



**Implementación del sistema de dirección y suspensión para el prototipo de  
vehículo de competición fórmula S.A.E. eléctrico**

Simbaña Lamiña, Erick Alexis y Tuapanta Guamán, Anthony Josué

Departamento de ciencias de la energía mecánica

Carrera de tecnología superior en mecánica automotriz

Monografía, previo a la obtención del título de tecnólogo superior en Mecánica

Automotriz

Ing. Arias Perez, Ángel Xavier

13 de mayo del 2022

Latacunga

Reopрте de verificacion de contenido



MONOGRAFIA\_SIMBAÑA\_TUAPANTA pdf

Scanned on: 1:14 August 19, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	425
Words with Minor Changes	219
Paraphrased Words	769
Omitted Words	0

Firma:

Ing. Arias Perez, Ángel Xavier

Director



Departamento de ciencias de la energía mecánica  
Carrera de tecnología en mecánica automotriz

### Certificación

Certifico que la monografía: "Implementación del Sistema de Dirección y Suspensión para el Prototipo de Vehículo de Competición Fórmula S.A.E. Eléctrico" fue realizada por los señores Simbaña Lamiña, Erick Alexis y Tuapanta Guamán, Anthony Josué, la misma que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se la sustente públicamente.

Latacunga, agosto de 2022.

Firma:

Ing. Arias Perez, Ángel Xavier

C. C.:050345481-1



**Departamento de Ciencias de la Energía Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz**

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Simbaña Lamiña, Erick Alexis** y **Tuapanta Guamán, Anthony Josué**, con cédulas de ciudadanía n°1751004266-6 y n°165005829-8, declaramos que el contenido, ideas y criterios de la monografía: Implementación del Sistema de Dirección y Suspensión para el Prototipo de Vehículo de Competición Formula SAE Eléctrico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, es de mi/nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, agosto de 2022

Firma

**Simbaña Lamiña, Erick Alexis**

C.C.: 1751004266-6

Firma

**Tuapanta Guamán, Anthony**

**Josué**

C.C.: 165005829-8



**Departamento de Ciencias de la Energía Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz**

**Autorización de Publicación**

Nosotros **Simbaña Lamiña, Erick Alexis** y **Tuapanta Guamán, Anthony Josué** con cédulas de ciudadanía n°1751004266-6 y n°165005829-8, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: Implementación del Sistema de Dirección y Suspensión para el Prototipo de Vehículo de Competición Formula SAE Eléctrico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, agosto de 2022

Firma

**Simbaña Lamiña, Erick Alexis**

C.C.: 1751004266-6

Firma

**Tuapanta Guamán, Anthony**

**Josué**

C.C.: 165005829-8

**Dedicatoria**

Dedico todo este esfuerzo a mis padres Tuapanta Patricio, Guamán Lucía que siempre han estado a mi lado apoyándome en los momentos más difíciles apoyándome y dándome sus conocimientos sobre la vida, además de que han sido un gran ejemplo para mí en esta vida, que me han enseñado a seguir luchando a pesar de los problemas para que mis sueños y metas se hagan realidad.

A mi hermano Guamán Michael, que me ha brindado su cariño y confianza y que ha sido un gran ejemplo a seguir, que a pesar de los problemas ha demostrado dedicación y esfuerzo, y que me ha enseñado el verdadero significado de la frase de querer es poder.

A mi hermana Tuapanta Mirka, que ha estado conmigo aconsejándome y ayudándome los momentos difíciles, siempre recordándome que el esfuerzo del hoy será la recompensa del mañana.

A mi hermano Tuapanta Heber, que siempre me recuerda que nunca debo rendirme y que debo aprovechar cada oportunidad que se presente en mi vida, que debo luchar por lo que quiero y porque sé que puedo.

## **Agradecimiento**

Agradecer principalmente a Dios por haberme dado esta oportunidad en la vida acercándome así un poco más a la meta que quiero cumplir, agradecer a mis familiares que siempre han estado aconsejando y brindando su apoyo incondicional en especial a mis abuelos que con su gran sabiduría me han sabido guiar por el buen camino.

Agradecer también de todo corazón a las personas que se han atravesado en mi vida y me ha brindado su ayuda para poder superarme y a quienes puedo considerar compañeros de vida, agradecer también a las personas que se han cruzado en mi vida el ámbito laboral, personas profesionales que me han guiado y me han aconsejado a que me siga superando en la vida.

Y agradecer grandemente a mis padres y hermanos que siempre han estado conmigo dándome las ganas de seguir dando lo mejor de mí cada día, recordándome que siempre estarán orgullosos de mí.

**Dedicatoria**

A mis padres Simbaña Luis, Lamiña Verónica que siempre me han apoyado en todo momento, en las buenas y en las malas. Han sido un gran ejemplo para mí y me han enseñado a luchar solo por cada una de mis metas, han hecho que saque todo el potencial que tengo y así tratar de superarme en mi vida diaria y profesional.

A mi hermano Simbaña Kevin y mi sobrino por todo el cariño que me brindan y se han sido mi inspiración para superar cualquier problema porque con esfuerzo y dedicación todo se puede.

A mi Tío Simbaña José allá en el cielo porque siempre estuvo pendiente de mi familia y nos tenía mucho aprecio, siempre te recordare por tus consejos por tus palabras de aliento y por ayudarnos cuando más lo necesitábamos. Te recordare por siempre.

## **Agradecimiento**

Agradecido con las personas que se han cruzado en mí camino y me han ayudado a superarme gracias a sus consejos de vida. A las personas que conocí en las prácticas pre profesionales que me brindaron todo su conocimiento sin pedir nada a cambio y quieren que me siga superando en la vida.

A mi familia que siempre me apoyo, a mis primos especialmente que siempre estuvimos juntos desde pequeños, viajando, jugando, estudiando. Y sé que estamos felices de los logros que conseguimos cada uno de nosotros.

Y agradecido con mis padres, hermano y sobrino que ellos me han dado las ganas de seguir superándome y siempre estarán orgullosos de mí.

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>Carátula.....</b>	<b>1</b>
<b>Reopрте de verificacion de contenido.....</b>	<b>2</b>
<b>Certificación.....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de Autoría .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación.....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>7</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>8</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>9</b>
<b>Índice de contenido.....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>15</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>18</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>19</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>20</b>
<b>Capítulo I: Anteproyecto.....</b>	<b>21</b>
<b>Tema.....</b>	<b>21</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>21</b>
<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>23</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>24</b>

	11
<b>Objetivos</b> .....	<b>25</b>
<i>Objetivo general</i> .....	<b>25</b>
<i>Objetivos específicos</i> .....	<b>25</b>
<b>Alcance</b> .....	<b>25</b>
<b>Capítulo II: Marco Teorico</b> .....	<b>27</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>27</b>
<b>Antecedentes de las competencias FSAE</b> .....	<b>28</b>
<i>Diseño Aero SAE</i> .....	<b>28</b>
<i>Desafío Auto Drive</i> .....	<b>28</b>
<i>Baja SAE</i> .....	<b>29</b>
<i>Desafío SAE Clean Snow Mobile</i> .....	<b>29</b>
<i>Supermilaje SAE</i> .....	<b>29</b>
<i>Fórmula SAE</i> .....	<b>30</b>
<i>Fórmula híbrida</i> .....	<b>30</b>
<i>Fórmula SAE Electric</i> .....	<b>30</b>
<b>Tipos de direcciones automotrices</b> .....	<b>30</b>
<i>Dirección mecánica</i> .....	<b>30</b>
<i>Dirección asistida hidráulicamente</i> .....	<b>31</b>
<i>Dirección electrohidráulica</i> .....	<b>31</b>
<i>Dirección electromecánica</i> .....	<b>31</b>
<b>Componentes del sistema de dirección</b> .....	<b>32</b>

	12
<b>Volante.....</b>	<b>32</b>
<b>Columna de dirección .....</b>	<b>32</b>
<b>Cremallera .....</b>	<b>34</b>
<b>Tornillo sin fin.....</b>	<b>36</b>
<b>Palanca de ataque .....</b>	<b>36</b>
<b>Barra de mando .....</b>	<b>37</b>
<b>Brazos de acoplamiento.....</b>	<b>38</b>
<b>Barras de acoplamiento .....</b>	<b>39</b>
<b>Rotulas .....</b>	<b>39</b>
<b>Reglamentos del sistema de dirección en FSAE.....</b>	<b>40</b>
<b>Tipos de suspensiones para vehículos.....</b>	<b>42</b>
<b>Suspensión rígida.....</b>	<b>42</b>
<b>Suspensión semirrígida .....</b>	<b>43</b>
<b>Sistema de Dion.....</b>	<b>44</b>
<b>Sistema de eje torsional.....</b>	<b>45</b>
<b>Suspensión independiente .....</b>	<b>45</b>
<b>Suspensión de eje oscilante.....</b>	<b>46</b>
<b>Suspensión de brazos tirados .....</b>	<b>47</b>
<b>Suspensión Mcpherson .....</b>	<b>48</b>
<b>Suspensión de paralelogramo deformable.....</b>	<b>50</b>
<b>Suspensión multibrazo (multilink) .....</b>	<b>51</b>

	13
<b>Componentes del sistema de suspensión .....</b>	<b>52</b>
<b>Reglamentos del sistema de suspensión en FSAE .....</b>	<b>58</b>
<b>Camber .....</b>	<b>59</b>
<b>Ángulo caster .....</b>	<b>60</b>
<b>Convergente o divergente .....</b>	<b>61</b>
<b>Lo que debes saber de los neumáticos.....</b>	<b>62</b>
<b>Índice de velocidad en un neumático .....</b>	<b>62</b>
<b>Índice de cargas en un neumático .....</b>	<b>63</b>
<b>Neumáticos en competencias .....</b>	<b>64</b>
<b>Requisitos para el sistema de suspensión .....</b>	<b>65</b>
<b>Capitulo III: Implementacion de los sistemas .....</b>	<b>66</b>
<b>Identificación del tipo de sistema de suspensión .....</b>	<b>66</b>
<b>Componentes del sistema de suspensión FSAE.....</b>	<b>68</b>
<b>Identificación del tipo del sistema de dirección .....</b>	<b>68</b>
<b>Componentes del sistema de dirección del FSAE .....</b>	<b>71</b>
<b>Tipo de alineación el en fórmula SAE.....</b>	<b>72</b>
<b>Componentes por comprar y construir .....</b>	<b>73</b>
<b><i>Selección de neumáticos y aros.....</i></b>	<b>74</b>
<b>Boceto del sistema de dirección y suspensión .....</b>	<b>77</b>
<b>Instalación del sistema de suspensión .....</b>	<b>78</b>
<b>Instalación del sistema de dirección .....</b>	<b>86</b>

<b>Capitulo IV: Pruebas de funcionamiento de los sistemas .....</b>	<b>91</b>
<b>Criterios para el diseño de ruta.....</b>	<b>91</b>
<b>Diseño de ruta .....</b>	<b>91</b>
<b>Prueba de autocross.....</b>	<b>92</b>
<b>Prueba de endurance.....</b>	<b>93</b>
<b>Prueba de skidpad .....</b>	<b>94</b>
<b>Verificación de estado de los sistemas después de la ruta.....</b>	<b>95</b>
<b>Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>97</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>97</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>98</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>99</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>103</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Volante de dirección</i> .....	32
<b>Figura 2</b>	<i>Columna de dirección</i> .....	34
<b>Figura 3</b>	<i>Cremallera</i> .....	35
<b>Figura 4</b>	<i>Tornillo sin fin</i> .....	36
<b>Figura 5</b>	<i>Palanca de ataque</i> .....	37
<b>Figura 6</b>	<i>Barra de mando</i> .....	37
<b>Figura 7</b>	<i>Brazos de la dirección</i> .....	38
<b>Figura 8</b>	<i>Bieleta de dirección</i> .....	39
<b>Figura 9</b>	<i>Rotula</i> .....	40
<b>Figura 10</b>	<i>Suspensión rígida</i> .....	43
<b>Figura 11</b>	<i>Suspensión semirrígida de DION</i> .....	44
<b>Figura 12</b>	<i>Sistema de eje torsional</i> .....	45
<b>Figura 13</b>	<i>Suspensión independiente</i> .....	46
<b>Figura 14</b>	<i>Suspensión de eje oscilante</i> .....	47
<b>Figura 15</b>	<i>Sistema de brazo arrastrado</i> .....	48
<b>Figura 16</b>	<i>Suspensión Mcpherson</i> .....	49
<b>Figura 17</b>	<i>Suspensión de paralelogramo deformable</i> .....	51
<b>Figura 18</b>	<i>Suspensión multibrazo</i> .....	52
<b>Figura 19</b>	<i>Resortes de suspensión</i> .....	53
<b>Figura 20</b>	<i>Ballestas</i> .....	54
<b>Figura 21</b>	<i>Barra de torsión</i> .....	54
<b>Figura 22</b>	<i>Barra estabilizadora</i> .....	55
<b>Figura 23</b>	<i>Amortiguadores</i> .....	56
<b>Figura 24</b>	<i>Topes de goma para suspensión</i> .....	56

	16
<b>Figura 25</b> <i>Balancín de suspensión</i> .....	57
<b>Figura 26</b> <i>Rótula</i> .....	58
<b>Figura 27</b> <i>Tipos de Camber en los vehículos</i> .....	60
<b>Figura 28</b> <i>Ángulo de caster en fórmula</i> .....	61
<b>Figura 29</b> <i>Convergencia y Divergencia</i> .....	61
<b>Figura 30</b> <i>Índice de velocidad del neumático</i> .....	62
<b>Figura 31</b> <i>Medidas de un neumático</i> .....	65
<b>Figura 32</b> <i>Sistema pull-rod y el push-rod</i> .....	67
<b>Figura 33</b> <i>Esquema de un sistema piñón-cremallera</i> .....	71
<b>Figura 34</b> <i>Sistema de dirección mecánica FSAE</i> .....	77
<b>Figura 35</b> <i>Sistema de dirección FSAE</i> .....	78
<b>Figura 36</b> <i>Partes del sistema de suspensión</i> .....	78
<b>Figura 37</b> <i>Tubo de 1in x 2mm</i> .....	79
<b>Figura 38</b> <i>Diseño de los triángulos de suspensión</i> .....	79
<b>Figura 39</b> <i>Construcción de los triángulos de suspensión</i> .....	80
<b>Figura 40</b> <i>Proceso de soldadura MIC</i> .....	80
<b>Figura 41</b> <i>triángulos de suspensión colocados</i> .....	81
<b>Figura 42</b> <i>Posicionamiento del amortiguador</i> .....	81
<b>Figura 43</b> <i>Amortiguador colocado</i> .....	82
<b>Figura 44</b> <i>Sujeción de los triángulos de suspensión trasera</i> .....	82
<b>Figura 45</b> <i>Medición de la manzana de rueda trasera</i> .....	83
<b>Figura 46</b> <i>Construcción de marco para manzana de rueda trasera</i> .....	83
<b>Figura 47</b> <i>Proceso de torno</i> .....	84
<b>Figura 48</b> <i>Colocación de sistema de suspensión trasera</i> .....	84
<b>Figura 49</b> <i>Posicionamiento de los amortiguadores posteriores</i> .....	85

