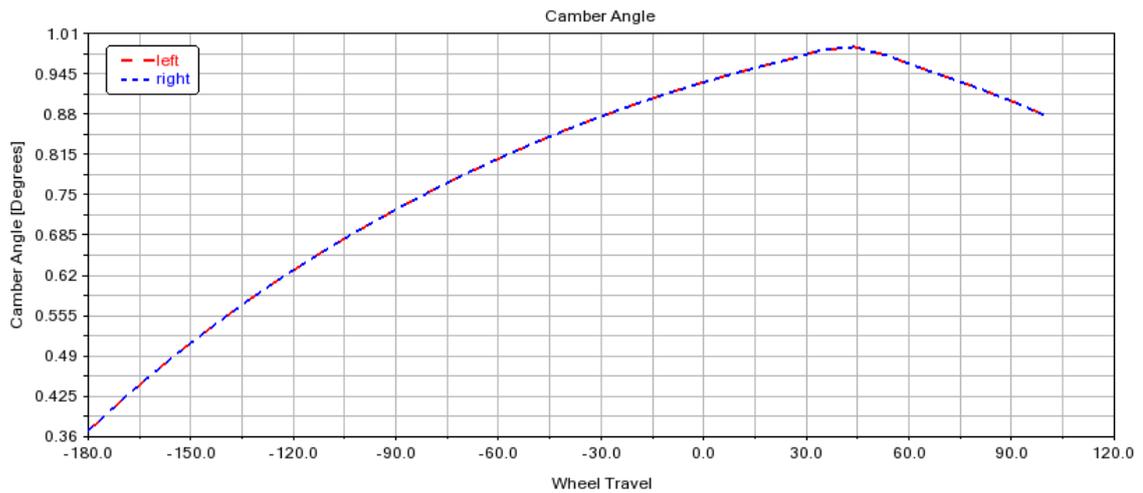


Figura 39-3: Ángulo de caída (camber) vs desplazamiento vertical de la rueda

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En la siguiente figura podemos mirar el comportamiento del caster o ángulo de desplazamiento, este tiende a incrementarse de manera positiva a medida que se desplaza la rueda hacia la carrocería.

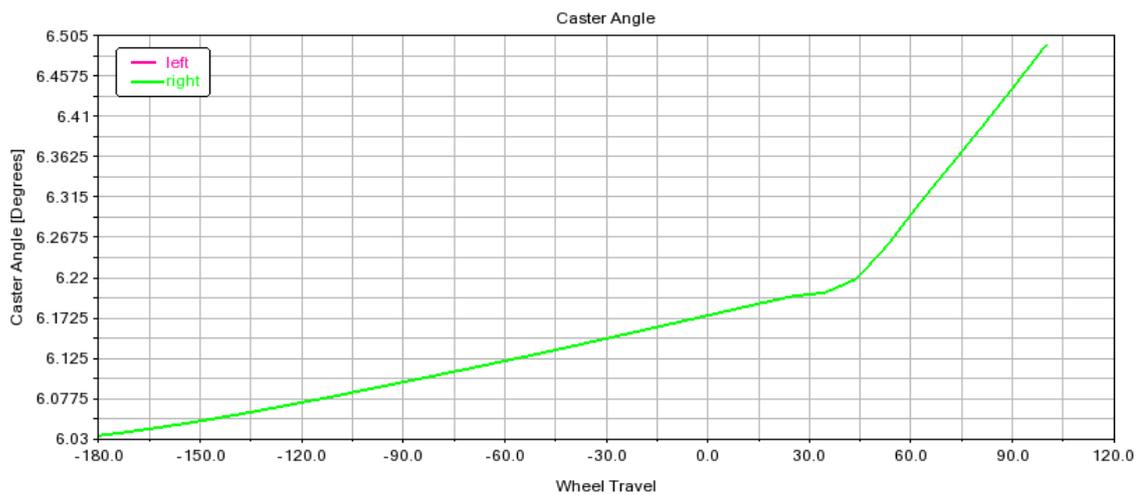


Figura 40-3: Ángulo de avance (caster) vs desplazamiento vertical de la rueda

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En la figura 40-3 se determina el ángulo de inclinación el cual tiende a disminuir a medida que el recorrido de la suspensión aumenta de manera positiva, llegando a un punto mínimo a donde llega y vuelve a aumentar durante el recorrido de la suspensión.

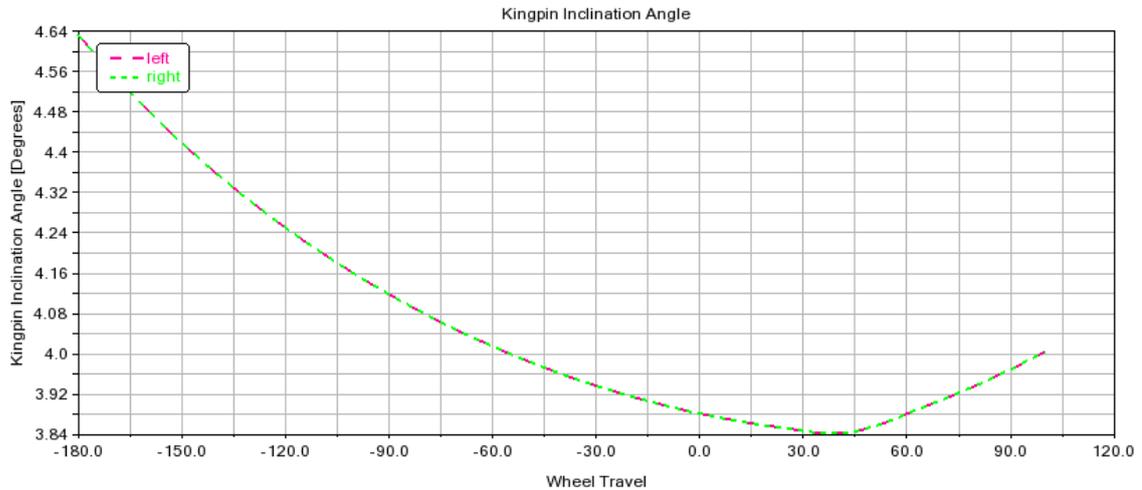


Figura 41-3: Ángulo de inclinación (Kingpin) vs desplazamiento vertical de la rueda

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En la siguiente figura determinamos el ángulo de convergencia (Toe), en el sistema rediseñado este tiende a trazar una curvatura a medida que se desplaza la rueda verticalmente, a mayor desplazamiento positivo el ángulo tiende a volverse positivo llegando a un punto máximo en donde vuelve a ser negativo, Figura 42-3.

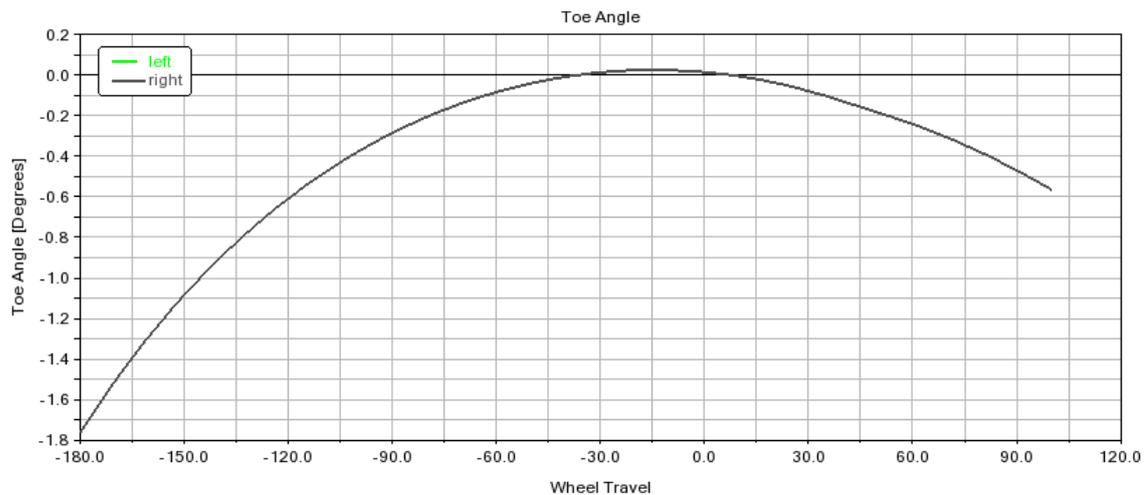


Figura 42-3: Ángulo de convergencia (Toe) vs desplazamiento vertical de la rueda

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

c) Análisis estático sobre la mesa inferior sistema McPherson.

Uno de los componentes que está sometido a mayores esfuerzos es la mesa inferior, en el se concentran las cargas que se ejercen directamente desde el muelle, en algunas suspensiones del tipo McPherson los mayores esfuerzos se concentran en las manguetas, esto se debe a que los el muelle se encuentra rodeando el amortiguador, en este caso el muelle se monta directamente sobre

la mesa inferior por eso para este análisis se ha tomado en la masa máxima permisible para el tren delantero dictado por el fabricante.

El tren delantero está diseñado para soportar una carga máxima de 660 Kg, si este peso lo repartimos a cada lado de manera igual se tiene un peso de 330 Kg por rueda.

De esta manera al momento de realizar el análisis estático se genera una fuerza de 3237,3 N, Figura 43-3.

