



## **FACULTAD DE ATQUITECTURA E INGENIERIAS**

**Trabajo de fin de Carrera titulado:**

**Implementación de un sistema de suspensión doble horquilla para**

**Un Chasis de Volkswagen Beetle**

**Realizado por:**

Joshua Alessandro Araujo Ruiz

**Director del proyecto:**

PhD, Edilberto Antonio Llanes Cedeño, Ing.

**Como requisito para la obtención del título de:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

QUITO, 2 de Diciembre del 2025

## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, JOSHUA ALESSADNRO ARAUJ RUIZ, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 1722217476, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, reading "J. Arayo", is positioned above a dashed horizontal line.

JOSHUA ALESSANDRO ARAUJO RUIZ

C.I.: 1722217476

### **DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS**

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

-----

**PHD.EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO**

**LOS PROFESORES INFORMANTES:**

JAIME VINICIO MOLINA OSEJOS

DIANA BELEN PERALTA ZURITA

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa  
oral ante el tribunal examinador.

---

Ing. JAIME VINICIO MOLINA OSEJOS

---

Ing. DIANA BELEN PERALTA ZURITA

Quito, 02 de Diciembre de 2025

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

A handwritten signature in blue ink, reading "J. Arayo".

---

JOSHUA ALESSANDRO ARAUJO RUIZ

C.I.: 1722217476

## Resumen

La suspensión de barra de torsión empleada en varios modelos de la marca Volkswagen tales como el Beetle o el Porsche 356, empleaban un sistema de barra de torsión la cual para la época era lo último en tecnología, y diseño, lo cual gano fama por la versatilidad que tenía este tipo de suspensión logrando optimizar el espacio lo cual permitió agregar más componentes para el vehículo. El objetivo general para este proyecto fue la implementación de un sistema de suspensión de doble horquilla a un chasis de Volkswagen Beetle, mediante los procesos de diseño en CAD, simulación en software de Altair Simsolid e Inspire, y procesos de manufactura, para la adaptación de una carrocería de Porsche 356, mejorándose el desempeño. Para este trabajo se realiza un rediseño de la suspensión en el lugar donde la anterior se situaba, considerando el espacio de varios componentes que no terminen comprometiendo los componentes de su alrededor. Para ello fue necesario de un programa de diseño 3D AutoCAD( Inventor) que permita realizar la suspensión y verificar que los componentes se acoplen de manera óptima. Además, de un programa de simulación Altair (Simsolid, e Inspire), el cual muestre el comportamiento de la suspensión y verificación de que las cargas aplicadas puedan ser soportada por la suspensión, y observar las posibles mejoras en el diseño; Los resultados muestran que alcanzo un desplazamiento máximo de 21.741 mm respecto a la longitud inicial, a comparación del actuador que tuvo un desplazamiento de 31.008 mm.

Palabras clave: suspensión, doble horquilla, rigidez, simulación.

## **Abstract**

The torsion bar suspension used in several Volkswagen models, such as the Beetle and the Porsche 356, employed a torsion bar system that, at the time, represented the latest in technology and design. This system has gained fame for its versatility, optimizing space and allowing for the addition of more components to the vehicle. The overall objective of this project was to implement a double wishbone suspension system on a Volkswagen Beetle chassis. This was achieved through CAD design, simulation using Altair Simsolid software, and manufacturing processes, adapting a Porsche 356 body to improve performance. The project involved redesigning the suspension in the original location, considering the space required for various components to avoid compromising surrounding components. This necessitated the use of AutoCAD (Inventor) 3D design software to create suspension and verify that the components fit together optimally. In addition, an Altair simulation program (Simsolid and Inspire) was used to show the behavior of the suspension and verify that the applied loads could be supported by the suspension, and to observe possible improvements in the design; the results show that it reached a maximum displacement of 21,741 mm with respect to the initial length, compared to the actuator which had a displacement of 31,008 mm.

**Keywords:** suspension, double wishbone, rigidity, simulation.

## Tabla de Contenidos

### Contenidos

Tabla de Contenidos .....	1
Tabla de figuras.....	5
Introducción .....	10
Antecedentes .....	12
Planteamiento del Problema .....	14
Objetivos .....	19
Objetivo general .....	19
Objetivos específicos.....	19
Objetivos ODS que persigue el proyecto .....	20
Hipótesis .....	20
Estado del arte.....	21
<b>Historia del vehículo a estudiar</b> .....	21
Banco de pruebas de suspensión.....	23
<b>Fuerzas que se ejercen en los neumáticos</b> .....	25
Fuerza de rebote y compresión .....	27
<b>Relación de Transmisión de Vibración</b> .....	28
<b>Elementos de suspensión</b> .....	29
Muelles .....	29



Amortiguadores .....	29
<i>Barras estabilizadoras</i> .....	30
Neumáticos .....	31
Proceso de Modelado 3D de una suspensión de doble horquilla: .....	38
<b>Diseño:</b> .....	38
Estudio dinámico de la suspensión .....	40
Respuesta en frecuencia.....	41
Rigidez lateral.....	41
Transferencia de carga.....	41
Curva de Camber dinámico .....	41
<b>Procesos de simulación</b> .....	42
<b>Cálculo del diámetro de los tubos de los brazos de suspensión</b> .....	43
Metodología .....	45
<b>Diagrama de procesos</b> .....	45
Medición de los parámetros de la suspensión iniciales. ....	47
Resultados del Banco de pruebas de la suspensión eje delantero.....	47
<b>Evaluación de puntos de apoyo de las mesas en el chasis</b> .....	48
Modelado 3D de la suspensión mediante programas de diseño computarizado 3D .	52
Diseño de soportes de los amortiguadores .....	61
Diseño de la Uniball .....	63

Diseño de la cremallera de dirección.....	65
Ensamblaje de la cremallera .....	67
Presentación de las bases de los amortiguadores en el ensamble.....	69
Uso del programa Vsusp.....	73
Fabricación de la suspensión propuesta.....	75
Ensamblaje y Ajuste de Medidas del Subchasis y Sistema de Suspensión .....	91
Ensamble de las piezas en la suspensión .....	93
<b>Montaje de las horquillas con los amortiguadores.....</b>	<b>96</b>
Presentación de una cremallera de dirección para la suspensión. ....	96
Presentación y adaptación de cremallera de dirección .....	97
Medición de los parámetros de la suspensión propuesta .....	101
Comparación de datos obtenidos del funcionamiento de la suspensión propuesta. ....	102
Resultados .....	104
Diseño de piezas para la adaptación de la suspensión frontal .....	110
Fabricación del jig para la construcción de las horquillas.....	116
Cortado de tubos .....	118
Presentación de la suspensión completa .....	122
Discusión de resultados.....	123
Análisis del comportamiento dinámico de una suspensión de vehículo independiente de doble horquilla. ....	123

Diseño y construcción del sistema de suspensión de un vehículo monoplace para competencia formula student.....	126
Conclusiones .....	128
Recomendaciones .....	129
Referencias.....	131
Anexos .....	136

### Tabla de figuras

<b>Figura 1</b> Suspensión de barra de torsión, se las encuentra comúnmente en vehículos más antiguos a la época .....	15
<b>Figura 2</b> Suspensión de doble horquilla, Se las encuentra comúnmente en la actualidad por vehículos tales como camionetas, deportivos , Prototipos de carreras. ....	15
<b>Figura 3</b> Suspensión de barra de torsión en mal estado por bujes resacos y agrietados. ....	17
<b>Figura 4</b> Porsche 356 .....	21
<b>Figura 5</b> .....	24
<b>Figura 6</b> Diagrama de deformación de un neumático.....	26
<b>Figura 7</b> Rin original del Porsche 356 .....	27
<b>Figura 8</b> Amortiguadores .....	30
<b>Figura 9</b> Barra estabilizadora.....	31
<b>Figura 10</b> Neumáticos del Porsche 356 .....	32
<b>Figura 11</b> Suspensión de doble horquilla.....	35
<b>Figura 12</b> Primer auto en implementar una suspensión de doble horquilla.....	36
<b>Figura 13</b> Componentes de la suspensión de doble horquilla.....	37
<b>Figura 14</b> Diseño 3D de un amortiguador .....	40
<b>Figura 15</b> Diseño en malla de una suspensión de barra de torsión de tipo vw .....	42
<b>Figura 16</b> Simulación de una suspensión de barra de torsión de tipo VW .....	43
<b>Figura 17</b> Diagrama de procesos para la fabricación de la suspensión de doble horquilla. .....	46
<b>Figura 18</b> Medición de la suspensión delantera del vehículo Volkswagen beetle.....	47
<b>Figura 19</b> Resultados de las mediciones de la suspensión delantera. ....	48
<b>Figura 20</b> Medición de soportes.....	49

<b>Figura 21</b>	Puesta a nivel el chasis para su respectiva medición.....	50
<b>Figura 22</b>	Medición inicial para la construcción de un subchasis para el montaje de la suspensión .....	50
<b>Figura 23</b>	Suspensión delantera de Volkswagen Beetle. ....	51
<b>Figura 24</b>	Diseño preliminar de las bases de la suspensión en el chasis. ....	52
<b>Figura 25</b>	Boceto de las horquillas para la suspensión de doble horquilla. ....	53
<b>Figura 26</b>	Ensamblaje parcial de las horquillas en el programa de diseño AutoCAD(Inventor).....	54
<b>Figura 27</b>	Soporte superior del amortiguador diseñado.....	55
<b>Figura 28</b>	Soporte inferior del amortiguador diseñado.....	56
<b>Figura 29</b>	Resorte del amortiguador. ....	57
<b>Figura 30</b>	Ensamblaje de los componentes de los amortiguadores. ....	58
<b>Figura 31</b>	Foto referencial para el modelado 3D en inventor. ....	59
<b>Figura 32</b>	Modelado tridimensional el centro de ruedas.....	59
<b>Figura 33</b>	Formato de ensamble en el programa inventor. ....	60
<b>Figura 34</b>	Ensamblaje con los amortiguadores y horquillas en las bases. ....	61
<b>Figura 35</b>	Base inferior para amortiguador situado en la horquilla inferior. ....	61
<b>Figura 36</b>	Diseño de la base inferior del amortiguador .....	62
<b>Figura 37</b>	Diseño superior de la suspensión. ....	62
<b>Figura 38</b>	Diseño de la parte interna de la uniball. ....	63
<b>Figura 39</b>	Cuerpo de la uniball. ....	64
<b>Figura 40</b>	Ensamblaje de la uniball.....	64
<b>Figura 41</b>	Cremallera para implementar en el prototipo de la suspensión.....	65
<b>Figura 42</b>	Modelado del cuerpo de la cremallera. ....	66

<b>Figura 43</b> Modelado del eje dentado de la cremallera. ....	66
<b>Figura 44</b> Modelado del eje terminal de la dirección. ....	67
<b>Figura 45</b> Selección de formato para el ensamble de las piezas. ....	67
<b>Figura 46</b> Presentación de los componentes de la cremallera. ....	68
<b>Figura 47</b> Ensamblaje final de la cremallera. ....	69
<b>Figura 48</b> Presentación de las bases en la suspensión. ....	69
<b>Figura 49</b> Presentación de la cremallera en el sistema. ....	70
<b>Figura 50</b> Curva del actuador.....	71
<b>Figura 51</b> Parámetros de Rigidez Lineal(K), amortiguación Lineal (C), y Precarga (Fi) .....	72
<b>Figura 52</b> Dimensiones del resorte .....	73
<b>Figura 53</b> Dimensionamiento de la suspensión propuesta en el programa Vsusp.....	74
<b>Figura 54</b> Grafico que representa el comportamiento del Roll center. ....	74
<b>Figura 55</b> Tipo de tubo para la fabricación de las horquillas.....	75
<b>Figura 56</b> presentación de tubos en el molde.....	76
<b>Figura 57</b> Dobles de los respectivos tubos en una dobladora, específica para los tubos.	77
<b>Figura 58</b> Broca de corona, medida de 25 mm . Lo cual es el diámetro al cual se usa para la perforacion del material. ....	78
<b>Figura 59</b> Perforacion de los tubos con la broca de corona. ....	79
<b>Figura 60</b> Terminacion de la perforacion tipo biselado en el tubo. ....	79
<b>Figura 61</b> Eliminación de material residual de las bases de las horquillas. ....	80
<b>Figura 62</b> Fijación temporal de las horquillas. ....	81
<b>Figura 63</b> Material implementado para el torneado de los bujes. ....	81
<b>Figura 64</b> Proceso de torneado.....	82

<b>Figura 65</b>	Torneado final de los bujes. ....	83
<b>Figura 66</b>	presentación de horquillas en el chasis.....	84
<b>Figura 67</b>	Uniballs para la unión entre la manzana y la horquilla. ....	85
<b>Figura 68</b>	Propuesta para selección de amortiguadores para la suspensión. ....	86
<b>Figura 69</b>	Proceso de corte de tubos de 2 pulgadas. ....	87
<b>Figura 70</b>	Brocas tipo copa para la perforación de tubos al diámetro deseado. ....	87
<b>Figura 71</b>	presentación de los tubos en los lugares designados. ....	88
<b>Figura 72</b>	Soportes de subchasis para los brazos. ....	91
<b>Figura 73</b>	Lectura de las dimensiones de las manzanas.....	92
<b>Figura 74</b>	Colocación de las bases superiores de los amortiguadores. ....	93
<b>Figura 75</b>	Medición de las horquillas para los tubos transversales.....	94
<b>Figura 76</b>	presentación del tubo en la horquilla.....	94
<b>Figura 77</b>	Bases de los amortiguadores colocadas en las horquillas inferiores. ....	95
<b>Figura 78</b>	presentación de amortiguadores en el sistema. ....	96
<b>Figura 79</b>	Cremallera de dirección situada provisionalmente. ....	97
<b>Figura 80</b>	presentación de cremallera y medición de soportes de la cremallera.....	98
<b>Figura 81</b>	Colocación de soportes para la cremallera. ....	100
<b>Figura 82</b>	Grafica del programa Vsusp.....	104
<b>Figura 83</b>	Grafica de la suspensión en compresión. ....	105
<b>Figura 84</b>	Grafica del comportamiento de la suspensión.....	106
<b>Figura 85</b>	Grafica de la suspensión en estado de tracción. ....	106
<b>Figura 86</b>	Grafica resultante de la suspensión. ....	107
<b>Figura 87</b>	Grafica de la suspensión con una rueda a una altura diferente con respecto a la otra, lado derecho. ....	108

<b>Figura 88</b>	Grafica resultante de la suspensión alzada lado izquierdo. ....	108
<b>Figura 89</b>	Diagrama de la suspensión con el lado izquierdo levantado. ....	109
<b>Figura 90</b>	Grafica resultante del comportamiento de la suspensión de lado izquierdo. ....	110
<b>Figura 91</b>	Diseño final de las horquillas superior inferior para la suspensión doble horquilla. ....	111
<b>Figura 92</b>	Diseño final de las bases de las horquillas. ....	111
<b>Figura 93</b>	Diseño final del amortiguador. ....	112
<b>Figura 94</b>	Diseño final de las mazanas. ....	113
<b>Figura 95</b>	Grafica de expansión del resorte. ....	114
<b>Figura 96</b>	Grafica de retracción del vástago del actuador. ....	114
<b>Figura 97</b>	Grafica de compresión del resorte. ....	115
<b>Figura 98</b>	Grafica de extensión del vástago del actuador. ....	116
<b>Figura 99</b>	Fabricación de jig para la creación de horquillas. ....	117
<b>Figura 100</b>	Presentación de tubos en el molde. ....	118
<b>Figura 101</b>	Cortado de tubos a la medida establecida. ....	119
<b>Figura 102</b>	Torneado de bujes de duralon. Material en de desgaste. ....	120
<b>Figura 103</b>	Doblado de tubos en una prensa hidraulica. ....	121
<b>Figura 104</b>	Ensamble completo de la adaptación de la suspensión. ....	122
<b>Figura 105</b>	Grafica de desplazamiento del amortiguador para este vehículo. ....	125
<b>Figura 106</b>	Simulación de fuerzas en los amortiguadores. ....	126
<b>Figura 107</b>	Chasis de un monoplaza. ....	127



## **Introducción**

En la actualidad para un vehículo es de suma importancia tener varios aspectos a considerar, para sus uso en las calles, puesto que la ingeniería ha avanzado exponencialmente en los últimos años, por lo cual, la diferencia es notable de un vehículo de los años 50 con un vehículo de la actualidad, enfocándose en el sistema de suspensión; Hoy en día los vehículos vienen equipados con un sistema de suspensión de doble horquilla, en comparación con los de épocas anteriores, que no se enfocaban en lo que son varios parámetros; en anteriores épocas, los vehículos se enfocaban en adaptarse a los diferentes entornos de las calles, por lo cual disponían de una suspensión de barra de torsión, los cuales sumamente básica y funciona para lo elemental.

Empresas como Porsche, fabricaba sus vehículos, con este tipo de suspensión (suspensión de barra de torsión) y los cuales en sus principios no daban problemas por la simplicidad de construcción que implicaba este tipo de suspensión.

Para el vehículo es fundamental que las ruedas siempre estén en contacto con el suelo sin importar en qué condiciones se encuentre la vía, para ello la suspensión se encarga de absorber las irregularidades del camino, evitando que las vibraciones sean traspasadas a la cabina, y afectando el rendimiento del vehículo.

La actualización de la suspensión de un Porsche es para demostrar las mejoras que presenta este tipo de vehículos con el paso del tiempo y avance de las tecnologías dependiendo del tipo de suspensión que dispone. Se puede demostrar la mejora que puede presentar el vehículo, con varias pruebas entre la suspensión antigua, con la suspensión actual, por lo cual hay que disponer de un punto de partida que en este caso sería suspensión anterior (suspensión de barra de torsión), para comenzar con las pruebas y tener puntos de comparativa entre los dos sistemas de suspensión.

Como se sabe durante mucho tiempo, la suspensión de barra de torsión, predomino en los vehículos, debido a su simplicidad y versatilidad, para la implementación de los componentes, que son limitados y básicos; más al ser sumamente básica, presentaba varias complicaciones, con el maltrato que tiene, el uso y las condiciones climáticas juegan en contra de la suspensión como a todas las suspensiones, debido a que la suspensión de barra de torsión, usa una barra la cual como su nombre lo indica se tuerce, provocando que tenga una fatiga con el paso del tiempo, hace que la suspensión pierda eficiencia.

Esto puede llegar a ser peligroso, debido a que, al estar sujeto a torsión durante un tiempo prolongado, hace que el eje que este sujeto en la horquilla también está sujeto al otro lado, con la otra horquilla. Provocando que las ruedas estén conectadas, causando que una rueda pueda perder tracción, debido a que la otra rueda se encuentra en una altura diferente a la otra.

Para la actualización de este vehículo, se va a considerar, una suspensión de doble horquilla para la suspensión del Porsche 356, debido a que este cuenta con una suspensión de barra de torsión.

### **Antecedentes**

Las suspensiones de barra de torsión implementadas por el Grupo Volkswagen han sido ampliamente utilizadas en sus modelos clásicos debido a su simplicidad y robustez. Este sistema se popularizó a mediados del siglo XX, especialmente en vehículos icónicos como el Volkswagen Beetle y el Volkswagen Type 2, reconocidos por su durabilidad y capacidad de operar en condiciones adversas (González et al., 2018). El sistema de suspensión de barra de torsión emplea una barra metálica alineada longitudinalmente que funciona como resorte, absorbiendo y liberando energía cuando se somete a fuerzas torsionales, lo que proporciona estabilidad y un confort adecuado para los estándares de la época (Smith & Johnson, 2020).

No obstante, aunque esta suspensión ofrecía ventajas en términos de simplicidad y costos de producción, presentaba limitaciones importantes que comprometían su eficiencia y durabilidad (López, 2017). A diferencia de los sistemas modernos, que permiten una mayor adaptabilidad y confort, la barra de torsión del Grupo Volkswagen mostraba signos de fatiga mecánica tras un uso prolongado. Con el tiempo y el desgaste continuo, la barra perdía capacidad de respuesta, especialmente en condiciones climáticas adversas o terrenos irregulares. Esta fatiga estructural reducía la flexibilidad de la barra y, en consecuencia, afectaba el confort y el rendimiento de manejo del vehículo (Torres, 2019).

Para Porsche en la actualidad el sistema de suspensión que dispone no logra pasar los estándares de calidad, por lo cual las grandes industrias están implicadas a realizar actualizaciones y modificación de este tipo de implementos en el vehículo.

La suspensión de barra de torsión requería ajustes periódicos para mantener un nivel adecuado de funcionamiento, lo cual representaba una desventaja significativa. La

necesidad de recalibrar la altura de la suspensión y corregir el deterioro en la alineación complicaba el mantenimiento, incrementando la frecuencia de intervenciones (Martínez & Silva, 2021). Estas limitaciones llevaron a que, en modelos posteriores, Volkswagen adoptara sistemas de suspensión más avanzados, como el sistema McPherson, que ofrecía un rendimiento superior y mayor durabilidad. A pesar de sus limitaciones, la suspensión de barra de torsión permanece como un componente importante en la historia de la ingeniería automotriz de Volkswagen, representando una solución innovadora para su época (Ramírez et al., 2022).

Esta suspensión fue durante mucho tiempo de gran ayuda, hasta que llegó la siguiente generación de suspensión, sustituyendo a la de barra de torsión, por lo cual en la actualidad no se encuentra en los vehículos. Como se mencionó antes el Porsche, en sus principios, implementaba la suspensión de barra de torsión, en toda su producción de autos. Siendo también implicados, los vehículos de alto desempeño, y de uso diario; esto se debió a que la suspensión de barra de torsión al ser básica y elemental los problemas que presentaba era solamente por desgaste de los componentes combinado con la falta de mantenimiento y cuidados que estos necesitan para tener una vida útil prolongada.

### **Planteamiento del Problema**

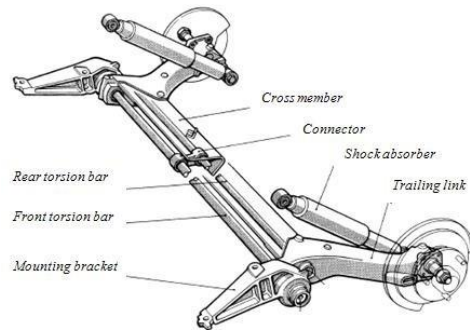
La suspensión del Volkswaguen Beetle presenta desafíos significativos, pues con el paso de los años sus sistemas de barras de torsión han quedado obsoleto, afectando la comodidad y el rendimiento del vehículo teniendo una gran limitación de los diferentes aspectos dinámicos tales como la poca capacidad de controlar el balanceo lateral que presenta el vehículo, dando como resultado u sobreviraje o subviraje al momento de tomar las curvas; por lo cual surge el siguiente problema científico: ¿Cómo mejorar la suspensión de un Volkswagen Beetle para un mejor desempeño cumpliendo los estándares actuales?

Según las Figuras 1 y 2, se demuestra las diferencias entre los dos tipos de suspensión, en la figura uno se puede apreciar una suspensión de barra de torsión diseñado por el grupo Volkswagen, la cual fue implementado en la mayoría si no es decir por todos los modelos del grupo Volkswagen, debido a su versatilidad y baja complejidad de construcción.

