



**Implementación un sistema de dirección electrohidráulica en el eje posterior para la estructura didáctica de entrenamiento de mecánica de patio en la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L**

Macas Fajardo, Juan Isaias y Naranjo Arredondo, Juan Manuel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Monografía, previa a la obtención del título de Tecnólogo en Mecánica Automotriz

Ing. Carrera Tapia, Romel David

Lunes de Marzo de 2022

Latacunga

## Reporte de verificación de contenido



Identical Words	616
Words with Minor Changes	72
Paraphrased Words	168
Omitted Words	0



ROMEL DAVID  
CARRERA

---

**Director del Trabajo de Titulación**

**Ing. Carrera Tapia, Romel David**

C. C.: 0503393258



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz**

### **Certificación**

Certifico que la monografía, **“Implementación un sistema de dirección electrohidráulica en el eje posterior para la estructura didáctica de entrenamiento de mecánica de patio en la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L”** fue realizada por los señores **Macas Fajardo, Juan Isaias y Naranjo Arredondo, Juan Manuel** 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, 25 de febrero de 2022



---

**Ing. Carrera Tapia, Romel David**

C. C.: 0503393258



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz**

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Macas Fajardo, Juan Isaias y Naranjo Arredondo, Juan Manuel**, con cédulas de ciudadanía n° 1728077072 y n° 0504320706, declaramos que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **Implementación un sistema de dirección electrohidráulica en el eje posterior para la estructura didáctica de entrenamiento de mecánica de patio en la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L** es de 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, 25 febrero de 2022**

---

**Macas Fajardo, Juan Isaias**

C.C.: 1728077072

---

**Naranjo Arredondo, Juan Manuel**

C.C.: 0504320706



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz**

**Autorización de Publicación**

Nosotros **Macas Fajardo, Juan Isaias y Naranjo Arredondo, Juan Manuel** con cédulas de ciudadanía n° 1728077072 y n° 0504320706, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Implementación un sistema de dirección electrohidráulica en el eje posterior para la estructura didáctica de entrenamiento de mecánica de patio en la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 25 de febrero de 2022**

---

**Macas Fajardo, Juan Isaias**

C.C.: 1728077072

---

**Naranjo Arredondo, Juan Manuel**

C.C.: 0504320706

## **Dedicatoria**

Este trabajo de titulación se lo dedico con todo mi corazón a mi madre Bernarda Fajardo, a mi padre, a mis hermanos y hermanas Carlos, Diego, José, Luis, Mariana, Rosa y Tanya que me han brindado su apoyo incondicional, han sido un pilar fundamental en todo momento de mi vida. A mis amigos, pero en especial a mi mejor amigo William que siempre ha estado ahí apoyándome en cada decisión que tomo, dedico también a mi abuelito Rodolfo que siempre estuvo dándome sus sabios consejos para afrontar las adversidades de la vida. Esta solo es una meta más en mi vida, a por más en un futuro próximo.

**Juan Macas F.**

Dedico esta tesis a Dios ya que gracias a su divina voluntad ha podido guiarme de buena manera por el largo camino del conocimiento. También quiero dedicar este proyecto a las personas más importantes para mí que son mi familia en especial mi padres, mi madre Cecilia Arredondo que gracias a su guía, enseñanza, y tolerancia he podido lograr todas las metas académicas que me he propuesto, mi Padre Juan Naranjo que desde el cielo ha logrado ayudarme a no darme por vencido y seguir adelante aunque las cosas se pongan difíciles y también a esas personas que de una u otra manera colaboraron para lograr alcanzar esta meta tan importante que es la finalización de este proyecto.

**Juan Naranjo**

## **Agradecimiento**

Quisiera expresar el enorme agradecimiento hacia mi familia por haberme apoyado no solo económicamente sino también emocionalmente en la realización de este trabajo de titulación.

Agradezco haber podido acceder a la educación superior en tan prestigiosa universidad, así como agradezco haber conocido a gente tan maravillosa a lo largo de la carrera.

Agradezco a todos los docentes de la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz por haberme impartido sus valiosos conocimientos a lo largo de todo este tiempo.

**Juan Macas F.**

A Dios por haberme dado la fortaleza para seguir adelante después de tantas dificultades que la vida me ha puesto.

Agradezco la oportunidad de poder estudiar esta carrera y haber adquirido muchos conocimientos y experiencia para luchar contra las diversas adversidades de puede dar en la vida.

Agradezco también a la prestigiosa institución por haber otorgado sus talleres, aulas y laboratorios para lograr obtener todos los conocimientos también a los docentes por compartir sus conocimientos de su vida laboral y profesional.