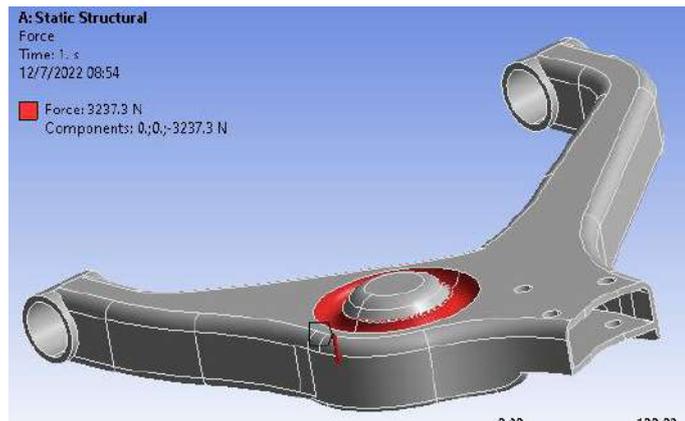


Figura 43-3: Fuerza aplicada a la mesa inferior

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En la Figura 44-3 se identifica los soportes que se le han asignado al sistema. El soporte A le permite la rotación en el eje x, en cambio el soporte B permanece fijo dado que son los puntos donde se acopla la rótula.

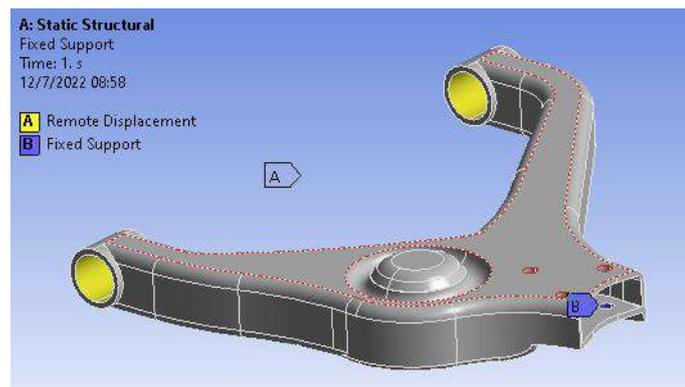


Figura 44-3: Anclajes del sistema.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Con los parámetros establecidos se ejecuta la simulación y el primer resultado que se observa es el la deformación total, como se observa en la Figura 45-3 el mayor desplazamiento se genera en donde se monta el muelle teniendo una deformación máxima de 0,081 mm.

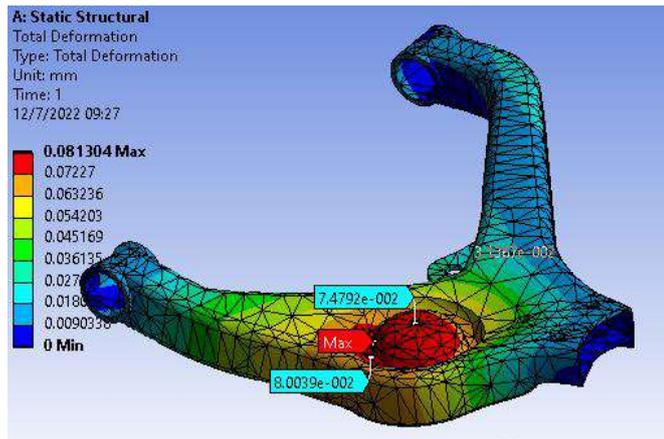


Figura 45-3: Deformación máxima del sistema

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En la Figura 46-3 se determina el esfuerzo equivalente de Von – Mises identificando el punto donde se genera un mayor esfuerzo una vez soportada la carga.

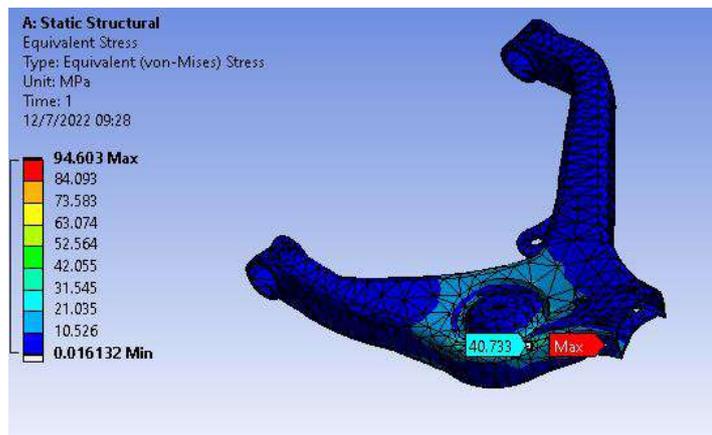


Figura 46-3: Esfuerzo equivalente de Von – Mises .

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Haciendo un enfoque en donde se genera el mayor esfuerzo se determina que es alrededor del orificio donde se sujeta la rótula con un valor de 94,603 MPa.

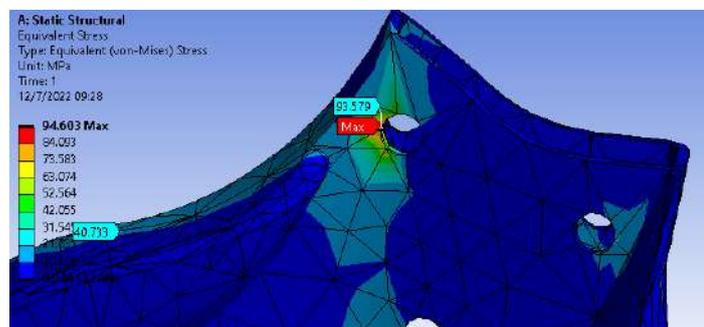


Figura 47-3: Tensión máxima

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

d) Análisis estático mesa inferior modificada

Aplicando el concepto del apartado anterior, este nuevo diseño tiene que soportar las carga máxima permisible, de manera que no haya inconvenientes ni fallas en a futuro. La fuerza aplicada al sobre la mesa modificada será la misma que se utilizó en la mesa original que es la fuerza máxima permisible para el sistema Figura 48-3.

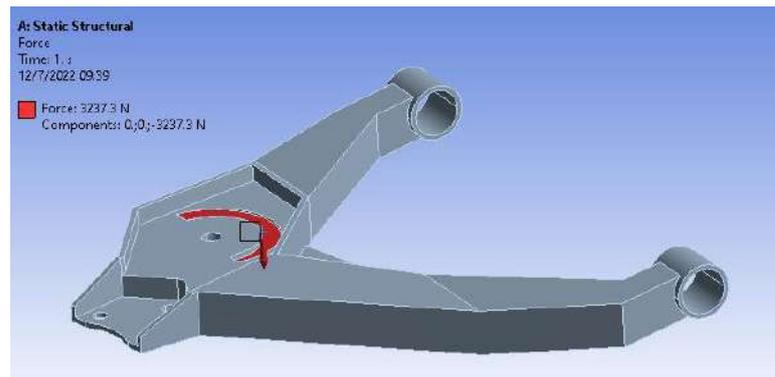


Figura 48-3: Fuerza aplicada a la mesa inferior modificada

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Aplicada la fuerza sobre la mesa modificada se procede a ubicar los soportes, el soporte A permite el giro en el eje x mientras que el soporte B es un soporte fijo.

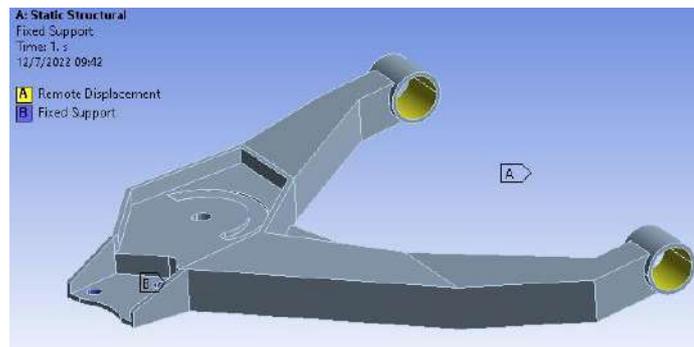


Figura 49-3: Asignación de soportes.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una ves aplicada la fuerza y generado los soportes se ejecuta la simulación obteniendo como resultados una deformación máxima de 0.11 mm, la cual se encuentra en los laterales de la mesa, Figura 50-3.

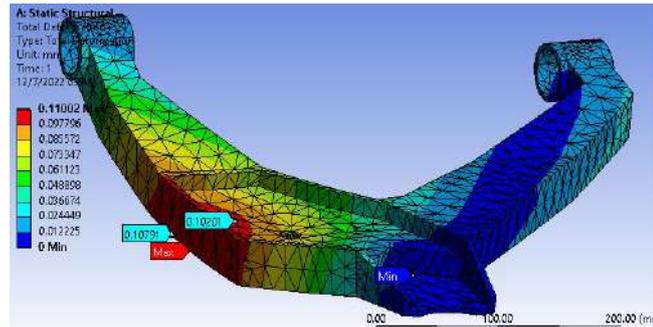


Figura 50-3: Deformación máxima

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En la Figura 51-3 se puede observar el esfuerzo equivalente de Von – Mises dando como resultado una tensión máxima de 86,141 MPa

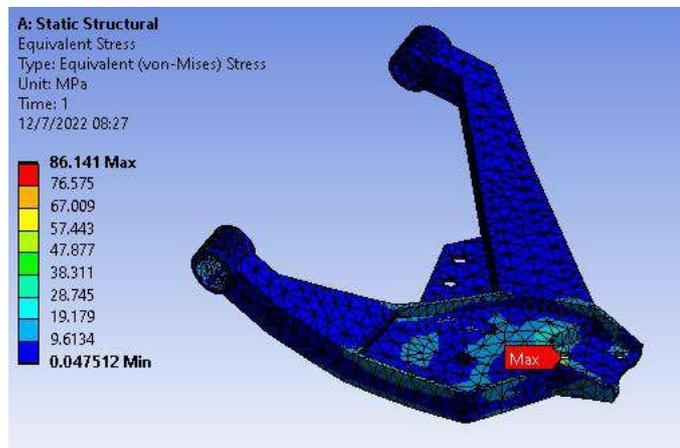


Figura 51-3: Esfuerzo equivalente de Von – Mises

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Haciendo un enfoque se tiene que la tensión máxima se genera en el orificio donde se acopla el la rótula.