Por otra parte, la suspensión de doble horquilla es más compleja debido a que dispone de más componentes que la conforman.

**Figura 1**

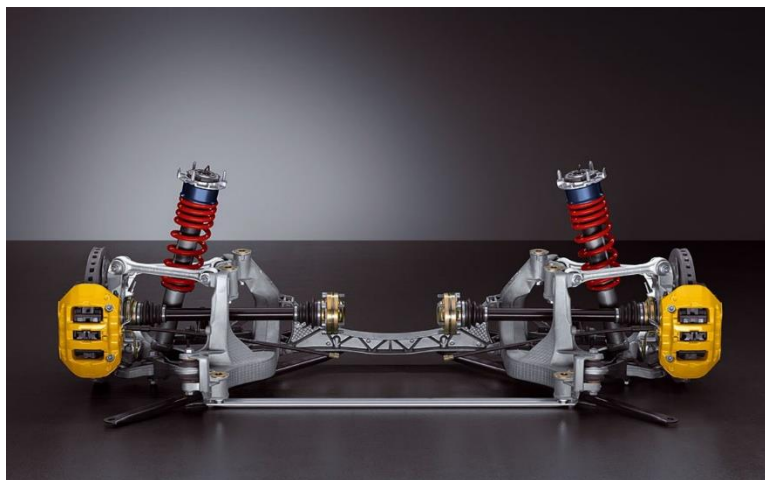
*Suspensión de barra de torsión, se las encuentra comúnmente en vehículos más antiguos a la época*



*Nota.* El grafico representa una suspensión de barra de torsión usado en los Volkswagen beetle Tomado de Service loads prediction in the reliability caracterización of automotive rear axel. (Azrulhisham et al., n.d.)

**Figura 2**

*Suspensión de doble horquilla, Se las encuentra comúnmente en la actualidad por vehículos tales como camionetas, deportivos , Prototipos de carreras.*



*Nota.* La figura representa una suspensión delantera de doble horquilla usado en una gran variedad de vehículos. Tomado Ltd, J. A. A. C. C. (2024, 31 mayo). ¿Qué es mejor: suspensión independiente multibrazo o doble horquilla? - conocimiento. ¿Qué Es Mejor:

*Suspensión Independiente de Múltiples Enlaces o de Doble Horquilla?* <https://es.ml-vehicle.com/info/which-is-better-multi-link-or-double-wishbone-97238871.html>

Por lo tanto, surgió la necesidad de realizar un trabajo de adaptación de una suspensión de doble horquilla a un Porsche, con la finalidad de eliminar los problemas que presentaba la suspensión anterior tales como el subviraje y sobreviraje al conducir, además de ofrecer menor estabilidad dinámica, menor compatibilidad de modelos y tecnologías modernas (suspensión de barra de torsión).

Esta solución permitirá que el vehículo obtenga un desempeño adecuado para la conducción en calles urbanas además de tener más eficiencia en disipar las oscilaciones generadas por caminos irregulares, evitando la transmisión directa hacia la cabina.

La suspensión de barra de torsión presenta varios desafíos, tales como el desgaste en la barra como se muestra en la figura 3, desajuste de los soportes de las barras con el uso.

**Figura 3**

*Suspensión de barra de torsión en mal estado por bujes resacos y agrietados.*



*Nota.* Foto referencial de la barra de torsión en mal estado normalmente por falta de mantenimiento. Tomado de Barras suspensión quebradas Kombi VW. (s. f.).

**Justificación**

El volkswaguen Beetle fue lanzado en la década de los 50, el cual contaba con la tecnología de la época, misma que no se encontraba tan desarrollada como en la actualidad debido al contexto histórico presente en el mundo. Por lo tanto, es un sistema de suspensión obsoleto, que precisa de una actualización de componentes y de mejor calidad, además de generar mayor confort en la conducción, reduciendo el impacto en las irregularidades e imperfecciones que se presenten en el camino.

Este tipo de suspensión puede extrapolarse a vehículos de la marca Volkswagen de la época, tal como los Volkswagen tipo Sedan, Brasilia, Variant, Westfalia; entre otros vehículos, los cuales están presentes en gran parte del país y el mundo y siguen en funcionamiento debido a sus características intrínsecas a su tren de potencia y sencillez



de mecánica, mejorando la confortabilidad de los vehículos anteriormente mencionados, fabricando un "Kit de mejora", el cual cuente con las mesas, amortiguadores, resortes, manzanas , cremallera de dirección, lo cual era muy útil puesto que varios dueños de estos vehículos se quejan de la suspensión y del tipo de maniobrabilidad que presentan.

## Objetivos

### Objetivo general

Implementar un sistema de suspensión de doble horquilla a un chasis de Volkswagen Beetle, mediante los procesos de diseño en CAD, simulación en software de Altair Simsolid, y procesos de manufactura, para la adaptación de una carrocería de Porsche 356, mejorándose el desempeño.

### Objetivos específicos

- Seleccionar los parámetros iniciales de funcionamiento de la suspensión actual, mediante una revisión bibliográfica de estudios previos, para compararlas con los resultados obtenidos en la suspensión propuesta.
- Evaluar los puntos de apoyo de la suspensión en el chasis del Volkswagen Beetle, considerando los puntos de anclaje y las dimensiones disponibles, para la colocación de los puntos de apoyos necesario de la nueva suspensión propuesta.
- Realizar un modelado 3D de la suspensión del prototipo mediante programas de diseño computarizado CAD (inventor) con las dimensiones de los puntos de anclaje del chasis para su posterior simulación.
- Simulación de la suspensión propuesta con las cargas de trabajo del sistema, empleando los softwares de la plataforma Altair (Simsolid, e Inspire), para la validación de los esfuerzos y deformaciones.
- Fabricación de la suspensión propuesta, mediante los procesos de manufactura pertinentes y con las consideraciones del diseño y la simulación, para la colocación en el chasis del Volkswagen Beetle.

### **Objetivos ODS que persigue el proyecto**

La presente investigación tiene una relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible(ODS), en esencia con el objetivo 9: Industria, Innovación e Infraestructura, Debido a que este trabajo propone la adaptación de una suspensión de doble horquilla en un chasis de un Volkswagen Beetle de los años 50 lo cual constaba con una suspensión de barra de torsión que cumplía con el trabajo de absorber las irregularidades del camino, con el paso del tiempo, y el avance de la tecnología, se logra dar con una mejor adaptación del camino con el sistema de suspensión de doble horquilla que a día de hoy representa un gran porcentaje de vehículos que implementan este tipo de sistema a comparación de la suspensión de barra de torsión. Con esta adaptación de adaptar una suspensión a vehículo que disponen de la anterior, promueve la tecnologías más seguras y sostenibles en el tiempo.

### **Hipótesis**

- La implementación de una suspensión de doble horquilla para un chasis de Volkswagen Beetle, permitirá que el vehículo mejore su desempeño dinámico en la suspensión.

## Estado del arte

### Historia del vehículo a estudiar

En 1948 el primer Porsche 356 fabricado en Gmund (Carintia, Austria). Para el Porsche 356 contaba con un motor bóxer de 4 cilindros refrigerado por aire que le brindaba la marca Volkswagen. En sus principios el Porsche 356, su motorización contaba con una potencia de hasta 35 cv, sumado el peso del vehículo la cual no pasa de los 585 kilogramos, el Porsche 356 lograba alcanzar una velocidad máxima de hasta 135 km/h.

El Porsche 356 que se muestra en la figura 4 cuenta con una suspensión de barra de torsión de tipo wv con brazos de arrastre, más la disposición de las barras de torsión transversales, con una barra antivuelco para la suspensión delantera; para la suspensión trasera independiente con semiejes oscilantes, más unos brazos radiales con unas barras de torsión transversales. (Porsche 356 - Porsche América Latina, s. f.)

### Figura 4

*Porsche 356*



*Nota.* Fotografía referencial del Porsche 356. Tomado de Porsche Classic Folleto de imágenes. (356-a, s. f.)

La suspensión de doble horquilla como se observa en la figura 2 es uno de los sistemas fundamentales para el vehículo automotor, y tienen como objetivo absorber las irregularidades del camino, a la vez proporciona el contacto continuo de las ruedas en los terrenos. proporcionando seguridad y una larga vida útil de los componentes; el vehículo está sometido a velocidades variables en diferentes caminos, por los cuales el sistema de suspensión debe de adaptarse a las diferentes condiciones del camino, dependiendo de las necesidades del conductor y vehículo.

El sistema de suspensión del vehículo es un conjunto que permite la unión entre la masa suspendida y la masa no suspendida, la masa suspendida es todos los componentes que son soportados por el bastidor del vehículo, la masa no suspendida es aquella masa que es la contraparte, es aquella masa que soporta el bastidor (De La Peña & Torres, 2019).

El sistema de suspensión no tiene un solo objetivo de disminuir las vibraciones del camino originadas por las irregularidades que presenta el camino, tales como pueden llegar a ser los topes en las carreteras; también tienen como objetivo brindar estabilidad del vehículo durante el trayecto en cualquier tipo de terreno.

En el presente los fabricantes y diseñadores de amortiguadores, le han dado más importancia a la estabilidad del vehículo, estos como tal absorben las vibraciones del camino, reduciendo considerablemente las vibraciones del camino a la carrocería donde se encuentran los ocupantes (Cepeda-Camacho et al., 2022).

### **Banco de pruebas de suspensión**

El banco de pruebas de suspensión trabaja mediante el método de la resonancia, y gracias a la resonancia analiza las energías existentes que se encuentran en el sistema de suspensión. Los parámetros de medición del banco de pruebas: Coeficiente de amortiguación, Rigidez o constante elástica, Dureza dinámica del neumático, Fuerzas de rebote y compresión (N), Relación de transmisión de vibración, entre otras.

Gracias a que el banco de pruebas que mediante los movimientos oscilatorios el programa de medición y calculo MONROE, permite generar los parámetros de conducción que se encuentran normalmente en la conducción; según las diferentes pruebas del eje delantero teniendo como resultado que se tiene un peso de 430.1 kg en el Volkswagen beetle.

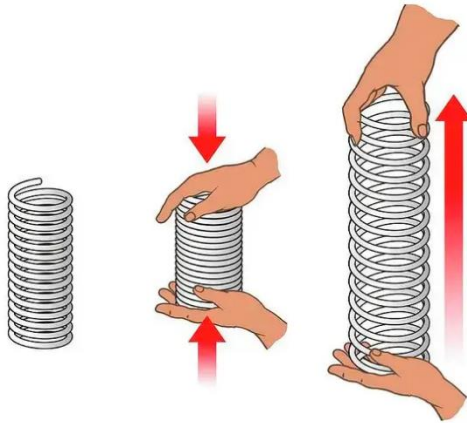
El análisis es independiente por cada neumático, se comparan los datos obtenidos por el banco con los datos que se encuentran en las fichas técnicas del fabricante (Pilataxi, 2019).

### **Rigidez**

La rigidez se basa en la fuerza aplicada en el resorte para que pueda ser deformado, normalmente se lo representa por la letra K. Demuestra la relación que tiene la deformación cuando se la aplica una fuerza. Por ejemplo, el resorte con una determinada rigidez (K) necesita de una determinada fuerza para que el mismo sea comprimido. Cuando la constante de un resorte es menor, significa que el mismo necesita de menor fuerza para ser comprimido, esto es de utilidad para los mecanismos que están sujetos a ser de movimiento los cuales necesita de una flexibilizada determinada (figura 5).

**Figura 5**

*Fuerza de compresión y tracción*



*Nota.* La figura representa el comportamiento de los resortes según las fuerzas que actúan tanto en expansión como en compresión. Figura tomada de Una Energia Bismarks (2024)

Mediante la fórmula 1 se puede determinar la fuerza necesaria para comprimir o estirar el resorte (CK-12 Foundation, 2024)

$$F = -K * x \quad (1)$$

Donde:

F = Fuerza aplicada al resorte

K = La constante de resorte

x = El desplazamiento de resorte (La distancia que toma el resorte al ser comprimido y estirado)

Para sacar la constante de resorte conocida la fuerza, con la misma fórmula 1 se despeja la constante de resorte (K)

### **Dureza dinámica del neumático**

La dureza dinámica del neumático como su nombre lo indica es aquella fuerza que es aplicada por fuerza externas al cuerpo, lo cual afecta las condiciones iniciales, en las que se encuentran en reposo, la dureza que se encuentran sometidos los neumáticos puede llegar a ser las vibraciones que se presentan en el camino durante la conducción.

Lo cual son diferencias notables en comparación de estar en reposo por lo cual las fuerzas que se efectúan son diferentes, puesto que hay fuerzas que estando en movimiento se presentan, a comparación a estar estática, por lo que algunas fuerzas se anulan. La resistencia a la rodadura es aquella fuerza que se ejerce al contrario de la llanta, la cual es la que va frenando al vehículo. Mediante la ecuación 2 se determina la resistencia a la rodadura (CK-12 Foundation, 2024)

$$Fr = Cr * N \quad (2)$$

Donde

Fr: Resistencia a la rodadura

Cr: Coeficiente de resistencia a la rodadura.

N: Fuerza normal

### **Fuerzas que se ejercen en los neumáticos**

Los neumáticos están compuestos por varios polímeros, que según la composición tiene cierta rigidez, elasticidad, y durabilidad. Es importante el tipo de llanta y de neumático, para el buen funcionamiento del sistema de suspensión. Esto es gracias a que el neumático también absorbe parte de las vibraciones del camino, y reduce en gran parte las vibraciones hacia el vehículo; esto ayuda a que la suspensión no trabaje forzada.



Tanto la suspensión como las llantas trabajan en conjunto para reducir la vibración en el resto de vehículo, por lo cual la presión debe ser la indicada por el fabricante, puesto que ya se hicieron pruebas y estudios previos para determinar todos los parámetros de los neumáticos, que permitan el buen funcionamiento del sistema de suspensión, sin comprometer la vida útil de los componentes.

El ángulo de deriva es producido al momento en que el vehículo toma una curva a velocidad, y dependiendo de la velocidad el ángulo será mayor o menor, debido a las fuerzas que se ejercen en el neumático (figura 6).

El ángulo de deriva está compuesto por tres fases, en la primera fase del ángulo de deriva se presenta la fuerza de forma lineal, en este transcurso el neumático tiene una superficie de contacto total debido a que la fuerza no sobrepasa la adherencia del neumático, permitiendo que la llanta siga la dirección a la que está situada (Marcelo, y Carlos, 2021).

### ***Figura 6***

*Diagrama de deformación de un neumático.*



*Nota.* Boceto de un neumático más las fuerzas que esta ejercidas. Tomado de Fuerzas. (s. f.). Fuerzas En las Llantas.

Para el Porsche 356 producido en los años 50 salía originalmente con llantas de medidas 185/70 rin 15 (figura 7).

### **Figura 7**

*Rin original del Porsche 356*



*Nota.* Rin o aro perteneciente al vehículo Porsche 356 tomado de *Porsche Latin America* - Dr. ing. H.C. F. Porsche AG. (s. f.). Porsche Latin America - Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG.

### **Fuerza de rebote y compresión**

La fuerza de compresión se da gracias a que un cuerpo se somete a unas fuerzas opuestas de que tienden a cambiar la longitud o volumen. Esto se encuentra en estructuras como las vigas y columnas donde se someten a fuerzas de compresión. La fórmula para el cálculo de la resistencia a la rodadura se muestra en la ecuación 3 (Ingeniosos, 2024)

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Donde

$\sigma_c$  = Esfuerzo de compresión

F= Fuerza aplicada

A= área de sección transversal

### **Relación de Transmisión de Vibración**

La relación de transmisión de vibración (TR, por sus siglas en inglés "*Transmissibility Ratio*") se define como la relación entre la amplitud de la vibración que se transmite a una estructura o sistema ( $X_t/X_o$ ) y la amplitud de la vibración de entrada ( $X_o$ ). La fórmula para el cálculo de la relación de transmisión de vibración se muestra en la ecuación 4 (Mariela, 2021).

$$TR = \frac{X_t}{X_o} \quad (4)$$

Donde:

TR = Relación de transmisión de vibración (adimensional)

$X_t$  = Amplitud de la vibración transmitida (salida)

$X_o$  = Amplitud de la vibración de entrada (entrada)

La relación de transmisión se usa para evaluar la eficacia de aisladores de vibración y soportes para máquinas y vehículos. Un TR menor a 1 significa que la vibración se ha atenuado, mientras que un TR mayor a 1 significa que la vibración se ha amplificado.

## Elementos de suspensión

### Muelles

Los muelles son componentes de la suspensión los cuales son críticos para la suspensión debido a que son los encargados de mantener en una posición determinada del vehículo. Su función principal es absorber las irregularidades del camino, evitando que las ruedas pierdan agarre en la superficie, además de reducir considerablemente las irregularidades del camino transmitidas a la cabina.

Todos los componentes tienen un papel importante en absorber y no transmitir las vibraciones al momento que el vehículo se encuentre en circulación, por lo cual están absorbiendo las vibraciones presentes. Ayudando a que los diferentes componentes del vehículo tengan una vida útil más prolongada debido a que no sufren de impactos y de vibraciones altas, los cuales podrían afectar a corto o largo plazo.

La suspensión de barra de torsión es aquella suspensión que, para amortiguar las irregularidades del camino, en las ruedas esta acopladas una barra que esta conecta a la otra rueda la cual les permite tener a las ruedas a diferentes alturas según las necesidades, y las irregularidades del camino en las que se presente en la conducción (Huppertz, s. f.).

### Amortiguadores

Los amortiguadores, son elementos tubulares que dependiendo de sus características pueden ofrecer varias configuraciones, como el sistema de amortiguación que pueden llegar a ser de gas o de aceite (figura 8). Dependiendo del tipo de uso, usualmente los amortiguadores de gas ofrecen más confort, pero pierden en lo que es la dureza, lo cual los de aceite son buenos para terrenos y regulares y más de carros *off road*.

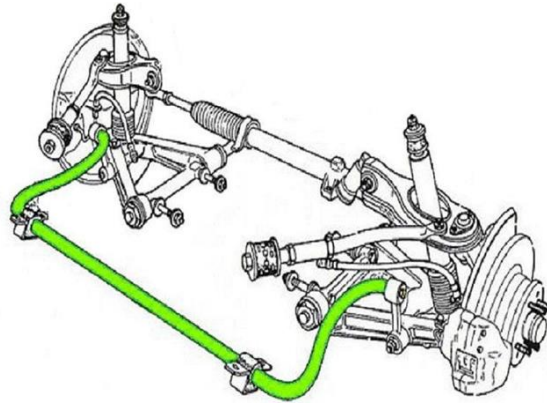
**Figura 8***Amortiguadores*

*Nota.* amortiguador encargado de absorber vibraciones. Obtenido de: Amortiguador: Funciones y características | Blog buscador de talleres. (s. f.).

***Barras estabilizadoras***

Las barras estabilizadoras conectan las horquillas de lado a lado, limitando en los desniveles del camino proporcionando estabilidad en las curvas a alta velocidad y limitan el balanceo de los vehículos. La barra estabilizadora es un invento revolucionario para brindar seguridad al vehículo, en momentos estratégicos de la conducción, brindando estabilidad.

Dichas barras están compuestas principalmente de acero para brindar dureza, pero además de otras aleaciones que le permita deformarse dentro del rango elástico del material, para que no comprometa la estabilidad del carro (figura 9).

**Figura 9***Barra estabilizadora*

*Nota.* Planos de una barra de la ubicación de la barra de torsión. Obtenido de: auto10.

Redacción. (2021, 25 octubre). Barras estabilizadoras: qué son y para qué sirven.

Auto10.com | Expertos En Coches.

## **Neumáticos**

Los neumáticos forman parte de la suspensión, debido a que son los únicos componentes que están todo el tiempo en contacto con el suelo, teniendo que los neumáticos ayudan a absorber parte de las irregularidades del camino, disminuyendo la carga que debe hacer la suspensión para que no sufra daños importantes. Deben estar a una determinada presión que es la que el fabricante recomienda para que tenga el mejor desempeño la rueda, si esta con presiones fuera de los rangos recomendados, tiende a desgastarse más rápido además de que afecta los componentes del vehículo, hasta tal punto que pueden llegar a quebrarse.

**Figura 10**

*Neumáticos del Porsche 356*



*Nota.* Neumáticos empleados para el Porsche 356. Tomado de Car concept AUDI A1 1.4 TFSI 2017 LOOK AEROKIT BI COLOR.

Con el pasar de los años el beetle ha tenido varios neumáticos de diferentes medidas según las necesidades que tenía el consumidor el cual usaba para diario y para trabajo, dependiendo del tipo de uso acoplaban diferentes medidas de neumáticos a los vehículos.

**Tabla 1**

Tipos de neumáticos implementados en el Volkswagen Beetle.

Época/Año	Tipo de neumático	Medida Original	Observaciones
1938 – mediados 60s	Diagonal (bias ply)	5.00 -15	Construcción de lona diagonal, rin 15" estrecho
Finales 60s – inicio 70s	Diagonal (bias ply)	5.60-15	Mejor capacidad de carga y estabilidad que el 5.00-15
Mediados 70s – 1984 aprox.	Radial	155 R15	Primeros Beetle con neumáticos radiales de fábrica
1984- 2003*	Radial	165 R15 o 165/80 R15	Más ancho y estable; usado en modelos mexicanos y brasileños.
Versiones modificadas	Radial de perfil bajo (opcional)	185/70 R15, 195/60 R15	Solo en preparaciones deportivas

Nota. Diferentes medidas de neumáticos implementados en el Volkswagen Beetle.

Tomado de: Volkswagen Beetle - Especificaciones de llantas, neumáticos, PCD, desplazamientos para cada año y generación. (s. f.). LlantasNeumáticos.com.

<https://llantasneumaticos.com/size/volkswagen/beetle/>



Para el VOLKSWAGEN la suspensión se encuentra acoplada a la rueda mediante dos brazos, en los dos brazos se encuentran unas barras que se encuentran conectadas; esto les permite absorber los golpes que pueden presentar durante la conducción. Tanto en la suspensión delantera como en la suspensión trasera; esta suspensión fue por muchos años un pilar para los vehículos, debido a que los costos de producción debían ser económicos para que el vehículo no este propenso a subir el precio, siendo uno de los vehículos que la mayoría de gente se pudiera cotizar (Alexandra & La Puerta Daniella, 2021).

Con el pasar de los años y la revolución de la tecnología, se ha ido implementado mejores sistemas para los vehículos; lo cual logro dar paso a nuevas tecnologías y nuevos diseños para los vehículos, solventando las fallas que fueron presentado los sistemas de suspensión anteriores, toda suspensión presenta defectos de diseño, en sus principios la barra de torsión mostraba un desempeño considerable de acuerdo con la época.

Hoy en día el sistema presenta una gran desventaja en comparación con otros tipos de suspensión. Esto se debió a que el ser humano está en constante revolución, a principios de los años 50 los vehículos contaban con compontes simple y fundamentales para la conducción; Actualmente los vehículos cuentan con una cantidad de sistemas y componentes, para garantizar que la conducción sea la mejor posible y que sea segura para los ocupantes y para los que se encuentren a sus alrededores (Huppertz, s. f.).