Agradezco a mi familia por el tiempo y la paciencia y por todo lo que han hecho por mí para poder lograr estar en donde estoy.

**Juan Naranjo**

## Índice de Contenidos

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de figuras .....	13
Índice de tablas .....	17
Resumen.....	18
Abstract.....	19
Capítulo I: Planteamiento del problema .....	20
Antecedentes .....	20
Planteamiento del problema .....	21
Justificación.....	22
Objetivos .....	23
<i>Objetivo general</i> .....	23
<i>Objetivos específicos</i> .....	23
Alcance .....	24

<b>Capítulo II: Marco Teórico</b> .....	26
<b>Sistema de dirección</b> .....	26
<b>Tipos de sistema de dirección</b> .....	27
<i>Sistema piñón y cremallera</i> .....	27
<i>Sistema de bolas recirculantes</i> .....	29
<i>Sistema tornillo sin fin</i> .....	30
<i>Sistema de dirección integral piñón y cremallera</i> .....	30
<i>Sistema de dirección asistida electrónicamente EPS</i> .....	31
<i>Sistema de dirección asistida electrohidráulica (EHPS)</i> .....	32
<i>Sistema de dirección asistida con potencia eléctrica (EPAS)</i> .....	33
<b>Sistemas de dirección a las 4 ruedas</b> .....	34
<i>Sistema 4WS de Honda</i> .....	35
<i>Sistema 4Control de Renault</i> .....	36
<b>Componentes de un sistema de dirección hidráulica</b> .....	38
<i>Bomba</i> .....	38
<i>Válvula rotativa</i> .....	39
<i>Tuberías y mangueras</i> .....	40
<i>Fluido de dirección</i> .....	40
<b>Componentes electrónicos</b> .....	41
<i>Arduino UNO</i> .....	41
<i>Estructura del Arduino UNO</i> .....	43

<i>Programación de un Arduino</i> .....	43
<i>Clasificación</i> .....	44
<b>Motores eléctricos</b> .....	46
<i>Clasificación</i> .....	46
<i>Motor paso a paso</i> .....	46
<b>Driver</b> .....	48
<i>Características</i> .....	49
<b>Sensor de giro (encoder)</b> .....	49
<i>Encoder incremental</i> .....	50
<b>Sistema hidráulico de la dirección posterior</b> .....	50
<i>Diseño y simulación del sistema hidráulico para la asistencia de la dirección posterior</i> .....	50
<b>Conductores eléctricos</b> .....	53
<b>Capítulo III: Desarrollo del tema</b> .....	54
<b>Sistema hidráulico para la asistencia al eje posterior</b> .....	54
<i>Bomba</i> .....	54
<i>Depósito</i> .....	56
<i>Dirección hidráulica tipo piñón y cremallera</i> .....	56
<i>Motor eléctrico para el accionamiento de la bomba hidráulica</i> .....	56
<b>Montaje del sistema de dirección hidráulica</b> .....	57
<b>Sistema de control electrónico</b> .....	64
<i>Diseño del sistema electrónico</i> .....	64

<i>Simulación del sistema de control electrónico</i> .....	65
<b>Selección de elementos eléctricos y electrónicos</b> .....	70
<i>Unidad central de procesamiento Arduino UNO</i> .....	70
<i>Actuador</i> .....	73
<i>Sensor del volante de la dirección</i> .....	74
<i>Driver para el actuador</i> .....	75
<i>Sistema de alimentación eléctrica</i> .....	76
<i>Conductores eléctricos para el sistema</i> .....	77
<b>Proceso de adaptación de elementos electrónicos e instalación eléctrica</b> .....	78
<i>Montaje del actuador en la dirección posterior</i> .....	78
<i>Funcionamiento del actuador</i> .....	82
<i>Montaje del encoder</i> .....	82
<i>Programación del Arduino UNO</i> .....	84
<i>Montaje del tablero electrónico</i> .....	87
<b>Capítulo IV: Pruebas de funcionamiento</b> .....	94
<b>Prueba de funcionamiento al girar el volante de la dirección</b> .....	94
<i>Giro hacia la derecha</i> .....	94
<i>Giro hacia la izquierda</i> .....	96
<i>Diagrama de giro</i> .....	97
<b>Verificación del sistema de control electrónico</b> .....	100
<b>Verificación del sistema hidráulico</b> .....	102

<b>Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones</b> .....	104
<b>Conclusiones</b> .....	104
<b>Recomendaciones</b> .....	105
<b>Bibliografía</b> .....	106
<b>Anexos</b> .....	110