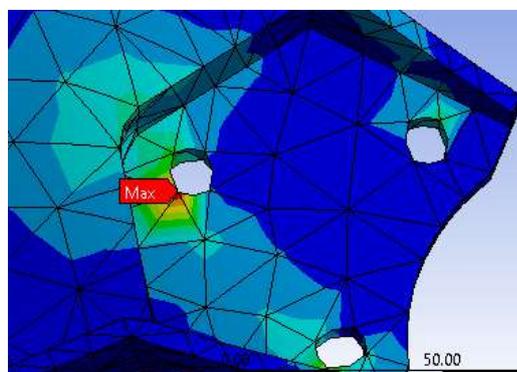


Figura 52-3: Esfuerzo máximo

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

La figura siguiente muestra el análisis del factor de seguridad, basándonos en la barra de colores el valor mínimo es de 2,9 lo cual nos indica que el diseño puede soportar la carga asignada sin ningún problema.

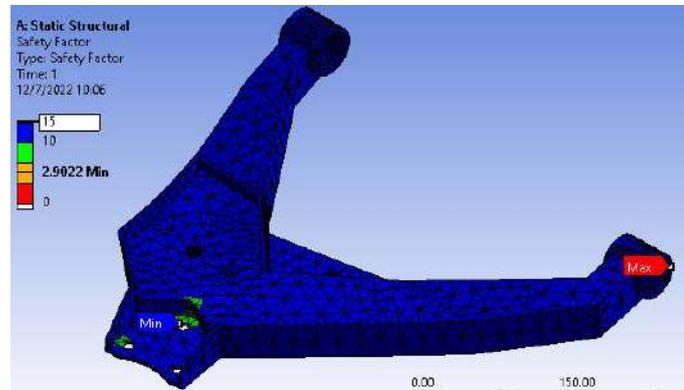


Figura 53-3: Factor de seguridad

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

3.3.3.3. Selección de materiales

En este apartado se realizará la selección de materiales para la fabricación de cada una de las piezas del Diseño y según las resistencias determinar que material utilizar.

Cada uno de los componentes del sistema es un ensamble de un número determinado de piezas que tienen un espesor específico que serán anidadas para la generación de código G y posteriormente puedan ser cortadas con ayuda de una cortadora CNC de plasma y continuar a realizar los respectivos dobleces.

a) Selección de plancha metálicas

La plancha de acero que se ha seleccionado es la plancha de laminado en caliente de calidad estructural, por su textura y uso en autoparte automotrices y elementos mecánicos.

la plancha laminada en frío sirve para otras aplicaciones, como ensamble de carrocerías por ser ligera y fácil de manipular.

Tabla 6-3: propiedades mecánicas del laminado en frío y caliente

Propiedades Mecánicas		
	Laminado Caliente	Laminado Frío
Resistencia a la tracción	67000 psi	85000 psi
Límite elástico	45000 psi	70000 psi
Reducción Volumétrica	58	55

Estiramiento en 2"	36	28
Dureza Brinell	137	167

Fuente: Ferros Planes, 2018.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Según las propiedades físicas de cada laminado se denota en largo, ancho, espesor y peso, existentes en Ecuador. Según las informaciones de las industrias grandes del país se a constatado que el laminado en caliente es más amplio partiendo desde los 1,5 mm hasta los 12 mm. Al tomar en cuenta el diseño realizado en el software CAD el espesor de las láminas utilizadas son de 3mm y 5mm de acuerdo a las partes más críticas del diseño. Según la tabla -3 para realizar los dobles necesarios el laminado en caliente es el más adecuado, tomando en cuenta que las piezas estarán sometidos a trabajos complejos y deben ser resistentes a vibraciones.

De acuerdo a los grupos laminados en caliente se tiene los siguientes más característicos y que se pueden encontrar en el país, y son el ASTM570 y el ASTM A26 los cuales presentan unas características similares, de igual manera según estudios son los mas recomendados por las industrias en lo que se relaciona a aceros estructurales.

De esta manera se realizará las comparativas pertinentes para que tengan un buen desempeño.

Tabla 7-3: Comparativa entre ASTM A570 Y ASTM A36, propiedades mecánicas.

Propiedades Mecánicas		
	ASTM A36	ASTM A570
Dureza	140	150
Módulo elástico (GPa)	190	190
Alargamiento a la rotura (%)	22	22
Resistencia a la fatiga (MPa)	200	280
Coefficiente de Poisson	0,29	0,29
Módulo de Corte (GPa)	73	73
Resistencia al corte (MPa)	300	320
Resistencia a la tracción (UTS) (Mpa)	480	500
Resistencia a la tracción rendimiento	290	390

Fuente: MakeltFrom, 2016

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Tabla 8-3: Propiedades mecánicas del laminado en caliente

Propiedades Térmicas		
	ASTM A36	ASTM A570

Calor latente de fusión J/g	250	250
Temperatura máxima mecánica °C	400	400
Terminación de Fusión °C	1460	1460
Inicio de fusión °C	1420	1420
Capacidad Calorífica específica J/Kg-K	470	470
Conductividad térmica W/mk	50	51
Expansión térmica um/mK	11	13

Fuente: MakeltFrom, 2016

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Tabla 9-3: Propiedades mecánicas del laminado en caliente

Otras propiedades		
	ASTM A36	ASTM A570
Precio del metal base, % relativo	1.8	2
Densidad, g / cm 3	7,9	7,8
Resiliencia: Ultimate (Unidad de trabajo de ruptura), MJ / m 3	92	100
Resiliencia: Unidad (módulo de resiliencia), kJ / m 3	220	410
Rigidez al peso: Axial, puntos	13	13
Rigidez al peso: flexión, puntas	24	24
Resistencia al peso: Axial, puntos	17	18
Resistencia al peso: flexión, puntos	17	18
Resistencia al choque térmico, puntos	16.	15

Fuente: MakeltFrom, 2016

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Al analizar las tablas anteriores se observa, los valores en cada uno de los apartados son similares, las características mecánicas del acero ASTM A570 es mejor al otro acero en especial en el análisis del esfuerzo.

El ASTM 570 sería una buena opción, pero se debe tomar en cuenta algunos parámetros, que son importantes como es la dureza, a mayor dureza es necesario una mayor fuerza para realizar los respectivos dobles. Otro de los aspectos negativos vendría a ser su costo en comparación con el ASTM A36 y la disponibilidad en el mercado.

Por lo tanto el acero ASTM A36 presenta unas buenas características de soldabilidad, y al ser su costo bajo y la disponibilidad en el mercado, es la mejor opción para la elaboración de nuestro proyecto, en la siguiente figura observamos las características del acero ASTM A36.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	200000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	79300	N/mm ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	400	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	250	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica		W/(m·K)
Calor específico		J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 54-3. Propiedades del acero ASTM A36

Fuente: Solidworks, 2020

Tubos metálicos. Al igual que la plancha de acero laminado en caliente, el tubo de acero laminado en caliente es el material a ocupar en la fabricación de algunas piezas en el proyecto por su cumplimiento a las normas de comercialización y estructural como e ASTM -A36 y AISI -1045. La característica que tiene es que este tubo es aspero e comparación al laminado en frío, y su fácil fabricación. El límite elástico que tiene es menor que C1018.

Tabla 10-3: Propiedades mecánicas del laminado en caliente

Características del tubo de Acero laminado en caliente		
Medidas de comercialización	(3/8, 5/8, 3/4, 7/8, 1, 1 1/8, 1 1/4, 1 1/2, 1 3/4, 2)	
	in	
Longitud	6.10 mts	
Densidad, g/cm ³	7,9 ASTM A36	7,8 ASTM A570
Temperatura máxima mecánica °C	400 ASTM A36	400 ASTM A570
Terminación de Fusión °C	1460 ASTM A36	1460 ASTM A570
Inicio de fusión °C	1420 ASTM A36	1420 ASTM A570
resistencia a la tracción	67000 psi	
Límite de elasticidad	45000 psi	

Fuente: MakeltFrom, 2016

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Los Silentblocks o elementos aislantes. Materiales de goma (nylon) estos materiales serán usados en las uniones de las mesas superior e inferior con el chasis los cuales son flexibles y tienden a

gastarse muy rápido. También es hecha de caucho o poliuretano, este material se lo ocupa para reducir vibraciones que ocurren cuando el sistema entra en contacto con la superficie. Estos silentblocks también se encuentra en los amortiguadores que ya los trae incorporado.

Pernos excéntricos. Estos pernos especiales que sirve para la regulación del Camber, y la alineación de la rueda son necesarios en la unión del sistema de suspensión modificada. Se usan en cualquier tipo de suspensión que requiera alinear el ángulo de caída Camber. Son pernos acerados que soportan deformaciones, y son resistentes, la concentración de acero en estos peros es de 10.9.



Figura 55-3: Pernos excéntricos.

Fuente: Víctor Morales 2020.

Rotulas. Elemento que se usará en la unión de la mesa superior y la mangueta secundaria, para el movimiento axial de la rueda, existe un sin número de estos elementos, pero en el presente proyecto se usó uno específico por las características prestadas y el acoplamiento óptimo, como el diámetro y el alto, la rotula de la mesa inferior de un Nissan Sentra.



Figura 56-3: Rótula de suspensión para NISSAN Sentra.

Fuente: CASANOVA, 2010.

3.3.3.4. Construcción

Para la construcción del sistema nuevo se realiza cortes a la plancha de acero laminado en caliente escogido el ASTM A36 con un espesor de 3mm para los laterales y 5mm para la base donde se asienta el espiral, y base como soporte inferior y superior de las mesas. De este diseño en el software CAM se genera códigos G para que la cortadora CNC pueda realizar el corte.