Durante la evolución de la suspensión, se ha dado paso a nuevos diseños que cumplen con las misma función de absorber las irregularidades del camino, no obstante permiten tener un mejor desempeño a comparación con la suspensión de barra de torsión; hoy en día en los vehículos se encuentran suspensiones McPherson, la cual es la más común en vehículos sedan, por ser simples y que no ocupan mucho espacio; también

podemos encontrar con suspensiones de doble horquilla en los vehículos, tales como camionetas.

La suspensión de doble horquilla presenta algunas ventajas en la conducción debido a que permite un mayor control sobre el ángulo de la rueda lo cual permite modificar, para que pueda tener un mejor manejo. Además de presentar dos brazos conectados a la rueda permite que la misma no sea propensa a un balanceo del vehículo por alguna maniobra agresiva que se requiera hacer en caso de presentarlo.

#### **Figura 11**

*Suspensión de doble horquilla*



*Nota.* Suspensión de doble horquilla, tomado de Menmolira, Suspensión independiente. (Repuestos De Suspensión Y Frenos Renault – Tecnicentro Antioquia, n.d.)

Este tipo de suspensión se los encuentra más en los vehículos grandes, tales como camionetas, SUV, deportivos. Debido a que esta suspensión les permite modificar varios ángulos y parámetros según lo indique el fabricante.

La suspensión de doble horquilla fue introducida en la década de los 20 a la industria automotriz por el fabricante francés Citroën, con los modelos Rosalie y Traction Avant de 1934.

**Figura 12**

*Primer auto en implementar una suspensión de doble horquilla.*



*Nota.* Primer auto en implementar la suspensión de doble horquilla. Tomado de Citroenorigins.es (Traction 15 SIX, s. f.)

Este modelo fue uno de los primeros modelos en implementar una suspensión de doble horquilla, la cual dio paso a que muchas marcas de vehículo comenzaran a implementarlo en sus vehículos siendo hoy en día, una de las suspensiones que mejor se desempeña, y que son utilizadas por las marcas para sus vehículos de alto rendimiento.

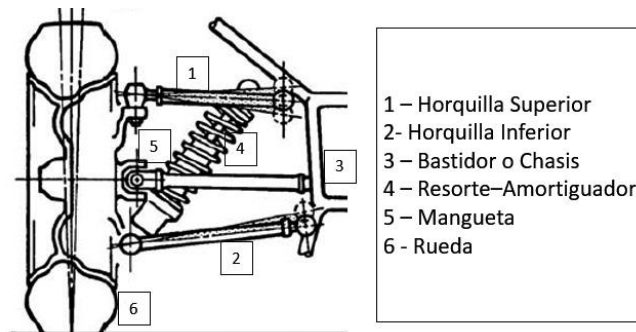
Normalmente la suspensión de doble horquilla es utilizada más comúnmente en los SUV, camionetas, deportivos, prototipos; Debido a que les permite modificar los ajustes de la suspensión, dando paso a que los vehículos estén alineados, tanto el Camber, Caster, toe, ángulo de caída; los cuales en conjunto permite que el vehículo ande recto y sin vibraciones durante su conducción.

La suspensión de doble horquilla a ser una de la suspensión de que permite la modificación de ángulos para la rueda, permite que el vehículo tenga una conducción más

segura. Esta suspensión, se las encuentra en las camionetas debido a que permite, tener una conducción estable, y lograr transportar carga sin afectar el rendimiento de la conducción. Esto es debido a que si por alguna circunstancia la masa suspendida del vehículo (el chasis y carrocería) se encuentran desnivelada en comparación con el suelo. La suspensión (masa no suspendida) siempre este en contacto con el suelo, permitiendo que las ruedas no pierdan contacto con el suelo en ningún momento del transporte de la carga del vehículo (Huppertz, s. f.-b).

**Figura 13**

*Componentes de la suspensión de doble horquilla*



*Nota.* Ilustración de una suspensión, tomado de análisis del comportamiento dinámico de una suspensión de vehículo independiente de doble horquilla. (Solved: En La Siguiete Imagen Se Muestra Una Suspensión Independiente Del Vehículo. Identificar E [Others], n.d.)

### **Fuerzas presentes en la suspensión**

#### *Fuerza de compresión*

La fuerza de compresión actúa sobre los componentes de la suspensión cuando las ruedas se encuentran en un terreno irregular provocando que las alturas varíen entre ellas. Hay fuerzas que actúan sobre la suspensión provocando que los amortiguadores y resortes se compriman y estiren según se encuentre en el terreno, ayudando que el vehículo se encuentre equilibrado. Dependiendo de las variaciones, esto puede ser más o menos eficiente, además del tipo de suspensión, ya que hay varios tipos de suspensión, los cuales algunos se adaptan mejor a las condiciones que otros.

Los resortes actúan como una contra fuerza que permite regresar a su estado inicial logrando tener la mayor cantidad de tiempo la rueda sobre el suelo. El amortiguador se encarga de absorber parte de la energía que recibe la suspensión para evitar que todas las vibraciones se dispersen por el resto del vehículo, provocando que algunos componentes con el paso del tiempo y la fatiga de los materiales terminen por quebrarse.

### **Proceso de Modelado 3D de una suspensión de doble horquilla:**

#### **Diseño:**

Para el proceso de diseño se dio a conocer de los diferentes diámetros de la suspensión; Se procedió a realizar el modelado 3D de las diferentes partes de la suspensión, lo cual nos permitió ver y verificar los diferentes componentes de la suspensión. Esto se dio con el fin de realizar una comparativa entre diseños para ver los diferentes puntos a realizar y ver que todos los componentes este colocados adecuadamente en el sistema de suspensión.

Modelado CAD: Se realiza un primer paso de diseñado 3D del modelado para ver con que geometría se va a trabajar, más los diferentes componentes a los cuales se

implementará para el armado de la suspensión. Se construye un diseño 3D con mayor precisión de la suspensión utilizando software CAD (Diseño asistido por computadora).

Detallado y compuesto por varios diseños 3D de los componentes para posteriormente ser ensamblados en un conjunto en el cual nos permita tener un panorama en general de la suspensión propuesta.

Análisis Estructural: Uso de técnicas como análisis de elementos finitos (FEA, *Finite Element Analysis*) para determinar el rendimiento y longevidad de los componentes bajo diversas condiciones. Esto con el fin de garantizar que la suspensión propuesta sea la adecuada para el proyecto en desarrollo, esto permite analizar varios puntos críticos de la suspensión en la cual puede llegar a resquebrajarse.

Selección de materiales:

Acero de alta resistencia: el acero a menudo se usa sin coser debido a su combinación de ligereza y resistencia, que es ideal para grupos de suspensión.

Aleaciones de aluminio: en algunos casos, el aluminio se selecciona para reducir el peso inusual y, por lo tanto, mejorar la reacción dinámica del vehículo. Formación de componentes:

Cumplimiento y soldadura: las armas de suspensión están hechas para formar procesos como la flexión de tuberías y se ensamblan con soldadura de alta precisión para garantizar la integridad estructural.

Tratamiento de precisión: los componentes críticos se mecanizan, por ejemplo, puntos de fijación y conexiones para garantizar un ajuste preciso y un funcionamiento óptimo. Tratamiento térmico y final:

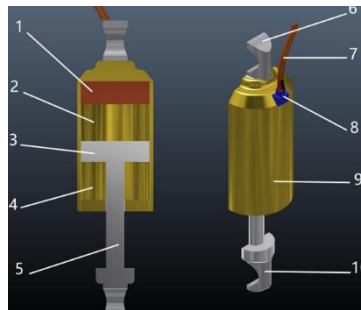
Tratamiento térmico: los procesos de temple y contraparte se utilizan para mejorar las propiedades mecánicas del material, lo que aumenta su durabilidad y

durabilidad. Recubrimiento protector: se aplican recubrimientos anti -corrosivos, como polvo o galvanizado para proteger los ingredientes de oxidación y desgaste.

Integración de componentes: las manos de suspensión se ensamblan con otros elementos, como amortiguadores, muelles y contusiones, proporcionando un ajuste preciso. Prueba de calidad: las pruebas funcionales y de resistencia se realizan para verificar que la suspensión cumpla con los estándares de calidad y beneficios establecidos. Este enfoque cuidadoso para el diseño, la selección de materiales y los procesos de fabricación garantizan que la suspensión de doble horquilla proporciona un rendimiento óptimo, lo que mejora la estabilidad, el control y la seguridad del vehículo.

#### **Figura 14**

*Diseño 3D de un amortiguador*



*Nota:* Las partes de un amortiguador para la representación.

#### **Estudio dinámico de la suspensión**

El estudio dinámico permite estudiar el comportamiento de los diferentes componentes de la suspensión cuando se encuentra en movimiento por terrenos

irregulares más la distribución de las cargas del vehículo al tomar las curvas a ciertas velocidades.

En el estudio se encuentran variables las cuales se necesitan estudiar para saber el comportamiento que tomara la suspensión.

### **Respuesta en frecuencia**

En este caso ayuda a verificar como reduce las vibraciones que presenta el camino, dando como resultado la eliminación de ciertas frecuencias que no llegan a la cabina comprometiendo la estructura del chasis.

### **Rigidez lateral**

La rigidez lateral es aquella fuerza que se aplica en la rueda del vehículo en el cual muestra el resultado de la fuerza y el desplazamiento laterales resultante del conjunto de la suspensión normalmente se lo representa en N/m.

### **Transferencia de carga**

Esta fuerza se lo encuentra cuando el vehículo se lo somete a una aceleración, ya sea frenada, curva o aceleración longitudinal., por más que actúen estas fuerzas el peso no se distribuye de manera uniforme en todas las ruedas, sabiendo que la masa total no varía. Si varia las fuerzas que se aplican en las ruedas.

### **Curva de Camber dinámico**

Inicialmente el Camber es el ángulo de inclinación de la rueda con respecto a la vertical, una vez obtenido eso el Camber dinámico es la variación del ángulo al momento en que se comprime o se extiende cuando se encuentra en movimiento el vehículo.

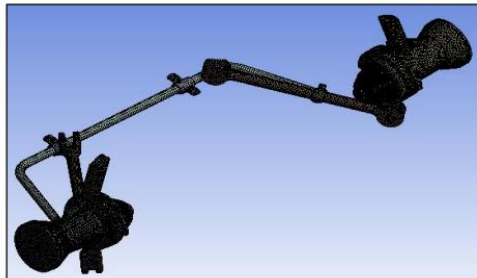


### Procesos de simulación

La simulación es una de muchas herramientas que nos permiten validar los diferentes modelados 3D las cuales, dependiendo de la carga que se le pueden ejercer, y con los parámetros que se va a manejar, para evidenciar que el modelado sea el adecuado para la posterior fabricación del prototipo presentado. La simulación permite verificar si el diseño propuesto es el adecuado para el planteamiento inicial de la suspensión. Para la respectiva simulación del sistema de suspensión, primero se debe caracterizar en un modelado 3D el boceto inicial de la suspensión propuesta.

#### Figura 15

*Diseño en malla de una suspensión de barra de torsión de tipo vw*

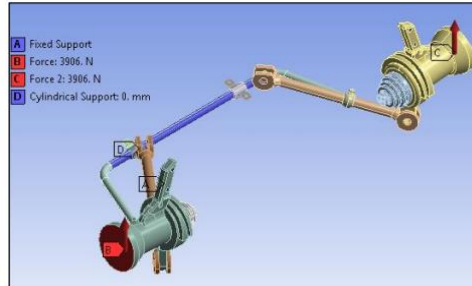


*Nota.* El diseño 3D del prototipo, es realizado por el mallado. Tomado de Implementación y puesta a punto de los sistemas autorices de la limusina Escarabajo.

Para la simulación de la suspensión se tomó como principal tipo de bocetado el mallado. Por lo cual posteriormente se realiza la respectiva simulación, por lo cual se le aplica cargas para buscar las deformaciones según el tipo de carga y donde se le aplique la carga.

**Figura 16**

*Simulación de una suspensión de barra de torsión de tipo VW*



*Nota.* El diseño 3D del prototipo simulado. Tomado de Implementación y puesta a punto de los sistemas autorices de la limusina Escarabajo.

### **Cálculo del diámetro de los tubos de los brazos de suspensión**

Luego de haber encontrado las fuerzas resultantes en los brazos de la suspensión se procede a la determinación del tubo de acero. Para el esfuerzo axial y el factor de seguridad (FS) se utilizan las siguientes ecuaciones resumidas en la tabla 1.

**Tabla 2**

*Tabla de ecuaciones para el factor de seguridad y esfuerzo axial*

$\sigma = P / A$	$\sigma$ : Esfuerzo
$FS = \sigma_u / \sigma_{perm}$	P: Carga
	A: Área
	FS: Factor de seguridad
	$\sigma_u$ : Esfuerzo último o de cedencia
	$\sigma_{perm}$ : Esfuerzo permisible
Para encontrar el área , se utilizará la ecuación de la corona circular	
$A = (\pi/4)(D^2 - d^2)$	D: Diámetro exterior
	d: Diámetro interior

Nota: Recuperado de Diseño de sistema de suspensión. (Caraguay Correa, 2020)

### **Procesos de fabricación**

Para la fabricación de los componentes de la suspensión se toma en cuenta y se dan previos estudios de materiales para ver cuál es el material que mejor se adapta para la fabricación de las horquillas. Se encuentran diferentes geometrías de suspensión de doble

horquilla de las cuales dan un mejor desempeño para que diferente tipo de estilo de conducción a la que se le va a llevar el vehículo.

La suspensión de doble horquilla es desmontaje independiente en donde se valen de dos brazos en forma “A” con el objeto de dejar de hacer el movimiento vertical de las ruedas, sumando a la estabilidad y al manejo del vehículo.

### **Metodología**

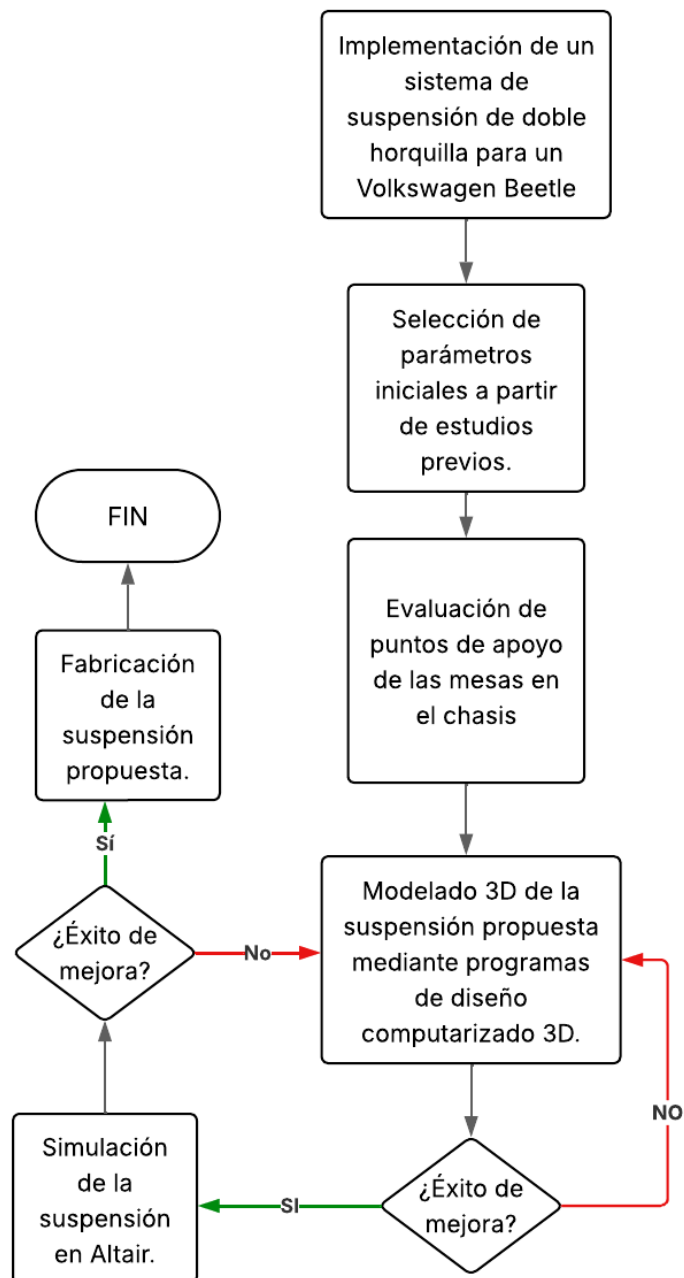
La investigación que será empleada para este caso de estudio será tanto cualitativa como cuantitativa. Teniendo en cuenta que se realizará, varias pruebas en el banco de pruebas, tanto de la suspensión en su estado inicial como en la suspensión cuando sea mejorada, para que se tomen los datos para realizar el respectivo análisis, y ver si se realizó una mejora en comparación, entre la suspensión de doble horquilla, con la suspensión de barra de torsión en sus inicios.

### **Diagrama de procesos**

En el siguiente apartado, se dará a conocer el diagrama de procesos del cual será una guía para la realización de los diferentes procesos de fabricación y simulación del prototipo de suspensión. Se dará uso de los diferentes programas de diseño y simulación para su validez. Tanto el inventor (Autodesk), como el Altair (Autodesk).

**Figura 17**

*Diagrama de procesos para la fabricación de la suspensión de doble horquilla.*



### **Medición de los parámetros de la suspensión iniciales.**

Para la medición de los parámetros de funcionamiento de la suspensión, se somete la misma a un banco de suspensión. La cual permite medir los parámetros actuales a las que está sujeto la suspensión. Con esta medición se obtendrá un punto de referencia en el cual se basará para realizar la respectiva mejora.

### **Figura 18**

*Medición de la suspensión delantera del vehículo Volkswagen beetle.*



*Nota.* Foto referencial de la prueba de suspensión delantera, tomada de Implementación y puesta a punto de los sistemas automotrices de la limusina Escarabajo.

### **Resultados del Banco de pruebas de la suspensión eje delantero.**

En este caso la Escuela Politécnica del Ejercito (ESPE) realizó un estudio previo de una suspensión del icónico vehículo Beetle de la icónica marca Volkswagen. Según un estudio sobre la suspensión delantera del Volkswagen Beetle los estudios respectivos sobre las mediciones de la suspensión original, del vehículo.

Para ello el vehículo se lo posiciona en un banco de pruebas de suspensiones, en el cual nos permitirá medir los parámetros que necesitamos para el estudio. Según la

Escuela Politécnica del Ejercito (ESPE), mediante los movimientos oscilatorios se demuestran que el programa MONROE determina y simula en diversos escenarios de oscilación cuando su frecuencia vibratoria se incrementa y disminuye, resultando en que el peso de su eje delantero es de 430.1 kg. El estudio se lleva a cabo de manera autónoma para cada uno de los neumáticos. Es necesario que el amortiguador se encuentre en el rango del 50 al 70 %, en cada uno de los amortiguadores del fabricante los aspectos donde los resultados alcanzados para este son satisfactorios (figura 19).

**Figura 19**

*Resultados de las mediciones de la suspensión delantera.*



*Nota.* Resultados arrojados del banco de suspensión del puente delantero del vehículo.

### Evaluación de puntos de apoyo de las mesas en el chasis

Para la evaluación de puntos de apoyo de las horquillas, se ubicó primero las bases donde van acopladas las horquillas para hacer las respectivas adaptaciones de los puntos de apoyo en el chasis para la suspensión de doble horquilla. Para ellos se utilizó

tubos de 2 pulgadas para fabricar los soportes para el acoplamiento de las horquillas con el chasis. Para saber si se encuentran a nivel el chasis, se necesita de flexómetro, nivel, nivel laser. Para cerciorarse de que el chasis se encuentra nivelado, para tomar las respectivas medidas de los puntos de apoyo.

### **Figura 20**

*Medición de soportes.*



*Nota.* Mediciones iniciales de las bancadas para la adaptación de la suspensión de doble horquilla.

EL vehículo, está completamente desarmado, por lo cual facilita el protocolo de medición de la geometría del chasis, para verificar los diferentes tipos de proceso a utilizar. Se debe considerar que la mesa de trabajo se encuentre a nivel, para facilitar el proceso de medición, sin tener desfasados los soportes. Al trabajar en una suspensión, se tomará en cuenta las mediciones tanto en un lado como en el lado contrario, por lo cual no se debe variar la distancia por más de 0.5 cm.



**Figura 21**

*Puesta a nivel el chasis para su respectiva medición.*



*Nota.* Es necesario tener a nivel el chasis, para no desfasar las medidas de los soportes de las horquillas.

Al trabajar, se debe nivelar la mesa de trabajo para las respectivas mediciones. Es crucial que las mediciones sean precisas para realizar un boceto en el programa de diseño Autodesk (Inventor).

**Figura 22**

*Medición inicial para la construcción de un subchasis para el montaje de la suspensión*



*Nota.* Medición de profundidad para el acople de las bases de las horquillas.

Se debe medir tanto en lo horizontal como a lo largo del chasis. Para la evaluación de los puntos de apoyos; donde se situarán las bases de las horquillas y amortiguadores de la suspensión sin afectar el diseño de la carrocería. Las mediciones en las bases de las horquillas y las puntas de ejes de la suspensión debe estar a las medidas anteriores de la suspensión de barra de torsión.

### **Figura 23**

*Suspensión delantera de Volkswagen Beetle.*



*Nota.* Se toma como referencias de la suspensión anterior para las medidas de la suspensión propuesta.

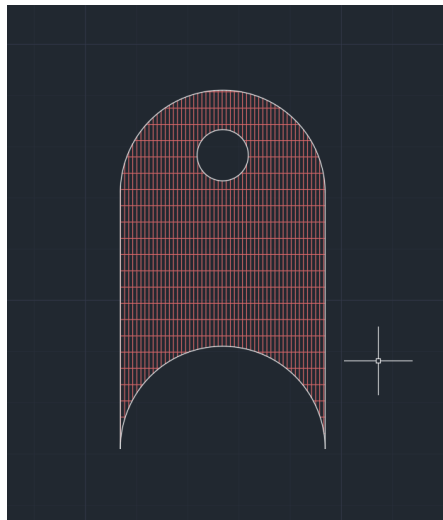
Con las respectivas medidas de la suspensión anterior y del chasis donde se acoplará la adaptación se procede a realizar el boceto 3D.

### Modelado 3D de la suspensión mediante programas de diseño computarizado 3D

Se hace un primer boceto con las medidas respectivas de las piezas de la suspensión de doble horquilla. Las bases donde se acoplará en las horquillas se encuentran situados en el subchasis prediseñado.

#### Figura 24

*Diseño preliminar de las bases de la suspensión en el chasis.*



*Nota.* soportes soldados en el chasis del vehículo, para el acople de las horquillas.

Una vez diseñado el soporte, se lo coloca en la estructura en la posición respectiva para el ensamblaje; con las respectivas modificaciones, queda situado en una posición que permita que la suspensión trabaje de la manera óptima para el vehículo.

Tomando en cuenta que todos los componentes de la suspensión se encuentren acoplados de tal manera con no se interpongan uno con el otro. Evitando el contacto y roce de los componentes, provocando el desgaste de las piezas.