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Sistema de dirección delantera</i> .....	26
<b>Figura 2</b> <i>Sistema de dirección de cremallera tipo 1</i> .....	28
<b>Figura 3</b> <i>Sistema de dirección de cremallera tipo 2</i> .....	28
<b>Figura 4</b> <i>Dirección hidráulica de bolas recirculantes</i> .....	29
<b>Figura 5</b> <i>Dirección de tornillo sinfín</i> .....	30
<b>Figura 6</b> <i>Sistema de dirección integral piñón y cremallera</i> .....	31
<b>Figura 7</b> <i>Sistema de dirección asistida electrónicamente EPS</i> .....	32
<b>Figura 8</b> <i>Sistema de dirección asistida electrohidráulica (EHPS)</i> .....	33
<b>Figura 9</b> <i>Sistema de dirección asistida con potencia eléctrica (EPAS)</i> .....	34
<b>Figura 10</b> <i>Sistema de dirección a las 4 ruedas</i> .....	35
<b>Figura 11</b> <i>Sistema de dirección a las 4 ruedas del Honda Prelude</i> .....	36
<b>Figura 12</b> <i>Sistema de dirección a las 4 ruedas 4Control de Renault</i> .....	37
<b>Figura 13</b> <i>Tipos de bombas hidráulicas</i> .....	38
<b>Figura 14</b> <i>Válvula de tipo rotativa</i> .....	39
<b>Figura 15</b> <i>Mangueras hidráulicas</i> .....	40
<b>Figura 16</b> <i>Fluido hidráulico</i> .....	41
<b>Figura 17</b> <i>Placa Arduino UNO</i> .....	42
<b>Figura 18</b> <i>Arquitectura de un autómata programable</i> .....	42
<b>Figura 19</b> <i>Compilación y carga de código a un Arduino</i> .....	44
<b>Figura 20</b> <i>Ejemplo de etapa de chequeo de un Arduino</i> .....	45

<b>Figura 21</b> <i>Controlador del actuador para la dirección posterior</i> .....	48
<b>Figura 22</b> <i>Sensor de giro</i> .....	49
<b>Figura 23</b> <i>Circuito hidráulico de la dirección posterior</i> .....	51
<b>Figura 24</b> <i>Circuito hidráulico en funcionamiento</i> .....	52
<b>Figura 25</b> <i>Conductor eléctrico</i> .....	53
<b>Figura 26</b> <i>Mecanismo de dirección hidráulica adaptado a la estructura</i> .....	58
<b>Figura 27</b> <i>Base de la bomba hidráulica</i> .....	58
<b>Figura 28</b> <i>Depósito fijado a la estructura</i> .....	59
<b>Figura 29</b> <i>Acople de presión</i> .....	60
<b>Figura 30</b> <i>Motor eléctrico acoplado a la estructura</i> .....	60
<b>Figura 31</b> <i>Selección de la sección de correa</i> .....	61
<b>Figura 32</b> <i>Banda tipo A instalada</i> .....	61
<b>Figura 33</b> <i>Sistema de asistencia hidráulica instalado</i> .....	62
<b>Figura 34</b> <i>Diagrama de funcionamiento de dirección a las ruedas posteriores</i> .....	64
<b>Figura 35</b> <i>Circuito de control electrónico de asistencia a la dirección posterior</i> .....	65
<b>Figura 36</b> <i>Circuito del sistema de control electrónico simulado en Proteus</i> .....	66
<b>Figura 37</b> <i>Circuito de alimentación para el actuador</i> .....	67
<b>Figura 38</b> <i>Simulación de Arduino UNO en Proteus</i> .....	67
<b>Figura 39</b> <i>Circuito de pulsadores que simulan el encoder</i> .....	68
<b>Figura 40</b> <i>Circuito de conexión del driver</i> .....	68
<b>Figura 41</b> <i>Simulación del actuador en Proteus</i> .....	69