%	G00X0.70Y0.77	G03X0.77Y0.00I0.39	G03X0.00Y0.00I-
G21	M07	J-0.70	5.93J-4.26
G91	G01X115.43Y-1.72	G01X90.99Y0.00	M08
G00X5.31Y40.71	G01X6.88Y-34.83	G03X0.77Y0.00I0.39	G00X54.86Y39.82
M07	M08	J-0.70	M07
G01X2.50Y0.00	G00X31.15Y25.63	G01X108.15Y0.00	G01X-1.22Y-81.28
G03X0.78Y0.00I0.39	M07	G03X0.77Y0.00I0.39	G01X-139.76Y0.00
J-0.70	G03X0.00Y0.00I-	J-0.70	G01X23.64Y44.17
G01X157.74Y0.00	5.16J5.16	G01X18.10Y0.00	G01X117.34Y37.11
M08	M08	G01X49.16Y-26.28	M08
G00X0.69Y-0.82	G00X25.54Y-25.54	G01X0.00Y-9.12	G00X66.11Y-71.69
M07	M07	G01X-67.26Y0.00	M07
G03X1.10Y0.60I0.79	G01X-24.70Y0.00	G03X-0.77Y0.00I-	G03X0.00Y0.00I-
J-0.14	G02X0.00Y61.40I0.0	0.39J0.70	1.75J-5.53
G01X151.21Y18.50	0J30.70	G01X-108.15Y0.00	M08
G01X5.27Y1.04	G01X24.70Y0.00	G03X-0.77Y0.00I-	G00X15.42Y46.58
G03X0.76Y0.16I0.52	G01X0.00Y-61.40	0.39J0.70	M07
J-0.61	M08	G01X-90.99Y0.00	G03X0.00Y0.00I5.67J
G01X5.30Y1.05	G00X-249.43Y96.75	G03X-0.77Y0.00I-	J1.20
G01X23.99Y5.08	M07	0.39J0.70	M08
G03X7.15Y-	G01X0.00Y-9.16	G01X-48.31Y0.00	G00X-48.94Y-9.91
33.81I18.87J-13.67	G01X-60.56Y-26.24	G03X-0.77Y0.00I-	M07
G01X-31.22Y-6.62	G01X-19.19Y0.00	0.39J0.70	G03X0.00Y0.00I-
G01X-5.33Y-0.78	G03X-0.77Y0.00I-	G01X-65.42Y0.00	5.26J2.44
G03X-0.77Y-0.11I-	0.39J0.70	M08	M08
0.48J0.64	G01X-106.10Y0.00	G00X431.24Y-14.52	G00X84.61Y-39.24
G01X3.60Y0.53	G03X-0.78Y0.00I-	M07	M07
G01X-4.19Y0.04	0.39J0.70	G01X166.63Y-5.30	G01X-48.90Y-26.26
G01X1.04Y-1.33	G01X-112.46Y0.00	G01X-1.28Y-40.41	G02X-1.35Y-0.11I-
G01X-149.02Y-18.23	G03X-0.71Y-0.04I-	G01X-173.77Y0.13	0.80J1.50
G01X-7.66Y-0.66	0.39J0.70	G01X8.42Y45.58	G01X-58.52Y19.89
G03X-0.82Y-0.04I-	G01X-2.34Y-0.25	M08	G01X0.00Y69.22
0.44J0.67	G01X-91.21Y-19.55	G00X-24.07Y41.01	G01X13.71Y0.00
G01X-158.84Y0.00	M08	M07	G02X3.95Y-
G03X-0.78Y0.00I-	G00X-0.85Y0.60	G01X-41.03Y8.70	0.76I0.00J-10.70
0.39J0.70	M07	G01X-4.44Y0.72	G03X60.62Y10.17I21
G01X-2.50Y0.00	G03X-1.27Y-0.74I-	G03X-0.76Y0.12I-	.92J55.10
G01X0.00Y35.40	0.79J-0.10	0.27J0.75	G02X6.99Y2.59I6.98
M08	G01X-26.06Y-5.73	G01X-4.47Y0.72	J-8.11
G00X359.97Y0.00	G03X-7.39Y34.49I-	G01X-102.49Y15.03	G01X11.72Y0.00
M07	18.58J14.05	G01X-3.41Y0.26	G01X11.78Y-74.74
G01X56.03Y0.00	G01X32.85Y7.11	G03X-0.72Y0.03I-	M08
G03X0.77Y0.00I0.39	M08	0.34J0.73	G00X-389.36Y116.59
J-0.70	G00X0.84Y-0.59	G01X-253.85Y0.00	M07
G01X60.03Y0.00	M07	G01X0.00Y35.40	G03X-2.14Y2.84I-
G01X0.00Y-35.40	G03X1.18Y0.81I0.79	G01X253.91Y0.00	11.11J-6.18
G01X-60.03Y0.00	J0.11	G03X0.81Y-	G01X-0.46Y0.46
G03X-0.77Y0.00I-	G01X88.89Y19.06	0.03I0.38J-0.70	G03X-9.50Y3.67I-
0.39J0.70	G01X5.26Y0.21	G01X3.00Y-0.20	8.88J-8.89
G01X-56.03Y0.00	G03X0.80Y0.02I0.41	G01X106.04Y-15.55	G01X-23.95Y-1.26
G01X0.00Y35.40	J-0.68	G01X-0.10Y-1.53	G01X0.23Y-3.17
M08	G01X112.47Y0.00	G01X9.20Y0.12	G01X0.06Y-0.05
G00X261.28Y-31.49	G03X0.78Y0.00I0.39	G01X-9.10Y0.89	G01X23.48Y1.23
M07	J-0.70	G03X1.53Y-	G02X2.41Y-1.02I-
G01X-116.69Y1.74	G01X106.10Y0.00	0.15I0.74J-0.30	0.44J-4.41
G03X-1.31Y0.48I-	G03X0.77Y0.00I0.39	G01X4.66Y-0.46	G02X0.90Y-4.29I-
0.52J0.61	J-0.70	G01X48.59Y-10.31	3.27J-2.93
M08	G01X79.75Y0.00	G03X-7.37Y-	G01X-29.99Y-1.57
G00X-0.72Y-0.81	M08	33.76I11.59J-20.21	G01X-2.87Y13.21
M07	G00X-424.51Y4.61	M08	G01X-0.22Y0.21
G01X-22.16Y0.81	M07	G00X44.86Y1.21	G01X-9.93Y4.13
G03X1.23Y34.54I-	G01X0.00Y35.40	M07	G01X4.70Y-21.64
15.00J17.83	G01X65.42Y0.00	G03X0.00Y0.00I-	G01X0.09Y-0.09
G01X15.21Y-0.56	G03X0.77Y0.00I0.39	6.84J-2.56	G01X47.56Y2.49
G03X1.43Y-	J-0.70	M08	G01X-0.37Y4.85
0.42I0.63J-0.50	G01X48.31Y0.00	G00X37.23Y13.76	M08
M08		M07	G00X58.59Y-1.80

Figura 57-3: Códigos G generadas para el corte en la maquina CNC.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Para generar estos códigos es necesario enviarlos en formato DXF, que es el lenguaje que la maquina reconoce, y al tener en pantalla se comanda de acuerdo a las medidas de la plancha que tienen un ancho de 110 cm por un largo de 220 cm se realiza la agrupación de los diseños para no perder espacio y así no malgastar el material como se muestra en la figura.



Figura 58-3: Diseños visualizados en la maquina CNC.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una vez calibrada la maquina puesta la plancha de acero se activa la maquina para poder efectuar el corte con plasma, (estar equipado con todas las medidas de seguridad) si no se realiza correctamente las uniones en el diseño y hay repetidas líneas, la maquina envía una señal de error el cual se tiene que evitar, un ves cortada como se ve en la Figura 59-7. se procede a retirar cada elemento de la máquina.



Figura 59-3: Corte con Plasma en la maquina CNC.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022



Figura 60-3: Elementos estructurales luego del corte CNC

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Las piezas retiradas tienen deformidades en los bordes los cuales se extraen con la pulidora, lija, y cepillo de acero, estas piezas son revisadas por todos los bordes y posteriormente clasificadas para cada elemento ya antes mencionados y de acuerdo a su espesor y molde como se puede observar en la Figura 61-3.



Figura 61-3: Elementos estructurales después del pulido, extracción de escorias.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Con la ayuda de una dobladora mecánica se procede a realizar los dobles, estos se realiza con la ayuda de los datos de los diseños CAD, los cuales indicaran los ángulos necesarios para poder

ensamblar cada elemento del sistema de suspensión, se usa los instrumentos de mediada para referenciarlos, como son el flexómetro la regla industrial, el graduador y la escuadra falsa.



Figura 62-3: Doble de las piezas de acuerdo a los datos del diseño CAD.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Los elementos doblados son revisados y acoplados pieza por pieza de cada elemento iniciando desde la mesa inferior, y finalizando con la torreta. Luego de la revisión se continua con aplicar puntos de suelda para la sujeción del conjunto de elementos.



Figura 63-3: Armado de las piezas con puntos de suelda MIG.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una vez realizada la fijación con puntos de soldadura, y verificado que acople correctamente se procede a realizar cordones de soldadura, (con las medias de precaución) con la suelda MIG el cual deja muy pocas porosidades. La soldadura se lo realiza a cada uno de las partes iniciando desde la mesa inferior, mesa superior, mangueta secundaria, soporte superior del amortiguador.