<b>Figura 50</b> <i>Colocación de los amortiguadores posteriores</i> .....	85
<b>Figura 51</b> <i>Sistema de suspensión culminado</i> .....	86
<b>Figura 52</b> <i>Medida de ejes en el prototipo FSAE</i> .....	86
<b>Figura 53</b> <i>Fijación de las rotulas a las manzanas de ruedas</i> .....	87
<b>Figura 54</b> <i>Soporte para la columna de dirección</i> .....	87
<b>Figura 55</b> <i>Colocación Sistema de dirección</i> .....	88
<b>Figura 56</b> <i>Modificación de la rótula de dirección</i> .....	88
<b>Figura 57</b> <i>Ajuste de terminales del triángulo de suspensión</i> .....	89
<b>Figura 58</b> <i>Ajuste de la bieleta de dirección</i> .....	89
<b>Figura 59</b> <i>Verificación del ángulo Camber</i> .....	90
<b>Figura 60</b> <i>Croquis satelital ruta de prueba</i> .....	91
<b>Figura 61</b> <i>Cruce de un rompe velocidades</i> .....	92
<b>Figura 62</b> <i>Esquive de obstáculos</i> .....	93
<b>Figura 63</b> <i>Revisión de los mecanismos del prototipo</i> .....	94
<b>Figura 64</b> <i>Toma de curva cerrada</i> .....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Partes de la columna de dirección</i> .....	33
<b>Tabla 2</b> <i>Partes de una cremallera</i> .....	34
<b>Tabla 3</b> <i>Partes de un mecanismo tornillo sin fin</i> .....	36
<b>Tabla 4</b> <i>Partes del brazo de acoplamiento</i> .....	38
<b>Tabla 5</b> <i>Partes de sistema de DION</i> .....	44
<b>Tabla 6</b> <i>Partes de la suspensión de eje oscilante</i> .....	47
<b>Tabla 7</b> <i>Partes suspensión Mcpherson</i> .....	49
<b>Tabla 8</b> <i>Componentes suspensión paralelogramo deformable</i> .....	50
<b>Tabla 9</b> <i>Partes de la suspensión multibrazo</i> .....	52
<b>Tabla 10</b> <i>Índice de cargas de un neumático</i> .....	63
<b>Tabla 11</b> <i>Partes de un neumático</i> .....	64
<b>Tabla 12</b> <i>Componentes sistema de suspensión</i> .....	68
<b>Tabla 13</b> <i>Criterios para la selección del sistema de dirección</i> .....	69
<b>Tabla 14</b> <i>Calificación del mecanismo de dirección</i> .....	70
<b>Tabla 15</b> <i>Componentes a utilizar en el sistema de dirección</i> .....	71
<b>Tabla 16</b> <i>Componentes por comprar y construir</i> .....	73
<b>Tabla 17</b> <i>Criterios para la selección de aros</i> .....	74
<b>Tabla 18</b> <i>Selección de aros</i> .....	75
<b>Tabla 19</b> <i>Criterios para la selección de neumáticos</i> .....	75
<b>Tabla 20</b> <i>Selección de neumático</i> .....	76
<b>Tabla 21</b> <i>Revisión después de la ruta</i> .....	95

## **Resumen**

Este proyecto de titulación que tiene como objetivo principal la implementación del sistema de suspensión y dirección para el prototipo de vehículo de competición de la fórmula SAE eléctrico, con la ayuda del conocimiento adquirido a lo largo de nuestra carrera, teniendo muy en claro cada uno de los funcionamientos y componentes que llegan a conformar estos sistemas y cómo funcionan cada uno de estos en el prototipo de vehículo de competición de la fórmula SAE eléctrico, y con los conocimientos adquiridos en el campo laboral, así llegando a ganar destrezas e ingenio lo que nos caracteriza como tecnólogos y garantizamos que los sistemas implementados cumplan con su función. Así también para en futuros proyectos tomen como referencia que la fórmula SAE tiene distintas disciplinas donde se puede participar. Como prototipo nos basamos en algunas investigaciones y reglas de la Fórmula SAE para la fabricación de este, pero con la novedad de bajar el costo de fabricación y utilizar componentes de otros vehículos modificándolos a nuestra manera para que el tiempo de fabricación sea menor. Destacando así que la modificación del sistema de dirección, la fabricación de las mesas de suspensión, y la implementación de manguetas, cubos de rodamientos, soportes y amortiguadores y volante no han tenido ningún problema al momento de realizar las pruebas de ruta.

*Palabras claves:* Formula SAE, Manguetas, Cubos de rodamientos.

## **Abstract**

This degree project has as its main objective the implementation of the suspension and steering system for the prototype of the SAE electric formula competition vehicle, with the help of the knowledge acquired throughout our career, having very clear each of the functions and components that come to make up these systems and how each of these work in the prototype of the SAE electric formula competition vehicle, and with the knowledge acquired in the labor field, thus getting to gain skills and ingenuity that characterizes us as technologists and ensure that the implemented systems fulfill their function. So also for future projects take as a reference that the SAE formula has different disciplines where you can participate. As a prototype we rely on some research and rules of Formula SAE for the manufacture of this, but with the novelty of lowering the cost of manufacture and use components from other vehicles by modifying them in our way so that the manufacturing time is less. Thus highlighting that the modification of the steering system, the manufacture of the suspension tables, and the implementation of sleeves, bearing hubs, supports and shock absorbers and steering wheel have not had any problem at the time of road tests.

*Keywords:* Tubular frame, Ck/Fia, Go-kart.

## **Capítulo I**

### **Anteproyecto**

#### **Tema**

Implementación del sistema de dirección y suspensión para el prototipo de vehículo de competición formula S.A.E. eléctrico.

#### **Antecedentes**

En el campo automotriz se ha perfeccionado el sistema tanto de dirección como el de suspensión, ya que la contribución de los mismos es llegar a preservar la seguridad siendo esto una alta importancia. Es un sistema crítico, son elementos de seguridad que están incluidos en la revisión técnico-mecánica, porque si en algún momento falla el vehículo, pierde maniobrabilidad y se pone en riesgo la vida de sus ocupantes y de los demás usuarios en la vía.

“Diseño y construcción de un sistema de suspensión para un vehículo monoplaza fórmula SAE” la presente investigación se realiza el diseño y construcción del sistema de suspensión el cual debió regirse a ciertas condiciones, siendo una de las principales que el diseño a construir debe aplicarse a un chasis fabricado con anterioridad. Como es de conocimiento la Fórmula SAE promueve la excelencia en ingeniería automotriz, razón por la cual para realizar la construcción del sistema de suspensión fue necesario un previo diseño y posterior simulación para que de esta manera el resultado sea el de mayor satisfacción. Una de las características importantes al momento de diseñar un sistema de suspensión es el peso total que tendrá el vehículo, valor que en esta investigación fue usado en base a estudios previos debido a la falta de datos acerca del peso final que tendrá. (VINICIO, 2022)

Como conocimientos y alcances obtenidos en este proyecto se llega a tener como antecedente claro que el diseño debe brindar una seguridad y confianza en la construcción e implementación para lo cual llegaron a realizar un análisis en situaciones en las cuales el sistema de suspensión podría fallar, de acuerdo al posible peso a soportar, a la Fuerza que estará sometido el sistema al acelerar y la fuerza al momento de curvar.

“Diseño y construcción del sistema de suspensión de un vehículo monoplaza para la competencia fórmula SAE” En el presente trabajo se detallan todas las mediciones, procedimientos de cálculo y análisis de esfuerzos necesarios para diseñar el sistema de dirección que mejor se acople al prototipo. Se determina el espacio disponible para el sistema en el chasis existente, se analiza la dinámica de un vehículo en pista para determinar las cargas y esfuerzos sobre los elementos más críticos del sistema. En última instancia se efectúan análisis de esfuerzos y fatiga, para otorgar dimensiones finales a los elementos y simular el comportamiento de todo el sistema. (Vega, 2014)

Después de estos análisis se llega a tener como antecedente la selección y la búsqueda correcta de manera minuciosa de los componentes correctos ante los esfuerzos a presentarse en las pruebas de campo a realizar en el proyecto, siendo este uno de los antecedentes a tomar en cuenta para realizar los estudios correspondientes a la selección e instalación de los componentes en los sistemas de suspensión y dirección.

“Trucaje y adaptación de un sistema de suspensión y dirección para un vehículo tipo buggy de la fórmula automovilística universitaria FAU” El presente trabajo de

investigación está enfocado a desarrollar un sistema de suspensión y dirección para un vehículo de competencia tipo buggy, y obtener respuestas apropiadas ante las diferentes sollicitaciones que se presenten en la pista de rally durante la competencia automovilística. Esto se logra mediante la adecuada selección de los elementos que conforman los sistemas, a los mismos que se les realiza una modificación (trucaje) para el buen desempeño, otro punto importante para un buen rendimiento es la correcta ubicación al chasis de los elementos que conforman el sistema de suspensión y dirección (FERNANDO, 2010).

Los parámetros geométricos y los elementos seleccionados de los sistemas de suspensión y dirección garantizan el buen comportamiento del vehículo relacionado con su operación, estabilidad y seguridad.

Con la finalidad de crear un prototipo eléctrico, se implementarán diferentes sistemas de funcionamiento, entre estos sistemas están el de dirección y suspensión, todos los vehículos deben tenerlos ya que de esto dependerá el confort y seguridad del ocupante.

Al momento de participar en una competencia de la fórmula SAE, el equipo, los miembros del equipo como individuos, los asesores de la facultad y otro personal de la universidad que ingresa aceptan cumplir y están obligados por las reglas y todas las interpretaciones de las reglas o procedimientos emitidos o anunciados por SAE (SAE, 2021)

### **Planteamiento del problema**

Las pistas de carrera no son perfectas como parecen, cada una de estas tiene distintas dificultades a la hora de ser transitados debido a sus curvas cerradas y rectas cortas. Depende mucho de cómo este implementado los sistemas de dirección y suspensión ya que con esto y además de la destreza que tenga el piloto conseguirá la estabilidad del vehículo para evitar accidentes y ganar la carrera.

Desde que los estudiantes decidieron realizar sus propios proyectos de prototipos FSAE Eléctrico para participar en carreras, han tenido muchos inconvenientes con la suspensión y la dirección de sus prototipos. Por eso cada que perdían una carrera o sufrían un accidente al momento de la carrera, analizaban cada el origen del problema. Con cada prueba que se hace y cada error que se comete sirve como experiencia para implementar mejoras en los sistemas de suspensión y dirección.

Como consecuencia en prototipos al ser llevados a la pista, en el sistema de dirección del vehículo no gira lo suficiente o al contrario gira demasiado, también existen rupturas del sistema debido a la carga de fuerza eso se debe al tipo de fabricación que se les da a los componentes de la dirección. En el sistema de suspensión debido a las altas velocidades estos coches tienen a volcarse y si no están instaladas correctamente el conductor sentirá confort al conducir.

Esto se solucionará implementando suspensión y dirección ya fabricada, debido a que estos están regularizados, probados, comprobados en la Fórmula SAE en distintas situaciones. Y con la implementación reduciremos el gasto que conlleva la construcción desde cero de estos sistemas.

### **Justificación**

La competencia Fórmula SAE desafía a equipos de estudiantes universitarios de pregrado y posgrado a concebir, diseñar, fabricar, desarrollar y competir con pequeñas fórmulas de estilos. Estos vehículos deben ser lo suficientemente duraderos y tener un alto rendimiento tanto fuera como dentro de la pista.

Por ello es importante la implementación de los sistemas de suspensión y dirección ya que si estos fallan por algún motivo podría ocasionar un accidente. Los antiguos proyectos de

nuestra carrera han utilizado en su mayoría motores de combustión interna, por ese motivo y por el afán de cuidar y mínima la contaminación ambiental se optó por la tecnología eléctrica. (SAE, 2021)

Muchas personas piensan que estos vehículos con motores eléctricos son obsoletos, aburridos, etc. Con este proyecto lograremos cambiar las perspectivas de muchas personas y que opten por la adquisición de vehículos eléctricos.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Implementar el sistema de dirección y suspensión para el prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

### ***Objetivos específicos***

- Investigar y obtener la información requerida para la implementación de los sistemas de dirección y suspensión para el prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico.
- Selección e implementación de los componentes necesarios en los sistemas de dirección y suspensión, en el prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico.
- Realizar las pruebas de funcionamiento de los sistemas de dirección y suspensión del prototipo del vehículo de competición fórmula SAE eléctrico.

## **Alcance**

En este proyecto técnico se pretende ser un aporte al grupo en si del diseño y construcción de un prototipo de competencia Fórmula SAE eléctrico con relación al diseño

mecánico, construcción e instalación de los sistemas de suspensión y dirección en el mismo, además de que este proyecto adquiere importancia ya que plantea el uso de programas para el estudio de fuerzas y diseños en nuestros sistemas

Se llega a tener en cuenta proyectos anteriores relacionados con el diseño y la construcción de los sistemas de suspensión y dirección de vehículos de competencia de Fórmula SAE, "El fracaso es aquí una opción. Si las cosas no fallan es que no estás innovando lo suficiente" (Musk, 2021) por lo tanto este proyecto ayudará y facilitaran a tener nuevos alcances tanto en el diseño como en la construcción e instalación de los sistemas de suspensión y dirección en el prototipo de competición de fórmula SAE eléctrico.

Pretendiendo así que este proyecto ayude y facilite tanto con el trabajo de diseño como en el de construcción del sistema de suspensión y dirección para el prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico, permitiendo a equipos de estudiantes universitarios pertenecientes a las competencias de FSAE, tomar el mismo como una pauta para el desarrollo e innovación de nuevas tecnologías en vehículos de competición fórmula SAE.

## **Capítulo II**

### **Marco teórico**

#### **Introducción**

En el campo automotriz el sistema de dirección es el protagonista en lo que a proporcionar giros adecuados se refiere, en las ruedas delanteras de nuestro coche, esta actividad es realizada por el conductor con su acción en el volante con el objetivo de tomar la trayectoria deseada. (Gil Martines, 2010)

Este sistema debe reunir varias características tales como: comodidad, suavidad, precisión, facilidad al manejar, estabilidad, seguridad activa y pasiva.

Para esto el sistema debe tener en cuenta ciertos factores tales como el peso y la superficie de contacto de los neumáticos. Cada fuerza de rozamiento que exista en el sistema se necesitara del desarrollo de diferentes mecanismos que permitirán que la conducción cumpla con las necesidades expuestas anteriormente, este sistema será acompañado por lo que se denomina el sistema de suspensión, siendo así que estos dos trabajen juntos para favorecer un confort y maniobrabilidad sencilla al momento de conducir. (Gil Martines, 2010)

El objetivo del sistema de suspensión de un vehículo es absorber las vibraciones que se producen en el mismo debido a las desigualdades del terreno, a la vez que debe ayudar a mantener las ruedas del vehículo en contacto con la superficie en todo momento. En definitiva, se trata de que las irregularidades no sean transmitidas al momento de conducir, proporcionando un buen nivel de confort y seguridad a los ocupantes, así como protegiendo al propio vehículo.