El diseño 3D permitirá que las piezas se acoplen equilibradamente, en el subchasis, prediseñado, dando como resultado, una buena optimización de espacio, con

las respectivas consideraciones de la suspensión, tanto el giro de la llanta como el rociamiento de las horquillas.

**Figura 25**

*Boceto de las horquillas para la suspensión de doble horquilla.*



*Nota.* Diseño de la horquilla en el programa de diseño, de Auto CAD (inventor), este diseño es para las cuatro horquillas de la suspensión.

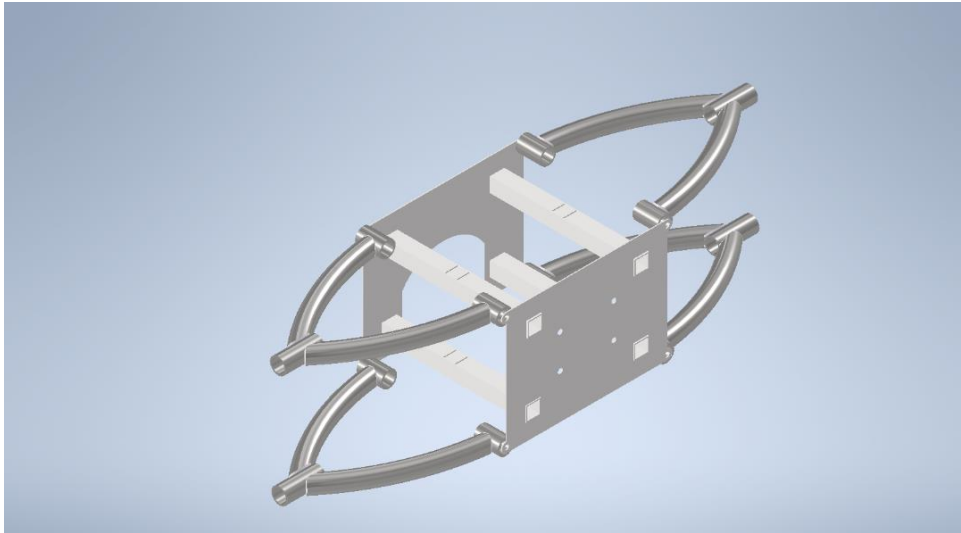
El diseño propuesto de la horquilla es para los dos lados, dos horquillas por lado, con la diferencia de la horquilla inferior de ambos casos, lleva una platina para usar de soporte para el amortiguador, que permitirá absorber los impactos.

Una vez que las horquillas están diseñadas, con las medidas especificadas, para la implementación en el chasis. Se procede al ensamblaje de las horquillas con los soportes previamente diseñados en el programa de diseño de Autodesk, Inventor.

**Figura 26**

*Ensamblaje parcial de las horquillas en el programa de diseño AutoCAD*

*(Inventor)*



*Nota.* Ensamble parcial de las horquillas en el soporte previamente diseñado para el chasis.

### **Diseño de amortiguador**

Para la aplicación de amortiguadores, se escogió un compacto. Debido a la simplicidad de montaje además de ocupar un espacio reducido, lo cual permite ampliar más en otros componentes tales como los frenos, además de permitir un ahorro, la reducción en el número de piezas es posible, debido a que un amortiguador de otras características requiera mayor espacio en el habitáculo de la rueda. Y en caso de mantenimiento simplifica el ensamble de las piezas al actuar como pivote en la parte superior del amortiguador (Mpherson), provocando fricción entre los componentes.

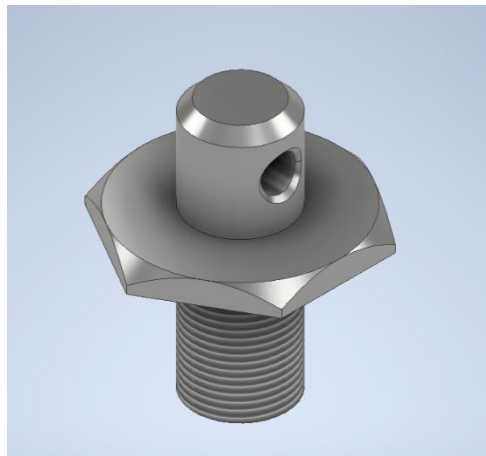
Para el diseño se lo realizó en tres partes: soporte superior, resorte y soporte inferior.

### **Soporte superior.**

Para la parte superior se diseñó la base en el cual terminara empernado a la base fija del chasis. Basándose en los amortiguadores, empleados en vehículos monoplaza los cuales vienen incorporado tango y amortiguador como el resorte.

**Figura 27**

*Soporte superior del amortiguador diseñado.*



*Nota.* Soporte diseñado a partir de un amortiguador Monoshock

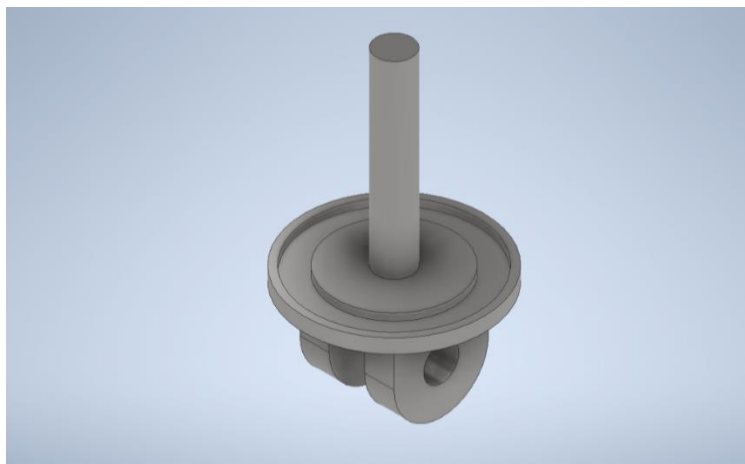
Este soporte permitirá que el resorte se encuentre fijo en la parte superior de la suspensión, evitando salir disparado por las fuerzas del resorte.

### **Soporte inferior**

El soporte inferior se diseñó con eje deslizante que nos servirá de guía para que el amortiguador no tenga juego axial, durante el deslizamiento. En parte estos tipos de amortiguador son de una pieza lo que actúan tanto en resorte como en amortiguación, lo cual permite reducir tamaño incrementando espacio en el habitáculo de las ruedas.

### **Figura 28**

*Soporte inferior del amortiguador diseñado.*



*Nota.* Soporte diseñado a partir de un amortiguador Monoshock

Las dos partes en conjunto no están conectadas directamente, sino que actúan como una pieza deslizante, que permite cambiar la altura de la llanta y regresarla a su posición inicial, distribuyendo la fuerza del impacto y reduciendo las vibraciones que presenta el camino, hacia el habitáculo.

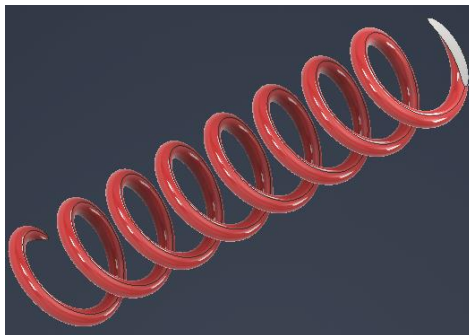
### **Resorte**

Este componente es el encargado de regresar a su altura original una vez que fuerza deja de aplicarse, este componente permite absorber las vibraciones del camino, y

también los regresa de igual fuerza a la dirección contraria a la aplicada, por lo cual ayuda a contrarrestar las vibraciones del camino, durante un trayecto recorrido. Este componente debe tener una rigidez determinada, para lograr soportar el peso del vehículo, esto se debe distribuir en las cuatro llantas por lo cual para ver la fuerza que se necesita en el resorte, deber ser más de la cuarta parte del vehículo, puesto que es solo el peso del vehículo, también se considera un determinado peso más las fuerzas que son aplicadas en la carretera, sin afectar el rendimiento y la vida útil del amortiguador.

### ***Figura 29***

*Resorte del amortiguador.*



*Nota.* Resorte diseñado en el programa de diseño inventor.

### **Ensamblaje del amortiguador.**

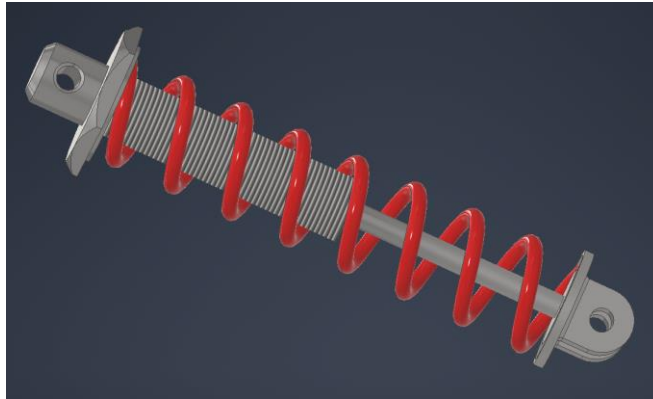
Una vez que las piezas están correctamente diseñadas, se les procede a ensamblar para el producto final, el amortiguador está compuesto por tres partes, previamente diseñadas, se ensambla para verificar diámetros y dimensiones de los amortiguadores con respecto a las horquillas que sea coherentes.

Una vez corregidos en las dimensiones de los componentes se los presentan una vez más para el ensamblaje final, lo cual se lo colocara en el modelado de la suspensión.



**Figura 30**

*Ensamblaje de los componentes de los amortiguadores.*



*Nota.* Ensamble final del amortiguador, ensamblado en el programa de diseño INVENTOR.

### **Modelado del centro de la rueda**

Para el modelado del centro de la rueda se lo tomó como base el centro de rueda de un Volkswagen Beetle del año 65 el cual con la adaptación de unas uniballs para que se acople a las horquillas.

**Figura 31**

*Foto referencial para el modelado 3D en inventor.*



*Nota.* Los centros de ruedas son de un Beatle 65

Una vez se toman las medidas correspondientes del centro de ruedas, se procede a modelar en el programa de diseño inventor. Esto con el fin de garantizar que las dimensiones se encuentren óptimas en el ensamblaje. A su vez se realiza su contra parte para el lado contrario.

**Figura 32**

*Modelado tridimensional el centro de ruedas.*



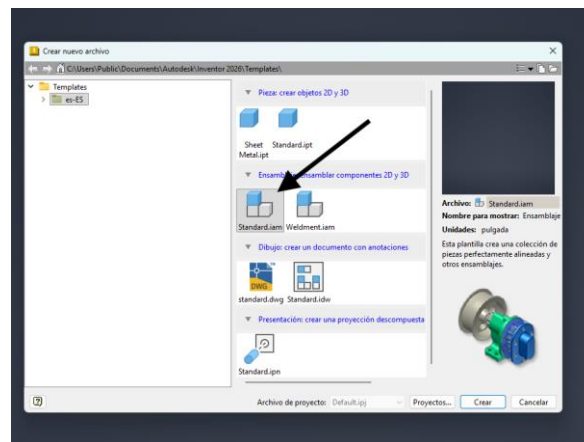
*Nota.* Se implementó procesos de medición y de diseñado en 3D para el modelado.

### Ensamblaje final de las horquillas con los centros de ruedas

Para el ensamblaje se debe tener ya diseñados tanto las horquillas como los centros de ruedas, por lo cual se crea una plantilla en Inventor con la función ensamblaje. Con las medidas que se implementaron al principio. Una vez seleccionado el formato a trabajar se procede a seleccionar los diferentes bocetos 3D, los cuales terminarán en un conjunto el cual permitirá ver una suspensión.

**Figura 33**

*Formato de ensamble en el programa inventor.*

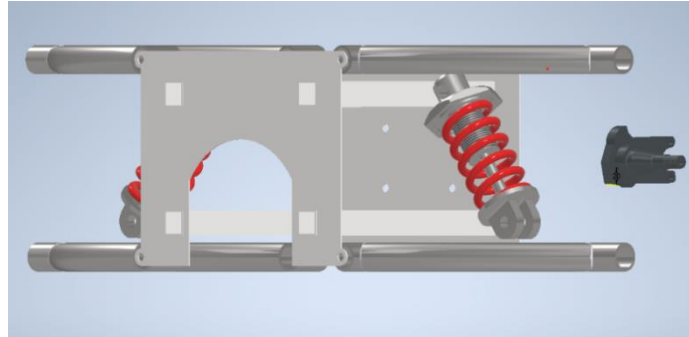


*Nota.* Se debe considerar el formato de trabajo para el ensamble de las piezas.

Para el ensamblaje se debe considerar que las piezas deben estar correctamente diseñadas. Las piezas son colocadas en el sistema de suspensión, para verificar las dimensiones con las cuales se trabajaron.

**Figura 34**

*Ensamblaje con los amortiguadores y horquillas en las bases.*



*Nota.* Se encuentran sobrepuestos para verificar medidas

### **Diseño de soportes de los amortiguadores**

Para el diseño de las bases de los amortiguadores, se prevvisualizo una base de un cuatrimoto en la cual dispone de una suspensión de doble horquilla. en el cual tiene los mismos principios, en la cuales la base inferior se encuentra situado en la horquilla, en la base superior se encuentra situada en el subchasis, lo cual permitirá situar el amortiguador entre las horquillas y sujeta en el subchasis de la suspensión.

**Figura 35**

*Base inferior para amortiguador situado en la horquilla inferior.*



*Nota.* Base de la mesa inferior del cuadron Ranger

Una vez tomado las medidas necesarias para el boceto y diseñado de las bases inferiores de los amortiguadores, se pasa al programa inventor para ser diseñado y mejorado al diseño original.

**Figura 36**

*Diseño de la base inferior del amortiguador*



*Nota.* Se tomó como referencia las bases de una suspensión de un cuadron .

**Figura 37**

*Diseño superior de la suspensión.*



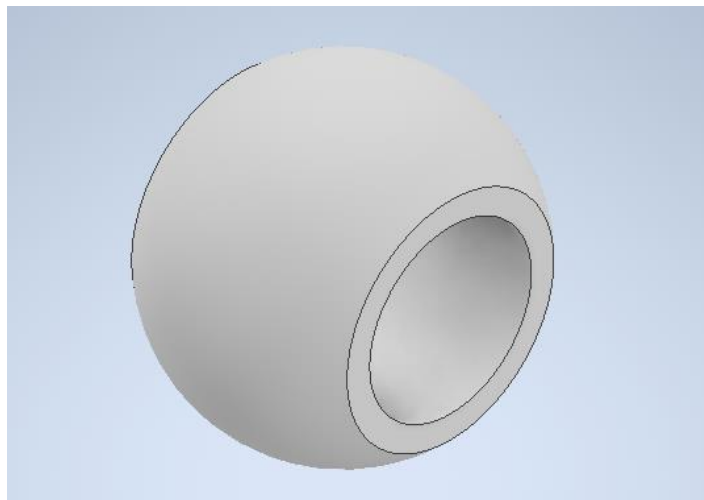
*Nota.* Se realiza diseño propio de la base superior para este caso.

### **Diseño de la Uniball**

Para el diseño de la uniball, se dio primero un modelado 3D de la parte interna del componente. Por lo cual en un principio es una esfera con un agujero por donde dará paso a un perno el cual permitirá conectar con la manzana de la rueda.

### **Figura 38**

*Diseño de la parte interna de la uniball.*

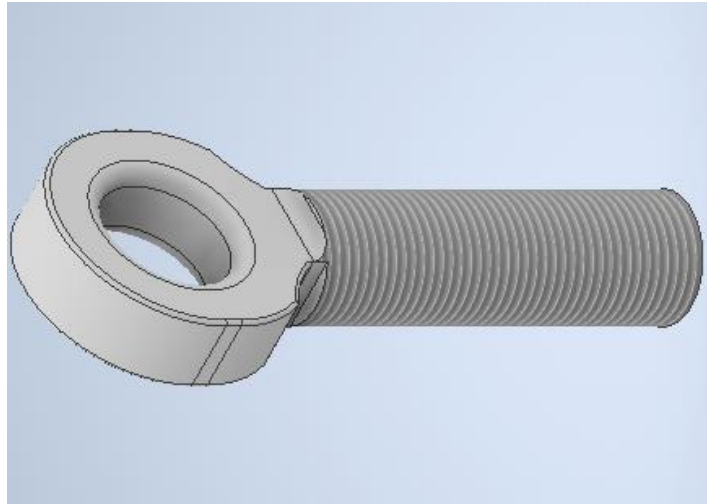


*Nota.* Para este diseño se debe considerar el agujero del medio con la medida del perno pasante.

Una vez realizado el cuerpo interno de la uniball, dio paso al cuerpo que sujetara la manzana con la horquilla y permitió tener articulación entre la rueda y el chasis. Teniendo en cuenta que la uniball ya presentaba unas dimensiones establecidas se procedió a manejar con las mismas especificaciones en el programa de diseño de Inventor.

**Figura 39**

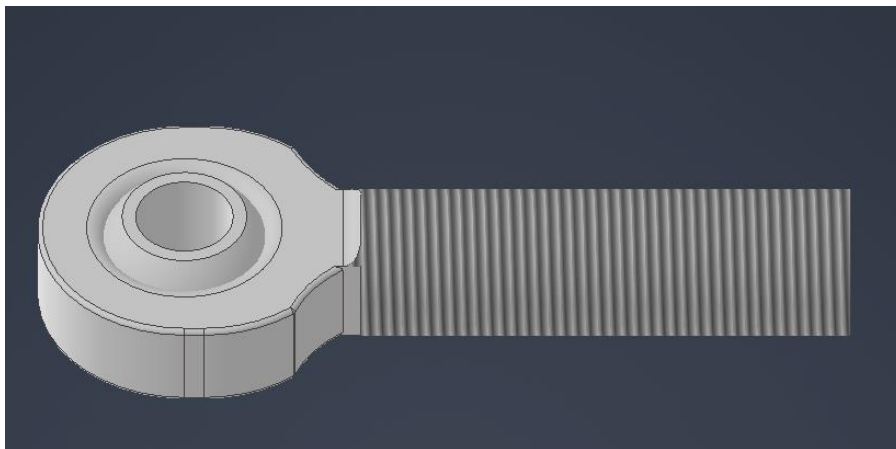
*Cuerpo de la uniball.*



*Nota.* Cuerpo vacío de la uniball más la rosca la cual viene de fabrica

**Figura 40**

*Ensamblaje de la uniball.*



*Nota.* En el ensamble presentó varios desafíos por ser un componente con una semi junta.

### Diseño de la cremallera de dirección

Se procedió a realizar el diseño de la cremallera la cual se tomó como boceto una cremallera mecánica, para ello se da a conocer las medidas por las cuales se dio base para el modelado 3D.

#### Figura 41

*Cremallera para implementar en el prototipo de la suspensión.*



*Nota.* Cremallera mecánica por facilidad de colocación por su falta de componentes.

La cremallera permite cambiar el ángulo de la dirección de las llantas, por lo cual es crucial que dicho componente se encuentra sujeto de manera que no influya de manera negativa al desempeño de la suspensión. Se midió las dimensiones de la cremallera a considerar para el prototipo, ya con las medidas se procedió a realizar un modelado 3D con las dimensiones de la cremallera para la suspensión.

Al ser un componente que de él se deriva varios componentes más, se implementó en el programa de diseño inventor el cual nos permitió realizar el respectivo ensamblaje. Para ello primero se modeló el cuerpo de la cremallera, para de ahí partir con el resto de las componentes de la cremallera.



**Figura 42**

*Modelado del cuerpo de la cremallera.*

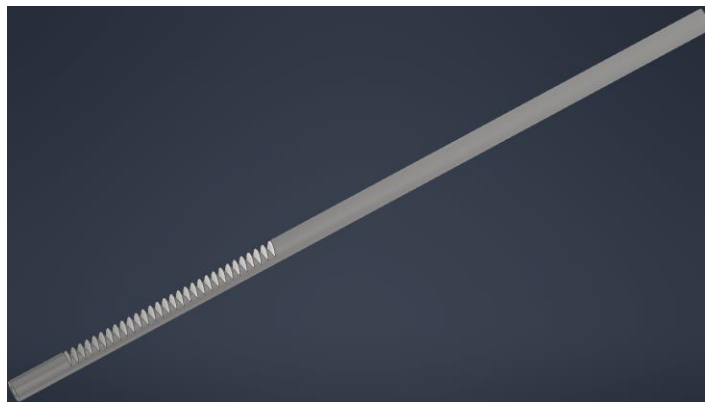


*Nota.* Diseño en inventor de la carcasa de la cremallera.

Una vez realizado el primero modelado se dio paso al siguiente modelado que fue indispensable, que es el eje dentado en el cual en sus extremos se encuentran acoplados las terminales que se conectan a las manzanas de las llantas. Para ello se dio primero el paso de medir las respectivas dimensiones de la carcasa para saber de qué diámetro se trabajó en el eje dentado para el cual se encuentra conectado a las terminales de dirección.

**Figura 43**

*Modelado del eje dentado de la cremallera.*



*Nota.* El eje dentado debe ser de un diámetro inferior al diámetro interno de la cremallera.

Los ejes terminales son la conexión entre el cuerpo y las manzanas donde se encuentran las llantas, las cuales se componen de una rosca tanto en la parte delantera como en la parte posterior para poder ser cambiado una vez que su vida útil termine.

#### Figura 44

*Modelado del eje terminal de la dirección.*



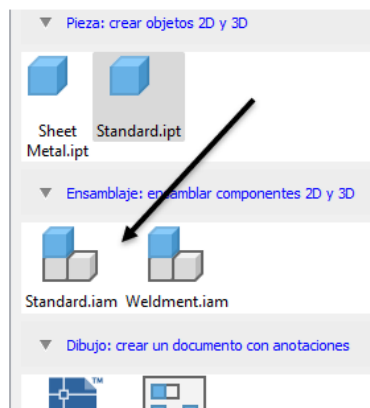
*Nota.* El modelado se compone de una extracción y varios cortes para la presentación.

#### Ensamblaje de la cremallera

Se dio paso al ensamblaje de la cremallera una vez que se terminó el modelado 3D de las piezas, por la cual se compone la cremallera. Para ello en el programa inventor nos brinda una opción q ayuda con el ensamblaje de las diferentes piezas diseñadas.

#### Figura 45

*Selección de formato para el ensamble de las piezas.*



*Nota.* Este formato permite ensamblar las piezas debido a que son diseñado bajo el mismo formato.

El ensamblaje se dio a cabo a través de la opción de inventor, teniendo como resultado el ensamblaje final de la cremallera con los componentes diseñados previamente. Esto con la finalidad de verificar dimensiones y corregir ciertas dimensiones que no hayan quedado simétricos con el resto del ensamblaje.

#### **Figura 46**

*Presentación de los componentes de la cremallera.*



*Nota.* Se da este paso para verificar dimensiones de los componentes.

Como se muestra en la Figura 42, se encuentran los componentes de la cremallera la cual será ensamblada. Durante el ensamblaje se vio la necesidad de rediseñar varias piezas por motivos de las dimensiones, debido a que, al trabajar en tolerancias pequeñas, el margen de error es alto, por lo cual es necesario de rediseñar las piezas para que cuadren de la mejor manera en el ensamblaje final de la cremallera.