Figura 64-3: Aplicación de cordones de soldadura MIG por cada pieza del sistema.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Para unir las mesas inferior y superior es necesario insertar bujes los cuales son realizadas con los tubos de acero laminado en caliente ASTM A36 de 2 in de diámetro, y a continuación usar los silentblocks de nylon para que amortigüe, y no tenga fricción metálica

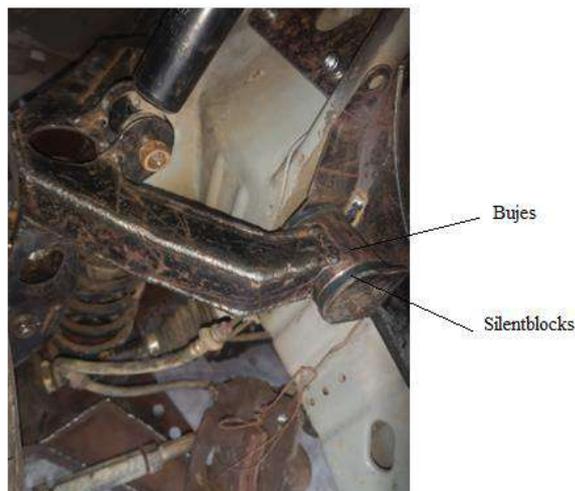


Figura 65-3: Unión de los bujes y acople de los silentblocks.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una vez realizada todas las soldaduras a los componentes se procede al ensamble de la suspensión en el vehículo, para el cual es necesario extraer todo el sistema de suspensión anterior (Original), a lo cual se utiliza herramientas automotrices. Una vez retirada la suspensión, se procede a la colocación del soporte de la mesa superior para lo cual es necesario levantar la carrocería, a una altura de 30cm desde el bastidor y que así se introduzca fácilmente el soporte. Para la fijación de esta es necesario utilizar pernos acerado (10.9) con medidas de 10 mm y rosca de 1,25, con cabeza hexagonal interno, para esta fijación le damos un ajuste de 50 lbf, (según el manual del Torquímetro). Se fija el soporte contra la torreta.

El siguiente paso es colocar la mesa inferior hacia el bastidor con perno de sujeción de 18mm x 1,25 de roca a 110 lbf. De igual manera se coloca la mesa superior con el soporte ya antes ubicado con pernos de 18 mm x 1,15 de rosca a 110 lbf en lo bujes. Luego de estos ensambles se coloca los soportes tanto al inferior de la torreta como, por encima de la torreta el cual sujetará al amortiguador telescópico, con pernos de 8mm x 1,25 de rosca a 25 lbf.

En la mesa superior se coloca la rótula el cual se une a la mangueta secundaria, que secuencialmente se une a la mangueta principal, la unión de la mangueta secundaria y la mangueta principal se lo realiza con pernos excéntricos los cuales sirven para regular la caída Camber del sistema de suspensión. Se une el amortiguador desde la mesa superior que conecta al soporte superior con pernos de 10x 1,25 con 55 lbf. Y por último se une la mesa inferior a la rótula que secuencialmente se una a la mangueta principal, como el espiral entre la mesa inferior y la carrocería.

Tabla 11-3: Torque de pernos Milimétricos.

Torque a pernos de la suspensión	
perno	lbf
8x 1,25	35 lbf
10x 1,25	50 lbf a 55 lbf
12x 1,25	70lbf a 78 lbf
18x 1,5	110lbf

Fuente: Colombia torques, 2010.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022



Figura 66-3: Ensamble mesa inferior y superior

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Una vez sujeto las piezas modificadas se procede al acoplamiento de la barra de dirección y la barra estabilizadora que usa las barras link, al igual que el eje de transmisión delantero o (4X4), de manera que estén sujetos todos los componentes del sistema de suspensión modificado.



Figura 67-3: Acople de la mangueta secundaria

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En este apartado se determina los ángulos a los que trabajara el vehículo como son el ángulo de caída Camber, que para la alineación se ocupará un nivel el cual se utiliza para dejar en ángulo de caída optima y que las llantas se puedan desgastar por igual. De igual manera la convergencia y divergencia. Una vez realizada estas alineaciones se lo envía aun banco de alineación computarizada el cual corrige todas las alineaciones y balanceos con el nuevo sistema.



Figura 68-3: Comprobación del ángulo de caída (Caster)

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022



Figura 69-3: Alineación de la manzana

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022



Figura 70-3: Alineación del Vehículo.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

3.3.3.5. Presentación final

La suspensión es una parte fundamental para el confort del vehículo y sus ocupantes por lo que una vez realizada la construcción y verificar los ángulos alineados se procede a enviar a pintar, donde lo realizan con pintura automotriz que resista corrosiones y las altas temperaturas, por los que están expuestos estas partes.



Figura 71-3: Sistema de suspensión nueva pintada.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Al final se realiza el armado de la suspensión pintado y listo para sus prestaciones en el terreno el cual es utilizado en pantanos, caminos de tercer orden.



Figura 72-3: Ensamble del sistema definitivo.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022



Figura 73-3: Ensamblados del sistema definitivo refuerzo de torreta.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Los amortiguadores usados son los hidráulicos por sus prestaciones de suavidad por contener fluido y gracias a esto la amortiguación sea sofisticado son de forma telescópica. Este tipo de amortiguadores se usa en casi toda la gama Pickup de vehículos 4x4.



Figura 74-3: Acople de amortiguadores en el sistema nuevo.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022



Figura 75-3: Prueba de campo con el nuevo sistema de suspensión.

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

4.1. Obtención de resultados

En la siguiente Tabla 1-4 podemos determinar los datos arrojados por la simulación en cada uno de los pasos de

El análisis dinámico en el sistema de suspensión original, aplicado los parámetros de recorrido de -180mm para la expansión y 100 mm para la compresión del sistema.

Tabla 1-4: Análisis dinámico sistema de suspensión McPherson.

Desplazamiento (mm)	Ángulo de caída (Camber)	Ángulo de avance (Caster)	Ángulo de inclinación (Kingpin)	Ángulo de convergencia (Toe)
-72.62	4.96	2.68	11.23	4.78
-61.5	4.47	2.7	11.69	3.97
-52	4.07	2.72	12.07	3.31
-42.5	3.68	2.74	12.45	2.66
-33	3.29	2.76	12.82	2.03
-23.5	2.91	2.784	13.18	1.42
-14	2.54	-2.81	13.53	0.83
-4.5	2.17	2.83	13.88	0.26
5	1.81	2.85	14.21	0.29
14.5	1.46	2.88	14.54	0.82
24	1.12	2.91	14.86	-1.34
33.5	0.782	2.94	15.17	-1.83
43	0.46	2.97	15.47	-2.31
52.5	0.13	3	15.76	-2.77
62	-0.18	3.03	16.04	-3.21
71	-0.49	3.06	16.32	-3.64
81	-0.783	3.1	16.58	-4.04
90.5	-1.072	3.14	16.83	-4.42
100	-1.3525	3.17	17.07	-4.78

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En la siguiente Tabla 2-4 podemos observar la variación de cada uno de los ángulos respecto al desplazamiento vertical de la rueda del sistema de suspensión de doble horquilla.

En lo que respecta al comportamiento de los ángulos respecto al desplazamiento tenemos los siguientes resultados:

Tabla 2-4: Desplazamiento y variación de los ángulos de alineación, McPherson.

Parámetro	Medida	Unidades
Desplazamiento	172.62	mm
Variación del ángulo camber	6.3125	grados
Variación del ángulo caster	0.49	grados
Variación del ángulo de inclinación	5.84	grados
Variación del ángulo Toe	9.56	grados

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Tabla 3-4: Análisis dinámico sistema de suspensión Doble horquilla

Desplazamiento (mm)	Ángulo de caída (Camber)	Ángulo de avance (Caster)	Ángulo de inclinación (King pin)	Ángulo de convergencia (Toe)
-180	1.11	-0.026	-0.11	-2.5
-170.67	1.1	-0.025	-0.094	-2.21
-161.33	1.08	-0.032	-0.079	-1.94
-152	1.07	-0.02	-0.066	-1.69
-142.67	1.05	-0.017	-0.054	-1.47
-133.333	1.04	-0.0132	-0.043	-1.27
-124	1.03	-0.009	-0.032	-1.09
-114.67	1.02	-0.0045	-0.022	-0.92
-105.33	1.01	3.27E-04	-0.013	-0.77
-96	1	0.0054	-0.005	-0.64
-86.667	0.99	0.0107	0.0028	-0.52
-77.33	0.99	0.0162	0.01	-0.41
-68	0.98	0.0219	0.0169	-0.32
-58.67	0.97	0.0278	0.0234	-0.24
-49.33	0.97	0.0339	0.0295	-0.17
-40	0.965	0.0401	0.0353	-0.11
-30.67	0.959	0.0465	0.0409	-0.07
-21.33	0.95	0.053	0.046	-0.04
-12	0.95	0.0595	0.051	-0.015
-2.67	0.94	0.0661	0.057	-0.0032
6.67	0.936	0.0727	0.062	-0.0017

16	0.933	0.0793	0.067	-0.011
25.33	0.929	0.0856	0.072	-0.0311
34.67	0.92	0.0885	0.074	-0.063
44	0.916	0.101	0.084	-0.104
53.33	0.891	0.1329	0.11	-0.15
62.67	0.86	0.1717	0.138	-0.21
72	0.836	0.2076	0.165	-0.28
81.33	0.8	0.2439	0.193	-0.36
90.67	0.78	0.281	0.22	-0.01
100	0.75	0.3189	0.252	-0.011

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

Como podemos observar en la Tabla 4-4, la carrera de trabajo y la variación de cada ángulo de alineación a lo largo del desplazamiento de la rueda.

Tabla 4-4: Desplazamiento y comportamiento de los ángulos sistema modificado

Parámetro	Medida	Unidades
Desplazamiento	280	mm
Variación del ángulo camber	0.97	grados
Variación del ángulo caster	0.36	grados
Variación del ángulo de inclinación	0.362	grados
Variación del ángulo Toe	2.489	grados

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En cuanto al análisis estático se aplicó una fuerza de $F=3237.3$ N, los resultados que se obtuvieron en la dos simulaciones, original y modificado fueron los siguientes:

Tabla 5-4: Resultados del análisis estático

Tipo de sistema	Parámetro	Medida	Unidades
McPherson	Deformación máxima	0.081	mm
Doble Horquilla		0,11	mm
McPherson	Esfuerzo Equivalente	94.60	mm
Doble Horquilla		86.14	mm
Doble horquilla	Factor de seguridad	2.90	-

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

4.2. Análisis de resultados

En la Gráfica 1-5 se observa el comportamiento del ángulo de caída en cada uno de los sistemas, en lo que concierne al ángulo de caída del sistema original del vehículo el ángulo va a variar de manera constante a medida que en la rueda se aproxime a la carrocería del vehículo (sistema se comprime) llegando a tener en el punto máximo un ángulo negativo, la variación del ángulo en el sistema original es de $6,3^\circ$ en todo el trayecto de la rueda. En el sistema McPherson el recorrido total de la rueda es de 172,62 mm.