En todos los sistemas de suspensión se llegan a encontrar dos elementos que se consideran los más fundamentales en lo que al sistema de suspensión compete: El primero es

un elemento flexible conocido como muelle, también existen multitud de sistemas que realizan esta función como pueden ser ballestas, barras de torsión, entre otros elementos elásticos. El otro elemento comúnmente llamado amortiguador es el encargado de reducir o neutralizar las oscilaciones y vibraciones que se producen debido a las irregularidades existentes del terreno. (Leon, 2010)

### **Antecedentes de las competencias FSAE**

SAE Internacional se creó hace más de 40 años, han trabajado arduamente para proporcionar educación pre profesional sin distinción de estudiantes que cursen su carrera universitaria de todo el mundo. La conocida y querida serie de diseño colegial (DSC) han formado a innumerables jóvenes profesionales para ingresar a laborar. En los últimos años SAE ha diseñado cuidadosamente programas con la intención de desarrollar habilidades, fomentar trabajo en equipo, expandir el pensamiento crítico y abordar las necesidades específicas de la industria de la movilidad en la actualidad. (SAE International, 2022)

La SAE internacional tiene diferentes eventos para estudiantes entre estos tenemos:

#### ***Diseño Aero SAE***

Es un desafío diseñado para el desarrollo de aeronaves en un año calendario, llevando a participantes a través del proceso de ingeniería de sistemas para desglosar los requisitos. Expone a los participantes a los matices del diseño conceptual, la fabricación, la integración/prueba del sistema y a la venta masiva a través de la demostración. (SAE International, 2022)

#### ***Desafío Auto Drive***

Esta competencia continúa de forma sólida con la asociación entre GM y SAE en la educación STEM y se basará en el éxito innovador de la serie original de hace 4 años.

La segunda serie tiene como objetivo que los quipos universitarios participantes desarrollen y demuestren un vehículo autónomo (AV) que pueda navegar por los cursos de conducción urbana como se describe en la automatización de nivel 4 del SAE. (SAE International, 2022)

### ***Baja SAE***

Los estudiantes de ingeniería tienen que diseñar y construir un vehículo deportivo todo terreno de un solo asiento que será un prototipo para un vehículo de producción confiable, mantenible, ergonómico, y económico que sirva a un mercado de usuarios recreativos. Los estudiantes deben funcionar como un equipo para diseñar, construir, probar, promover y competir con un vehículo dentro de los límites de las reglas. (SAE International, 2022)

### ***Desafío SAE Clean Snow Mobile***

Brinda a los estudiantes la oportunidad de mejorar sus habilidades de diseño de ingeniería y gestión de proyectos mediante la reingeniería de una moto nieve existente para reducir las emisiones y el ruido. Las motos de nieve modificadas de los participantes compiten en una variedad de eventos, incluidas las emisiones, el ruido, la economía/resistencia del combustible, la aceleración, el manejo, la pantalla estatiza, el arranque en frío y el diseño. (SAE International, 2022)

### ***Supermilaje SAE***

El objetivo del diseño de ingeniería de SAE Supermilaje es desarrollar y construir un vehículo de una sola persona y de bajo consumo de combustible que cumpla con las reglas para obtener la calificación combinada de alto Km/L, los estudiantes estarán expuestos a un segmento de diseño que consiste en un informe escrito y una presentación verbal. (SAE International, 2022)

### ***Fórmula SAE***

La competencia de la serie fórmula SAE desafían a los equipos de estudiantes universitarios de pregrado y posgrado a concebir, diseñar, fabricar desarrollar y competir con los vehículos pequeños de estilo fórmula. Las competiciones dan a los equipos la oportunidad de demostrar tanto su creatividad como sus habilidades de ingeniería en comparación con los equipos de otras universidades de todo el mundo. (SAE International, 2022)

### ***Fórmula híbrida***

Es un desafío interdisciplinario de diseño e ingeniería para estudiantes universitarios de pregrado y posgrado. Deben diseñar y construir en colaboración un auto de carreras eléctrico o híbrido enchufable estilo fórmula y competir en una serie de eventos. Esta competencia educativa enfatiza la innovación del tren motriz y la eficiencia del combustible en una aplicación de alto rendimiento (SAE International, 2022)

### ***Fórmula SAE Electric***

Fue introducida a la competencia en el 2013, permite desarrollar vehículos totalmente eléctricos, dentro del marco FSAE. Los equipos utilizan vehículos impulsado por motores eléctricos y compiten en eventos estáticos y dinámicos como diseño, presentación, costo, aceleración, skidpad, autocross, resistencia y eficiencia. (SAE International, 2022)

## **Tipos de direcciones automotrices**

### ***Dirección mecánica***

El primer sistema de dirección es el más simple en construcción. Se compone de volante, columna de dirección, cremallera y rótulas. Este sistema es mecánico y no tiene ningún tipo de apoyo eléctrico o hidráulico, lo que lo hace un poco pesado, con poca

maniobrabilidad y poco confiable. Este sistema ahora se puede encontrar en vehículos de carreras (prototipos) o vehículos más antiguos. (Toyota, 2020)

### ***Dirección asistida hidráulicamente***

Este sistema de dirección utiliza principalmente la hidráulica para realizar maniobras. Consta de volante, columna de dirección, cremallera de dirección, bomba hidráulica, conductos y depósito de aceite hidráulico. Como resultado de esto, los conductores pueden reducir su esfuerzo mientras conducen con la ayuda de fluidos. La bomba hidráulica se activa con el moviendo del cigüeñal con una correa adjunta para generar suficiente presión hidráulica para poder soportar a la cremallera dándole así una asistencia a la dirección. (Toyota, 2020)

### ***Dirección electrohidráulica***

El sistema de dirección electrohidráulico reemplaza la bomba hidráulica por una bomba eléctrica accionada por una computadora de a bordo que se encuentra en el vehículo conocida también como (ECU), que también produce la presión requerida para los sistemas de asistencia. Encima del motor electrohidráulico se encuentra el depósito de fluido hidráulico, que también consta de un sistema de tubos y mangueras que transportan el fluido hidráulico para que pueda realizar su función. (Toyota, 2020)

### ***Dirección electromecánica***

Este sistema de dirección es el que se utiliza hoy en día, un piñón y cremallera tradicional, pero la asistencia es proporcionada por un motor eléctrico. Los vehículos equipados con este sistema tienen las mismas características, pero están contruidos de manera diferente, con el único propósito de brindar confort, comodidad y conveniencia en la conducción. (Toyota, 2020)

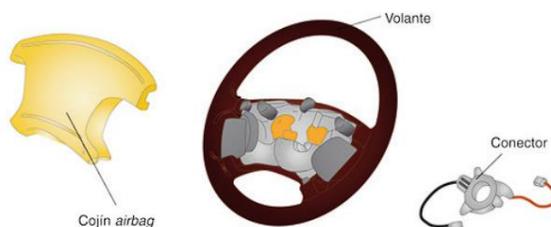
## Componentes del sistema de dirección

### **Volante**

Diseñado ergonómicamente con diferentes brazos para mejorar el manejo y la comodidad del conductor. El papel principal del volante es reducir el esfuerzo requerido por el conductor para dirigir las ruedas que se entrega a través del volante, como se puede ver en la figura 1 se encuentran los componentes que conforman el volante, así como el modelo más común que se puede encontrar en los vehículos convencionales. (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### **Figura 1**

#### *Volante de dirección*



*Nota.* La imagen muestra el volante de dirección más básico que se encuentra instalado en la mayoría de los vehículos. Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### **Columna de dirección**

Formada por un eje cardán que conecta el volante con el mecanismo de dirección. Uno de los propósitos de la columna de dirección es proteger al conductor en caso de accidente. Por este motivo, todos los vehículos están equipados con una columna de dirección retráctil. Cada tramo está conectado mediante juntas cardán y elásticas diseñadas a tal efecto que cuando el vehículo sufra un siniestro el conductor no se vea afectado, es una modalidad que se adoptó a inicios del siglo XXI, un ejemplo es lo que se puede notar en la figura 2 en la cual

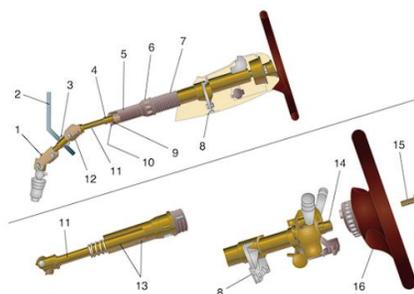
columna de dirección se encuentra dividida en varias secciones. (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

**Tabla 1**

*Partes de la columna de dirección*

Orden	Nombre de las partes
1	Eje intermedio de la dirección
2	Carrocería
3	Casquillo de apoyo de plástico
4	Muelle sometido a tensión previa
5	Tubo de la columna de dirección
6	Elemento aislante de nailon
7	Sección ondulada del tubo
8	Soporte de la columna de dirección
9	Cojinete de apoyo inferior
10	Anillo de tolerancia de cojinete
11	Eje de la columna de la dirección telescópico
12	Junta universal del eje de la columna de la dirección
13	Pasadores de plástico
14	Anillo de tolerancia
15	Tornillo de fijación
16	Volante

*Nota.* Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

**Figura 2***Columna de dirección*

*Nota.* Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### ***Cremallera***

Este componente se caracteriza por su mecanismo de desmultiplicación y facilidad de montaje. Consiste en una varilla mecanizada con dientes de cremallera y se desplaza lateralmente dentro de una carcasa sostenida por casquillos de nailon o bronce. Se usan más comúnmente en vehículos con tracción delantera porque ayudan en gran medida a la fuerza del volante, lo que permite giros más suaves y un retorno más rápido a la posición de origen, como se observa en la figura 3 el cual es una configuración básica de lo que sería una cremallera. (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

**Tabla 2***Partes de una cremallera*

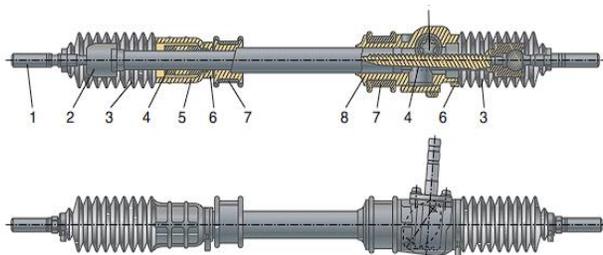
ORDEN	NOMBRE DE LAS PARTES
1	Barra de dirección
2	Rotula barra de dirección
3	Guardapolvos cremallera

ORDEN	NOMBRE DE LAS PARTES
4	Cremallera
5	Casquillo cremallera de dirección
6	Fijación guardapolvos
7	Taco elástico
8	Caja de dirección
9	Sinfín de la dirección

*Nota.* La tabla muestra los componentes enumerados en base a la figura 3. Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### Figura 3

#### *Cremallera*



*Nota.* Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

La configuración de la cremallera es que está conectada a la columna de dirección y de igual manera va directamente al brazo de acoplamiento, que estas a su vez van a las ruedas delanteras mediante dos barras de dirección. En sus extremos podemos encontrar lo que se conoce como una rótula ajustable para cambiar la convergencia. (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### ***Tornillo sin fin***

Estos tornillos sin fin vienen en muchas configuraciones diferentes, pero todos realizan la misma función. Es decir, transmite el movimiento a través de un sector dentado cuyos dientes están perfectamente alineados con el tornillo sin fin de la cremallera, el claro ejemplo se puede observar en la figura 4 el cual es un esquema simplificado de este componente.

(Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### **Tabla 3**

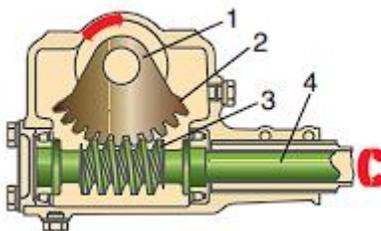
*Partes de un mecanismo tornillo sin fin*

<b>ORDEN</b>	<b>NOMBRE DE LAS PARTES</b>
<b>1</b>	Eje de la biela de mando hacia la biela de mando de la dirección
<b>2</b>	Segmento de dirección o sector dentado
<b>3</b>	Tornillo sin fin cilíndrico
<b>4</b>	Eje de la columna de la dirección

*Nota. Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)*

### **Figura 4**

*Tornillo sin fin*



*Nota. Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)*

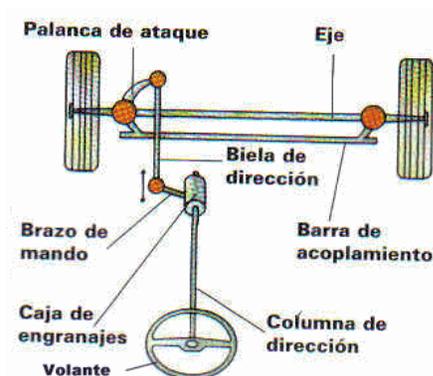
### ***Palanca de ataque***

También llamada barra de control o biela de mando, está unida a la salida del mecanismo de dirección con una ranura fina. Este absorbe el movimiento de rotación del

mecanismo de dirección y lo convierte en movimiento angular, el caso más común es el mecanismo de la figura 5. (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### Figura 5

#### *Palanca de ataque*



*Nota.* En la gráfica se muestra la ubicación de este componente en el sistema de dirección.

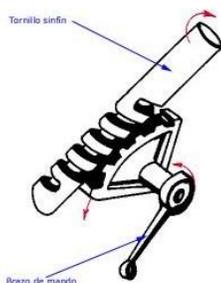
Tomado de (Ansergio, 2022)

#### **Barra de mando**

El movimiento direccional pasa por medio de la barra de mando, está unido por un lado a las barras de acoplamiento y por otro lado a la palanca de ataque. (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### Figura 6

#### *Barra de mando*



*Nota.* Barra con tornillo sin fin. Tomado de (Mecanica Del Automovil, 2022)

### ***Brazos de acoplamiento***

La función de los brazos de acoplamiento es transferir el movimiento obtenido de las acciones del conductor y los cambios de dirección a las ruedas. Consiste en un brazo de acoplamiento que a su vez va montado en manguetas perpendiculares al eje de la rueda y paralelo al suelo. Su misión es la de desplazar las ruedas hacia un lado. (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

**Tabla 4**

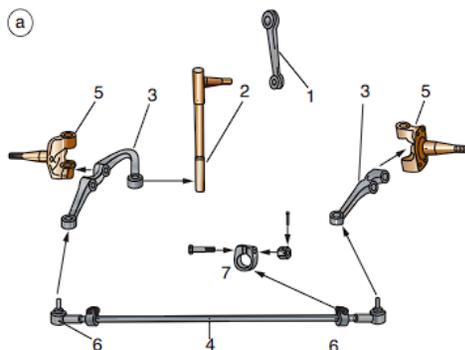
*Partes del brazo de acoplamiento*

ORDEN	NOMBRE DE LAS PARTES
1	Biela o palanca de mando
2	Barra de mando
3	Brazos o palancas de acoplamiento
4	Barra de acoplamiento
5	Manguetas
6	Rótulas
7	Abrazaderas

*Nota.* Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

**Figura 7**

*Brazos de la dirección*



*Nota.* Esquema de los brazos de dirección. Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### ***Barras de acoplamiento***

Son conocidas como bieletas de dirección, estas tienen la misión de unir las ruedas por medio de una o varias barras de acoplamiento según lo necesite. El movimiento que debe realizar este componente sobre las ruedas debe ser simultáneo y conjugado.