Se da paso al ensamblaje teniendo como resultado la cremallera ensamblada, el cual se le coloco en la suspensión para ver posiciones y verificar que las posiciones se encuentren acordes con el prototipo real.

**Figura 47**

*Ensamblaje final de la cremallera.*



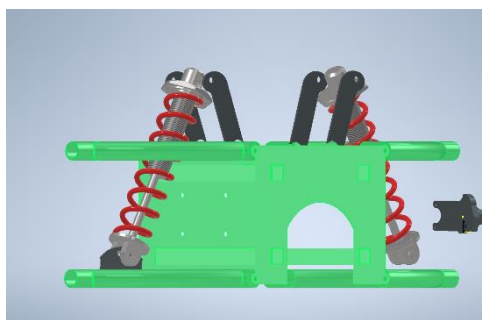
Nota. Al ser un modelado 3D se lo realiza de forma básica para la presentación con el sistema.

#### **Presentación de las bases de los amortiguadores en el ensamble.**

Una vez realizado las piezas correspondientes a la sujeción de los amortiguadores, se procedió a realizar el respectivo ensamble en la suspensión diseñada.

**Figura 48**

*Presentación de las bases en la suspensión.*



Nota. Se hace la respectiva presentación para verificar y realizar ajustes para la suspensión.

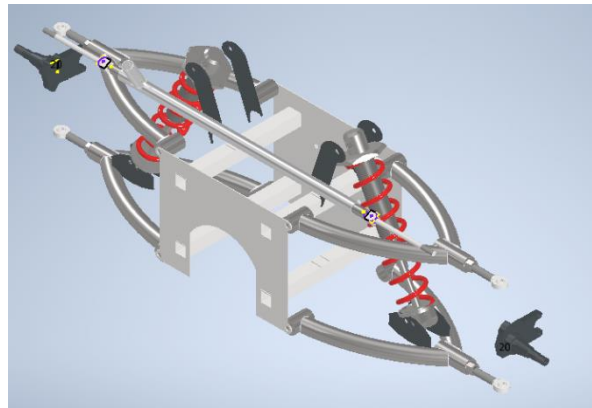
#### **Presentación completa de la suspensión con la cremallera**

La cremallera se presentó una vez que el resto de la suspensión cuadro, para ver la posición final y verificar que las dimensiones están acordes con el resto del sistema. Y

para verificar el largo de la cremallera, y que no interfiera con el resto de los componentes.

### **Figura 49**

*Presentación de la cremallera en el sistema.*



*Nota.* La cremallera nos permite verificar los puntos de apoyo de las terminales

## **Simulación de la suspensión el programa de simulación Altair**

### ***1. Simulación del Amortiguador resorte (Cuarto-Vehículo)***

Para la simulación del amortiguador se procedió a usar el software de Altair Inspire, para lo cual se necesita la instalación de un actuador que simule el desplazamiento del amortiguador a través de un terreno, dicha curva se genera con el uso de la IA chatgpt, donde se estableció el prompt:

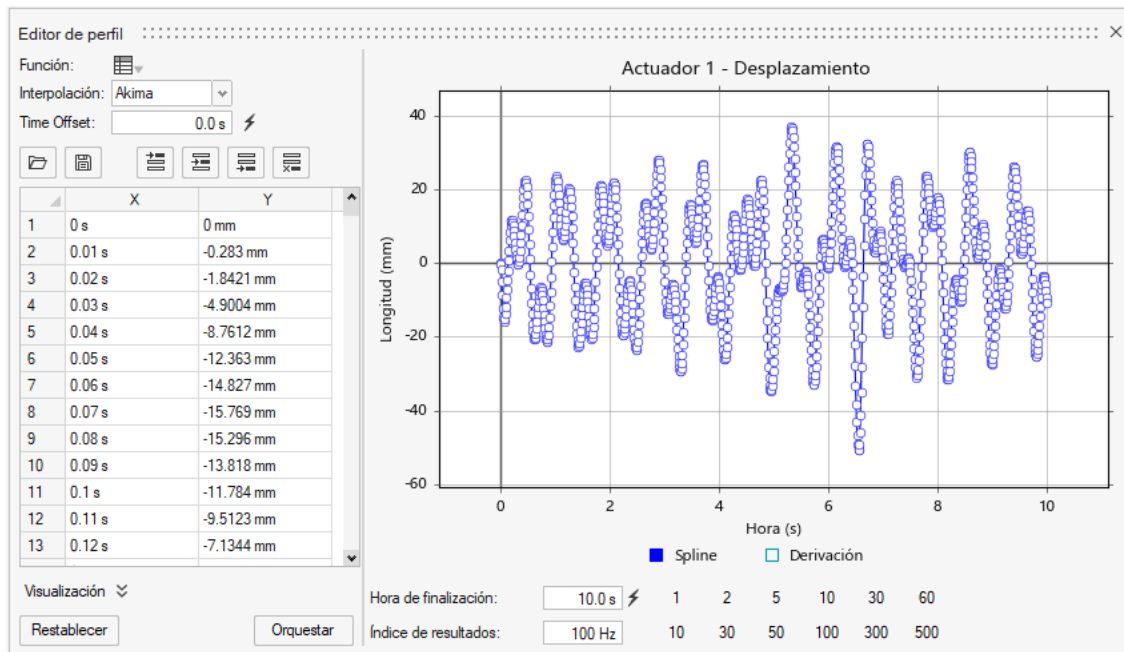
- a) Facilitar en una tabla de excel que simule el desplazamiento del amortiguador a través de un terreno donde en el eje x se tenga el tiempo en segundos, y en el eje y el desplazamiento en mm
- b) Modelo: cuarto-vehículo 2-DOF (masa suspendida y masa no suspendida).

- c) Parámetros:  $m_s = 250$  kg,  $m_u = 40$  kg,  $k = 60$  N/mm,  $C = 2$  N·s/mm, precarga de 556 N (estos parámetros fueron tomados según An-Nizhami et al., (2023))
- d) Perfil de carretera: combinación de sinusoides y varios baches gaussianos (amplitudes en 10 - 40 mm).
- e) Salidas en el Excel: time\_(s), desplazamiento\_(mm)
- f) Duración: 10 s, paso 0.01 s (100 Hz).

En la Figura 50, se puede apreciar la gráfica generada, donde se tienen periodos de fluctuación del desplazamiento, tanto positivos como negativos, representativos de una situación real de circulación por terrenos accidentados.

**Figura 50**

*Curva del actuador*

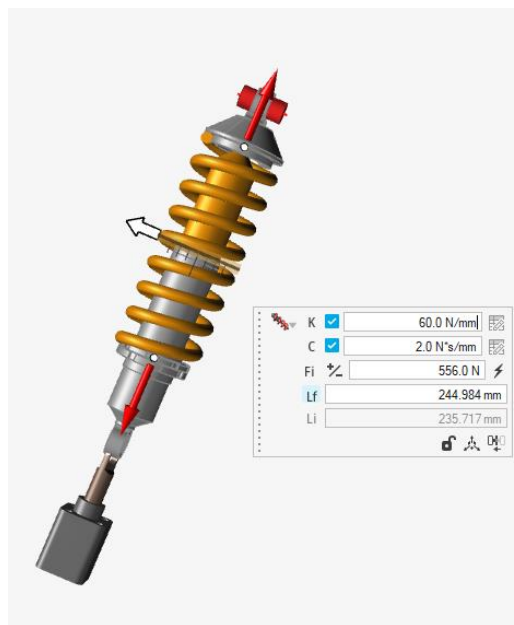


Nota. Curva del actuador mostrando el desplazamiento en función del tiempo.

En la figura 2 y 3, se muestra los parámetros y dimensiones par la simulación en el software.

**Figura 51**

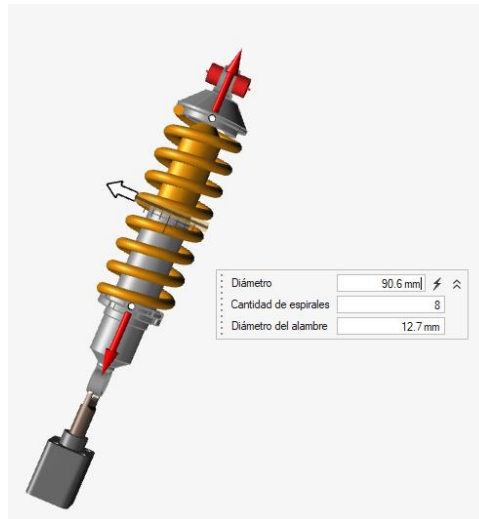
*Parámetros de Rigidez Lineal( $K$ ), amortiguación Lineal ( $C$ ), y Precarga ( $F_i$ )*



*Nota.* Parámetros en función del amortiguador configurados y establecidos en el programa de simulación.

**Figura 52**

*Dimensiones del resorte*



*Nota. Se le adecuo el resorte en el programa en función de las dimensiones del resorte del amortiguador físico.*

### **Uso del programa Vsusp**

Gracias al programa se logró presenciar cómo sería el comportamiento de la suspensión en ciertos parámetros de funcionamiento. Tanto los ángulos como en las diferentes alturas de la suspensión, con esto podemos ver donde hay puntos a mejorar, para el diseño de la suspensión, y verificar que todos los parámetros de funcionamiento de la suspensión este acorde con los parámetros que venía de fábrica.

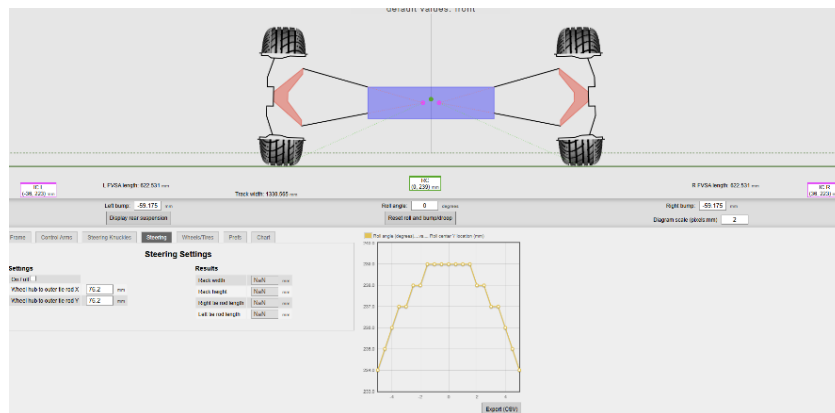
El programa por usar es Vsusp, el cual nos permite ver el comportamiento de la suspensión según las dimensiones que se les estableció. Con la finalidad de verificar que la suspensión propuesta sea la adecuada para la aplicación que se le implemento en el vehículo Volkswagen beetle.



Para ello es necesario de coloca todas las dimensiones de la suspensión propuesta en el programa y ver que los valores que arrojo sean adecuados para la implementación de la suspensión.

**Figura 53**

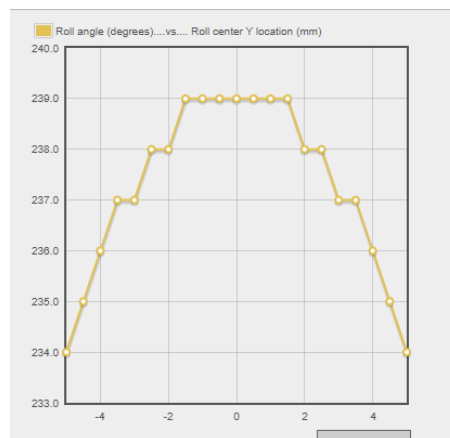
*Dimensionamiento de la suspensión propuesta en el programa Vsusp.*



*Nota.* El programa nos permite ver cuáles son los parámetros que maneja la suspensión.

**Figura 54**

*Grafico que representa el comportamiento del Roll center.*



*Nota.* Representación del comportamiento del roll center en función de los cambios de compresión o extensión.

Gracias a este sistema nos permitió ver cómo se comporta la suspensión dependiendo de los diferentes parámetros de funcionamiento, y verificar que el sistema sea el adecuado para esta aplicación.

Según el programa de simulación, nos muestra que el sistema de suspensión de doble horquilla delantero se encuentra equilibrado para la aplicación que se le dará; Además de contar con una buena simetría más los ángulos adecuados para la suspensión según las dimensiones del vehículo.

### **Fabricación de la suspensión propuesta**

Para la fabricación de la suspensión, primero se diseñó una plantilla de las horquillas con las medidas, para la creación de las horquillas. Con el fin de evitar que las medidas de cada horquilla se desfasen, con el molde predefinido, evitar que las medidas fluctúen en cada corte de los tubos. Se utilizó un tubo de acero inoxidable de  $\frac{1}{2}$  pulgada, con un espesor de 1 mm

### **Figura 55**

*Tipo de tubo para la fabricación de las horquillas.*



*Nota.* Se empleó un tubo de ancho de  $\frac{1}{2}$  pulgada con un espesor de 1 mm.

Para la fabricación de las horquillas. El modelado 3D de las horquillas se las implemento con el tipo de tubo que se va a trabajar para la fabricación, debido a la simulación.

### **Figura 56**

*presentación de tubos en el molde.*



*Nota.* Presentó la necesidad de un molde para la presentación de los tubos con el doble de estos.

Con el tubo ya definido, se cortaron los tubos a las medidas establecidas, para posteriormente ser doblados, a un ángulo de 45 grados. En este caso aplico para las cuatro horquillas las cuales son las que complementan a la suspensión de doble horquilla. Para su posterior colocación de las bases de los amortiguadores en las horquillas inferiores. Brindando así el apoyo hacia la suspensión con las bases ya instaladas.

**Figura 57**

*Dobles de los respectivos tubos en una dobladora, específica para los tubos.*



*Nota.* Fue necesario la implementación de una dobladora hidráulica para el doble de los tubos, debido a la precisión que esta presenta.

Se repitió el proceso de los dobles de los tubos para generar varias, con las que se ensamblarán posteriormente (en un molde prefabricado). Esto es para garantizar que las horquillas estén de forma similares sin ningún tipo de variación entre las 4 horquillas.

Una vez que los tubos están doblados de tal forma que se logre ensamblar las horquillas, se procede a realizarles la boca de pescado, para el encastre entre los tubos, brindando, una mayor superficie de contacto para la soldadura.

**Figura 58**

*Broca de corona, medida de 25 mm. Lo cual es el diámetro al cual se usa para la perforación del material.*



*Nota.* Broca de la marca MORSE, empleada para la perforación de la forma boca de pescado, para los tubos.

Con la broca boca de pescado se procedió a realizar las respectivas perforaciones. En las respectivas, partes de los tubos para ser presentadas con las partes formando así la horquilla. En este procedimiento se usó esta broca, con las medidas establecidas, debido a que el tubo es de ½ pulgada.

**Figura 59**

*Perforación de los tubos con la broca de corona.*



*Nota.* La perforación se hizo con el tubo a un ángulo de 45 grados. Con una presa para tubos, específica para tubos.

**Figura 60**

*Terminación de la perforación tipo biselado en el tubo.*



*Nota.* Esta terminación permite que tenga una mayor área de soldadura, permitiendo tener mayor resistencia.



Este procedimiento se repitió en todos los tubos para las horquillas. Lo cual permitió optimizar el trabajo de las brocas biseladas. En los cortes de los tubos, para la fijación de las horquillas, se tuvo un torneado correctivo el cual consistió en eliminar residuos de material que quedó tras ser cortado, evitando que no se encuentren a medida establecida.

### **Figura 61**

*Eliminación de material residual de las bases de las horquillas.*



*Nota.* Se hizo este proceso para eliminar los residuos no deseados de los tubos tras ser cortados.

Para la presentación de los tubos para el ensamble de las horquillas en el molde, posterior se procedió a realizar uno puntos de suelda, para verificar que las distancias concuerden entre sí. Se verificó que las medidas están en parámetros, para poder realizar la soldadura final de las horquillas, en la posición correspondiente.

**Figura 62**

*Fijación temporal de las horquillas.*



*Nota.* Se realizó unos puntos de suelda, para verificar la posición de las horquillas.

### **Torneado de bujes de las horquillas.**

Las horquillas necesitan de un elemento de fricción en el cual permite tener cierta flexión. Lo cual dicho elemento es al cual estará en constante fricción con las partes móviles de la suspensión, lo cual permitirá a su vez evitar que estén en contacto directo, la horquilla con la base de la suspensión, evitando de que se produzca un desgaste prematuro.

**Figura 63**

*Material implementado para el torneado de los bujes.*





*Nota.* El material para emplear para el torneado de los bujes es Duralon.

Para la creación de los bujes fue necesario de un torno, para tornear los bujes a la medida requerida para los bujes. Se hizo necesario de varias herramientas para el torneado. Cada buje fue torneado, con las medidas de los diámetros interiores de las horquillas, las cuales, se debe tener una precisión milimétrica. Se da 2 por base, 4 por horquilla, lo que da un total de 16 bujes por todo el sistema de suspensión,

#### **Figura 64**

*Proceso de torneado.*



*Nota.* El torneado permite crear piezas simétricas, de manera eficaz y uniforme por el tipo de funcionamiento que dispone. Lo cual nos permitió realizar los bujes que irán en las bases de las horquillas.

**Figura 65**

*Torneado final de los bujes.*



*Nota.* Está torneado con el diámetro interior del tubo en el cual se va a apoyar, para evitar vibraciones, Son dos por tubo, lo cual el total es de 24 bujes para la suspensión.

Corte a distancia requerida, para las bases de las mesas, lo cual se dejó a una medida de 60 cm totales, 30 cm de base de la horquilla al centro del chasis. Lo cual deja la distancia de la base de la horquilla a 4 cm de distancia.

**Figura 66**

*presentación de horquillas en el chasis.*



*Nota.* Se presenta una posición estimada según el plano 3D, donde se va a localizar la mesa de la suspensión.

La colocación de la horquilla es tal que nos permita ver la distancia necesaria para el corte de los tubos que serán los puntos de apoyo, para los brazos. Se realizará, las primeras cortes de los tubos, de 2 pulgadas de diámetro en la suspensión, para la obtención de bases de suspensión, se realiza a la presentación de las horquillas, los cuales serán de un estimado, para determinar la distancia aproximada de las bases para la suspensión; Permitiendo que se determine los puntos de apoyo.

En la unión de las horquillas con las manzanas es necesario de colocar, las uniballs. En este caso son unas rotulas, que permiten la unión, se encargan de cambiar la altura de la llanta, lo cual no afecte a los demás componentes de la suspensión

permitiendo modificar la altura de la llanta sin modificar el ángulo de inclinación de la llanta, El ángulo de la llanta es fundamental, puesto que cambia el comportamiento del vehículo, según la variación del ángulo de la llanta. Para ellos se torneo, unos bujes del mismo material que se usó para las bases de las horquillas, para la sujeción de las uniballs con las horquillas.

### **Figura 67**

*Uniballs para la unión entre la manzana y la horquilla.*



*Nota.* Se implementó la importación de las uniballs, para la adaptación de las horquillas, con las manzanas.

En las horquillas se implementa una tuerca soldada, para la sujeción de la rótula con la horquilla, más una tuerca, que permita, cambiar la distancia entre, la llanta con la horquilla.

**Figura 68**

*Propuesta para selección de amortiguadores para la suspensión.*

<i>Propuesta</i>	1. Manitou Swinger	3. Öhlins TTX25 Mkl	2. Quarter Midget Dyno
<i>Diseño</i>			
<i>Características</i>	<b>Longitud:</b> 290mm <b>Recorrido:</b> 63 mm <b>Peso:</b> 600	<b>Longitud:</b> 200mm <b>Recorrido:</b> 57 mm <b>Peso:</b> 448 g sin muelle <b>Cojinete esférico:</b> <b>ID:</b> 8mm <b>Ancho:</b> 8 mm <b>OD:</b> 15mm	<b>Longitud:</b> 270 mm <b>Recorrido:</b> 70 mm <b>Peso:</b> 480 g sin muelle <b>Cojinete esférico:</b> <b>ID:</b> 7.93 mm <b>Ancho:</b> 9.52 mm <b>OD:</b> 19mm

45

*Nota.* Se realizó un análisis de amortiguadores con las diferentes durezas para, ver cual se adapta mejor a la suspensión propuesta.

Para la selección de los amortiguadores según la dureza mínima que necesita, para que no se venza. EL carro debe pesar 80 kg. Lo cual cada amortiguador debe aguantar por lo mínimo 20 kg.

### **Fabricación de subchasis**

En la medición inicial, para verificar el chasis frontal de Volkswagen Beetle, y de eso partir con el modelado, se procedió a la fabricación de un subchasis donde se ensamblará toda la suspensión doble horquilla, para la cual se diseñó.

Se implementó tubo de 2 pulgadas y de 1 ½ pulgada, para armar. La medición más el proceso de corte del tubo de 2 pulgadas, mediante el uso de la herramienta de corte amoladora más el implemento de disco de corte.



**Figura 69**

*Proceso de corte de tubos de 2 pulgadas.*

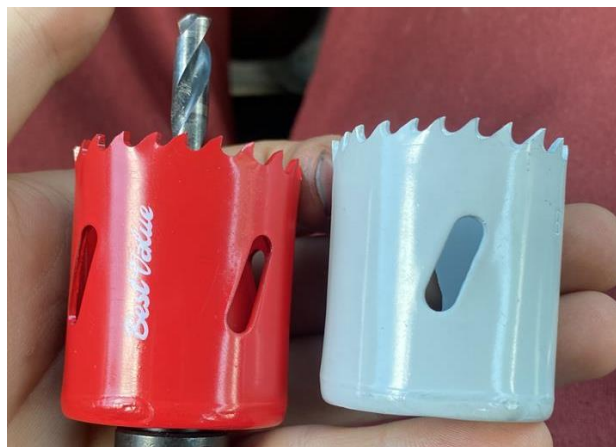


*Nota.* Se le dio la medida de 60 cm y una vez cortado el tubo se midió de filo 5 cm a centro, para ser perforado con unas brocas tipo copa de sierra, las cuales, a cierto diámetro, permite realizar perforaciones, para tubos de diferentes diámetros, dependiendo del tipo de uso a implementar.

Para ese caso se usó una broca tipo compa del diámetro del tubo para la perforación

**Figura 70**

*Brocas tipo copa para la perforación de tubos al diámetro deseado.*



*Nota.* Las brocas tipo sierra se las uso de dos marcas diferentes, una fue Bosch, la otra broca fue Best value, más la broca guía.

Con las brocas del diámetro necesario para la perforación, se procedió a implementarlos en un taladro de banco, el cual nos brinda mayor control al momento de manipular estos tipos de brocas, más el uso de la broca guía la cual permite que el material evite moverse. Una vez perforado en los puntos designados, se presentan los tubos para ver que se encuentre alineados uno a otro, para poder realizar el proceso de soldadura.

### **Figura 71**

*Presentación de los tubos en los lugares designados.*



*Nota.* Presentación de tubos de 1 ½ a 2 pulgada para el ensamble de las bases de la suspensión. El proceso se realizó 2 veces para el ensamble de las bases de la suspensión en las cuales irán apoyadas en el chasis del Volkswagen Beetle.