<b>Figura 42</b> <i>Circuito del sistema de control electrónico simulado en Proteus</i> .....	70
<b>Figura 43</b> <i>Arduino UNO</i> .....	71
<b>Figura 44</b> <i>Lógica de programación para el viraje de las ruedas posteriores.</i> .....	72
<b>Figura 45</b> <i>Motor Nema 34 6.5Nm</i> .....	73
<b>Figura 46</b> <i>Encoder</i> .....	74
<b>Figura 47</b> <i>Driver</i> .....	75
<b>Figura 48</b> <i>Transformador de voltaje AC-DC</i> .....	77
<b>Figura 49</b> <i>Adaptación de catarina al actuador</i> .....	79
<b>Figura 50</b> <i>Adaptación de catarina al cajetín de la dirección</i> .....	80
<b>Figura 51</b> <i>Base regulable para el actuador</i> .....	80
<b>Figura 52</b> <i>Fijación de la base del actuador</i> .....	81
<b>Figura 53</b> <i>Sistema de transmisión acoplado al sistema de dirección</i> .....	81
<b>Figura 54</b> <i>Engranajes para la transmisión de giro del volante</i> .....	82
<b>Figura 55</b> <i>Engranaje instalado en la columna de dirección</i> .....	83
<b>Figura 56</b> <i>Montaje del encoder a la estructura</i> .....	83
<b>Figura 57</b> <i>Asignación de variables y pines del driver y encoder</i> .....	84
<b>Figura 58</b> <i>Función de interrupción</i> .....	85
<b>Figura 59</b> <i>Pines de entrada y salida</i> .....	85
<b>Figura 60</b> <i>Función loop</i> .....	86
<b>Figura 61</b> <i>Función de movimiento del actuador</i> .....	87
<b>Figura 62</b> <i>Diagrama esquemático del control electrónico</i> .....	88

<b>Figura 63</b> <i>Fijación de elementos electrónicos al gabinete</i> .....	89
<b>Figura 64</b> <i>Elementos electrónicos instalados</i> .....	89
<b>Figura 65</b> <i>Conexionado de los elementos electrónicos</i> .....	90
<b>Figura 66</b> <i>Tablero con los elementos electrónicos</i> .....	91
<b>Figura 67</b> <i>Ángulo de viraje con el volante hacia la derecha ruedas delanteras</i> .....	94
<b>Figura 68</b> <i>Ángulo de viraje con el volante hacia la derecha ruedas posteriores</i> .....	95
<b>Figura 69</b> <i>Dirección a las 4 ruedas con el volante girado hacia la derecha</i> .....	95
<b>Figura 70</b> <i>Ángulo de viraje con el volante hacia la izquierda ruedas delanteras</i> .....	96
<b>Figura 71</b> <i>Ángulo de viraje con el volante hacia la izquierda ruedas posteriores</i> .....	96
<b>Figura 72</b> <i>Dirección a las 4 ruedas con el volante girado hacia la izquierda</i> .....	97
<b>Figura 73</b> <i>Diagrama de geometría de giro dirección a las 4 ruedas</i> .....	98
<b>Figura 74</b> <i>Nuevo diagrama de geometría de giro</i> .....	99
<b>Figura 75</b> <i>Terminales de conexión del driver</i> .....	101
<b>Figura 76</b> <i>Señales del encoder hacia Arduino UNO</i> .....	101
<b>Figura 77</b> <i>Sistema hidráulico trabajando</i> .....	102

**Índice de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Tipos de motores paso a paso</i> .....	47
<b>Tabla 2</b> <i>Características de la bomba hidráulica</i> .....	55
<b>Tabla 3</b> <i>Especificaciones técnicas del motor eléctrico 1hp</i> .....	57
<b>Tabla 4</b> <i>Diagrama de procesos de adaptación del sistema hidráulico</i> .....	62
<b>Tabla 5</b> <i>Especificaciones técnicas del Arduino UNO</i> .....	71
<b>Tabla 6</b> <i>Especificaciones técnicas del motor Nema 34</i> .....	73
<b>Tabla 7</b> <i>Especificaciones técnicas del encoder rotativo KY-040</i> .....	74
<b>Tabla 8</b> <i>Especificaciones técnicas del driver que controlará el actuador</i> .....	76
<b>Tabla 9</b> <i>Amperaje de cables de cobre</i> .....	77
<b>Tabla 10</b> <i>Diagrama de procesos adaptación del sistema eléctrico y electrónico</i> .....	92
<b>Tabla 11</b> <i>Geometría de dirección a las 4 ruedas</i> .....	100