Están formados por tubos de acero con extremos moldeados para encajar en rótulas, por lo que la conexión entre los brazos de acoplamiento y las ruedas es elástica y se adapta a las condiciones de la carretera. Además, está la tarea de ajustar la convergencia de los neumáticos. (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### **Figura 8**

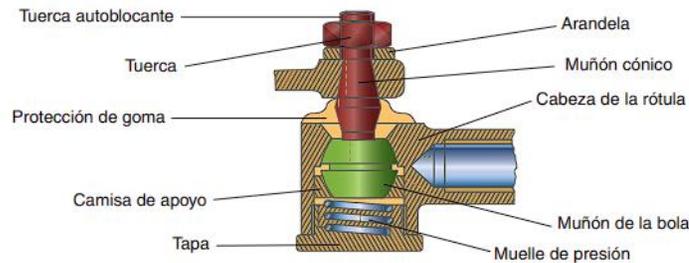
*Bieleta de dirección*



*Nota.* Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### ***Rotulas***

Cómo se puede observar en la figura 9 este componente consiste en un pasador cónico, y por otra parte del componente se puede quitar con una conexión de tornillo (Rosca) y la otra parte está alojada en una carcasa elástica. (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

**Figura 9***Rotula*

*Nota.* En esta imagen se muestra el esquema interno de una rótula. Tomado de (Gonzales, Del Rio, Tena, & Torres, 2011)

### **Reglamentos del sistema de dirección en FSAE**

- El volante debe estar conectado mecánicamente a las ruedas.
- Está prohibida la dirección accionada electrónicamente de las ruedas delanteras.
- Los sistemas de dirección deben usar un enlace mecánico rígido capaz de soportar la tensión y compresión de cargas para la operación.
- El sistema de dirección debe tener topes de dirección positivos que eviten que las articulaciones de la dirección se bloqueen. Los topes se pueden colocar en los montajes o en el portaequipaje y deben evitar que las ruedas y los neumáticos entren en contacto con la suspensión, la carrocería o el chasis durante los eventos de pista.
- El juego libre permitido del sistema de dirección está permitido a siete grados.
- La cremallera de dirección debe estar fijada mecánicamente al chasis.
- Las uniones entre todos los componentes que fijan en el volante a la cremallera de dirección deben ser mecánicas y ser visibles para la inspección técnica. No se permiten juntas pegadas sin respaldo mecánico.
- Los sujetadores en el sistema de dirección son sujetadores críticos.

- Las rotulas esféricas y cojinetes esféricos deben ser montados en doble corte y tener un perno/tornillo o una arandela con un diámetro exterior mayor que el diámetro interior de la carcasa del rodamiento.
- Se puede usar dirección a las ruedas traseras estas deben tener topes mecánicos para limitar el rango de movimiento angular de las ruedas traseras y debe tener un máximo de seis grados, además pueden ser accionadas electrónicamente.
- Todos los controles deben permanecer por debajo de la superficie del aro frontal en cualquier posición
- El volante debe estar sujeto a la columna con desconexión rápida.
- El conductor debe poder operar la desconexión rápida con los guantes puestos.
- El volante debe tener un perímetro continuo casi circular o casi ovalado.
- El tamaño de las ruedas debe tener un diámetro de 203.2 mm o más.
- Cualquier sistema de montaje de rueda que tenga una sola tuerca de retención. Debe incorporar un dispositivo para que se conserve la tuerca si se cae o se afloja.
- Los vehículos deben tener dos tipos de llantas secas y húmedas
- Los neumáticos secos son para ser presentados en la inspección técnica y pueden ser de cualquier tamaño o tipo.
- Los neumáticos húmedos pueden ser de cualquier tamaño, el patrón de la banda de rodadura debe ser moldeada por el fabricante, cualquier ranura que se haya cortado debe tener una prueba documentada de que se cumplió con la regla.
- La profundidad mínima de la banda es de 2.4mm.
- Las cuatro ruedas no tienen que ser idénticas y una vez que han sido presentadas para la inspección técnica ya no se podrán cambiar.

- La presión de los neumáticos debe estar en el rango permitido del fabricante, los quipos no deben realizar ningún corte en las ruedas, no se permiten los calentadores de neumáticos y no se puede aplicar potenciadoras de tracción. (SAE, 2021)
- **Requisitos para el sistema de dirección**
- El mecanismo del sistema de dirección tiene la misión de dar seguridad al conductor.
- **Reversibilidad controlada.** Las irregularidades de la carretera no deben afectar de manera brusca el funcionamiento del sistema de dirección y tiene que permitir un adecuado control de este.
- **Suavidad.** La suavidad está estrechamente relacionada con la capacidad de maniobrar el sistema. Esto quiere decir que debe ser accionado sin hacer esfuerzos excesivos y esto se logra con la desmultiplicación de fuerza.
- **Precisión.** En este caso tenemos dos términos relacionados que son la suavidad y la dureza del sistema. Ya que se debe encontrar un balance entre la suavidad, precisión, dureza, ya que todos estos al no ser controlados causan fatiga excesiva ya sea al conductor o a los componentes de este.
- **Estabilidad.** Con el fin de garantizar que el sistema sea seguro, esto depende de las características citadas anteriormente además dependerá mucho del material que se use para su fabricación (Llavisaca Aucapiña, 2018)

## **Tipos de suspensiones para vehículos**

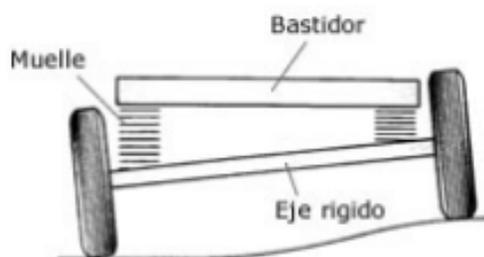
### ***Suspensión rígida***

La primera suspensión consistía en un eje fijo, en cuyos extremos se unían ruedas. Como resultado, todo el movimiento que actúa sobre una rueda se transmite a la otra rueda sobre el mismo eje. La figura 10 muestra cómo cuando se levanta una rueda, su inclinación se extiende al eje y de ahí a la otra rueda. Como los ejes están unidos directamente al bastidor, la

inclinación se transmite a todo el vehículo. Si bien este soporte es muy robusto y económico de fabricar, tiene el inconveniente de ser incómodo e inseguro para el ocupante.

## Figura 10

### *Suspensión rígida*



*Nota.* La suspensión rígida era utilizada años atrás para el uso de camiones ya que eran eficientes para la carga. Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

Como principal ventaja, los ejes rígidos destacan por su sencillez de diseño y no producen variaciones significativas en los parámetros de la rueda como caída, avance, etc. El principal uso de esta disposición de suspensión se realiza sobre todo en vehículos industriales: autobuses, camiones y vehículos todo terreno. (DOMÍNGUEZ, 2011)

### ***Suspensión semirrígida***

La suspensión es muy similar a su antecesora, la principal diferencia es que las ruedas están interconectadas y conectadas a ejes rígidos, pero absorbe parcialmente las vibraciones que recibe de las irregularidades del terreno. En cualquier caso, la suspensión no es completamente fija, pero tampoco lo es independiente. La función de tracción está separada o es la misma que las funciones de suspensión y guía, y el diferencial está unido al bastidor y no está soportado por la suspensión. Hay dos tipos de suspensión semirrígida. (DOMÍNGUEZ, 2011)

### **Sistema de Dion**

En la figura 11 se muestra una suspensión de Dion. Las ruedas están conectadas al grupo diferencial a través de soportes articulados. Para las suspensiones de eje Dion, el grupo diferencial se fija a una parte de la masa suspendida, es decir, al bastidor del vehículo. Desde este punto de vista, la rotación se transmite a las ruedas a través de dos semiejes, de forma similar

A las suspensiones de ruedas independientes. A su vez, ambas ruedas están unidas entre sí mediante un tubo de Dion que se ancla de forma rígida permitiendo a la suspensión deslizamientos longitudinales. (DOMÍNGUEZ, 2011)

**Tabla 5**

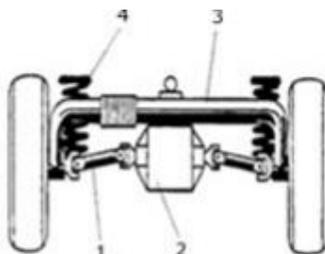
*Partes de sistema de DION*

ORDEN	NOMBRE DE LAS PARTES
1	Soportes articulados
2	Grupo diferencial
3	Traviesa o tubo de Dion
4	Muelle

*Nota.* La tabla muestra las partes de este sistema de suspensión está desarrollada en base a la figura 11. Tomada de (DOMÍNGUEZ, 2011)

**Figura 11**

*Suspensión semirrígida de DION*



*Nota.* Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

### ***Sistema de eje torsional***

En la figura 12 se puede observar lo que es un eje torsional el cual es otro tipo de suspensión semirrígida utilizada en las suspensiones traseras, en vehículos que tienen tracción delantera. El tubo que une las dos ruedas tiene forma de U, por lo que es capaz de deformarse un cierto ángulo cuando una de las ruedas encuentra un obstáculo para después, una vez pasado el obstáculo, esta vuelve a su posición inicial. Las ruedas están sujetas rígidamente a dos brazos longitudinales unidos por un travesaño que se tuerce durante las sacudidas no simétricas, dando estabilidad al vehículo. (DOMÍNGUEZ, 2011)

### **Figura 12**

*Sistema de eje torsional*



*Nota.* Este tipo de sistema se utiliza en camionetas para tener una amortiguación estable.

Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

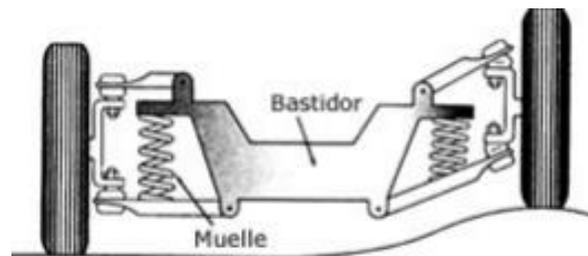
### ***Suspensión independiente***

Los sistemas de suspensión independientes tienen soportes elásticos independientes que no están unidos a otras ruedas. A diferencia de los sistemas rígidos, el movimiento de una rueda no se transmite a la otra, afectando menos a la carrocería. En la Figura 13 se muestra una suspensión independiente. Las suspensiones independientes en las cuatro ruedas, que son óptimas en términos de comodidad y estabilidad, ahora se utilizan cada vez más,

reduciendo de forma independiente las vibraciones generadas por la carretera de una rueda a otra sin transmisión. (DOMÍNGUEZ, 2011)

### Figura 13

#### *Suspensión independiente*



*Nota.* Este tipo de suspensión es utilizado en vehículo tipo sedan y en camionetas como suspensión delantera. Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

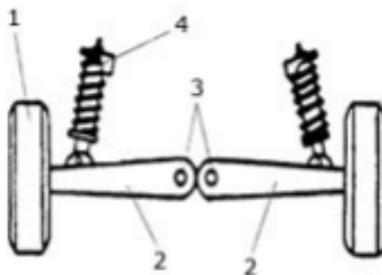
#### ***Suspensión de eje oscilante***

En la figura 14 muestra las características principales de lo es una suspensión del eje oscilante, una de las suspensiones más utilizadas hoy en día. Aquí los elementos rodantes que se encuentran en el sistema y el semieje trabajan como si fuera una sola pieza el cual favorece grandemente a la estabilidad, (excepto para la rotación de las ruedas) y el conjunto oscila alrededor de una junta cerca del plano medio longitudinal del vehículo. Uno de los puntos negativos en este tipo de suspensión es que no se puede utilizar como suspensión delantera o como eje de dirección, ya que el movimiento oscilante del semieje provoca un gran cambio en la inclinación de las ruedas al tomar una curva. El sistema de suspensión consta de dos unidades telescópicas de amortiguadores de resorte.(DOMÍNGUEZ, 2011)

**Tabla 6***Partes de la suspensión de eje oscilante*

ORDEN	NOMBRE DE LAS PARTES
1	Ruedas
2	Semieje
3	Articulación
4	Muelle y amortiguador

*Nota.* Partes del sistema de suspensión de eje oscilante. Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

**Figura 14***Suspensión de eje oscilante*

*Nota.* Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

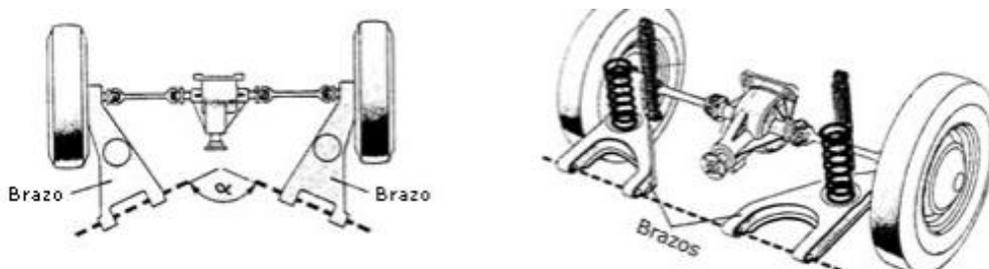
### ***Suspensión de brazos tirados***

La suspensión de brazos tirados o arrastrados se caracteriza por tener dos miembros o brazos de soporte dispuestos longitudinalmente tal y como se muestra en la figura 15, uno de los cuales está unido al bastidor y el otro extremo está unido al eje. Si el eje es un eje motriz, el conjunto del diferencial se fija al bastidor. En ambos casos, las ruedas son arrastradas o remolcadas por brazos longitudinales que pivotan sobre anclajes en la carrocería.

Este sistema de suspensión ha creado un gran número de variantes cuyas diferencias estriban fundamentalmente en cuál es el eje de giro del brazo tirado en el anclaje al bastidor y cuál es el elemento elástico que utiliza. (DOMÍNGUEZ, 2011)

### Figura 15

#### *Sistema de brazo arrastrado*



*Nota.* Este tipo de suspensión es el más ocupado para vehículos de competencia ya que son fáciles de reemplazar. Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

### **Suspensión Mcpherson**

La suspensión Mcpherson fue desarrollada por Earle S. Mcpherson, ingeniero de Ford del cual recibe su nombre. Este sistema es uno de los más utilizados en el tren delantero, aunque se puede montar igualmente en el trasero. Este sistema ha tenido mucho éxito, sobre todo en vehículos más modestos, por su sencillez de fabricación y mantenimiento, el coste de producción y el poco espacio que ocupa.

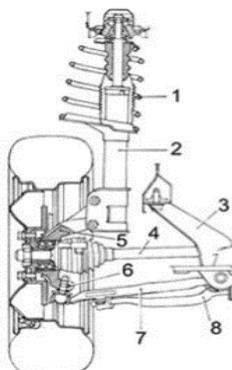
Con esta suspensión es imprescindible que la carrocería sea más resistente en los puntos donde se fijan los amortiguadores y muelles, con objeto de absorber los esfuerzos transmitidos por la suspensión. En la figura 16 se observa una suspensión mcpherson.

(DOMÍNGUEZ, 2011)

**Tabla 7***Partes suspensión Mcpherson*

ORDEN	NOMBRE DE LAS PARTES
1	Muelle helicoidal
2	Amortiguador
3	Elementos estructurales de la carrocería
4	Eje de transmisión
5	Montante
6	Rotula de arrastre
7	Brazo transversal
8	Barra estabilizadora

*Nota.* La tabla fue desarrollada en base a los datos de la figura 16. Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

**Figura 16***Suspensión Mcpherson*

*Nota.* Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

### ***Suspensión de paralelogramo deformable***

Las suspensiones de paralelogramo deformable, junto con las suspensiones macpherson, se usan más comúnmente en muchos automóviles para las ruedas delanteras y traseras. Esta suspensión también se conoce como suspensión de bisagra trapezoidal o suspensión de triángulo superpuesto.