En cuanto a la gráfica obtenida del sistema modificado el comportamiento es una línea que tiende a ser recta con una variación angular de $0,35^\circ$ manteniéndose alrededor de 1° el ángulo de caída de la rueda, además el desplazamiento del trabajo es mucho más amplio llegando a cumplir con todo el recorrido que se ingresó en los parámetros de simulación, estos valores son -180 mm para expansión y 100 mm para compresión, teniendo así una carrera de trabado de aproximadamente 280 mm en total.

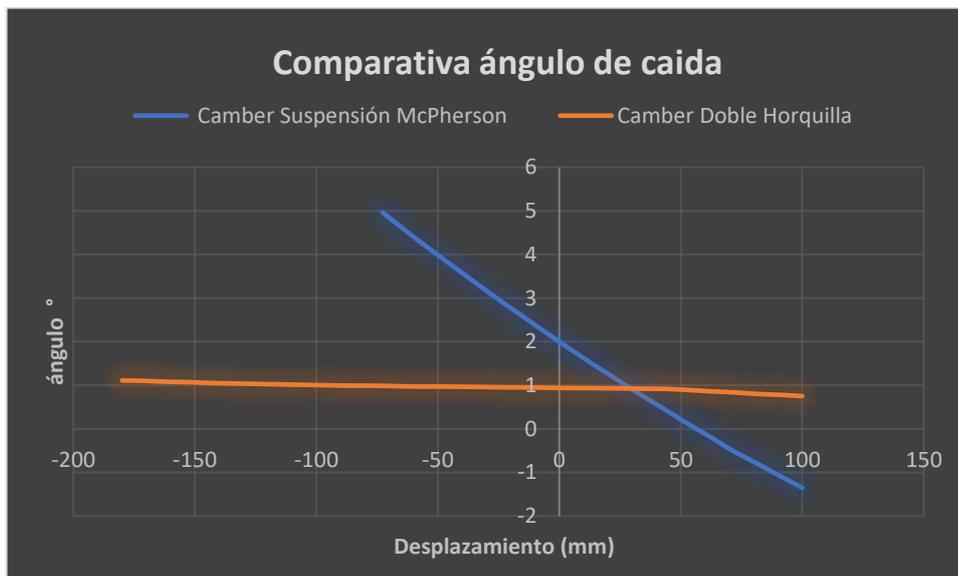


Gráfico 1-4: Comparativa ángulo de caída

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

En el Gráfico 1-4 se ha realizado la comparativa del ángulo de avance o Caster, el comportamiento de la curva característica del sistema McPherson ronda entre los $2,5^\circ$ y $3,5^\circ$, por lo que se puede determinar que el ángulo Caster en todo momento se mantendrá positivo, la variación del ángulo a lo largo del trayecto de la rueda es de $0,5^\circ$.

Por otro lado, haciendo el análisis a la gráfica del sistema rediseñado tenemos que el ángulo está ligeramente inclinado hacia la parte positiva, este se mantiene constante en casi todo el trayecto, tendiendo a aumentar a medida que el sistema se comprima, la variación del ángulo totales de $0,3^\circ$ y estos valores están comprendidos entre $-0,3$ y $0,3$ grados.

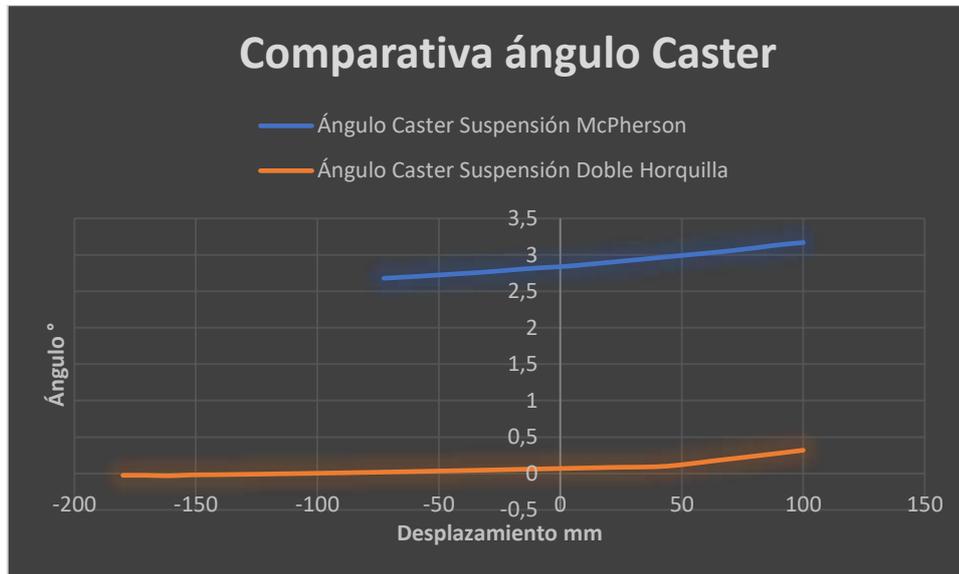


Gráfico 2-4: Comparativa ángulo de desplazamiento

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

El ángulo de inclinación nos determina la inclinación de la mangueta respecto al plano del vehículo, en el Gráfico 2-4 podemos visualizar el comportamiento del ángulo en cada uno de los sistemas.

Partiendo por el sistema McPherson, el ángulo de inclinación tiende a aumentar a medida que la rueda se aproxime a la carrocería, lo que conlleva a que exista una variación en el ángulo de inclinación. La variación de este ángulo en todo el trayecto de la 5.84° llegando a una inclinación máxima de hasta los 17° .

Lo opuesto ocurre con el sistema rediseñado el ángulo tiende a ser constante con un valor aproximado de 0° , a lo largo del trayecto el valor del varía en $0,36^\circ$ lo cual es un ángulo mínimo en comparación en relación con el desplazamiento realizado.

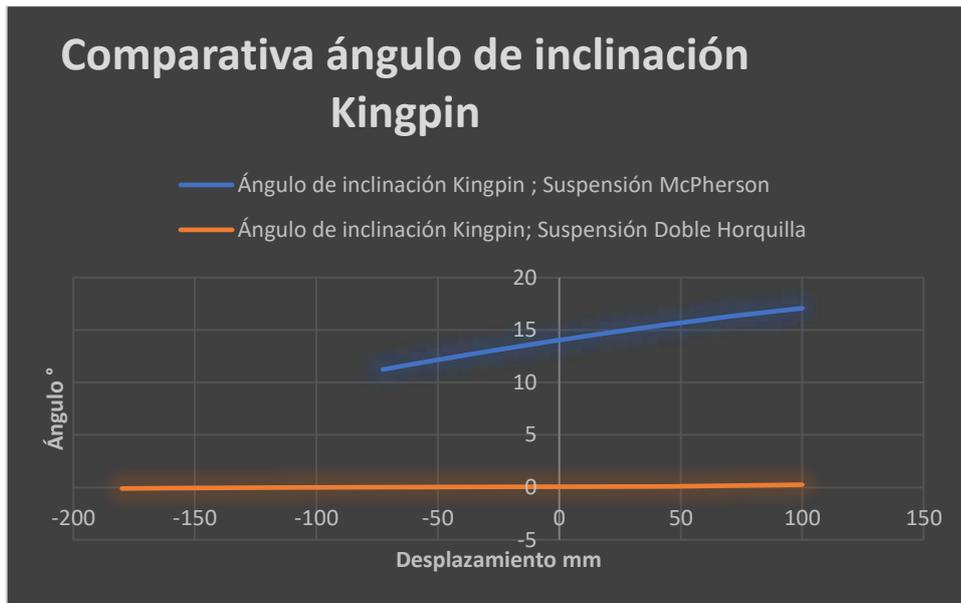


Gráfico 3-4: Comparativa ángulo de inclinación

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

El gráfico nos muestra el ángulo de convergencia para cada uno de los sistemas, el ángulo de la suspensión McPherson nos indica que el a medida que se desplaza la rueda hacia la parte superior tiende a volverse negativo, afectando de esta manera la dinámica del vehículo ocasionando que el vehículo se vuelva inestable, en condiciones normales, la convergencia del ángulo es igual a 0° Mediante la gráfica de color naranja se puede determinar que el valor del ángulo de convergencia en este caso varía y en todo momento tiende a ser negativo, lo que significa que disminuye la estabilidad del vehículo en línea recta, los valores del ángulo de convergencia en todo momento tienden a aproximarse a 0 por lo cual no habría un ángulo exagerado.