## Resumen

La presente monografía se enfoca en el diseño e implementación de un sistema de dirección electrohidráulica en el eje posterior de una estructura didáctica. Todo esto con la finalidad que los estudiantes tengan mejores conocimientos teóricos y prácticos acerca de los sistemas de dirección a las cuatro ruedas, para lo cual se estudia todos los tipos de sistemas de dirección a las cuatro ruedas existentes en la actualidad. Para la implementación de este sistema de dirección electrohidráulica fue necesario elegir los elementos hidráulicos y electrónicos adecuados para posteriormente implementarlos en la estructura didáctica dentro de los elementos hidráulicos se incluye una bomba hidráulica, un depósito, un mecanismo de dirección y cañerías para el fluido. Dentro de los elementos electrónicos se incluye un motor eléctrico, un driver para motores, un transformador de corriente alterna a continua, un encoder rotatorio y un Arduino UNO. Previamente se simula los sistemas hidráulicos y electrónicos utilizando software como Automation Studio, Proteus y Livewire a fin de determinar que estos funcionarán una vez implementados. Para el sistema electrónico se recurre a una lógica de programación para hacer que el mecanismo efectúe el giro del actuador y por consiguiente las ruedas posteriores en sentido contrario al que se giran las ruedas delanteras, al momento de hacer girar el volante de dirección. Para determinar que este sistema de dirección electrohidráulica trabaja correctamente de acuerdo a como se planifico se realizan pruebas las cuales ayudarán a comprobar el funcionamiento tanto del sistema hidráulico como del sistema electrónico, llegando a la conclusión que ambos sistemas trabajan de manera correcta y proporcionan asistencia a las cuatro ruedas.

*Palabras clave:* dirección a las cuatro ruedas, motores eléctricos, arduino uno, sistema de control electrónico.

## **Abstract**

The present monograph focuses on the design and implementation of an electro-hydraulic steering system in the rear axis of a didactic structure. All of this is aimed at providing students with better theoretical and practical knowledge about four-wheel steering systems, for which all types of four-wheel steering systems existing today are studied. For the implementation of this electrohydraulic steering system it was necessary to choose the appropriate hydraulic and electronic elements to later implement them in the didactic structure within the hydraulic elements includes a hydraulic pump, a tank, a steering mechanism and pipes for the fluid. The electronic elements include an electric motor, a motor driver, an alternating to continuous current transformer, a rotary encoder and an Arduino UNO. Hydraulic and electronic systems are previously simulated using software such as Automation Studio, Proteus, and Livewire in order to determine that they will work once implemented. For the electronic system, a programming logic is used to make the mechanism turn the actuator and therefore the rear wheels in the opposite direction to which the front wheels turn, when turning the steering wheel. To determine that this electro-hydraulic steering system works correctly according to how it was planned, tests are carried out which will help to verify the operation of both the hydraulic system and the electronic system, concluding that both systems work correctly and provide four-wheel assistance.

*Key words:* four-wheel steering, electric motors, arduino uno, electronic control system.

## Capítulo I

### Planteamiento del problema

Implementación de un sistema de dirección electrohidráulica en el eje posterior para la estructura didáctica de entrenamiento de mecánica de patio en la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.

### Antecedentes

El constante desarrollo de la industria automotriz exige que los nuevos profesionales en el área, tengan conocimiento de los sistemas actuales de dirección automotriz. En los últimos años se ha incrementado en un porcentaje considerable la manufactura de vehículos que cuentan con sofisticados sistemas de dirección a las 4 ruedas.

Los sistemas actuales de dirección a las cuatro ruedas proporcionan maniobrabilidad en los vehículos al momento de la conducción, esto como resultado del aumento de tráfico en las ciudades, y además el vehículo se comporta de mejor manera en la vía. (Dopico, Cuadrado & Morer, 2016)

Es necesario que la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L cuente con un banco didáctico de pruebas de los sistemas automotrices para el aprendizaje de los estudiantes, dentro del sector automotriz es importante tener conocimiento de los sistemas automotrices actuales, el conocimiento teórico es importante pero el conocimiento práctico hace desenvolverse a un técnico de mejor manera.

Los recursos didácticos son medios materiales los cuales facilitan el proceso de enseñanza y aprendizaje. Estos medios materiales pueden ser físicos o virtuales, su principal función es despertar interés en los estudiantes, además que facilitan al docente y le puede servir como una guía, asimismo, estos medios materiales pueden adecuarse a cualquier tipo de entorno educativo. (Morales, 2012)

Los servicios educativos de nivel superior se encuentran conformados por institutos técnicos superiores y universidades. La educación técnica superior se centra en el desarrollo de habilidades que promuevan al estudiante buscar maneras de desenvolverse mientras realizan actividades. (Unesco, 2019)

En el trabajo de titulación realizado por (Álvarez & Carrera, 2015) en su tema de tesis “Diseño, construcción e implementación de un sistema de dirección asistida hidráulicamente a las cuatro ruedas de un vehículo automotor” se puede apreciar la construcción de un sistema de dirección a las cuatro ruedas en un vehículo, el cual se tomará como referencia para el desarrollo del presente proyecto el cual servirá de ayuda para los estudiantes de mecánica de patio.