En la figura 17 se muestra una suspensión convencional de paralelogramo deformable. El paralelogramo está formado por un brazo superior y otro inferior que están unidos al chasis a través de unos pivotes, cerrando el paralelogramo a un lado el propio chasis y al otro la propia mangueta de la rueda. La mangueta está articulada con los brazos mediante rótulas esféricas que permiten la orientación de la rueda.

Los elementos coaxiales elásticos y amortiguadores también coaxiales son de tipo resorte telescópico helicoidal o hidráulico estos últimos siendo los más utilizados, los cuales se fijan en la parte inferior del amortiguador en conjunto con la parte inferior de brazo y en la parte superior al marco. El sistema consta de un tope que evita que el antebrazo se levante más allá del límite elástico del resorte y un estabilizador lateral fijado al antebrazo. (DOMÍNGUEZ, 2011)

**Tabla 8**

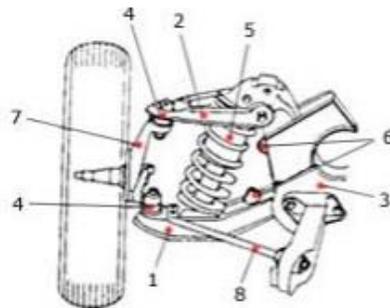
*Componentes suspensión paralelogramo deformable*

<b>ORDEN</b>	<b>NOMBRE DE LAS PARTES</b>
<b>1</b>	Trapezio o brazo inferior
<b>2</b>	Trapezio o brazo superior
<b>3</b>	Bastidor
<b>4</b>	Rotula
<b>5</b>	Conjunto muelle-amortiguador
<b>6</b>	Topes de goma
<b>7</b>	Mangueta
<b>8</b>	Barra estabilizadora

*Nota.* Los datos de esta tabla fueron tomados en base a la figura 18. Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

### **Figura 17**

*Suspensión de paralelogramo deformable*



*Nota.* Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)

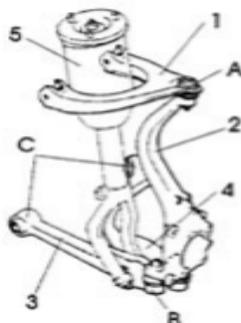
### ***Suspensión multibrazo (multilink)***

La Figura 18 muestra una suspensión multibrazo basada en el mismo concepto básico que su predecesora. Suspensión de paralelogramo deformable.

Gracias a esta variante, las suspensiones multibrazo permiten modificar tanto los parámetros fundamentales de la rueda, como la caída o la convergencia, de la forma más apropiada para la estabilidad en las distintas situaciones de uso del automóvil. Esto significa que las dinámicas longitudinal y transversal pueden configurarse de forma precisa y prácticamente independiente entre sí, y que puede alcanzarse un grado máximo de estabilidad direccional y confort. (DOMÍNGUEZ, 2011)

**Tabla 9***Partes de la suspensión multibrazo*

ORDEN	NOMBRE DE LAS PARTES
1	Brazo superior
2	Mangueta
3	Brazo inferior transversal
4	Tercer brazo
5	Amortiguador
A	Buje de articulación
B	Rotula doble
C	Casquillos de unión

*Nota. Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)***Figura 18***Suspensión multibrazo**Nota. Tomado de (DOMÍNGUEZ, 2011)***Componentes del sistema de suspensión**

El sistema de suspensión presenta varios componentes principales:

**Resortes de acero:** Este tipo de resortes son los más utilizados en casi todos los vehículos. Tiene la ventaja de proporcionar un recorrido largo con una elasticidad suave sin ocupar espacio ni agregar peso. Se retuercen en proporción a la fuerza que tienen que soportar, se acortan en longitud y vuelven a su posición de reposo cuando cesa el efecto causado por la deformación. Entre las desventajas de los muelles en espiral es que ellos en sí mismos no sirven para producir sujeción, por lo que deben estar acompañados de unos tensores de agarre a ese fin. (TIXCE, 2016)

### Figura 19

*Resortes de suspensión*



*Nota.* También son conocidos como muelles de suspensión. Tomado de (TIXCE, 2016)

**Hojas superpuestas o ballestas:** Las ballestas se utilizan principalmente en camiones debido a su simplicidad y larga vida útil. Consisten en una serie de placas de acero al manganeso endurecido de diferentes longitudes tal como se puede observar en la figura 20, apiladas desde la más pequeña hasta la más grande y sujetas por un pasador central el cual recibe el nombre de 'perno-capuchino'. Para mantener las láminas alineadas se les coloca unas abrazaderas, la hoja más larga se le llama 'maestra', la cual termina en sus extremos en dos curvaturas que forman un cilindro pequeño por donde se une al vehículo utilizando un casquillo o tope de goma. (TIXCE, 2016)

**Figura 20***Ballestas*

*Nota.* Este componente de suspensión es más utilizado en la parte trasera de los vehículos (TIXCE, 2016)

**Barra de torsión:** Este es un tipo de resorte, pero como se observa en la Figura 21 es un tubo de acero, que se usa en algunos vehículos con suspensión independiente, ya sea en la parte trasera o en la parte delantera. Su función se basa en el hecho de que, si se fija un extremo de una barra de acero elástica y se aplica una carga de torsión en el otro extremo la barra se torcerá, pero volverá a su forma original cuando se elimine la carga. Esta barra absorbe los movimientos verticales del neumático torciéndose más o menos cuando el vehículo transita por un camino irregular. (TIXCE, 2016)

**Figura 21***Barra de torsión*

*Nota.* La ubicación de este elemento depende del diseño del vehículo. Tomado de (TIXCE, 2016)

**Barra estabilizadora:** Las barras estabilizadoras están instaladas en los ejes delantero y trasero para evitar que el vehículo vuelque y provoque un vuelco. Como se observa en la figura 22 una barra estabilizadora es una o más barras elásticas de acero unidas por el exterior a los soportes de suspensión de las ruedas, por ello, al tomar una curva, como una de las ruedas tiende a bajar y la otra a subir, se crea un par de torsión en la barra que absorbe el esfuerzo y se opone a que esto ocurra. Así la carrocería se mantiene estable y en posición horizontal. (TIXCE, 2016)

## Figura 22

*Barra estabilizadora*



*Nota.* Tomado de (TIXCE, 2016)

**Amortiguadores:** Un amortiguador es un elemento que amortigua la vibración de un resorte, ballesta o barra de torsión. Por esta razón, la acción de detener la acción de compresión del amortiguador y luego detener la acción de reacción del resorte se denomina amortiguador de doble efecto. Existen dos tipos de amortiguadores: los hidráulicos los cuales se observa en la figura 23 el cual poseen aceite en su interior y son los más usados en los autos, los de gas incorporan tanto aceite como gas de nitrógeno a alta presión. Los amortiguadores a gas además de amortiguar también hacen en cierto modo de resorte elástico, es por ello por lo que esta clase de amortiguadores vuelven a su posición cuando se deja actuar sobre ellos. (TIXCE, 2016)

### Figura 23

#### *Amortiguadores*



*Nota.* Los más utilizados son los hidráulicos. Tomado de (TIXCE, 2016)

**Topes de goma:** En la figura 24 se puede observar este componente lo cual en la mayoría de los casos estos componentes están hechos de goma, pero se pueden encontrar casos en las que estos son aleaciones de caucho con alambre al igual que un neumático, este elemento tienen como única finalidad evitar los golpes directos de metal con metal, regularmente van ubicados entre el chasis del vehículo y el muelle para evitar así el contacto directo de estos, cuando la oscilación pasa de los rangos normales.

### Figura 24

#### *Topes de goma para suspensión*



*Nota.* Este componente es fabricado de varios materiales. Tomado de (TIXCE, 2016)

**Balancín de suspensión:** Elementos técnicamente conocidos como grilletes de suspensión o gemelos de suspensión es lo que se puede observar en la figura 25. Equivalente a la pieza de conexión entre un extremo de una ballesta de suspensión y el marco, chasis o carrocería de un automóvil. Esta parte es necesaria para permitir el desplazamiento entre los extremos de la ballesta y el desplazamiento de flexión que se produce cuando el neumático está expuesto a terrenos con oscilaciones. Los materiales de fabricación son aceros bajos en carbono como SAE 1020 u otras aleaciones en pequeñas cantidades. (LINEA AUTOMOTRIZ, 2022)

### Figura 25

*Balancín de suspensión*



*Nota.* Este componente se utiliza en vehículos con estructuras totalmente de tubos cumpliendo con el papel de sujetador. Tomado de (TIXCE, 2016)

**Rótulas:** como se observa en la figura 26 este componente es una junta esférica que permite el movimiento vertical y de rotación de las ruedas directrices de la suspensión delantera. Su fijación se realiza mediante tornillos o roscados exteriores o interiores y se compone básicamente por casquillos de fricción y de perno encerrado en una carcasa. (TIXCE, 2016)

**Figura 26***Rótula*

*Nota.* Este componente además de trabajar como unión de elementos, también trabaja como elemento de movimiento. Tomado de (TIXCE, 2016)

### **Reglamentos del sistema de suspensión en FSAE**

- El vehículo debe tener un sistema de suspensión completamente operativo con amortiguadores, delanteros y traseros, con recorrido mínimo útil de rueda de 50 mm, con conductor sentado.
- Los oficiales pueden descalificar vehículos que no representen un intento serio de una operación sistema de suspensión, o que demuestren un manejo inapropiado para un circuito de auto Cross.
- Todos los puntos de montaje de la suspensión deben ser visibles en la Inspección Técnica por vista directa o por quitando cualquier cubierta.
- Los sujetadores en el sistema de suspensión son sujetadores críticos:
- Requisitos críticos de sujetadores
- Cualquier sujetador crítico debe cumplir, como mínimo, uno de los siguientes:
- SAE Grado 5
- Grado métrico 8.8
- Especificaciones AN/MS

- Equivalente o mejor que el anterior, según lo aprobado por una Cuestión de Reglas o en una Reunión Técnica.
- Todas las rótulas y cojinetes esféricos en la suspensión y dirección deben ser uno de:
- Montado en doble corte
- Capturado por tener una cabeza de tornillo/perno o una arandela con un diámetro exterior mayor que el diámetro interior de la carcasa del rodamiento esférico. (SAE, 2021)

### **Camber**

El camber o el ángulo de caída se toman en cuenta el ángulo de simetría, como el ángulo de separación de la rueda con respecto al plano horizontal del que la rueda se apoya a la superficie de rodadura.

Como se ve en la Figura 27, este tipo de ángulo depende de la construcción del camino y del vehículo. En otras palabras, los dos tipos se pueden distinguir si el ángulo de inclinación apunta hacia afuera o hacia adentro con respecto a la vertical de la rueda. Excepto cuando existe una caída en cero o camber nulo, que no tiene ningún tipo de desviación.

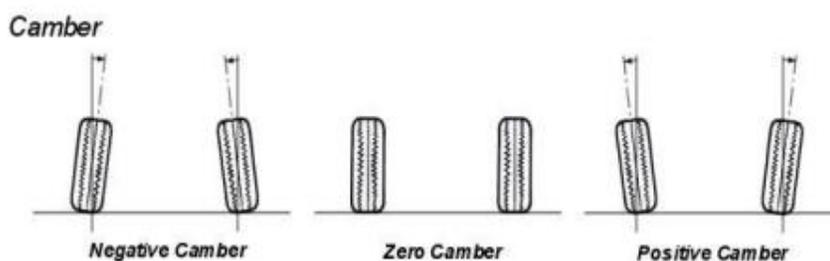
Si el borde superior de la rueda sobresale y el borde inferior apunta hacia el centro del vehículo cuando se ve el vehículo desde el frente, esto se denomina camber (inclinación) positivo. Por otro lado, si las ruedas apuntan hacia el frente del vehículo y la parte superior está hacia el centro del vehículo, esto se denomina camber (inclinación) negativo. (helloauto, 2022)

El camber queda establecido por la carretera en la que se va a utilizar, ya que este favorece en la parte de la estabilidad en curvas, así como una repartición de pesos por igual al momento de manejar el vehículo, siendo así que también el camber queda establecido por los

pesos en el vehículo, siendo la mejor opción para vías rectas el camber cero o nulo, así como para vías con curvas en la que se aplica velocidad es el camber negativo, y autos según su peso y altura el camber positivo. Tener en cuenta que al aplicar un camber se producirá un desgaste temprano en los neumáticos.

### Figura 27

*Tipos de Camber en los vehículos*



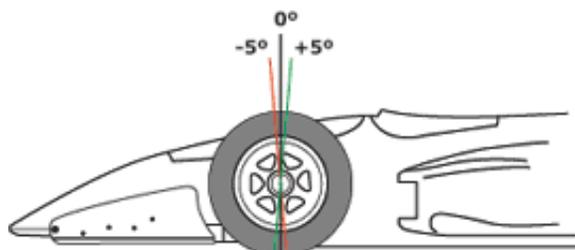
*Nota.* El tipo de camber será en base a lo que vas a utilizar tu vehículo. Tomado de (Castro, 2017)

### Ángulo caster

El ángulo caster, identifica la inclinación hacia delante o atrás de una línea vertical que pasa por la parte de arriba hacia abajo del pivote de dirección al ver el vehículo de costado tal como se puede observar en la figura 28 tomando los ángulos en referencia al suelo y la rueda. El ángulo caster se expresa en grados, y es medido comparando una línea que pasa por la parte de arriba y abajo del pivote de dirección, superior o inferior de un brazo tipo A u horquilla; o la rótula inferior montada en un diseño de puntal (amortiguador/strut) con una línea perpendicular a la carretera. El ángulo caster es positivo cuando la parte arriba de la línea se inclina hacia la parte trasera del vehículo y negativo cuando se inclina hacia al frente. (tirerack.com, 2022)

## Figura 28

### Ángulo de caster en fórmula



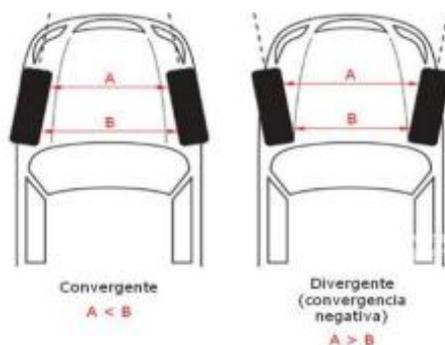
*Nota.* El ángulo caster es utilizado más en prototipo de competencias. Tomado de (tirerack.com, 2022)

### Convergente o divergente

El ángulo de convergencia o Toe angle es el ángulo formado por la intersección de los planos medianos de las ruedas de un mismo eje, o el ángulo formado por ellas con respecto al eje longitudinal, y el número de ruedas cuyas intersecciones con los planos medianos son del eje que montan, como se puede observar en el lado izquierdo de la figura 29 la convergencia es positiva en donde los neumáticos están sometidos a un punto interno frontal, tal es el caso de la derecha en la figura 29 el cual muestra lo contrario denominado convergencia negativa o también llamado como divergencia. (Castro, 2017)

## Figura 29

### Convergencia y Divergencia



*Nota.* La convergencia estará siempre en las ruedas delanteras. Tomado de (Castro, 2017)

### **Lo que debes saber de los neumáticos**

Los neumáticos son una de las partes más importantes de un vehículo, donde una combinación de química, física e ingeniería se unen para convertirse en un determinante clave de una conducción segura. Puede que no sea la parte más costosa de su automóvil, pero sin llantas en condiciones adecuadas, podría estar en un accidente de tránsito, una llanta reventada o un peligro para la seguridad vial.