El diseño de las bases donde se apoyarán las horquillas y los amortiguadores, se las realizo el corte en maquina laser lo cual facilita el proceso de mecanizado y aumenta la precisión de las piezas, las cuales se implementarán en el subchasis para brindar una conexión en la cual tanto horquillas como amortiguadores, se acoplen sin ningún inconveniente.

### **Aplicación de cargas de prueba para evaluar desplazamientos máximos**

Con las fuerzas configuradas, se procede a realizar las respectivas simulaciones para evaluar los componentes y su desplazamiento. Para lograr verificar que el diseño cumple con las especificaciones de los límites de deformación que se encuentran definidos en las especificaciones. Por ejemplo, los desplazamientos máximos permitidos para las horquillas podrían ser inferiores a 5 mm bajo carga máxima, garantizando la integridad estructural y la funcionalidad del sistema.

### **Creación de una función modal para el análisis de frecuencias**

Se realiza el análisis modal de la suspensión para lograr determinar la frecuencia natural de toda la suspensión con respecto a la frecuencia natural, según los requisitos del diseño propuesto, se define una frecuencia objetivo de 12 Hz, esto debe de acoplarse correctamente con el resto del sistema de la suspensión de alto rendimiento, Este tipo de análisis considera tanto a la rigidez del sistema y a la masa de cada componente del sistema de suspensión, para que se evalué el sistema se encuentre libre de resonancias dentro del rango de frecuencias en las que se encuentra operando. Este procedimiento asegura un análisis robusto y detallado, fundamental para garantizar el rendimiento y la seguridad de la suspensión diseñada.

Para evaluar la respuesta dinámica de la suspensión, se procedió a implementar el software Simsolid, el cual permite realizar estudios modales sin requerir una malla convencional, lo cual optimiza y disminuye el tiempo de simulación.

### **Configuración del Análisis**

El análisis modal se configuró bajo las siguientes condiciones:



- Material: Acero inoxidable 304
- Grados de libertad: Se consideró un comportamiento tridimensional sin restricciones adicionales
- Número de modos evaluados: 16
- Frecuencia mínima analizada: 146.7 Hz
- Frecuencia máxima analizada: 1154.63 Hz

### **Fabricación de Soportes de Sujeción de las Mesas al Subchasis**

Los soportes de sujeción se tratan de elementos fundamentales que unen las mesas de suspensión al subchasis, brindando una estabilidad estructural y distribuyendo las cargas en uniforme. El tipo de acero inoxidable de 2 mm se escoge debido a su alta resistencia mecánica y bajo grado de corrosión a la hora de su fabricación. Los procesos de corte laser son los encargados de cortar el material a la medida necesaria, esto garantiza un borde limpio y dimensiones fiel al planteado originalmente. Los soportes están diseñados con base en puntos de carga previamente definidos en el subchasis. Todos estos puntos deben ser iguales de posición que los posibles de las horquillas de manera que el armado no lo requiera de tensiones.

Luego la carga se mide en función de los soportes para asegurar su capacidad de resistencia a las fuerzas dinámicas en la conducción, que se generan con la función del chasis sobre esta. Su montaje en el chasis se realiza mediante MIG, o internamente si es que el chasis así decide diseñar mediante fijaciones mecánicas. La adecuada fabricación e instalación sujeta a los mismos asegura la alineación precisa de la suspensión, reduciendo igualmente el desgaste y el comportamiento dinámico.

Una vez terminada esta configuración se pasó al apartado de comienzo de mallado, en este caso denominado volumen donde se configuraron los siguientes parámetros.

**Figura 72**

*Soportes de subchasis para los brazos.*



*Nota.* Soldado de los soportes de las horquillas en los tubos de dos pulgadas para el subchasis

### **Ensamblaje y Ajuste de Medidas del Subchasis y Sistema de Suspensión**

El ensamblaje y ajuste del sistema de suspensión al subchasis representa el paso final en el proceso de fabricación del vehículo, donde cada uno de los componentes diseñados y fabricados se integra con precisión en el vehículo para asegurar la función del resto del sistema desarrollado. Dicho lo anterior, el procedimiento se inicia con la verificación de que el subchasis está completamente nivelado y verificándose todas las medidas previamente establecidas en el origen mediante en molino medidos altamente preciso como calibradores, niveles láser y escuadras metálicas.

Primero tanto las mesas de suspensión son ensambladas a sus puntos de fijación sobre el subchasis con base en los soportes que se trajeron de fabricación. Seguida de unir con pernos de alta resistencia las rótulas Uniball dentro de las horquillas. Después deben

ir los bujes de poliuretano sobre las conexiones con el fin de soportar las vibraciones y dar una combinación fluida de las horquillas, en todas las medidas se les ajusta ajustándolos a sus especificaciones y mensurándolos para asegurar que sus tolerancias tengan garantizada su ubicación en rango especificado.

Pruebas de desplazamiento angular y vertical son realizadas para asegurar que estos componentes no se pueden mover que no roce ni se intente estirar los componentes. Además de verificarse los puntos de articulación para que los movimientos se den muy suave de forma eficiente. Por último, se ajustan las medidas de alineación del sistema, para que las ruedas no cambien su ángulo o posición y las mantiene estable y en su máxima capacidad de funcionamiento para la conducción de forma real. Finalmente se realiza la verificación para asegurar el cumplimiento de funciones y carga especificada en sus objetivos.

### **Figura 73**

*Lectura de las dimensiones de las manzanas.*



*Nota.* Se hicieron mediciones de las manzanas para su respectivo diseño tridimensional en el programa inventor.

### Ensamble de las piezas en la suspensión

Una vez adquiridos las piezas necesarias se procede a el ensamblaje en el chasis lo cual permitirá verificar que los diferentes componentes se acoplen de la mejor manera en la subchasis. Se presenta los diferentes componentes previa mente fabricados, los cuales nos permitirá anclar los amortiguadores tanto en las bases superiores como en las bases inferiores. Para las bases superiores se procese a buscar el centro de las bases superiores de las horquillas.

**Figura 74**

*Colocación de las bases superiores de los amortiguadores.*



*Nota.* Se da uso del amortiguador para verificar las dimensiones de las piezas.

Una vez posicionado las piezas, se procede medir las horquillas para cortar el tubo que se lo colocara de forma transversal al amortiguador para colocar las bases inferiores.

**Figura 75**

*Medición de las horquillas para los tubos transversales.*



*Nota.* Se mide y se deja un espacio de 2 mm para lograr penetrar con la soldadura.

Una vez que se saca las mediciones se procede a medir en un tubo de 1 pulgada, y se realiza el corte respectivo en una ingletadora, además de rebajarles en los extremos de forma del tubo de la horquilla, para tener mayor superficie de soldadura. Se presenta el tubo para verificar que la longitud sea la adecuada y se procede a marcar donde se realizara un corete en los extremos.

**Figura 76**

*presentación del tubo en la horquilla.*



*Nota.* Se recomienda tomar en cuenta la forma de la horquilla para facilitar el corte del tubo y que garantice una buena superficie de contacto para la soldadura.



Una vez realizado las respectivas mediciones y cortes pertinentes, para las bases de los amortiguadores, se realiza la presentación tanto de los tubos previamente cortados como las piezas previamente cortadas en laser, para verificar las posiciones sean las correctas. Una vez cerciorado que las piezas se acoplen correctamente se procede a puntear para sujetar y corregir en caso de ser necesario.

Corregido las medidas se procede a soldar los tubos, en este caso a ser una suspensión, es necesario de soldar las dos horquillas que se encuentran en la parte inferior de la suspensión. Dando como resultado dos horquillas con bases para amortiguadores las cuales estará sujetas a cargas.

### **Figura 77**

*Bases de los amortiguadores colocadas en las horquillas inferiores.*



*Nota.* Verificar que las medidas de las horquillas sean la mismas para facilitar el proceso de soldadura.

### **Montaje de las horquillas con los amortiguadores.**

Una vez puesto las bases inferiores de los amortiguadores se procede a la presentación de los amortiguadores verificando que las dimensiones de la suspensión no comprometan con el resto de las componentes del vehículo. Esto para garantizar que tanto la carrocería como los otros componentes tales como el tanque de combustible, no se vean obstaculizados por el sistema de suspensión.

#### **Figura 78**

*presentación de amortiguadores en el sistema.*



*Nota.* Se coloca los amortiguadores para verificar que el sistema soporte la carga de estos. Y en caso de ser necesario colocar soportes adicionales, para garantizar el buen funcionamiento.

### **Presentación de una cremallera de dirección para la suspensión.**

La horquilla forma parte del sistema de suspensión el cual permite redireccionar las llantas delanteras en este caso en específico, Como toda suspensión delantera es necesario de un sistema que permita redireccionar las llantas para que el vehículo pueda ser conducido de manera óptima y precisa. La ubicación de la cremallera será de acuerdo

con la dirección de giro de la cremallera para que dirección, es importante debido a que el giro de la cremallera es de vital importancia, este se deba a que dependiendo del giro.

La cremallera convierte el movimiento de rotación en movimiento lineal, permite cambiar el ángulo de la rueda. Además de que las terminales de dirección esta sujetas a través de una rosca lo cual nos ayuda a modificar el ángulo de la rueda respecto a la dirección que se tomara en cuenta.

### **Figura 79**

*Cremallera de dirección situada provisionalmente.*



*Nota.* Presentación de cremallera para posición de ruedas.

### **Presentación y adaptación de cremallera de dirección**

Como toda suspensión debe de tener un sistema que le permita redirigir las llantas a diferentes direcciones para logra manipular la trayectoria. Para ello la cremallera es un componente el cual su función permita cambiar el ángulo de las ruedas, para ajustarse a al camino y permite desplazar al vehículo permitiendo cambiar las trayectorias. La cremallera, está situada en la parte posterior de la suspensión, consta de dos partes, el cuerpo donde se encuentra un mecanismo de engranaje sin fin más un eje dentado, la



segunda parte consta de dos terminales las cuales se ubican en los extremos y se encuentran acoplados a las manzanas de las llantas, dando paso al cambio de ángulo en la direccione de las llantas.

### **Figura 80**

*presentación de cremallera y medición de soportes de la cremallera.*



*Nota.* Presentación de la cremallera para medir los soportes y las bases pertinentes

Se presenta la cremallera, para verificar que los no se interponga con las diferentes componentes restantes, tales como la bomba de freno y la carrocería, debido a que se maneja varios componentes que estarán trabajando cerca entre sí, lo cual es necesario optimizar el espacio para su correcto funcionamiento.

La cremallera debe ser centrada con el chasis para garantizar que la conducción del vehículo sea la adecuada sin comprometer tano la conducción como la seguridad de los ocupantes, esta cremallera, para la cremallera se debe considerar la posición de acuerdo con el sentido de giro de esta puesto que con una mala instalación tenga un mal

funcionamiento de la dirección, tienen como posible consecuencia que las llantas giren en sentido contrario a la del volante.

Para ello la cremallera se lo instalo en la parte trasera de la suspensión entre el tanque de combustible y el cortafuego de la carrocería. Con las adaptaciones adecuadas y las instalaciones pertinentes, la cremallera que instalada y funcional.

Se mide en el chasis para sacar el punto medio de la misma para colocar la cremallera. En este punto tanto la cremallera como el chasis deben estar alineados para garantizar que la distancia entre las llantas sean las mismas.

Se fabrican unos soportes que sueldan en el filo donde se acoplara el cortafuego de la carrocería, debajo del tanque de combustible. Cerciorando que los componentes no se interpongan entre ellos.

**Figura 81**

*Colocación de soportes para la cremallera.*



*Nota.* Se usó un espesor de 5 mm para los soportes para asegurar un buen soporte.

Boceto Frontal y Trasero: Se hicieron lo mismo para las vistas frontal y trasera en los planos YZ y XZ respectivamente para así generar una extrusión y Factorización de sólidos.

Ajustes Finos: Se hizo una serie de ajustes finos en los bocetos para garantizar, de este modo, que todas las curvas y líneas se alineen exactamente a las visionadas de calca.

### **Construcción del Modelo 3D**

*Extrusión de Superficies:* Con la herramienta de extrusal para se crearon superficies fundamentales a partir de los bocetos 2D. Sacando las piezas laterales, frontales y posteriores a modo de base de la carrocería.

*Análisis de Superficies:* Como cierre se proveyó un análisis visual de superficies para buscar y corregir cualquier irregular en el modelo, es decir se achaflanaron los bordes que vayan fuera de la geometría, se suprimieron los vértices abiertos, para ajustar finalmente las dimensiones.

*Ajuste de Proporciones:* Se realizó el contraste del modelo 3D con cada una de las imágenes de referencia tomadas en las figuras 18, 19, 20, etc. Para corregir cualquier desacuerdo en las proporciones teniendo una fidelidad óptima del modelo y simularlo de la manera más acertada posible.

### **Preparación para Simulación**

Se exportó el modelo para simulaciones CFD, en este punto se guarda el modelo en archivo tipo STEP para así poder abrirlo. El programa de simulación para que así se lograr una maleabilidad y edición más precisa del diseño que se realizó anteriormente y así tener la seguridad que los modelos fueran completamente editables y demostrables.

### **Medición de los parámetros de la suspensión propuesta**

Para la medición de los parámetros de la suspensión propuesta, es principalmente verificar que todos los componentes trabajen en conjunto desarrollando un desempeño alto en el banco de suspensión, en el cual se medirán varios factores para corroborar que las frecuencias sean mejores que las iniciales con la suspensión original.

Como se sabe las cada suspensión tienen sus fortalezas en ciertos aspectos que otras suspensiones, lo cual la suspensión de barra de torsión una de sus cualidades es la escasez de componentes, lo cual le hace versátil y compacto para que los vehículo puedan ahorrar peso lo cual para el consumo es esencial el peso del vehículo, en cambio la contra es el desgaste que presenta en las barras de torsión, debido a que éstas conectan las dos

llantas y permiten que regresen a sus estado original una vez quitado la fuerza, con el paso del tiempo el material de las barras de torsión tiende a fatigarse, lo cual lo hace perder rendimiento, con el mantenimiento adecuado puede prolongar la vida útil de los componentes, en cambio la suspensión de doble horquilla al disponer de resorte helicoidales, permite que los brazos de sujeción a las llantas tengan el propósito de sostener mas no el de amortiguar como tal las irregularidades del camino. En comparación con la suspensión de barra de torsión. Que ese actúa tanto brazo de sujeción como implemento de amortiguación. Lo cual la suspensión de doble horquilla la deriva en dos componentes.

### **Comparación de datos obtenidos del funcionamiento de la suspensión propuesta.**

Las dos suspensiones tienen el mismo principio, de amortiguar y minimizar parte de las vibraciones del camino hacia la cabina, con la diferencia de cómo son sus estructuras, uno carece de componentes lo cual lo hace versátil para vehículo pequeños y compactos, esto hace que el peso del vehículo se menor y se enfoque en mejorar otros aspectos del vehículo. Por otro lado, la suspensión de doble horquilla mejora el desempeño del vehículo considerablemente, debido a que están únicamente conectadas entre sí por una barra de torsión, lo cual limita el recorrido de las llantas entre si respectivamente.

La suspensión de doble horquilla permite que un neumático este a diferentes alturas sin comprometer la geometría de la suspensión opuesta, lo cual deja ayuda a que la llanta se permita asentarse correctamente en la superficie, en comparación con la de barra de torsión, debido a su escasez de componentes. Al momento en que una rueda se

encuentra a diferente altura, el ángulo de lateral de la llanta varia, más o menos según la altura en la que se encuentra.

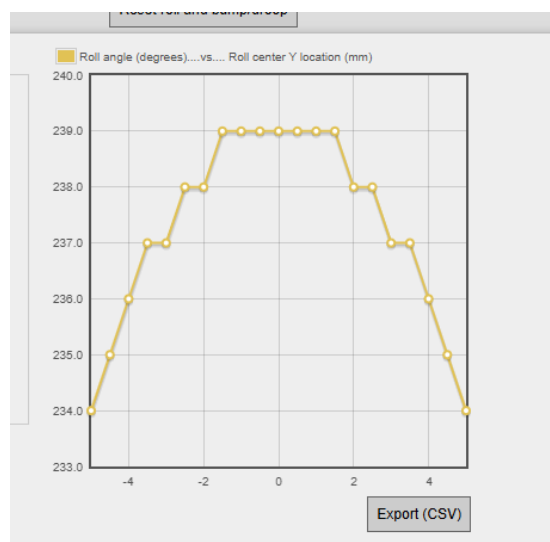
## Resultados

### Implementación del sistema Vsusp para la suspensión

El programa Vsusp nos permite colocar las dimensiones de las suspensiones además de escoger el tipo de suspensión a implementar, el cual en este caso sería de una suspensión de doble horquilla. En el diagrama generado por el programa Vsusp, nos arroja un gráfico el cual representa el comportamiento de la suspensión propuesta una vez que la terminamos de colocar las dimensiones propuestas, nos arroja un gráfico en el cual podemos visualizar que la suspensión es apta para el vehículo propuesto debido a que muestra un buen comportamiento de las horquillas las cuales son las conectan las ruedas con el chasis. La Figura 86 muestra el estado inicial de la suspensión.

**Figura 82**

*Grafica del programa Vsusp*

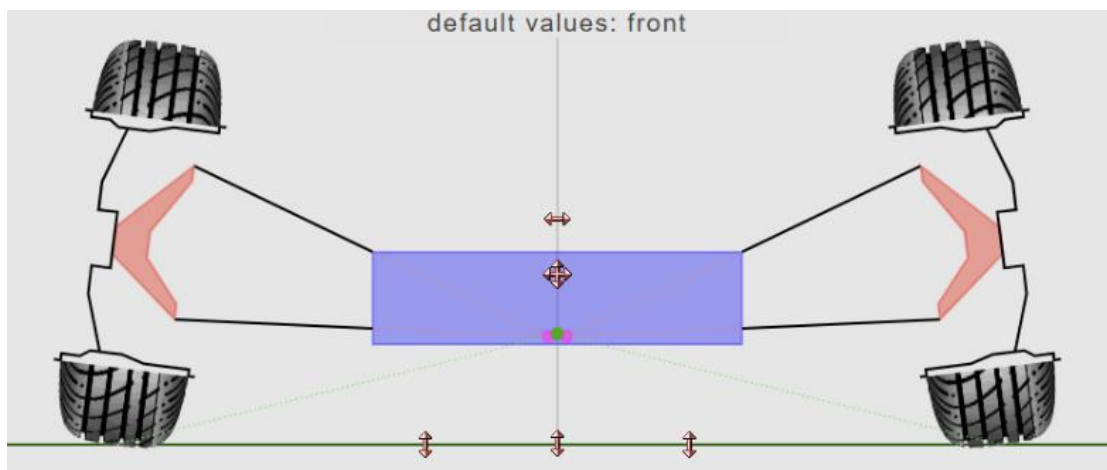


*Nota.* Es gráfico muestra el comportamiento del roll center en función de los cambios de compresión o extensión

Para la prueba se muestra en diferentes condiciones de manejo en el cual las ruedas se mostrarán en diferentes alturas de las ruedas. El programa de simulación online Vsups mostró varias alturas de las ruedas, en este caso las ruedas del tren delantero. En el primer caso se modela de la suspensión en compresión mostrando un cambio en la gráfica con relación a la gráfica del sistema en reposo.

**Figura 83**

*Gráfica de la suspensión en compresión.*



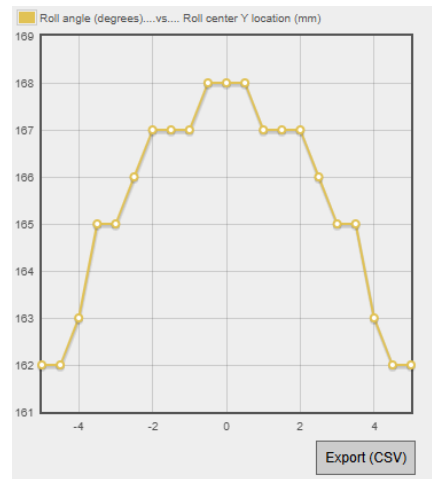
*Nota.* En el grafico se muestra el sistema en estado de compresión.

La grafica resultante muestra un comportamiento diferente a la de la gráfica inicial en el cual nos mostró cómo cambia mostrando la deformación que tiene.



**Figura 84**

*Grafica del comportamiento de la suspensión.*

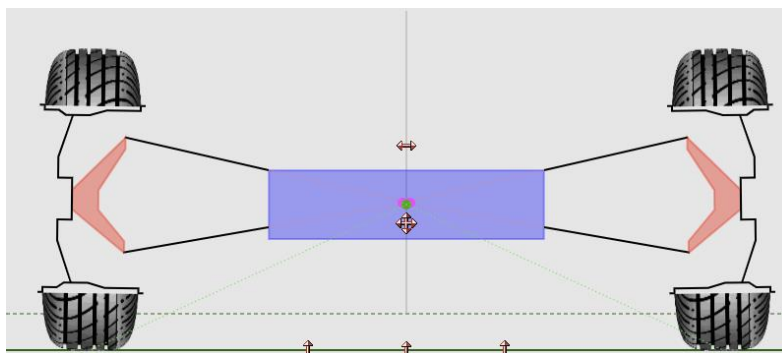


*Nota.* La gráfica resultante de la suspensión en estado de compresión.

Para la siguiente prueba se muestra la suspensión en estado de tracción el cual consiste en variar la altura de la base donde se sujetan las horquillas lo cual simularía el estado que tiene al momento de que el vehículo sobrepasa un desnivel, variando la altura de la llanta con respecto a la de la carrocería.

**Figura 85**

*Grafica de la suspensión en estado de tracción.*



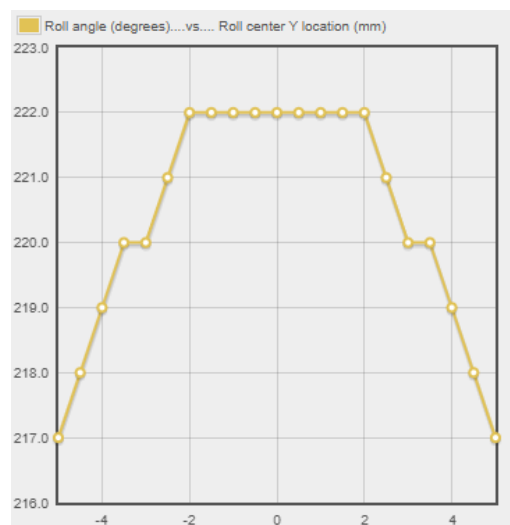
*Nota.* El gráfico de la suspensión se muestra el sistema en estado de tracción lo cual muestra la variación de las bases.

La gráfica resultante muestra el comportamiento de la suspensión en estado de tracción, donde la variación de altura se muestra reflejada en el gráfico resultante, esto en comparado con la gráfica inicial muestra un claro cambio.

Para diferentes condiciones del camino esto muestra como la suspensión se comporta y las gráficas que arroja permita ver si las dimensiones propuestas son las adecuadas para el trabajo. Se puede jugar con todos los parámetros para garantizar que la construcción de este sistema de suspensión es la acorde para la aplicación realizada.