### **Planteamiento del problema**

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz no cuenta con una estructura didáctica que sirva de material práctico, el cual permita a los estudiantes de la carrera analizar y entender el funcionamiento de

sistemas automotrices innovadores del vehículo, en este caso el sistema de dirección al eje posterior.

El proceso de enseñanza y aprendizaje dentro de las Universidades asume un modelo fundamentado en los cuatro pilares básicos de la educación: aprender a hacer, aprender a ser, aprender a aprender y aprender a convivir, nuestras experiencias las promovemos para que fortalezcan el aprender, la condición del ser humano y la ética del género humano teniendo en consideración el entorno que nos rodea: un mundo que precisa del aprecio a la diversidad, de la integración y especialmente del cuidado al medio ambiente. Este lema nos compromete a fomentar nuevos procesos de aprendizaje que servirán para la vida. (Gargallo Bernardo, 2002)

El presente proyecto técnico tiene como finalidad el diseño, construcción e implementación de un sistema de dirección electrohidráulica en el eje posterior en un banco didáctico de pruebas, ya que como futuros técnicos los estudiantes deberán conocer el funcionamiento de los sistemas automotrices que conforman un vehículo.

### **Justificación**

Al implementar un sistema de dirección electrohidráulica al eje posterior en el banco de pruebas didáctico, resultará más fácil que los docentes impartan sus conocimientos mediante una herramienta, y los estudiantes adquieran estos conocimientos de manera práctica.

La realización de este proyecto técnico permitirá tener un mejor conocimiento de los sistemas de dirección asistida a los ejes posteriores de los vehículos, se aplicará todos los conocimientos que han sido adquiridos a lo largo de la carrera en el área de Electricidad del automóvil, Autotrónica, Mecánica de Patio, Electrónica Aplicada entre otros.

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L tendrá un banco de pruebas didáctico el cual mejorará la calidad de aprendizaje por parte los estudiantes y enseñanza por parte de la institución.

Este trabajo de titulación constituirá un gran aporte a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L y a la sociedad, ya que los progresos tecnológicos avanzan cada día a pasos agigantados y es casi inevitable que las personas actualicen sus conocimientos y estén a la vanguardia con información acerca de nuevos sistemas tecnológicos en el sector automotriz.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

- Implementar un sistema de dirección electrohidráulica al eje posterior del banco didáctico de mecánica de patio para el estudio y la práctica de los estudiantes de la universidad de las fuerzas armadas ESPE-L, siendo un sistema asistido hidráulicamente a las cuatro ruedas para lograr reducir el radio de giro del banco de pruebas.

### ***Objetivos específicos***

- Analizar los tipos de sistemas de dirección a las cuatro ruedas existentes en la actualidad mediante el estudio de cada uno de estos sistemas.
- Diseñar un circuito electrónico que controle todo el mecanismo de dirección en el eje posterior del banco didáctico utilizando software para la simulación de los elementos electrónicos y estudiando la interacción de cada uno de los elementos.
- Implementar una unidad de control electrónico para el movimiento del mecanismo de la asistencia a la dirección en el eje posterior del banco didáctico utilizando un motor

eléctrico de alto torque por qué se necesita de este para generar el par necesario que mueva el mecanismo de dirección hacia izquierda o derecha.

- Analizar el desempeño del nuevo sistema de dirección a las 4 ruedas implementado en el banco didáctico mediante pruebas para cerciorarse de su correcto funcionamiento.
- Proporcionar a los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L una maqueta didáctica la cual implemente un sistema de control electrónico de dirección a las 4 ruedas para facilitar el estudio de la materia de Mecánica de Patio.

### **Alcance**

La realización de este proyecto se enfocará en la implementación de un sistema de dirección electrohidráulica en las ruedas posteriores, con esto se busca facilitar el estudio y la práctica de diferentes sistemas de dirección que se pueden encontrar en los vehículos modernos, de esta manera el estudiante podrá poner en práctica los conocimientos teóricos que ha ido adquiriendo en la materia de Mecánica de Patio, será capaz de ir identificando las diferentes piezas que conforman este sistema, su método de instalación y como éste trabaja.

El método de estudio práctico para esta materia es muy importante ya que manipulando los materiales facilita el saber para qué sirven y cómo funcionan cada uno de ellos, de esta manera el estudiante obtiene mejor desempeño en la práctica y al momento de su vida laboral logrará desenvolverse cuando tenga que realizar algún tipo de trabajo que tenga que ver con este sistema de dirección.