Tenga en cuenta que los neumáticos se componen de 12 a 15 elementos, de los cuales los más importantes son el caucho, el metal y el textil. Las ranuras o bien llamado labrado deben tener en el neumático al menos 1,6 mm de profundidad para mantener una conducción cómoda. Además, aunque no tenga fecha de caducidad, te recomendamos que deseches los neumáticos que tengan más de 10 años. (Álvarez, 2022)

### **Índice de velocidad en un neumático**

Un índice de velocidad es un código alfabético que corresponde a la velocidad máxima que puede alcanzar un neumático al momento de rodar. Para encontrar la velocidad nominal, observe una pared lateral de la llanta y compárela con la tabla de velocidad nominal como se muestra en la figura 30. (Pneus-online, 2022)

### **Figura 30**

*Índice de velocidad del neumático*



*Nota.* Tomado de (NEMATICOS PORPOCO, 2022)

### **Índice de cargas en un neumático**

Un índice de carga es un código numérico que corresponde a la carga máxima que puede soportar un neumático. Duplicar la carga de los neumáticos debe cubrir toda la carga del eje del vehículo. Para encontrar su índice de carga, mire una pared lateral de su llanta y compárela con una tabla de índice de peso como la que se encuentra en la tabla 10. (Pneus-online, 2022)

**Tabla 10**

*Índice de cargas de un neumático*

<b>ÍNDICE</b>	<b>Peso en kg</b>	<b>Peso en Libras</b>
<b>68</b>	315	694.456
<b>69</b>	325	716.502
<b>70</b>	345	760.595
<b>71</b>	355	782.641
<b>72</b>	365	804.687
<b>73</b>	375	826.733
<b>74</b>	387	853.189
<b>75</b>	400	881.849
<b>76</b>	412	908.305
<b>77</b>	425	936.965
<b>78</b>	435	959.011
<b>79</b>	445	981.057
<b>80</b>	450	992.08

*Nota.* Estos índices de cargas pueden variar dependiendo el material del que estén fabricados los neumáticos. Tomado de (Pneus-online, 2022)

### **Neumáticos en competencias**

Como casi todo el mundo sabe, los neumáticos "de calle" se miden por una relación (denominada perfil) entre la anchura de su balón (a) y su altura (b).

Sin embargo este sistema no es adecuado para definir las medidas de un neumático de competición. Donde nos interesa mucho más la anchura de contacto con el suelo ("huella" o "pisada"), para lograr un despliegue de velocidad óptimo y para equipar el vehículo con una superficie de contacto con el suelo que corresponda al rendimiento del vehículo o al diámetro absoluto de la rueda por razones de espacio y distancia al suelo.

Por ello, en las medidas de los neumáticos de competición se las toman en referencia a como se muestra en la figura 29, se definen la anchura real de contacto con el suelo (A) en milímetros o centímetros, su diámetro absoluto (B), también en cm o mm y, naturalmente, la medida de la llanta en pulgadas (C). (fedimacompeticion.com, 2022)

**Tabla 11**

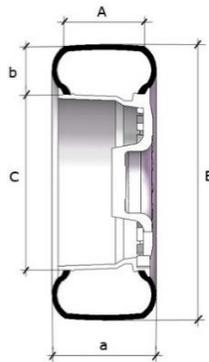
*Partes de un neumático*

<b>ORDEN</b>	<b>NOMBRE DE LAS PARTES</b>
<b>A</b>	Ancho de huella
<b>B</b>	Diámetro exterior total neumático
<b>C</b>	Diámetro de llanta en pulgadas
<b>A</b>	Ancho total neumático en mm
<b>B</b>	Perfil neumático

*Nota.* Esta tabla está realizada en base a la figura 31. Tomado de (fedimacompeticion.com, 2022)

### **Figura 31**

*Medidas de un neumático*



*Nota.* Tomado de (fedimacompeticion.com, 2022)

### **Requisitos para el sistema de suspensión**

Cualquier tipo de vehículo consta de las siguientes partes:

- Masa Suspendida, es la parte de la masa total que es soportada por el sistema de suspensión. Está constituida por chasis, grupo motor, carrocería, etc.; además de la carga del vehículo.
- Masa no Suspendida, formada por el sistema de suspensión y los elementos que conectan dicho sistema con la vía sobre la que circula el vehículo. Son ejes, ruedas, frenos del vehículo (si están incluidos fuera del chasis), elementos de transmisión, etc. Actualmente existen distintas disposiciones de suspensión cuyo uso depende del tipo de comportamiento que se busca en el vehículo: mayores prestaciones, más comodidad, sencillez y economía, etc. (DOMÍNGUEZ, 2011)

## Capítulo III

### Implementación de los sistemas

#### Identificación del tipo de sistema de suspensión

En este punto se realizará un estudio detallado de los pesos y fuerzas ejercidas sobre los prototipos eléctricos SAE en base a los parámetros y normativas establecidas por FSAE 2022. Esto le ayudará a elegir el tipo de componente y sistema. Implementado en ella.

- Proporcionar un comportamiento vertical de tal forma que las ruedas puedan superar los desniveles de la carretera, aislando a la carrocería de movimientos bruscos.
- Reaccionar a las fuerzas de control que se transmiten desde las ruedas: fuerzas longitudinales (aceleración y frenado), fuerzas laterales (en el giro) y pares de la dirección y frenado.
- Mantener la posición de los neumáticos en perfecto estado de funcionamiento respecto a la superficie de la carretera.
- Soportar los movimientos de la carrocería
- Que las ruedas siempre estén en contacto con la carretera en momentos de variaciones.

Con estos puntos establecidos se buscara el mejor mecanismo para nuestro prototipo, tales puntos también están basados en los reglamentos de SAE 2022. Teniendo en cuenta estas consideraciones para el sistema de suspensión se llega a la conclusión de que esta debe mantener la adherencia de los neumáticos con el suelo en todo momento garantizando así la seguridad de los ocupantes del habitáculo. (GRAZIANO, 2017)

Por las razones anteriores, el sistema que mejor cumplía con los requisitos de diseño es el independiente para la suspensión delantera, pero debido a la ubicación del motor dentro del

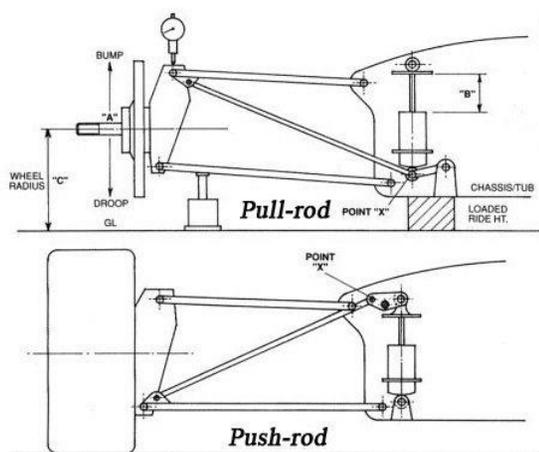
chasis monoplaza, se optó por un diseño de eje rígido para la suspensión trasera.

Específicamente para la suspensión delantera la selección se realizará el estudio y capacidad en el sistema de suspensión de autos de competencia como por ejemplo en Fórmula 1. Se analiza el sistema de suspensión de paralelogramo deformable, el sistema pull-rod y el push-rod el cual es el que se muestra en la figura 32. (Cañadas, 2022)

Para el sistema de suspensión trasero no se consideran modificaciones para el eje rígido motriz. El manejar dos tipos de suspensiones en un solo vehículo representa un aprovechamiento de lo mejor de cada sistema.

### Figura 32

Sistema pull-rod y el push-rod



Nota. Tomado de (Cañadas, 2022)

## Componentes del sistema de suspensión FSAE

**Tabla 12**

*Componentes sistema de suspensión*

COMPONENTES	
<b>Amortiguación</b>	Amortiguadores de gas Para chasis Ds150
	MUELLE – AMORTIGUADOR
<b>Estabilización</b>	Muelles
	Bieleta
	Triangulo Superior
	Triangulo Inferior
<b>Sujeción</b>	Push - Rod
	Brazo de control
	Terminales
	Roturas
	Barra estabilizadora
	Buje

*Nota.* Esta tabla se desarrolló en base a lo necesitado para la instalación de nuestro sistema de suspensión

### Identificación del tipo del sistema de dirección

Como se mencionó anteriormente, existen muchos tipos diferentes de sistemas de dirección en el campo de la automoción, de los cuales podemos destacar los mecanismos

específicos que se utilizan actualmente en los vehículos. Estos mecanismos se presentan a continuación para un análisis más detallado.

- a) Mecanismo de tornillo y elementos deslizantes
- b) Mecanismo de bolas circulantes
- c) Mecanismo de tornillo sin fin y dedo de rodadura
- d) Mecanismo de piñón y cremallera

Se han definido varios criterios de diversa importancia para seleccionar el más adecuado. Cada opción se analiza utilizando estos criterios. A continuación, se presenta una tabla que muestra los criterios y su respectiva importancia. Marque con una X si coincide con este parámetro, de lo contrario deje el campo en blanco, los criterios se presentan continuación en la tabla 13.

### **Tabla 13**

*Criterios para la selección del sistema de dirección*

<b>CRITERIO</b>
<b>MENOS COSTO</b>
<b>AHORRO DE ESPACIO</b>
<b>FACILIDAD DE MANTENIMIENTO</b>
<b>SISTEMA FIABLE</b>
<b>FACILIDAD DE INSTALACIÓN</b>

*Nota.* Los criterios fueron tomados en base a lo que necesitamos para un buen rendimiento del sistema

En base a los reglamentos de la fórmula SAE, lo cual está estipulado las características y especificaciones que debe cumplir el sistema de dirección, además nos basamos en una publicación vía web en la cual se realiza la clasificación de los sistemas de dirección según el campo en el que se vaya a ocupar el vehículo. (BUENDIA, 2006)

**Tabla 14**

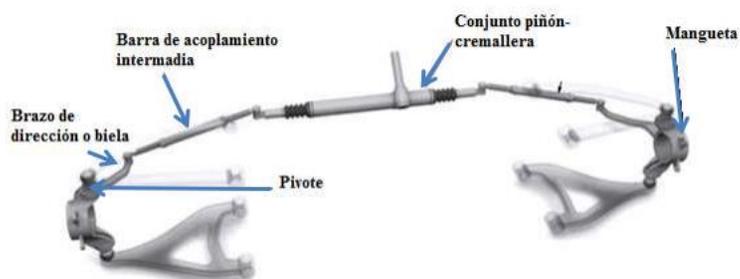
*Calificación del mecanismo de dirección*

	<b>COSTO</b>	<b>ESPACIO</b>	<b>MANTENIMIENTO</b>	<b>SEGURIDAD</b>	<b>INSTALACION</b>
<b>Mecanismo A</b>		X	X		
<b>Mecanismo B</b>	X			X	
<b>Mecanismo C</b>		X	X	X	
<b>Mecanismo D</b>	X	X	X		X

Se elige entonces una configuración de varillaje con barra de dirección de dos piezas, la cual se muestra en la Figura 32. Este tipo de configuración nos permitirá un acoplamiento fácil de todos los elementos además de ahorro de espacio y materiales en todo lo que compete a la construcción del sistema de dirección. El cual este posea un mecanismo de desmultiplicación piñón-cremallera más el varillaje con barra de dirección de dos piezas, tendría una apariencia similar a la figura 33

**Figura 33**

*Esquema de un sistema piñón-cremallera*



*Nota.* Tomado de (Castro, 2017)

### Componentes del sistema de dirección del FSAE

**Tabla 15**

*Componentes a utilizar en el sistema de dirección*

COMPONENTES DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN FSAE	
<b>Ensamble del volante</b>	Volante
	Acople
<b>Columna de dirección</b>	Columna
	Junta universal
	Junta protectora
	Acople estriado
<b>Cremallera de dirección</b>	Engranaje de piñón engranaje de cremallera
	Cremallera
	Carcaza de cremallera
<b>Ensamble de tirantes</b>	Tubos
	Bujes roscados
	Terminales

COMPONENTES DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN FSAE	
<b>Cubo de rueda</b>	Inserción de terminales
	Manzana frontal Manzana posterior
	Tuercas de rueda
	Rodamiento de rueda
<b>Rines</b>	Esparrago de rueda
	Llantas
	Neumáticos
	Separador de rueda

*Nota.* La tabla se desarrolló con el sistema seleccionado

### **Tipo de alineación el en fórmula SAE**

El valor en el ángulo recomendado para el camber está limitado esto se debe a los puntos que se han mencionado anteriormente en el documento como el peor y diseño del vehículo, lo más recomendado es un ángulo a  $-5^{\circ}$  Incluso en vehículos de competición este ángulo es menor aún, ya que aun camber más pronunciado aumenta la resistencia a rodadura y la temperatura de los neumáticos, para los vehículos que participan en competiciones de FSAE los valores de camber habituales se encuentran entre  $1^{\circ}$ -  $4^{\circ}$  negativos. (William F. Milliken, 1994)

En cuanto a la simetría o también conocidos como ángulos los más adecuados para lo que es la convergencia en los ejes del vehículo lo más adecuado en la parte delantera es una convergencia cero, y con referencia a las ruedas traseras cómo serán las de tracción deben tener una cierta convergencia positiva para utilizar así la estabilidad en la parte posterior, en los vehículos de competición los valores recomendados son entre  $3^{\circ}$ - $6^{\circ}$ .

Los valores recomendados en la simetría de los ángulos de caster para vehículos de competición de Fórmula SAE se presenta ángulos de avances menores para disminuir la dureza de la dirección, unos valores adecuados para el vehículo serían de 3° a 6° para la parte delantera y 4° a 9° en la parte trasera (William F. Milliken, 1994)

### Componentes por comprar y construir

En la tabla 16 se puede ver todos los componentes que se van a comprar, así como los componentes que se van a diseñar acorde a nuestro prototipo, además de que en esta tabla se encuentran ya enlistados componentes menores que se utilizaran para los sistemas de dirección y suspensión.

**Tabla 16**

*Componentes por comprar y construir*

<b>Elementos de la suspensión y dirección</b>	
<b>Comprar</b>	<b>Construir</b>
<b>Junta universal</b>	Construcción del alojamiento del rodamiento
<b>Rotulas</b>	Construcción de bases de la cremallera
<b>Cremallera</b>	Construcción de bujes estriados y roscados
<b>Rodamientos</b>	Triángulos de suspensión
<b>Pernos de acero M8</b>	
<b>Neumáticos</b>	-
<b>Arandelas</b>	
<b>Aros</b>	-
<b>Amortiguadores</b>	-

*Nota.* Los componentes a construir son porque no existen estos en las medidas que necesitamos para el prototipo

### **Selección de neumáticos y aros**

Para este punto, se tomarán ciertos criterios para la selección de los neumáticos y los aros, en los cuales se verá el diseño el tipo de material, su construcción así también se tomará en cuenta las especificaciones en las que se basa el reglamento de la fórmula SAE para la selección de nuestros neumáticos y aros.