**Figura 86**

*Grafica resultante de la suspensión.*

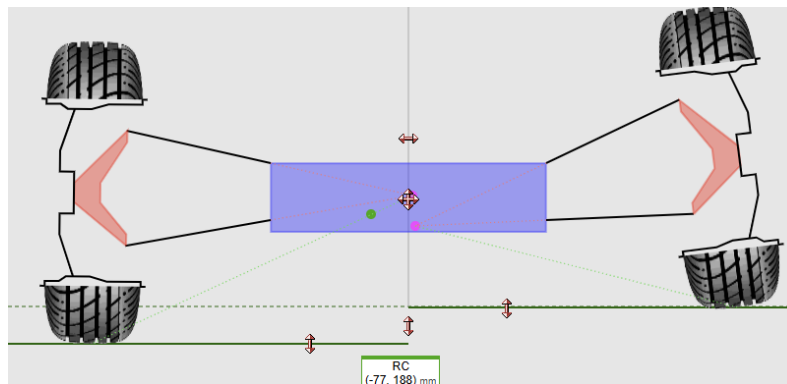


*Nota.* La gráfica resultante muestra el estado de tracción graficada en la tabla.

Se modifica la altura de una llanta para ver el comportamiento del sistema de suspensión, teniendo en cuenta que en las pruebas se da con las dimensiones estandarizada en el modelado CAD.

**Figura 87**

*Grafica de la suspensión con una rueda a una altura diferente con respecto a la otra, lado derecho.*

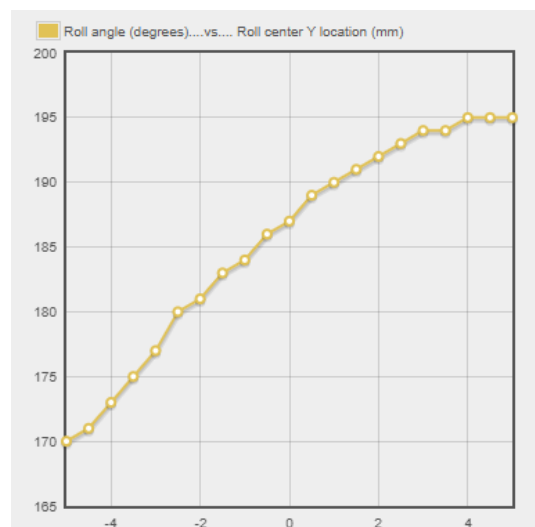


*Nota.* La gráfica de lado derecho simétrica con el lado izquierdo.

En la gráfica se muestra el mismo gráfico, pero en el sentido contrario. Al de lado contrario. Se muestra el comportamiento de la suspensión de lado izquierdo. Lo cual debe ser un gráfico coherente con el de lado derecho.

**Figura 88**

*Grafica resultante de la suspensión alzada lado izquierdo.*

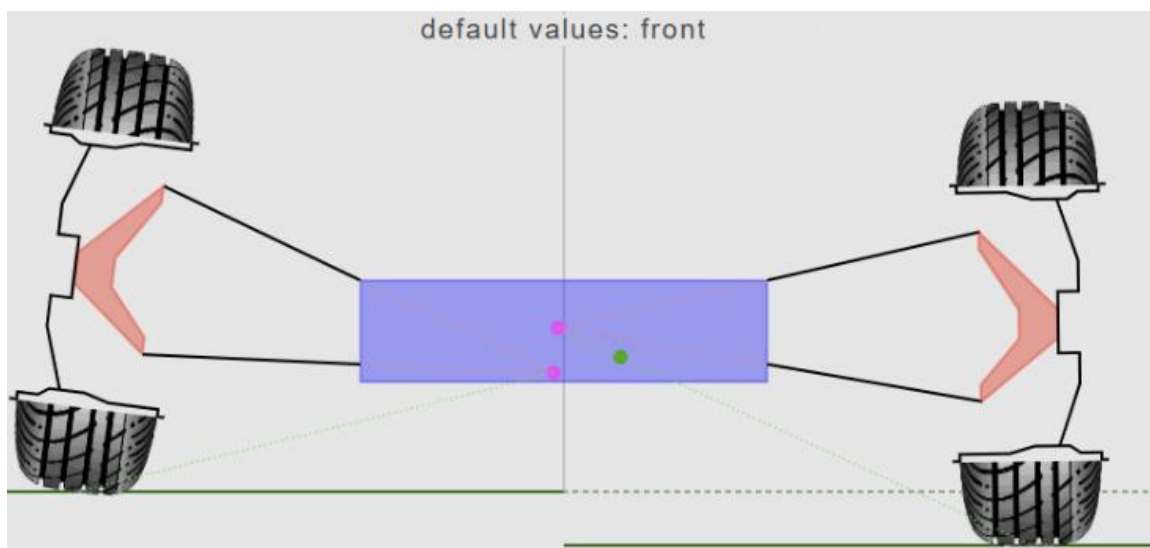


*Nota.* El comportamiento se muestra en la gráfica de la suspensión con la inclinación dada.

De ahí el lado izquierdo se muestra de la misma forma, pero de lado contrario, para ello la gráfica se muestra un resultado de la suspensión en diferente altura en la que trabaja una suspensión. Dado que esto permite movilizarse por caminos irregulares, y estas graficas muestra cómo se da el comportamiento del carro en las diferentes condiciones del camino.

### **Figura 89**

*Diagrama de la suspensión con el lado izquierdo levantado.*

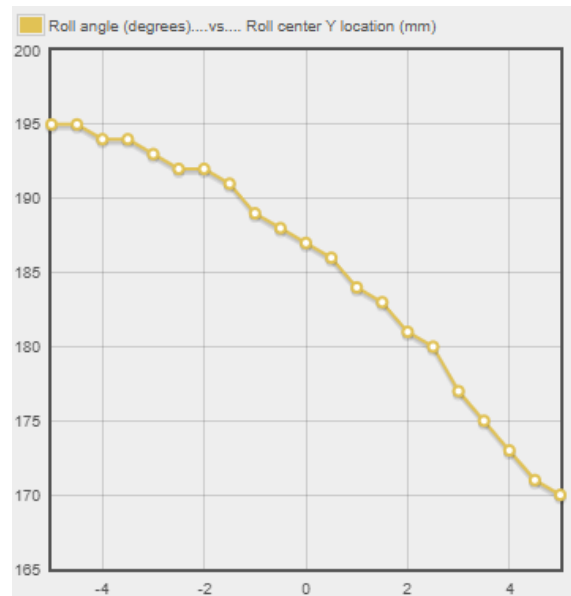


*Nota.* Se muestra el comportamiento de la suspensión con las gráficas.

En la gráfica muestra el comportamiento que tiene la suspensión cuando varía la altura de la suspensión a un desnivel. Y muestra en la gráfica el comportamiento de la suspensión demostrado en una tabla.

**Figura 90**

*Grafica resultante del comportamiento de la suspensión de lado izquierdo.*



Nota. EL comportamiento de la suspensión cuando cambia la altura de la suspensión.

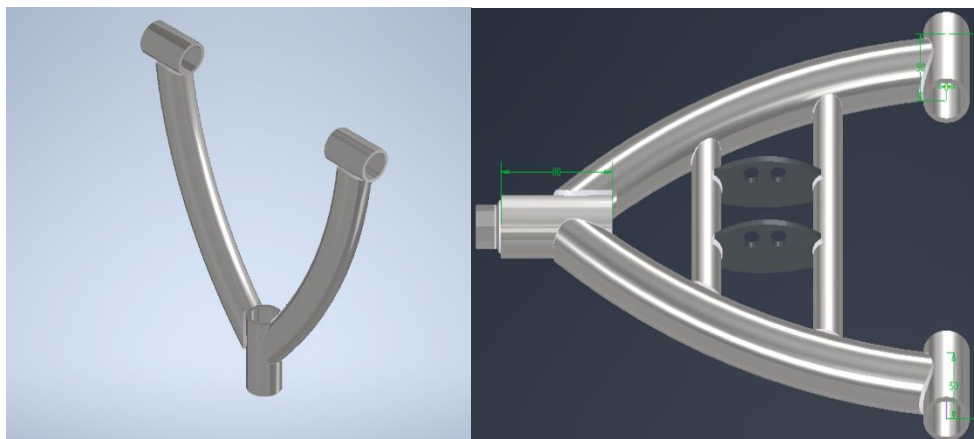
Para ello tanto las gráficas donde la suspensión se encuentra en reposo y donde la suspensión muestra una irregularidad del camino en el cual se asemeja a la variación del camino por lo cual muestra el centro de roldo ( balanceo lateral) donde da a conocer que la inclinación de la carrocería respecto del eje longitudinal al tomar una curva. La suspensión en todas las posiciones posibles a las que se puede encontrar nos lanzó un resultado en el cual muestra que la suspensión brindara un buen comportamiento tanto en el lado izquierdo como en el lado derecho.

### **Diseño de piezas para la adaptación de la suspensión frontal**

Posteriormente al cálculo estructural, hay un diseño de los elementos requeridos para la integración de las mesas del amortiguador de doble Horquilla. Se trata de una simulación en la que el diseño se adapta según geometría racional de carga, posibilidad de adaptación al chasis existente y favorable convirtiendo la rigidez de resistencia deseable del sistema de buen rendimiento, de acuerdo con las especificaciones.

**Figura 91**

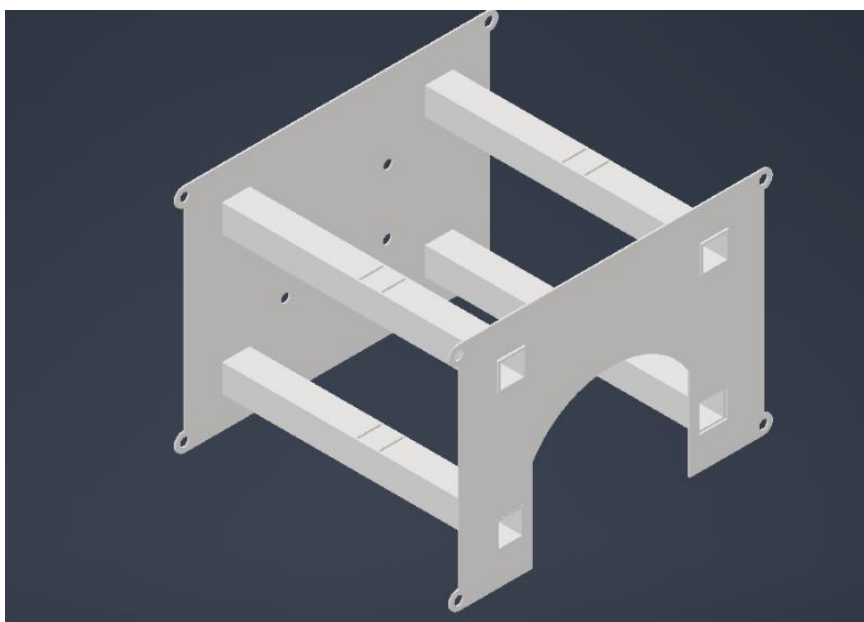
*Diseño final de las horquillas superior inferior para la suspensión doble horquilla.*



*Nota.* El diseño de la horquilla es aplicado en total para dos horquillas superiores que son para la del diseño de la suspensión.

**Figura 92**

*Diseño final de las bases de las horquillas.*

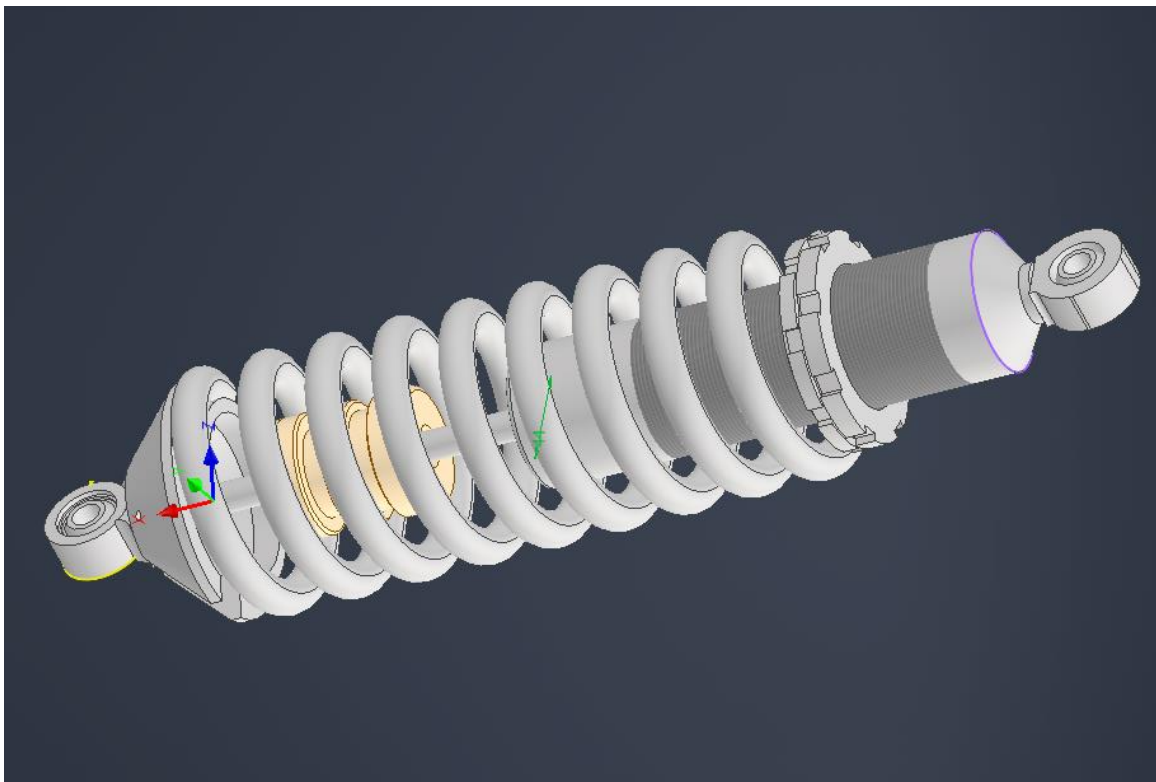


*Nota.* La base es referencial con las medidas tomadas del chasis real.

Como parte primordial de la suspensión también es requerimiento el diseño de los amortiguadores, tales son los que en el ensamblaje se encuentra entre las horquillas superiores y se anclan tanto la horquilla inferior como en las bases superiores donde están ancladas en el subchasis.

### Figura 93

*Diseño final del amortiguador.*

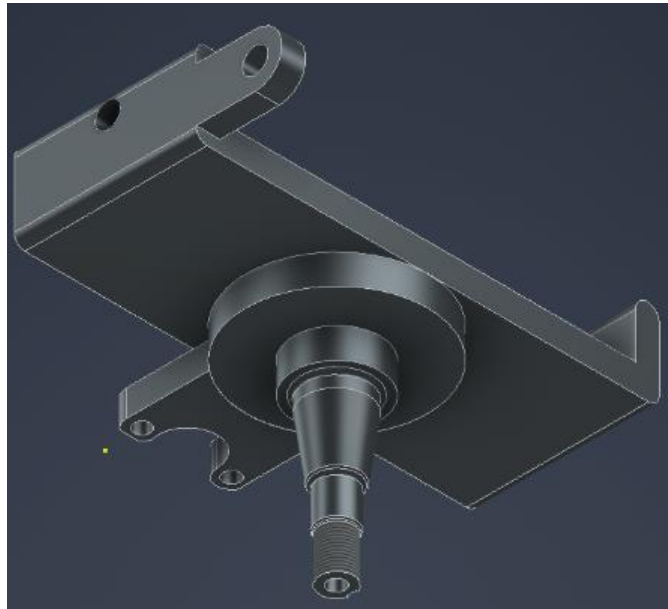


*Nota.* Este diseño es acorde con los amortiguadores que se implementaran en el sistema.

Donde se van a conectar las ruedas con la suspensión son las manzanas las cuales permiten gracias a su diseño a poder cambiar el ángulo de las ruedas a diferentes alturas brindando un mayor control de las ruedas en terrenos irregulares.

**Figura 94**

*Diseño final de las mazanas.*



*Nota:* Este diseño se asemeja al de la manza real con la ligeras diferencias

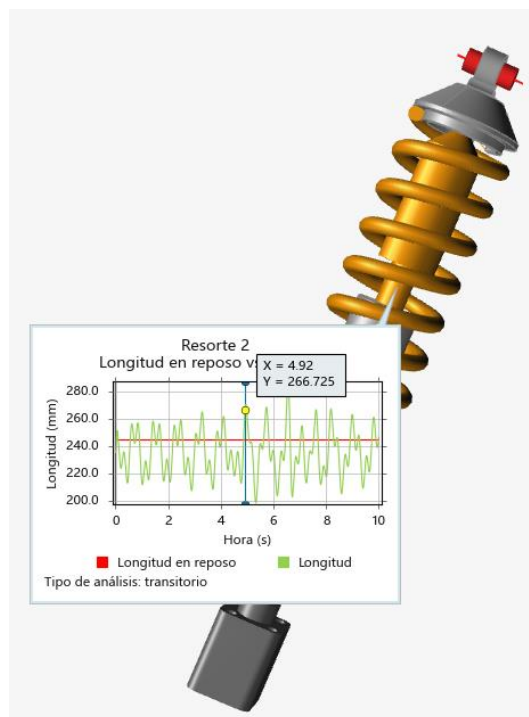
### ***1. Resultados de la Simulación del Amortiguador resorte (cuarto-vehículo)***

Al realizar la simulación se analiza el comportamiento del desplazamiento del actuador con el desplazamiento del resorte amortiguador. En la Figura 4 y 5 se muestran los resultados de un punto aleatorio asumido para el tiempo de 4.92 s en el momento de expansión del resorte.

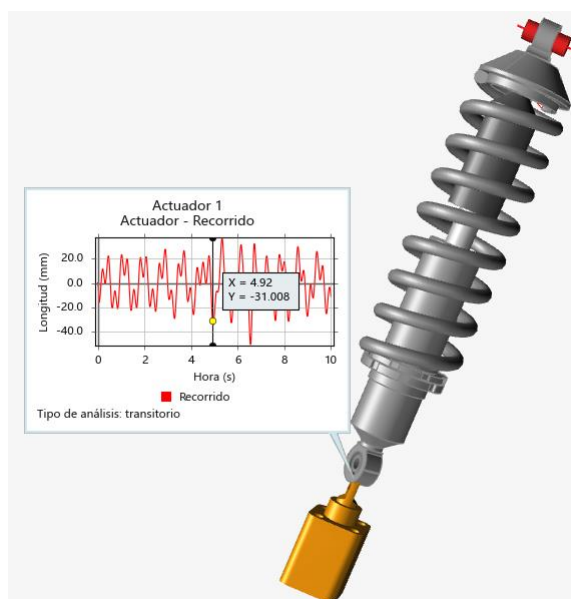


**Figura 95**

*Gráfica de expansión del resorte.*

**Figura 96**

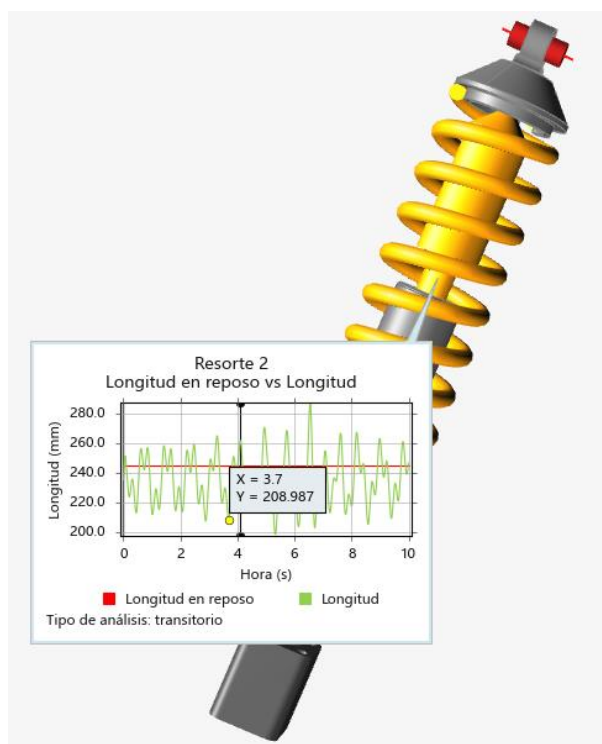
*Gráfica de retracción del vástago del actuador.*



En el caso de la Figura 95, se muestra una expansión del resorte de 266.725 mm que, en función de su longitud de reposo de 244.984 mm, da un alargamiento de 21.741 mm. Si comparamos con la longitud que recorre el actuador que es de 31.008 mm; podemos comprobar que el conjunto de amortiguación realiza el efecto de reducción de la onda. Cabe destacar que ambas curvas son semejantes, pero contrapuestas. Cuando se realiza el movimiento contrario, o sea, la compresión del resorte, se produce un efecto contrario donde el desplazamiento del conjunto de amortiguación es mayor al desplazamiento del actuador, realizándose el efecto de reducción de la onda, como se muestra en la Figura 97 y 98.

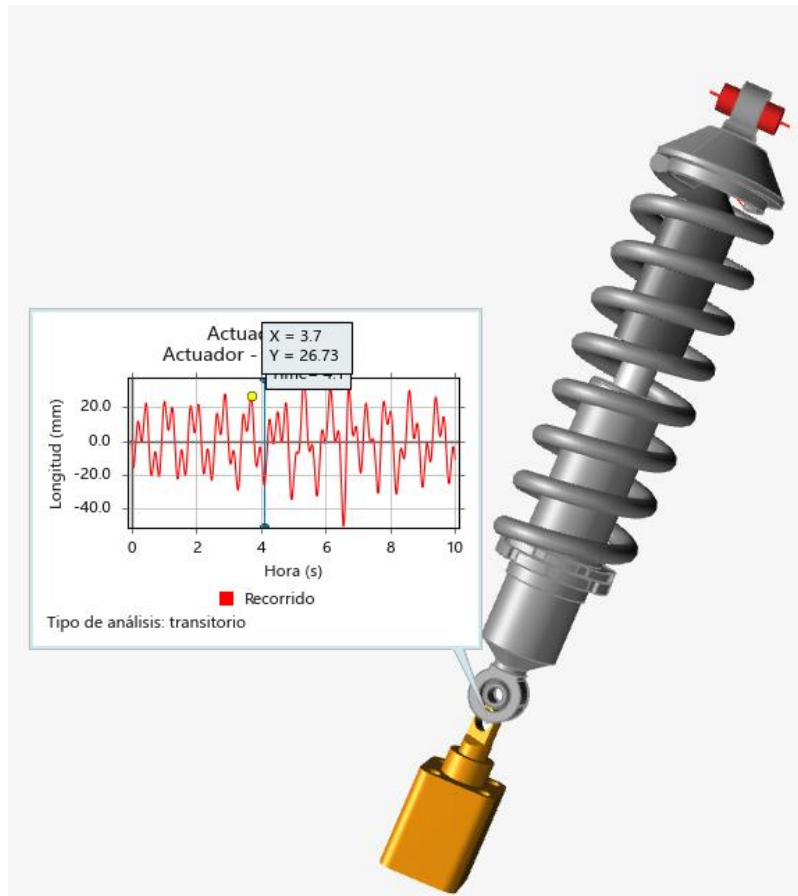
**Figura 97**

*Grafica de compresión del resorte.*



**Figura 98**

*Grafica de extensión del vástago del actuador.*



### **Fabricación del jig para la construcción de las horquillas**

A partir del plano elaborado, se determinó con precisión las dimensiones clave para la fabricación de las horquillas de suspensión, asegurando la uniformidad geométrica en todos los componentes, se realizaron mediciones detalladas de las distancias entre puntos de anclaje, longitudinales de los brazos y ángulos de inclinación, considerando las tolerancias específicas para mantener la alineación y el correcto funcionamiento del sistema de suspensión.