La implementación de este sistema de dirección electrohidráulica al eje posterior en un banco didáctico no solo puede servir para la enseñanza a los estudiantes, sino que también serviría de utilidad para técnicos fuera de la universidad los cuales deseen obtener información

acerca de este tipo de sistemas de dirección y puedan mejorar sus conocimientos sobre innovación en el campo automotriz.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### Sistema de dirección

Este sistema se conforma de una serie de componentes los cuales permiten al conductor un control instantáneo y completo de la trayectoria del vehículo mediante el volante.

Los principales componentes en un sistema moderno de la dirección son la caja de dirección, el varillaje que conecta esta caja con las ruedas delanteras y componentes que permiten que las ruedas delanteras giren de la a lado. (Brand, 2009)

#### Figura 1

*Sistema de dirección delantera*



*Nota.* En la imagen se puede identificar todos los componentes del sistema de dirección de un automóvil. Tomado de (Palomino, 2020)

## **Tipos de sistema de dirección**

En el sistema que se desea implementar en el banco de pruebas didáctico, se ha de seleccionar el que sea más eficiente que tenga buenas prestaciones y un alto desempeño. A continuación, se detallará algunos tipos de dirección que podemos encontrar en un vehículo y sus características:

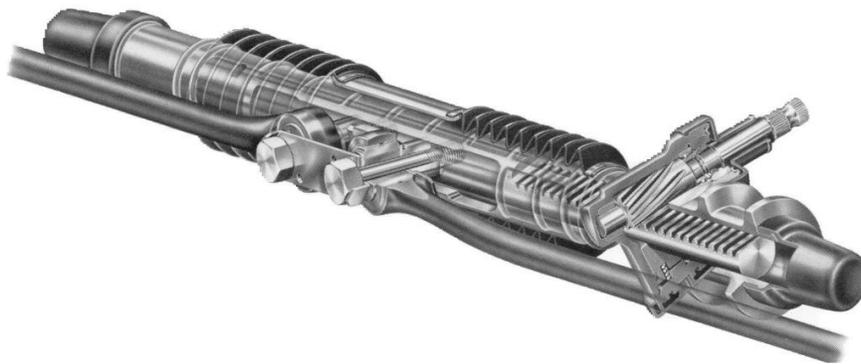
### ***Sistema piñón y cremallera***

Como su nombre lo indica, esta caja de dirección tiene un piñón acoplado con una cremallera dentada. Cuando el volante y la flecha de dirección giran el piñón, éste mueve la cremallera hacia atrás y hacia adelante. La cremallera está conectada con cada rueda delantera y mueve las ruedas a lo largo de su rango de ángulo de dirección. (Brand, 2009)

Este tipo de direcciones las podemos encontrar en automóviles de turismo, de carreras, deportivos y algunos camiones ligeros. La unión existente entre la caja de dirección y las ruedas de dirección exige pocas piezas, las podemos encontrar en dos configuraciones habituales; la cremallera lleva acoplada en cada extremo una barra la cual se conecta a los brazos de acoplamiento de las ruedas (figura 2), o en la cremallera partiendo desde la mitad de la dirección esta barra se conecta a los brazos de acoplamiento de las ruedas (figura 3).

**Figura 2***Sistema de dirección de cremallera tipo 1*

*Nota.* En la imagen se puede identificar un sistema de cremallera con accionamiento lateral y barras de dirección en los extremos. Tomado de (Velasco, Oliva y Sánchez, s.f.).

**Figura 3***Sistema de dirección de cremallera tipo 2*

*Nota.* En la imagen se puede identificar un sistema de cremallera con accionamiento lateral y barras de actuadas desde el centro. Tomado de (Velasco, Oliva y Sánchez, s.f.).

Para el accionamiento de la cremallera puede estar ubicado en los laterales o en el centro de la dirección.

### ***Sistema de bolas recirculantes***

Sobre el tornillo sin fin va roscada una tuerca deslizante la cual se desplaza a lo largo de la caja y hace que se mueva la parte dentada mediante un engrane que los une; la parte dentada es solidaria al brazo de dirección. Entre las roscas del tornillo sin fin y la tuerca deslizante hay una línea de bolas de acero interpuesta, todo esto con el fin de reducir la resistencia existente en el volante y facilitar que la tuerca deslizante se mueva sin inconvenientes. (Agudelo, 1992)

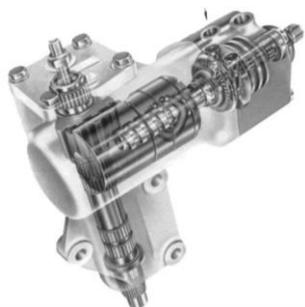
La dirección con circulación de bolas era y sigue siendo popular entre las camionetas y vehículos con chasis por la sencilla razón de que la caja se monta fácilmente en el larguero del bastidor del vehículo en el compartimiento del motor. (Brand, 2009)

Dentro esta caja una tuerca se encuentra fijada en el tornillo sin fin, este tornillo tiene decenas de rodamientos de bola, los cuales giran alrededor del tornillo sin fin para posteriormente salir a un canal de recirculación, luego el proceso se repite introduciendo las bolas nuevamente en el tornillo sin fin. (Sánchez I, 2011)

Este sistema usualmente lo encontramos en camiones, buses y vehículos pesados.