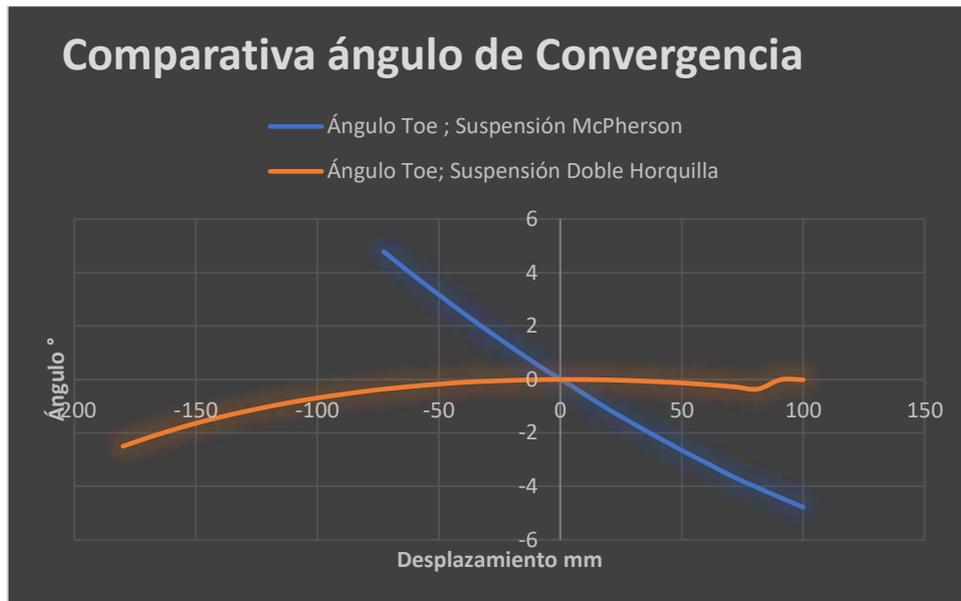


Gráfico 4-4: Comparativa ángulo de convergencia

Realizado por: Arévalo D.; Hernández J. 2022

El comportamiento de los ángulos de dirección afecta la conducción en algunos casos el vehículo se vuelve inestable y puede aumentar el desgaste en los neumáticos o su desgaste es heterogéneo.

CONCLUSIONES

Al investigar de fuentes bibliográficos se ha constatado los parámetros que se requería, el cual ha sido de mucha ayuda para la orientación de cómo se realiza el rediseño y poder efectuar la modificación e incorporar la nueva suspensión.

Una vez realizada las pruebas de campo respectivas se pudo determinar que se ha mejorado en un 20% la adherencia a la superficie de la calzada de tercer orden, debido a que la carrera de trabajo de la suspensión ha incrementado de 185 mm a 225 mm.

El uso del software CAD fue indispensable para realizar el modelado de cada pieza del sistema de suspensión McPherson y así recolectar medidas exactas para no tener dificultades a la hora del rediseño.

Se obtuvo las medidas y diseños del nuevo sistema de suspensión mediante modificaciones y acoples de nuevas piezas, y al analizar de que elementos o materiales son hechos las suspensiones originales, se ha logrado encontrar el material adecuado que soporta las cargas exigidas por el sistema.

Se ha conseguido alinear el ángulo de caída a sus condiciones ideales, gracias a la implementación de un perno excéntrico podemos modificar a el camber al grado que corresponde, esto quiere decir, un ángulo con un valor comprendido entre 0° y -1° aproximadamente.

Gracias al software Adams, se ha podido determinar el comportamiento de los ángulos de dirección del vehículo (Camber, Caster, Kingpin, Toe) y hacer una comparativa de los datos resultantes de las simulaciones realizados entre el sistema original y el sistema rediseñado.

Mediante el estudio bibliográfico, diseño de las piezas y ensayos de acoplamiento se ha logrado efectuar un proceso de manufactura adecuado transformando material bruto en piezas del sistema de suspensión.

Finalmente se realizó pruebas al sistema de suspensión rediseñado y acoplado, en el vehículo, el cual trabaja sin ningún problema demostrando mejoras en confort y estabilidad del vehículo en carreteras con baches.

RECOMENDACIONES

Para la construcción de este sistema o sistemas similares realizar búsquedas fidedignas de diseños anteriores o semejantes, y así poder guiarse de una mejor manera.

Para la construcción de un sistema nuevo tener a la mano sistemas o piezas originales, para realizar el estudio y poder ver hasta donde se puede modificar y que partes se puede construir, esto por su costo y falta de máquinas industriales en el país que se dediquen a este sector.

Realizar un estudio de materiales existentes en el país con la estructura necesaria, los cuales deben soportar un sin número de fuerzas y que sean compatibles con el gasto económico.

Al momento de realizar las mediciones tener en cuenta siempre los puntos críticos y punto de apoyo los cuales no pueden ser modificados a la ligera, y tener en cuenta que no se puede cortar ninguna parte de la carrocería o chasis, de esta manera tendría fallos la estructura del vehículo.

Al momento del ensamble tener en cuenta que tipo de perno de sujeción se lo ubica, y si tiene la suficiente resistencia para el soporte en uniones del sistema con el chasis.

BIBLIOGRAFÍA

SUZUKI 4x4 CLUB ECUADOR. *Suzuki Vitara*. [blog]. [Consulta: 17 abril 2021.] Disponible en: <https://suzuki4x4clubecuador.es.tl/Vitara.htm>.

RINCÓN SERRANO, C. "Análisis de falla de la Suspensión McPherson y posibles soluciones para los vehículos utilizados en la provincia de Ocaña". Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI. [En línea], 2019, (Colombia), pp. 01-04. [Consulta: 12 marzo 2022]. Disponible en: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/246/242>.

ARZOLA, Nelson; & CASTRO, César A. "Análisis del comportamiento dinámico de una-suspensión". Revista Logos, Ciencia y Tecnología [En línea], 2019, (Colombia) 11(2), pp. 2-3. [Consulta: 17 abril 2022]. ISSN 2145-549X. Disponible en: <https://doi.org/10.22335/rlct.v11i2.641>.

TERÁN TOBAR, Sebastián. Modificación de los sistemas de suspensión, dirección y transmisión en un Toyota Land Cruiser RJ 70 para uso severo [En línea] (Tesis). (Licenciatura) Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías. Quito - Ecuador. 2017. pp. 43-51. [Consulta: 21 julio 2021.] Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6511>

ENRÍQUEZ BUSTAMANTE, Byron Vladimir.. Estudio del comportamiento de un corrector de camber y caster usando elementos finitos para su alineacion en un vehículo con suspencion tipo Mcpherson [En línea] (Tesis). (Ingeniería) Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Mantenimiento Automotriz. Ibarra - Ecuador. 2020. pp. 19-53. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTN_0d7445f45f99f9f06114b4a966303386

GAVILANEZ ENDARA , Camilo. Análisis e Importancia de Sistema de Suspensión de Vehículos Livianos Mediante Modelo Digital [En línea] (Tesis). (Licenciatura) Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías. Quito - Ecuador. 2016. pp. 14-36. [Consulta: 21 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/5996>.

SUBARU-TECHNOLOGY. *High-performance suspension* [blog]. Toronto: 2021. [Consulta: 24 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.subarudowntown.com/subaru-technology/high-performance-suspension/>.

LIMIÑANA BELLO, Óscar. Estudio, optimización y rediseño de los elementos de suspensión de un vehículo clásico para mejorar su rendimiento y estabilidad [En línea] (Trabajo fin de carrera). (Ingeniería) Universidad Politécnica de Valencia. Valencia - España. 2021. pp. 24-25. [Consulta: 01 marzo 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/169478>.

CRIOLLA, David A.. *Automotive Engineering. Powertrain, Chassis Sistem and Vehicle Body.* Oxford : Elsevier, 2009. ISBN: 978-1-85617-577-7, pp: 205-220

EDPORSAN. *Tipos de suspensión automotriz y lo que necesitas saber de estos* [blog]. [Consulta: 29 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.autosyautopartes.com/tipos-suspension-automotriz-lo-minimo-debes-saber-esta/>.

REIMPELL, Jornse; et al. *The Automotive Chassis: Engineering Principles.* 2º ed. London : Elsevier Science, 2001. ISBN 0 7680 06570, pp. 07-17

OLIVA DOMINGUEZ, Rubén D. Simulación en Modelica de elemento mecánicos de una suspensión [En línea] (Trabajo fin de carrera). (Ingeniería) Universidad Carlos III de Madrid, Ingeniería Mecánica, Industrial Mecánica. Madrid - España. 2011. pp. 45-70. [Consulta: 30 agosto 2021]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut73/anx1tut73.pdf>.

NAVARRETE ORTIZ, María C. *Sistema de suspensión.* [blog]. 2017. [Consulta: 01 septiembre 2021]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/9686507/>.

GERRERO GIL, Clara; et al. *Suspensiones Inteligentes.* [blog]. San Sebastián: Universidad de Navarra, 2016. [Consulta: 19 agosto 2021]. Disponible en: <https://mecanicageneral.webcindario.com/Suspensiones-Activas.pdf>.

Suspensión multibrazo delantera del coche. [blog]. 2020. [Consulta: 24 agosto 2021]. Disponible en: https://es.123rf.com/photo_20083246_suspensi%C3%B3n-multibrazo-delantera-del-coche-con-el-freno-vista-en-perspectiva-3-d-de-representaci%C3%B3n-fotorrea.html.

HAMZA, Anis & YAHIA, Noureddine. "Intelligent Control Of Active Suspension Based On Artificial Neural Networks". ReseachGate. [En línea], 2022, (Túnez), pp. 01-06. [Consulta: 08 marzo 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Difference-between-the-behavior-of-the-truck-body-in-a-curve-with-passive-suspension-a_fig3_358646707.

EZETA, Jorge U; et al. "Los sistemas de suspensión activa y semiactiva: Una Revisión". Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI . [En línea], 2013, (Ecuador) 10 (2), pp. 121-132. [Consulta: 20 mayo 2022]. ISSN: 1697-7912. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.riai.2013.03.002>.

GUITIÉRREZ, Dionicio Q. *Sistema de suspencion, direccion y frenos*. [blog]. 2013. [Consulta: 26 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos95/sistema-suspension-direccion-y-frenos/sistema-suspension-direccion-y-frenos>.

PLAZA VALLEJO, David. *Chisis de un vehículo*. [blog]. 2020. [Consulta: 07 de 04 de 2022]. Disponible en: <https://www.motor.es/que-es/chasis-bastidor>.

RODRÍGUEZ, Hermenegildo. *Sistema de suspensión en los vehículos*. [blog]. España: Ingemecánica, 2020. [Consulta: 30 agosto 2021]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>.