Para una buena selección de estos componentes se calificarán los criterios de diferentes tipos de aros, así como de neumáticos, en la cual se marcarán con una X los casilleros de los parámetros en caso si se llegue a cumplir, eligiendo así por descalificación quedando al final los componentes que más se adapten a lo que buscamos para nuestro prototipo FSAE, los criterios que se tomaran en cuenta se presentan a continuación en la tabla 17.

### **Tabla 17**

*Criterios para la selección de aros*

<b>CRITERIO A CALIFICAR</b>
-----------------------------

<b>Economía</b>
-----------------

<b>Diseño Deportivo</b>
-------------------------

<b>Tamaño acorde al vehículo</b>
----------------------------------

<b>Material resistente</b>
----------------------------

*Nota.* Realizamos una Investigación de campo para definir estos criterios, para así poder definir el elemento más conveniente.

Para la designación de tamaño (diámetro) o rin de los aros a ocupar no se realizará una clasificación, ya que el tamaño de nuestro vehículo solo nos da para dos opciones un rin 12 o

13 que son los tamaños ideales que según la fórmula SAE están estipulados para un mejor rendimiento en estos tipos de vehículos, así con el fin de economizar el proyecto se ha elegido utilizar un rin 12, para un mejor desarrollo del prototipo debido a su tamaño y peso, con esto establecido se realizará la clasificación de los aros teniendo en cuenta que todos serán de un mismo tipo de rin.

**Tabla 18**

*Selección de aros*

	<b>Economía</b>	<b>Diseño Deportivo</b>	<b>Tamaño acorde al vehículo</b>	<b>Material resistente</b>
<b>Aluminio</b>	X	X	X	X
<b>De aleación</b>		X	X	X
<b>Magnesio</b>			X	X
<b>De fibra de carbono</b>		X	X	X
<b>Acero</b>	X		X	

Una vez calificado los criterios anteriormente presentados nos quedaremos con el elemento más adecuado seleccionando el que más casilleros tenga marcado por la X, cumpliendo así con el método de calificación para obtener el mejor resultado, así como se puede observar en la tabla 18, por ende, se llega a seleccionar el tipo de ro rin 12 hecho de aluminio.

**Tabla 19**

*Criterios para la selección de neumáticos*

<b>CRITERIO CALIFICAR</b>
<b>Labrado deportivo</b>
<b>Índice de carga (91)</b>
<b>Material resistente</b>

CRITERIO CALIFICAR
--------------------

<b>Resistente a cambio de presiones</b>
---

<b>Índice de velocidad (H)</b>
--------------------------------

<b>Económicos</b>
-------------------

*Nota.* Los criterios fueron tomados en base a las características del prototipo.

Una vez calificado cada uno de los criterios en la tabla 20 se seleccionará el neumático con más casilleros llenos cumpliendo así con el método de calificación en el cual quedará el neumático más adecuado para nuestro prototipo de fórmula SAE, por último, vemos que el neumático más adecuado es el de tipo diagonal y radial de rin 12 / 91H.

**Tabla 20**

*Selección de neumático*

	Económico	Labrado deportivo	Índice de carga (91)	Material resistente	Resistente a cambio de presiones	Código de velocidad (H)
<b>Neumático diagonal y radial</b>	X	X	X	X		X
Neumático all seasons	X		X	X	X	
<b>Neumáticos asimétricos y direccionales</b>	X	X			X	
Neumáticos runflat				X	X	
<b>Neumáticos de perfil bajo</b>			X	X	X	
<b>Neumáticos "tubulless"</b>			X		X	X

*Nota.* Con el desarrollo de esta tabla se buscó el neumático más adecuado a nuestro prototipo

### **Boceto del sistema de dirección y suspensión**

Con todos los parámetros ya antes mencionados serán tomando todos los puntos y criterios importantes para darle una forma a nuestros sistemas, tanto de dirección como de suspensión para realizar un boceto de lo que sería cada uno de nuestros sistemas. De cómo se verían cada uno de estos sistemas de forma independientemente.

Primero comenzaremos con el boceto de nuestro sistema de dirección el cual se conforma por componentes mínimos pero muy importantes para el funcionamiento de nuestro prototipo, basándonos tanto en nuestra clasificación y selección que se ha hecho durante todo el documento en base a los reglamentos de fórmula SAE.

#### **Figura 34**

*Sistema de dirección mecánica FSAE*



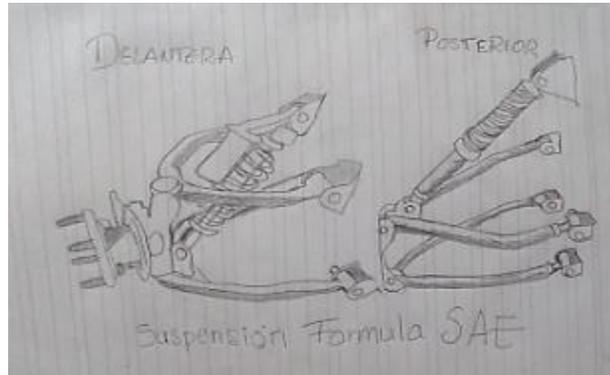
*Nota.* El boceto se desarrolló cuando el chasis del prototipo ya estaba desarrollado, esto con el fin de tomar dimensiones para el sistema de dirección.

El sistema de suspensión se tomarán los mismos criterios anteriormente mencionados en el documento, así como los puntos necesarios y reglamentos establecidos por la fórmula SAE, para designar medidas posiciones y dimensiones de lo que llegaría a ser nuestro sistema

de suspensión visto individualmente, antes de ser colocado en la carrocería de nuestro prototipo.

### Figura 35

*Sistema de dirección FSAE*



### Instalación del sistema de suspensión

a) Comenzamos con la compra de nuestros componentes del sistema de suspensión en donde el precio está estipulado en el presupuesto, y en la figura 36 se puede observar todos los componentes que se llegó a comprar.

### Figura 36

*Partes del sistema de suspensión*



b) Una vez ha tenido esos elementos realizamos la construcción nuestros triángulos de suspensión tanto inferiores como superiores estos realizados tubos de una pulgada de 2 mm de espesor, en la figura 37 se puede observar el tipo de tubo que se usó.

**Figura 37**

*Tubo de 1in x 2mm*



c) Cortamos el tubo en sus medidas necesarias para luego proceder a doblarlos y darles la forma necesaria, para así poder adaptarlo a nuestro prototipo, como se puede ver en la figura 38 una vez cortados los tubos, se le fue dando forma a estos con una dobladora.

**Figura 38**

*Diseño de los triángulos de suspensión*



d) Utilizaremos también juntas por unos de sus extremos están se utilizarán para unir nuestro componente al chasis, en el otro extremo utilizaremos terminales y así poder unirla a nuestra manzana de ruedas, como se observa en la figura 39 los triángulos de suspensión ya están terminadas.

**Figura 39***Construcción de los triángulos de suspensión*

e) Una vez con las piezas ya terminadas se procede a unir estas mediante el proceso de solda conocido como MIG, se soldarán las piezas, así como los terminales además de un par de juntas en el chasis, como se puede observar en la figura 30 se realizó el proceso de solda MIG reforzando los puntos donde fueron sujetos nuestros triángulos de suspensión.

**Figura 40***Proceso de soldadura MIG*

f) Una vez realizado los pasos anteriores se procede a unir nuestros triángulos de suspensión mediante pernos M8 y bujes de caucho para tener estos elementos con un movimiento fijo colocándolos en sus respectivos lugares, por un extremo ira sujeta a la cacería y los otros extremos estarán sujetos a los extremos de la manzana de la rueda igual manera mediante pernos M8 y bujes, como se observa en la figura 41 nuestros triángulos de suspensión están sujetos ya están sujetas al chasis.

**Figura 41**

*triángulos de suspensión colocados*



g) Una vez colocado los triángulos de suspensión se ubicarán nuestros amortiguadores de gas como muelle es sus respectivos lugares, los amortiguadores de la parte delantera se colocarán en medio de los triángulos de suspensión cumpliendo así con el efecto de push-rod para obtener así una estabilidad, como se observa en la figura 42 se posiciona primero el amortiguador para proceder con su colocación.

**Figura 42**

*Posicionamiento del amortiguador*



h) Los amortiguadores delanteros estarán sujetos por un extremo al chasis y el otro extremo estará en la punta de nuestro triángulo de suspensión inferior sujeta de igual manera con pernos y bujes, tal como se observa en la figura 43.

### Figura 43

*Amortiguador colocado*



- i) Una vez terminado el sistema de suspensión delantero procedemos a colocar nuestros triángulos superiores e inferiores de suspensión en la parte posterior, este proceso se realizará como en los triángulos de suspensión delanteros, sujetos mediante pernos M8 y bujes, por un extremo al chasis y por el otro extremo irán sujetos a los extremos de la manzana de neumático posterior, tal como se puede observar en la figura 44.

### Figura 44

*Sujeción de los triángulos de suspensión trasera*



- j) Para este punto nos tomaremos el tipo para realizar ciertas modificaciones a las manzanas de ruedas posteriores, tal como se puede observar en la figura 45, ya que estas deben ser del mismo ancho que las manzanas delanteras, pero más altas, por ende, deben estar reforzadas.

**Figura 45**

*Medición de la manzana de rueda trasera*



k) Para esto se procede a tomar las medidas correspondientes para así crear un marco de platina para así reforzar nuestra manzana de rueda posterior, tal como se observa en la figura 46.

**Figura 46**

*Construcción de marco para manzana de rueda trasera*



l) Para poder seguir con la instalación del sistema de suspensión posterior se debe construir un sujetador tipo como un balancín de suspensión, esta estará hecha en una lámina de acero de 0.70  $\mu\text{m}$  de espesor y se la realizará con el proceso denominado como Mecanizado con arranque de viruta, con procesos de fresado y torneado, proceso que se muestra en la figura 47.

### Figura 47

#### *Proceso de torno*



m) Esta pieza ira sujeta por un extremo al chasis por medio del proceso de suelda tipo MIC, para poder tener una sujeción buena así también obtener un movimiento vertical estable del amortiguador, ya que por el otro extremo de esta pieza ira sujeto a este componente, así como se muestra en la figura 33 en la cual se muestra en el boceto la forma en la que ira sujeta el amortiguador al chasis.

n) Una vez acabamos el punto anterior, se terminará de colocar nuestros componentes de la suspensión trasera, tales como triángulos de suspensión en conjunto con nuestra manzana, como se muestra en la figura 48.

### Figura 48

#### *Colocación de sistema de suspensión trasera*



o) Se montarán los amortiguadores de gas con muelle, estos estarán sujetos por un extremo la punta del triángulo de suspensión superior por medio de un buje y por otro extremo se procederá a sujetar al componente denominado balancín de suspensión el cual este estará

sujeto a su vez a la parte posterior de la carrocería de nuestro prototipo, tal como se muestra en la figura 49.

### Figura 49

*Posicionamiento de los amortiguadores posteriores*



p) El amortiguador posterior se colocará en una posición en la cual esta cumpla con el funcionamiento de Push-Rod para tener un amortiguamiento más eficiente en la parte posterior, al finalizar este paso, el sistema quedará colocado como se puede apreciar en la figura 50.

### Figura 50

*Colocación de los amortiguadores posteriores*



q) Una vez realizado todos los pasos anteriormente mencionados se dará por finalizado el proceso de implementación del sistema suspensión para el prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico, el resultado se muestra en la figura 51.

**Figura 51**

*Sistema de suspensión culminado*

**Instalación del sistema de dirección**

a) Para iniciar la instalación del sistema de dirección en el prototipo, es necesario guiarnos de las reglas de la fórmula SAE y en este se menciona que la distancia entre ejes debe ser aproximado de 1200mm, para eso se procede a medir tal como se muestra en la figura 52.

**Figura 52**

*Medida de ejes en el prototipo FSAE*



b) Con la referencia que se tiene de las manzanas de las ruedas delanteras podemos posicionar la cremallera, fabricando así la sujeción de este para esto se necesita cortar un pedazo de tubo y darle una forma arqueada soldando a los costados del chasis con la finalidad de que el conductor se sienta conforme al momento de conducir, como se muestra en la figura 53 en la cual se fija la rótula a la pieza antes mencionada.

### Figura 53

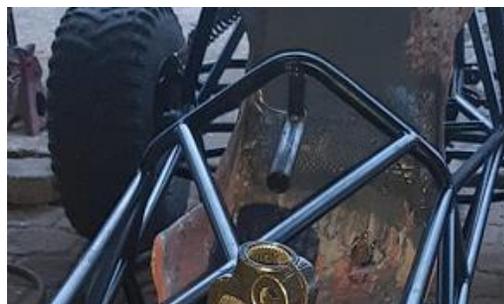
*Fijación de las rotulas a las manzanas de ruedas*



c) Ya con la cremallera en su posición se debe unir el volante y la columna de dirección. Para unir el volante se fabrica el soporte del volante tomando de referencia a un conductor sentado para que sea cómodo al manejar. La función de este soporte es mantener el volante en una sola posición además de unir a la columna de dirección, tal como se llega a observar en la figura 54.

### Figura 54

*Soporte para la columna de dirección*



d) Para unir el volante, la columna de dirección y la cremallera se recortará los ejes ya que los que se llegaron a adquirir estaban fuera de dimensión, así que se tendrá que modificar a la medida que existe entre el volante y la cremallera. Una vez realizada reducción de ejes solo queda unir con la ayuda de las juntas universales.

### Figura 55

#### *Colocación Sistema de dirección*



e) Una vez posicionado el sistema, se procede a realizar ciertas modificaciones a las rotulas de la dirección, tal es el caso que en uno de los lados del prototipo la rótula estaba sobredimensionada, siendo así el caso que debe llegar a cortar este elemento para que encaje a la perfección en la manzana de ruedas y así poder facilitar la alineación del mismo sistema.

### Figura 56

#### *Modificación de la rótula de dirección*



f) Ya con el sistema de dirección instalado solo queda modificar los ángulos de camber, convergencia y caster. En estos casos los ángulos deben estar en el sistema de dirección es de 4° negativos en camber, 3° en convergencia y 3° en caster.

g) Para darle el ángulo de camber a nuestro prototipo de fórmula SAE, lo que se procede a realizar es como primer paso, soltar el triángulo de suspensión superior delantero y comenzar a ajustar los terminales que están en esta, tal como se puede observar en la figura 57.

### Figura 57

*Ajuste de terminales del triángulo de suspensión*



h) Para darle el ángulo de convergencia a nuestro prototipo fórmula SAE lo uno que se debe realizar es colocarse entre la ruda y la cremallera, ya sea con un playo o con una llave número 14, para así poder ajustar la bieleta de dirección, tal como se muestra en la figura 58, esto se debe realizar hasta que las ruedas nos lleguen a dar el ángulo de convergencia debido.

### Figura 58

*Ajuste de la bieleta de dirección*



i) Estos ángulos deberán ayudar tanto al sistema de dirección como el de suspensión ya que existen 4 pruebas de movimiento que deben pasar para que estos sistemas sean aprobados, tales pruebas son: prueba de aceleración, skidpad, autocross, endurance.

r) En la prueba de aceleración y autocross necesitara el ángulo de convergencia ya que al momento de acelerar las ruedas delanteras tienden a abrirse así la convergencia hará que las

ruedas permanezcan lo más paralelas posibles. Además de dar estabilidad direccional y mayor respuesta al ángulo de cambio de dirección.

s) Para verificar midiendo la distancia que existe entre las ruedas, tal como se puede observar en la figura 59, ya que por cada grado de camber, caster y convergencia que exista, este debe aumentar un milímetro de separación entre las ruedas. En el caso de la convergencia es si en la parte frontal de las ruedas mide 1200mm en la parte posterior de las mismas ruedas debe medir 1203mm cumpliendo así con el ángulo requerido.