Además, se instituyeron parámetros de calidad de control para verificar la repetibilidad del ciclo de fabricación y, por ende, evitar los desajustes que debilitan la simetría y la dinámica del automóvil fabricado. Estandarizarse las cuchillas lleva a una distribución uniforme de las cargas para tener una respuesta del sistema se comporta mejor ante los esfuerzos mecánicos, estabilidad y maniobrabilidad en amplitud operativa de vehículo.

### **Figura 99**

*Fabricación de jig para la creación de horquillas.*



*Nota.* Molde(jig) para poner a punto los tubos para las horquillas.

**Figura 100**

*Presentación de tubos en el molde.*



Nota: Presentación de tubos previamente doblados.

### **Cortado de tubos**

Un proceso de medición detallado de las distancias entre los puntos críticos de referencia aseguró la precisión dimensional de las horquillas de suspensión en la fabricación. Medida de esta manera, el proceso de medición permitió identificar y definir con precisión la ubicación y el radio de los dobleces y aseguró que cada horizontal no solamente cumpliera con las especificaciones de diseño, sino que también no se salgan del encaje de la geometría necesaria para su operación en el sistema de suspensión. Se tuvieron en cuenta con factor, por recuperación la elasticidad de compensación y tolerancias dimensionales para no permitir variación y lograr mayor uniformidad en la construcción de los elementos.

**Figura 101**

*Cortado de tubos a la medida establecida.*



*Nota.* Cortado los tubos en ingletadora en las marcas previamente señalizadas

Además, se han desarrollado e industrializado los bujes de posicionamiento, que actuaban como guía para el engranaje del ensamblaje adecuado de las horquillas en la arquitectura final. Dichos bujes restringieron los movimientos indeseados y los ajustaron, de manera precisa, priorizando al principio los elementos en combinación antes del procedimiento de soldadura, lo que garantizó que no se presentaran desalineamientos que no pudieran ser funcionales ni cómodos, para la estructura en conjunto, de esta forma se consiguió lograr la calidad del ajuste y optimización, reduciendo la corrección que debía hacerse después de optimizado y garantizar la estabilidad del sistema.



**Figura 102**

*Torneado de bujes de duralon. Material de desgaste.*



*Nota.* Torneado de los bujes en el diámetro interior del tubo

### **Doblado de tubos**

Para la optimización de las horquillas, el doblado de tubos se lo realizado en una dobladora hidráulica la cual permitió sacar con precisión los tubos que será posteriormente soldados en una plantilla ya prefabricada para garantizar que las horquillas sean simétricas entre sí y evitar que el sistema salga con medidas erróneas. las horquillas se sueldan en un molde, para tenerlas lo más simétricas posibles entre ellas.

Al ser cuatro horquillas se cortó un total de 8 tubos largos 8 tubos cortos 4 tubos medios para la fabricación de las horquillas.

**Figura 103**

*Doblado de tubos en una prensa hidráulica.*



*Nota.* Para el doblado de tubos fue necesario de una prensa hidráulica

La base garantiza que las horquillas se encuentran simétricamente entre ellas, Esto permite tener una base donde se pueda ver y verificar que los tubos están simétricos, para que el sistema funcione de forma adecuada. Además de que ayuda a facilitar el cortado de tubos para las bases de los amortiguadores en el caso de las bases inferiores los cuales se encargaran de sostener el paseo del vehículo.



### Presentación de la suspensión completa

Una vez realizado los procesos anteriores se procede a presentar todos los componentes previamente fabricado y o restaurados, en el sistema de suspensión para verificar que tanto las horquillas como el resto de componentes no se interpongan entre sí y o interpongan con el resto de subsistemas que dispone el vehículo, como puede llegar a ser el tanque de combustible que se encuentra acoplado en la parte superior delantera del vehículo, específicamente en la parte central y superior de las llantas delanteras del vehículo.

**Figura 104**

*Ensamble completo de la adaptación de la suspensión.*



Nota. Las medidas están establecidas para el modelo de Porsche 356

## **Discusión de resultados**

### **Análisis del comportamiento dinámico de una suspensión de vehículo independiente de doble horquilla.**

Los resultados que arrojaron las mediciones iniciales de la suspensión delantera del Volkswagen Beetle mediante el banco de pruebas permitieron obtener un punto de apoyo para un análisis posterior a la mejora del sistema de suspensión. De acuerdo que el estudio de la Escuela politécnica del Ejército (ESPE), La suspensión delantera del vehículo arrojó un resultado que demuestra que soporta un peso de 430.1 kg, tomando en cuenta que los amortiguadores están en un rango de eficiencia del (50—70%), lo cual resulta en un comportamiento adecuado entrando en el rango de eficiencia según los parámetros originales de fábrica. Este informe resultó indispensable para realizar las comparaciones de los diferentes sistemas en un mismo vehículo. Además de tener como referencia para la simulación de la suspensión de doble horquilla.

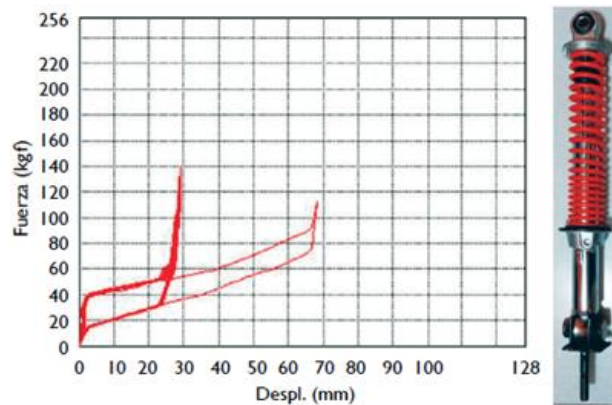
En la simulación del amortiguador modelado (cuarto de vehículo). Marco un resultado de la expansión del resorte en distancia de 0.266725 mm, con respecto a la longitud de reposo de 0.244984 mm, Obteniendo un desplazamiento de 0.21741 mm; Dado que el desplazamiento del actuador lanzó un resultado de 0.318mm de desplazamiento, obteniendo como resultado que el sistema de amortiguador cumple con la función de absorber la onda vibratoria. En las tablas que arrojó el software muestran una gráfica de desplazamiento del actuador y del conjunto resorte, mostrando un comportamiento correspondiente pero contrapuesto en fase, lo cual confirma una correcta disipación del sistema durante los ciclos de expansión y compresión.

Al comparar estos resultados con estudio previos, con el de Peña y Torres (2019), quienes obtuvieron desplazamientos en un rango de 30mm a 70mm en una suspensión de doble horquilla para vehículos de uso cotidiano, se muestra que en el presente estudio mostro valores considerablemente menores( máximo de 0.381 mm y mínimo 0.031mm). una diferencia que puede atribuirse debido a las condiciones ideales que presenta la simulación y de la rigidez estructural del modelado 3D, el cual reduce lis efectos dinámicos presentes en las pruebas físicas. En consecuencia, los resultados arrojados en la simulación evidencian un sistema que presenta un nivel alto de estabilidad y una baja amplitud de oscilación, teniendo en cuenta que será necesario validar los resultados mediante ensayos experimentales que contemplen las condiciones reales del camino, de vibraciones y de carga.

En este texto se comparan dos estudios sobre el comportamiento de una suspensión de doble horquilla. Peña y Torres (2019) realizaron un experimento físico y encontraron que el desplazamiento del amortiguador estaba entre 30 mm y 70 mm, lo que es aceptable para vehículos de calle. Mientras que el estudio experimental de Peña y Torres arrojó un rango de desplazamientos del amortiguador entre 30 mm y 70 mm — valores considerados aceptables dentro del régimen de operación de un vehículo de calle ( $\leq 100$  mm)—, en este proyecto se obtuvo un desplazamiento máximo de 0.381 mm ( $3.8101\text{e-}01$  mm) y un mínimo de 0.031 mm ( $3.1751\text{e-}02$  mm), ambos significativamente menores.

**Figura 105**

*Gráfica de desplazamiento del amortiguador para este vehículo.*



*Nota.* EL desplazamiento de un amortiguador no debe sobre pasar de 100 mm

### **Análisis de la suspensión y la estructura de un vehículo UTV mediante FEM**

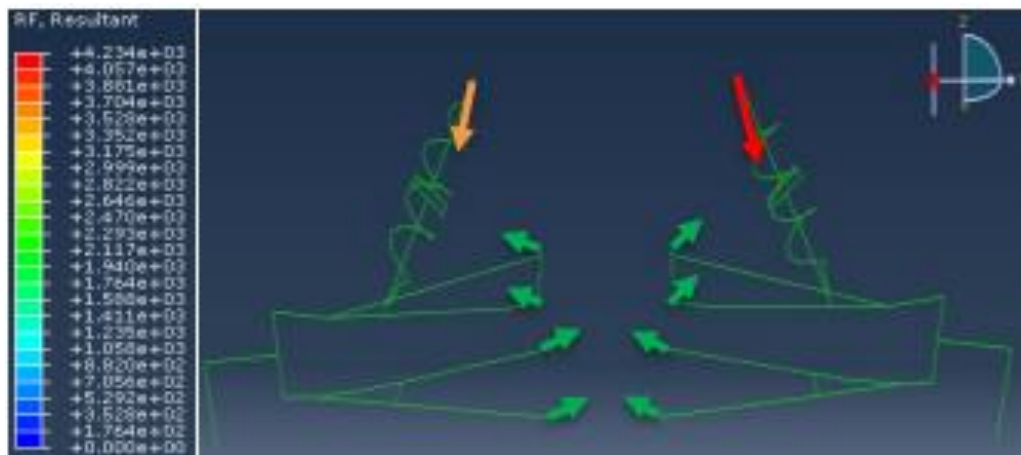
AL comparar los datos obtenidos en los dos estudios, se observa que los dos estudios están relacionados entre sí por medio del comportamiento de la suspensión, mientras que en el primer análisis se enfoca más en lo que es la distribución de esfuerzos mecánicos en entornos de cargas como aceleración, frenado y las curvas, el segundo prioriza en los desplazamientos de la suspensión de forma estática.

En el primer caso, se mostraron zonas críticas, esencialmente en la base de la suspensión delantera, que demostraron valores de esfuerzo de hasta 350 MPa en lo que vienen siendo la aceleración y con respecto al frenado de un valor de 300MPa. En el segundo caso se muestra un análisis se muestra un análisis estructural donde sacaron resultados aceptables de desplazamiento máximo de 0.381, demostrando que tiene un buen desempeño del sistema sin mostrar deformaciones significativas. Con diagrama de

colores mostrando que en la zona azul hay 0 desplazamiento, sugiriendo una rigidez adecuada en las áreas claves del modelo.

**Figura 106**

*Simulación de fuerzas en los amortiguadores.*



*Nota.* Esta simulación se lo toma un vehículo UTV (Vehículo Utilitario Todoterreno)

### **Diseño y construcción del sistema de suspensión de un vehículo monoplaza para competencia formula student.**

En comportamiento del suspensión realizada inicialmente se somete al vehículo y verificaciones rigurosas para verificar que garanticen los lineamentos necesarios para la conducción deportiva a la que se le va a dar, en el caso de la suspensión de doble horquilla tienen un peso menor a la del prototipo, puesto que está determinado para una conducción más de ciudad y permita mejorar el nivel de disipación de vibración del camino, en comparación con las del competencia que está diseñado con la finalidad de lograr mantener las ruedas siempre en el piso. Por más esfuerzos que se le ponga. El del camino urbano está diseñado para logra disipar gran parte de las vibraciones, en comparación con la que se diseñó para la pista que garantiza un agarre en curvas a alta

velocidad. Lo cual demuestra que la suspensión está diseñada para que los componentes del vehículo no se averíen con el pasar del tiempo y por las vibraciones ocasionadas por el camino se terminen soltando.

### **Figura 107**

*Chasis de un monoplaza.*



*Nota.* Tiene una suspensión diseñada para las condiciones específicas.

Hay muchas diferencias entre los sistemas de suspensión de los vehículos de calle con respecto a los vehículos de pista, lo cual es fundamental ver que propósito se le da al sistema de suspensión, puesto que con una mala configuración de la suspensión el carro puede estar teniendo un mal desempeño en condiciones normales de conducción o de pista por la suspensión que esta implementada. Por ello se debe analizar la finalidad que se la va a dar al vehículo, para realizar el respectivo trabajo en el cual el vehículo se pueda desempeñar de la mejor manera posible.

## Conclusiones

A lo largo de este trabajo, se pudo comprobar que los parámetros iniciales de la suspensión de barra de torsión del Volkswagen Beetle presentaban un desbalance del 29,1 % entre amortiguadores, un valor que supera lo permitido por la normativa ITV. Esto evidenció la necesidad de intervenir y mejorar el sistema. Al analizar los puntos de apoyo, se confirmó que la suspensión de doble horquilla propuesta puede adaptarse correctamente al chasis del vehículo sin afectar otros componentes, manteniendo las distancias originales y requiriendo solo pequeñas modificaciones en la carrocería para su instalación.

El diseño en 3D se realizó cuidando que las dimensiones fueran lo más fieles posible a la realidad, lo que evitó interferencias entre piezas y aseguró una correcta correspondencia con la estructura física. En la etapa de simulación, se usaron las cargas reales del vehículo, y los resultados obtenidos reflejaron un comportamiento estructural adecuado, lo que valida el funcionamiento del sistema propuesto.

Por último, durante la fabricación, se puso especial atención en lograr precisión y simetría entre los componentes de ambos lados. Se utilizaron moldes para verificar que las piezas encajaran correctamente en el subchasis, garantizando una instalación eficiente y funcional. Estos resultados respaldan que el diseño desarrollado no solo es viable, sino también aplicable con éxito en condiciones reales.

### **Recomendaciones**

Las mediciones iniciales, es recomendable hacerlo desde un principio, en el caso de que el vehículo se Encuentre circulando, en el caso de que se parta de un vehículo parcialmente armado, es recomendable buscar, un vehículo sustituto que sea del mismo modelo, y preferible del mismo año, para que no varié los tanto los parámetros, debido a que se encuentran varios cambios entre las variantes de los años cercanos.

Para la medición de los puntos de apoyo es recomendable verificar primero que el chasis se encuentre alineado y en una superficie plana, para que las mediciones sean lo más precisas posibles, además de recurrir a un nivel laser para mayor precisión. Mas otras herramientas de medición precisas para verificar que el chasis se encuentre perfectamente alineado, para poder proseguir con la adaptación de la suspensión.

Tener claro la geometría de la suspensión más considerar la parte del chasis en el cual se va a apoyar los componentes de la suspensión, y verificar que ningún otro componente se vea comprometido con la suspensión. Esto permite ver las distancias necesarias para que la suspensión de con las medidas de las llantas originales.

Se sugiere que los diseñadores lleven a cabo estudios comparativos de distintas configuraciones de doble horquilla, con enfoque en el ángulo de inclinación del eje de dirección, la alteración que induce él en el ángulo de caída, además de la longitud de los campos. En tales estudios es indispensable optimizar la geometría para aumentar la estabilidad y la capacidad de respuesta del vehículo.



Tener claro los diferentes parámetros del vehículo, puesto que la suspensión al ser un componente en el cual se va a apoyar el vehículo se debe realizar los respectivos cálculos en los cuales permita ver el peso del vehículo más las fuerzas que pueden llegar a alcanzar estando en movimiento.

Se considera que uno debería seleccionar amortiguadores ajustables y resortes progresivos para poder adecuar la suspensión a aspectos de conducción a diferentes condiciones. Por ende, ajustar la dureza del amortiguador debería permitir alcanzar confort/rendimiento del circuito o carretera a la medida.

Para probar la resistencia y rigidez de sus componentes, se debería de utilizar elementos finitos (FEA) análisis. Además, deben utilizarse materiales sudcales y con alto porcentaje de resistencia como aleaciones de aluminio o acero con alta resorte, para mantener el peso sin sacrificar la masa no suspendida sus a estructuras requerimientos de seguridad.

Saber con qué materiales se va a trabajar para poder adquirir las herramientas necesarias y no tener que batallar al momento de la fabricación, debido a que se trabaja con materiales duros, los cuales con la herramienta adecuada permite reducir el tiempo de trabajo, y garantizar la seguridad al momento de ocupar la herramienta, sin correr el riesgo de salir perjudicado por un mal uso.

## Referencias

- ¿Cuáles son los tipos de suspensión más comunes? | *DFSK Perú*. (s. f.).  
<https://www.dfsk.com.pe/blog/tipos-de-suspension-mas-comunes>
- 356-a. (s. f.). *Porsche.com*. <https://www.porsche.com/latin-america-es/argentina/accessoriesandservice/classic/models/356/356-a/>
- Alexandra, H. M. A., & La Puerta Daniella, S. (2021). *Plan de reorientación estratégica para la empresa Auto Asesores frente a la pandemia del COVID-19*.  
<https://repositorio.unibe.edu.do/jspui/handle/123456789/417>
- Alvarez, M. (2000). *Salicylic acid in the machinery of hypersensitive cell death and disease resistance*. *Plant Molecular Biology*, 44, 429–442.
- An-Nizhami, A., Sriyanto, N. B., Sumiyarso, B., Ulum, S. N., Riadini, E. R., & Widodo, I. G. (2023). *Experimental and Numerical Study of Shock Absorber Characterization and The Implication on The Dynamics of Half Vehicle Suspension System Model*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(3), 409–418.
- Artemedina. (2024, 2 julio). *Pasos para cambiar links de la barra estabilizadora*. *La Gran Vía Auto Parts*. <https://lagranviaautoparts.com/pasos-para-cambiar-links-de-la-barra-estabilizadora/>
- Arzola de la Peña, N., & Castro-Torres, C. A. (2019). *Análisis del comportamiento dinámico de una suspensión de vehículo independiente de doble horquilla*. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 11(2), 10–33.

Barras Suspensión quebradas Kombi VW. (s. f.).

[http://www.solokombis.com.ar/Articulos%20Tecnicos/Articulos\\_Tecnicos/BarrasQuebradas/BarrasQuebradas.htm](http://www.solokombis.com.ar/Articulos%20Tecnicos/Articulos_Tecnicos/BarrasQuebradas/BarrasQuebradas.htm)

Bismarks. (2024, 24 octubre). *Energía potencial de un resorte. Una Energia.*

<https://unaenergia.com/energia-potencial-de-un-resorte/>

Caracterización del diseño de la suspensión inclinable para vehículos de movilidad personal. (2020). [Tesis, Universidad Internacional SEK].

<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3689>

Caraguay Correa, C. (2020). *Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8929/1/UPS-CT005175.pdf>

Cepeda-Camacho, M. J., Reinoso-Vela, M. R., Criollo-Yanchatipan, L. P., & Guerra-Naranjo, J. I. (2022, abril 1). *¿Cómo evaluar los amortiguadores de los vehículos? Técnicas utilizadas. Polo Del Conocimiento.*

<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3827/html>

De la Peña, N. A., & Torres, C. A. C. (2019). *Análisis del comportamiento dinámico de una suspensión de vehículo independiente de doble horquilla. Revista Logos Ciencia & Tecnología, 11(2).* <https://doi.org/10.22335/rlct.v11i2.641>

Díez, E. (2021, 31 mayo). *¿Qué es la barra estabilizadora? Blog de Desguaces La Cabaña.* <https://blog.desguaceslacabana.com/que-es-la-barra-estabilizadora/>

Esteban, R. I. R. (2021). *Análisis del sistema de suspensión de un vehículo eléctrico biplaza a través de un programa de dinámica computacional de cuerpos múltiples.*

<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11466>

Flórez, F. (2021). *Diseño de un sistema de suspensión doble trapecio y dirección de un auto de carrera para la fórmula SAE* [Tesis de pregrado]. *Universidad de Ingeniería y Tecnología.*

IMPLEMENTACIÓN y PUESTA a PUNTO DE LOS SISTEMAS AUTOMOTRICES DE LA LIMUSINA ESCARABAJO. (2015). [Tesis de maestría]. *Universidad de las Fuerzas Armadas.*

Lamb, C., & Dixon, R. (1997). *The oxidative burst in plant disease resistance.* *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48, 251–275.

Marcelo, P. R. J., & Carlos, R. H. J. (2021, diciembre 2). *Estudio del desempeño de un neumático reencauchado tipo 3 mediante el ensayo de carga y velocidad determinado en la Norma NTE INEN 2616:2018.*

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16025>

Mesa, F. (2019). *Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz* [Tesis, Escuela Politécnica del Ejército].  
<https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/13fc32ed-5beb-4e05-8491-ad3cadb55ed3/content>

Muñoz, C., & Zapata, F. (2013). *Plan de manejo de los Arrecifes Coralinos del Parque Nacional Natural Gorgona - Pacífico colombiano*. Santiago de Cali, Colombia: WWF Colombia, Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Pilataxi, F. X. (2019). *Implementación y puesta a punto de los sistemas automotrices de la limusina escarabajo* [Tesis de maestría]. Universidad de las Fuerzas Armadas.

Porsche Latin America - Dr. Ing. H.C. F. Porsche AG. (s. f.). *Porsche Latin America - Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG*. [https://www.porsche.com/latin-america-es/ecuador/?cs\\_redirect=1](https://www.porsche.com/latin-america-es/ecuador/?cs_redirect=1)

Redacción. (2021, 25 octubre). *Barras estabilizadoras: qué son y para qué sirven*. Auto10.com / Expertos En Coches. <https://www.auto10.com/reportajes/barras-estabilizadoras-que-son-y-para-que-sirven/20129>

René, U. C. D. (2023, julio 1). *Diseño del sistema de control para una suspensión activa posterior aplicado a un vehículo monoplace tipo fórmula SAE*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25768>

Swanson, J., Kearney, B., & Dahlbeck, D. (1988). *Cloned avirulence gene of Xanthomonas campestris pv. vesicatoria complements spontaneous race change mutant*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 1, 5–9.

Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales [Análisis por elementos finitos]. (2020). *Análisis de la suspensión y la estructura de un vehículo UTV mediante FEM* [Artículo científico].

Vanacker, H., & Greenberg, J. T. (2001). *A role for salicylic acid and npr1 in regulating cell growth in Arabidopsis*. *Plant Journal*, 28, 209–216.

Volkswagen Beetle - *Especificaciones de llantas, neumáticos, PCD, desplazamientos para cada año y generación*. (s. f.). *LlantasNeumáticos.com*.

<https://llantasneumaticos.com/size/volkswagen/beetle/>

## Anexos

**Figura A1**

*Vista frontal de la suspensión*



**Figura A2**

*Vista superior de la suspensión completa*



**Figura A3**

*Vista diagonal superior de la suspensión*