MENDIETA GÓMEZ, Michael. *Proceso de soldadura GMAW*. [blog]. San Marcos: Cenaltec, 2013. [Consulta: 30 agosto 2021]. Disponible en: 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.

INVALTU. *Tuberias y valvulas industriales*. [blog]. 2020. [Consulta: 07 septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.invaltu.ec/planchas-de-acero/>.

VIVEKANANDAN, N; et al. "Design, analysis and simulation of double wishbone suspension system" International Journal of Mechanical Engineering (IJME). [En línea], 2014, (Rusia) 2(6), pp. 02-07. [Consulta: 04 febrero 2022]. ISSN: 2321-6441. Disponible en: <https://ipasj.org/IJME/Volume2Issue6/IJME-2014-06-04-033.pdf>

MORENO, David. *Soldadura y tipos de soldadura.* [blog]. México: 2017. [Consulta: 08 dseptiembre 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/17263567/Soldadura_y_Tipos_de_Soldadura.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 114:2013. Planchas delgadas de acero al carbono. Requisitos.* [En línea] Quito - Ecuador: 2013 pp. 02-04. [Consulta: 20 octubre 2021.] Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/114-1.pdf>

TOYOTA MOTOR CORPORATION. *Manual: sistema de suspensión y amortiguadores – tipos, estructura y funciones.* [blog]. 2018. [Consulta: 30 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.mecanicoautomotriz.org/s/sistemas-suspension>.

SALAZAR YAMAZCA, Luis A. Diseño y adaptacion de un sistema de suspencion con valvulas hidraulicas en un vehículo Suzuki LJ50 [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Internacional del Ecuador, Ingeniería Automotriz. Quito - Ecuador. 2015. p. 20 [Consulta: 14 septiembre 2021.] Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/604/1/T-UIDE-0554.pdf>.

SOLIDWORKS. *SolidWorks. Qué es y para qué sirve.* [blog] 2017. [Consulta: 09 febrero 2022.] Disponible en: <https://solid-bi.es/solidworks/>.

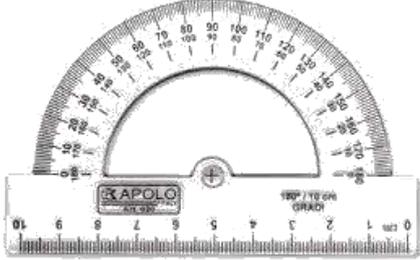
HUREL, Jorge; et al. "Nonlinear Two-Dimensional Modeling of aMcPherson Suspension for Kinematics and Dynamics Simulation" International Workshop on Advance Motion Control [En línea] 2012, (Canada) 12, pp. 01-06. [Consulta: 04 febrero 2022]. DOI: 10.1109/AMC.2012.6197009. Disponible en : <https://ieeexplore.ieee.org/document/6197009/references>

TSE, Kevin. *Measuring the tire vertical stiffness.* [blog]. 2021. [Consulta: 04 febrero 2022.] Disponible en: <https://kktse.github.io/jekyll/update/2021/07/18/re71r-255-40-r17-tire-vertical-stiffness.html#:~:text=The%20tire%20is%20compressed%20into,is%20the%20tire%20vertical%20stiffness..>

ANEXOS

ANEXO A: Herramientas utilizadas para el proceso de manufactura.

Herramienta	Ilustración
Cortadora Plasma CNC	 A large industrial CNC plasma cutting machine with a red frame and a black cutting head, positioned in a workshop. The machine is used for cutting metal sheets.
Dobladora	 A manual metal bending machine with a large metal roller and a hand crank, used for bending metal sheets. It is located in a workshop.
Amoladora	 A worker wearing a red shirt and a dark cap is using a grinding wheel to grind a metal part. Bright sparks are flying from the point of contact between the wheel and the metal.

Taladro	
Sueda MIG	
Escuadra Falsa	
Graduador	

ANEXO B: Cálculos del centro de gravedad mediante el software MATHCAD

CONSTANTE DEL RESORTE

Masa aplicada $m := 80 \text{ Kg}$ $F := 80 \cdot 9.81 = 784.8 \text{ N}$

Altura en condiciones normales $L_0 := \frac{104}{1000} = 0.104 \text{ m}$

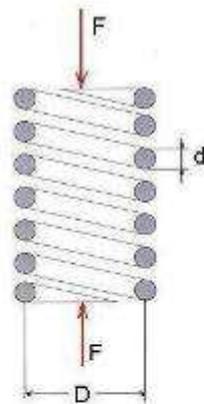
Altura en condiciones de carga $L_1 := \frac{87}{1000} = 0.087 \text{ m}$

Constante del resorte $k := \frac{F}{L_0 - L_1} = 4.616 \cdot 10^4 \frac{N}{m}$ $k_0 := \frac{k}{1000} = 46.165 \frac{N}{mm}$

Carga máxima permisible tren delantero $F_{max} := 660 \cdot 9.81 = 6474.6 \text{ N}$

Capacidad máxima por rueda $F_{max_r} := \frac{F_{max}}{2} = 3.237 \cdot 10^3 \text{ KN}$

$x_{max} := \frac{F_{max_r}}{k} = 0.07 \text{ mm}$



① $K = \frac{F}{y} = \frac{G d^4}{8 N D^3}$ constante elástica (N / mm)

② $N = \frac{G d^4 y}{8 F D^3}$ número de espiras

③ $F_{mx,p} = \frac{A d^{3-m}}{5.88 (D+0.5 d)}$ fuerza máxima permisible antes de que haya deformación permanente del material

④ $n = \frac{F_{mx,p}}{F_{mx,aplicada}} > 1$ factor de seguridad

RESORTE HELICOIDAL
medidas para el cálculo

MATERIAL	ASTM	m	A, Mpa ³
alambre cuerda piano	A228	0,163	2060
alambre revenido aceite	A229	0,193	1610
alambre estirado duro	A227	0,201	1510
al cromo-vanadio	A232	0,155	1790
al cromo-silicio	A401	0,091	1960

*1 MPa = 1 N / mm²
1 GPa = 1000 N / mm²

y = deflexión (mm) correspondiente a una fuerza aplicada "F"

F = fuerza aplicada (N)

A, m ver tabla A = MPa = N / mm²

d = diámetro del alambre (mm)

D = diámetro medio del resorte (mm)

n = factor de seguridad = 1.1 a 1.3

N = número de espiras activas

G = modulo de rigidez = 79 300 N / mm²

CÁLCULO DE CENTRO DE GRAVEDAD VITARA CLÁSICO

DATOS:

Altura del tren trasero

$$a_1 := \frac{130}{1000} = 0.13 \quad m$$

Altura tren trasero alzado:

$$a_2 := \frac{60 + 150}{1000} = 0.21 \quad m$$

Constante del resorte:

$$k = 46164.706 \frac{N}{m}$$

Altura incrementada:

$$x := a_2 - a_1 = 0.08 \quad m$$

Peso con elevación

$$R_{fe} := 0.102 \cdot k = 4.709 \cdot 10^3 \quad N$$

DATOS

Longitud (batalla)

$$L := 2.2 \quad m$$

Masa del vehículo

$$m := 1045 \quad Kg$$

Peso del vehículo

$$W := m \cdot 9.81 = 10251.45 \quad N$$

Capacidad de carga
suspensión delantera

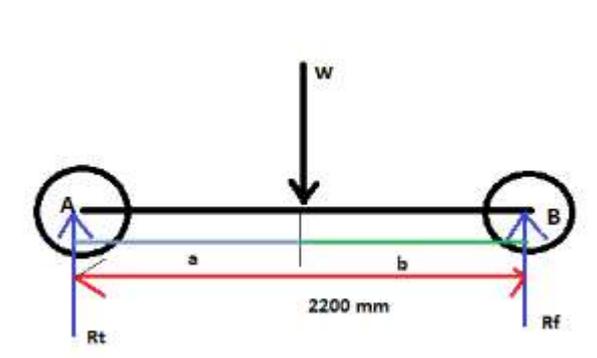
$$660 \quad Kg$$

Distribución de peso
eje delantero

$$5\%$$

Reacción Frontal

$$R_f := W \cdot 0.45 = 4613.153 \quad N$$



$$P_e := (R_{fe} - R_f) = 95.648 \quad N$$

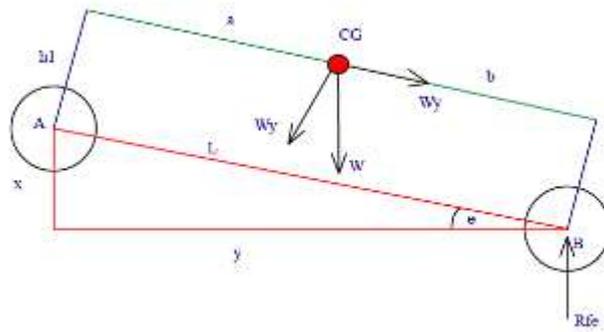
$$R_f = 4.613 \cdot 10^3 \quad N$$

$$R_t := W - R_f = 5638.298 \quad N$$

$$P_e = 95.648 \quad N$$

$$a := \frac{R_f \cdot L}{W} = 0.99 \quad m \quad a = 0.99 \quad m$$

$$b := L - a = 1.21 \quad m \quad b = 1.21 \quad m$$



$$\theta := \tan\left(\frac{x}{L}\right) = 0.036$$

$$\theta = 0.036$$

$$y := \sqrt{L^2 - x^2} = 2.199$$

$$h1 := \frac{L \cdot Pe}{W \cdot \tan(2^\circ)} = 0.588$$

Rueda

Ancho := 195 mm

altura := 0.60

Rin := 15 pulg

$$Radio := \frac{\left(\frac{Ancho \cdot altura \cdot 2 + 25.4 \cdot Rin}{1000}\right)}{2} = 0.308 \quad m$$

$$h := h1 + Radio = 0.895 \quad m$$

$$h = 0.895 \quad m$$

ANEXO C: Sistema rediseñado