### **Figura 59**

*Verificación del ángulo Camber*



t) En la prueba de skidpad que consiste en hacer figuras en zic zac se necesitara el ángulo de camber ya que en las curvas se necesitara hacer que el vehículo gire más.

u) Una vez realizado todos los pasos anteriormente mencionados se dará por finalizado la Implementación del sistema de dirección y suspensión para el prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico.

## Capítulo IV

### Pruebas de funcionamiento de los sistemas

#### Criterios para el diseño de ruta

Para el diseño de una ruta de pruebas se debe tener en cuenta varios puntos, para un buen desarrollo del objeto que se va a poner a prueba, en nuestro caso el prototipo de vehículo de competición fórmula eléctrico SAE, para esto se tomaran criterios como:

- Rutas con poco o sin tráfico.
- Rutas disponibles cerca del punto de partida.
- Rutas que tengas vial alternas.
- Rutas que tengan carril adicional para paradas de emergencias.

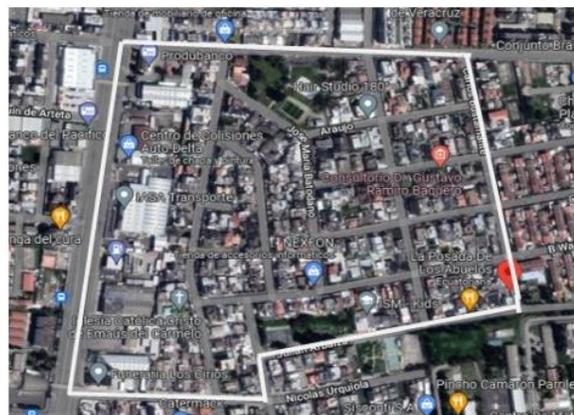
Una vez establecido estos puntos para el diseño de nuestra ruta, se buscan calles cerca del punto de partida pero que a la vez muestren dificultades a pasar para el prototipo.

#### Diseño de ruta

Una vez aprobado los criterios anteriormente mencionados se procederá señalar una ruta a través de un mapa satelital, el resultado del diseño de la ruta se puede observar en la figura 59, en la cual nuestro recorrido tendrá una distancia de 1800 m.

#### Figura 60

*Croquis satelital ruta de prueba*



## Prueba de autocross

Las pruebas de autocross es una modalidad del automovilismo en la que se realizan pruebas en un circuito ya sea de tierra, asfalto o cualquier otro tipo de material. Eso se realizan en prototipos de monoplace y buggys, con esta prueba se busca comprobar tanto la resistencia como la firmeza de los sistemas, en la cual se deberá superar ciertos obstáculos

Para este tipo de prueba en la ruta se seleccionó carreteras con obstáculos en el cual el prototipo de competición fórmula SAE deberá pasar sin ningún problema para verificar los sistemas de suspensión y dirección.

Al momento de realizar las pruebas se llegó a cruzar por varios obstáculos tales como: reductores de velocidad y baches que existían en la carretera, tal como se puede ver en la figura 61, en la cual se pudo observar qué pasaba estos obstáculos sin ningún problema dejando en claro que la implementación del sistema de suspensión está en perfectas condiciones.

### Figura 61

*Cruce de un rompe velocidades*



*Nota.* Con este tipo de pruebas se busca ver si los sistemas son resistentes y a su vez verificar si estos están instalados correctamente.

Así también para comprobar el sistema de dirección se tomaron curvas en las que la salida del prototipo tenía que ser rápidas, además de comprobar la respuesta del sistema hora de esquivar obstáculos como se puede ver en la figura 62.

## Figura 62

*Esquive de obstáculos*



Al finalizar nuestra ruta se da por concluido y superado la prueba de autocross en el prototipo de fórmula SAE eléctrico, con la satisfacción de haber implementado nuestros sistemas correctamente en el mismo.

## Prueba de endurance

Endurance es una prueba de resistencia que sirve para medir la capacidad de una, máquina, persona, sistema, etc. En la que se muestra la facilidad con la que este supera una carrera sin recibir daño o fatiga.

Para realizar esta prueba solo se procede a recorrer nuestra ruta previamente diseñada, en la que al finalizar la ruta se comprobara si nuestros sistemas recibieron algún daño o algún desperfecto al momento de cruzar o superar algún obstáculo en la carretera.

Una vez terminada la ruta procedimos a realizar una revisión a sistema de suspensión y dirección, tal y como se muestra en la figura 63, para así comprobar si recibieron algún daño,

una vez terminado la revisión se comprueba que nuestros sistemas superan a prueba con facilidad, dando así por aprobada y finalizada nuestra evaluación de endurance.

### **Figura 63**

*Revisión de los mecanismos del prototipo*



### **Prueba de skidpad**

Skidpad es una prueba de rendimiento que se realiza al monoplaza de fórmula SAE, en la cual consiste en tomar curvas cerradas a cierta velocidad para ver la calidad de respuesta que tiene tanto nuestro sistema de dirección como de suspensión.

Para realizar esta prueba se decidió llegar hasta los 50 km/h, para que al momento de dejar de acelerar realizar un giro simulando una curva cerrada, como se puede observar en la figura 63, para así poder comprobar así la respuesta que tiene el sistema de suspensión y dirección de nuestro prototipo fórmula SAE.

**Figura 64***Toma de curva cerrada*

Al momento de realizar nuestra prueba se comprobó que tanto el sistema de dirección como la suspensión responden favorablemente al momento de realizar la maniobra, dando por aprobado y finalizado esta prueba.

### Verificación de estado de los sistemas después de la ruta

**Tabla 21***Revisión después de la ruta*

Componentes	ESTADOS DE LOS SISTEMAS			OBSERVACION
	Malo	Bueno	Excelente	
<b>Amortiguadores</b>		X		Ninguna
<b>Terminales</b>		X		Ninguna
<b>Ruedas</b>			X	Ninguna
<b>Manzana de ruedas</b>			X	Ninguna

Componentes	ESTADOS DE LOS SISTEMAS			OBSERVACION
	Malo	Bueno	Excelente	
<b>Pernos</b>	X			Colocar pernos de seguridad
<b>Columna de dirección</b>		X		Ninguna
<b>Cremallera</b>		X		Ninguna
<b>Juntas</b>			X	Engrasar antes de utilizar
<b>Rotulas</b>	X			Ajustar antes de utilizarlos
<b>Triángulos</b>		X		No ajustar tanto los pernos que lo sujetan
<b>Bujes</b>			x	Ninguna

## Capítulo V

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- En el proceso de retroalimentación y búsqueda de información, se llegó a obtener una información amplia, así como un conocimiento específico a través de la investigación de antecedentes y fuentes bibliográficas para así obtener una implementación de los sistemas de dirección y suspensión eficientes para el prototipo de vehículo de competición fórmulas SAE eléctrico.
- Una vez finalizado con el proceso de búsqueda de información, se llegó a seleccionar e implementar componentes de específicos, calidad y estandarizados según nuestras características y estudios que se realizaron para los sistemas de dirección y suspensión para que nuestro prototipo de vehículo de competición fórmula SAE eléctrico cumpla con nuestra demanda.
- Culminando el proyecto se realizó las pruebas de rendimiento necesarias para comprobar si el rendimiento efectivo el funcionamiento de los sistemas de dirección y suspensión del prototipo del vehículo de competición fórmula SAE eléctrico.

### **Recomendaciones**

- Al momento de analizar y diseñar cualquier sistema que se coloca en un prototipo de vehículo para competición, primero debemos tomar medidas y volver a comprobarlas, para estar seguros y así poder ahorrar tiempo en la fabricación del mismo.
- Al momento de realizar cualquier corte, dobles o diseño de piezas se debe tener muy en claro cuál va a ser su forma, su diámetro, y la estructura, para poder así darle un mejor terminado a estas piezas que vayan a ser construidas desde cero.
- Al momento de colocar cualquier pieza o sistema dentro del prototipo que se esté realizando solo se fijarán levemente en el prototipo, ya sea mediante un punto de suelda o con un perno que actúe como pasador, hasta realiza las respectivas correcciones y así evitar pérdida de tiempo, así como el perjudicar o dañar piezas nuevas.

## Bibliografía

- Álvarez, R. M. (06 de Agosto de 2022). *CEA*. Obtenido de CEA: <https://www.cea-online.es/blog/231-las-10-cosas-que-debes-saber-sobre-tus-neumaticos#:~:text=Se%20debe%20destacar%2C%20que%20el,la%20seguridad%20en%20la%20conducci%C3%b3n>.
- BUENDIA, R. (30 de Agosto de 2006). *Motor Pasion*. Obtenido de Motor Pasion: <https://www.motorpasion.com.mx/tecnologia/los-diferentes-tipos-de-direcciones-y-cual-me-conviene-mas>
- Cañadas, M. S. (22 de Febrero de 2022). *Aerodinamicaf1*. Obtenido de Aerodinamicaf1: <https://www.aerodinamicaf1.com/2022/02/la-suspension-en-f1-push-rod-y-pull-rod/>
- Castro, D. D. (Julio de 2017). *Oa.upm.es*. Obtenido de oa.upm.es: [https://oa.upm.es/49171/1/TFG\\_DANIEL\\_DE\\_CASTRO\\_GRAZIANO.pdf](https://oa.upm.es/49171/1/TFG_DANIEL_DE_CASTRO_GRAZIANO.pdf)
- DOMÍNGUEZ, R. O. (18 de Noviembre de 2011). *Ingemecanica.com*. Obtenido de ingemecanica.com: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut73/anx1tut73.pdf>
- Fedimacompeticion.com*. (Mayo de 2022). Obtenido de fedimacompeticion.com: <https://www.fedimacompeticion.com/como-se-mide-un-neumatico-de-competicion.html>
- FERNANDO, R. E. (2010). *Dspace.esPOCH.edu.ec*. Obtenido de dspace.esPOCH.edu.ec: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/938/1/65T00008.pdf>
- Gil Martines, H. (2010). *Manual practico del automovil*. Madrid: Cultural, S.A.

Gonzales, T., Del Rio, G., Tena, J., & Torres, B. (2011). *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección*. Editex.

GRAZIANO, D. D. (Julio de 2017). *Oa.upm.es*. Obtenido de oa.upm.es:

[https://oa.upm.es/49171/1/TFG\\_DANIEL\\_DE\\_CASTRO\\_GRAZIANO.pdf](https://oa.upm.es/49171/1/TFG_DANIEL_DE_CASTRO_GRAZIANO.pdf)

*Helloauto*. (13 de Junio de 2022). Obtenido de helloauto: <https://helloauto.com/glosario/camber>

Leon. (29 de Enero de 2010). *Super97*. Obtenido de super97:

<https://super97.wordpress.com/2010/01/29/tecnica-introduccion-a-la-suspensions-del-automovil/>

*LINEA AUTOMOTRIZ*. (2022 de Agosto de 2022). Obtenido de LINEA AUTOMOTRIZ:

[https://maher.com.co/lineas-de-](https://maher.com.co/lineas-de-negocio/automotriz/balancines/#:~:text=Elemento%20denominado%20t%C3%a9nicamente%20como%20grillete,chasis%20o%20carrocer%C3%ada%20del%20autom%C3%b3vil.)

[negocio/automotriz/balancines/#:~:text=Elemento%20denominado%20t%C3%a9nicamente%20como%20grillete,chasis%20o%20carrocer%C3%ada%20del%20autom%C3%b3vil.](https://maher.com.co/lineas-de-negocio/automotriz/balancines/#:~:text=Elemento%20denominado%20t%C3%a9nicamente%20como%20grillete,chasis%20o%20carrocer%C3%ada%20del%20autom%C3%b3vil.)

Llvisaca Aucapiña, C. A. (marzo de 2018). *Repositorio intitucional UPS*. Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/>

*Mecanica Del Automovil*. (06 de Agosto de 2022). Obtenido de Mecanica Del Automovil:

<http://www.almuro.net/sitios/Mecanica/direccion.asp>

Moncayo Navas, A. A. (2017). *Repositorio universidad UTE*. Obtenido de repositorio

universidad UTE: <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/16570>

- Musk, E. (27 de Febrero de 2021). *Iprofesional.com*. Obtenido de [iprofesional.com](https://www.iprofesional.com/actualidad/333771-las-40-frases-de-elon-musk-mas-inspiradoras):  
<https://www.iprofesional.com/actualidad/333771-las-40-frases-de-elon-musk-mas-inspiradoras>
- NEMATICOS PORPOCO. (06 de Agosto de 2022). Obtenido de NEMATICOS PORPOCO:  
<https://www.neumaticos-taller.com/tabla/carga/>
- Pacheco, M. (Agosto de 2022). *DISEÑO AUTOMOTRIZ UFT*. Obtenido de DISEÑO AUTOMOTRIZ UFT: <https://dautomotrizuft.weebly.com/direccioacuten.html>
- Pillajo Quijia, G. P. (2012). *COBUEC*. Obtenido de COBUEC:  
<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/512>
- Pneus-online*. (06 de Agosto de 2022). Obtenido de Pneus-online: <https://www.neumaticos-pneus-online.es/indices-de-carga-y-velocidad-consejos.html>
- Roldán, L. F. (2019 de Julio de 2019). *Ecología Verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-vehicular-que-es-tipos-causas-y-consecuencias-2130.html>
- Ros Marín, J. A., & Barrera Doblado, Ó. (2017). *Vehículos eléctricos e híbridos*. Madrid: Paraninfo SA.
- SAE. (21 de Diciembre de 2021). *Formula SAE*. Obtenido de <https://www.fsaeonline.com/cdsweb/gen/documentresources.aspx>
- SAE International. (2022). *Students events*. Obtenido de <https://www.sae.org/attend/student-events/>
- TESLA. (11 de mayo de 2022). *Tesla*. Obtenido de [https://www.tesla.com/es\\_ES/models](https://www.tesla.com/es_ES/models)

*Tirerack.com.* (Enero de 2022). Obtenido de tirerack.com:

<https://www.tirerack.com/winter/tech/techpage.jsp?Techid=4&ln=sp>

TIXCE, C. (24 de Diciembre de 2016). *Motor y racing.* Obtenido de motor y racing:

<https://www.motoryracing.com/coches/noticias/la-suspension-automotriz-y-su-funcion/>

Toyota. (12 de marzo de 2020). *Pero, ¿que sistema de dirección monta mi vehículo?* Obtenido

de <https://www.toyotalabasa.com/>

Vega, L. V. (2014). *Repositoriodigital USFQ.* Obtenido de repositoriodigital USFQ:

<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4745>

VINICIO, J. C. (14 de Enero de 2022). *Repositorio Digital Universidad Tecnica del Norte.*

Obtenido de Repositorio Digital Universidad Tecnica del Norte:

<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11962>

William F. Milliken, D. L. (1 de Diciembre de 1994). *SAE International.* Obtenido de SAE

International: <https://www.sae.org/publications/books/content/r-146/>

**ANEXOS**