### **Figura 4**

*Dirección hidráulica de bolas recirculantes*



*Nota.* En la imagen se puede identificar un sistema de dirección hidráulica de bolas recirculantes y tuerca. Tomado de (Velasco, Oliva y Sánchez, s.f.).

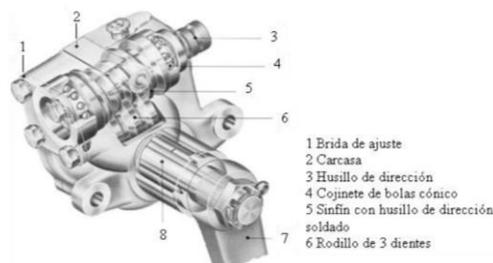
### **Sistema tornillo sin fin**

En este tipo de sistema un rodillo se apoya en un tornillo sin fin, el cual hace que el rodillo gire lateralmente produciéndose así un movimiento angular en la palanca de ataque.

Desde la parte exterior se accede con facilidad a un tornillo de ajuste para corregir las posibles holguras que pudiesen aparecer. La dirección de tipo tornillo sin fin proporciona una sensación de conducción libre de golpes, con mejor reversibilidad y presenta poco desgaste. En direcciones de tornillo sin fin y rodillo un seguro contrachoque absorbe los golpes procedentes del brazo de salida hacia la dirección, de esta forma el conductor no siente los golpes. (Velasco, Oliva y Sánchez, s.f.)

### **Figura 5**

#### *Dirección de tornillo sin fin*



*Nota.* En la imagen se puede identificar un sistema de dirección de tornillo sin fin y rodillo de 3 dientes. Tomado de (Velasco, Oliva y Sánchez, s.f.).

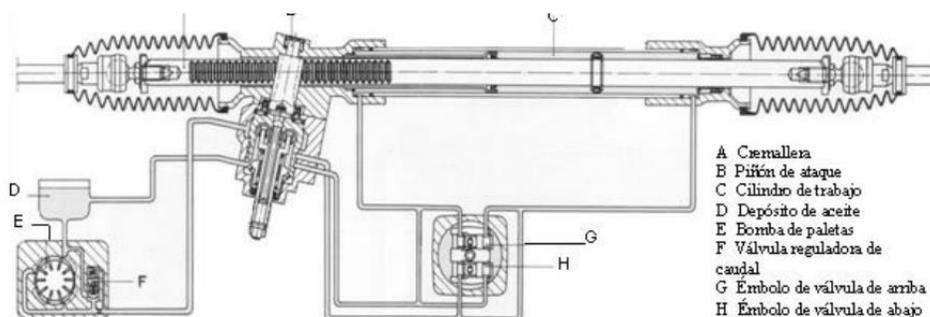
### **Sistema de dirección integral piñón y cremallera**

La principal característica de este sistema es la simplicidad de su mecanismo desmultiplicador y su facilidad de montaje, al deshacerse de una gran parte de la tirantería de la dirección. Esta se acopla directamente sobre los brazos de acoplamiento de las ruedas y su rendimiento mecánico es mucho mejor. Gracias a su precisión al desplazar las ruedas angularmente se utiliza sobremanera en vehículos turísticos, sobre todo en aquellos de tracción

delantera, ya que los esfuerzos en el volante se reducen notablemente. Esta dirección es muy estable y segura gracias a la gran suavidad en los giros y además tiene rapidez de recuperación. (Diagnóstico preventivo del vehículo y mantenimiento de su dotación material, 2017)

**Figura 6**

*Sistema de dirección integral piñón y cremallera*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el esquema de funcionamiento de la dirección hidráulica de cremallera con bomba de paletas y depósito de aceite, con accionamiento lateral de la cremallera. Tomado de (Velasco, Oliva y Sánchez, s.f.).

### **Sistema de dirección asistida electrónicamente EPS**

Para el funcionamiento dirección asistida eléctricamente o EPS se cuenta con un motor eléctrico el cual genera el par o fuerza necesario para la asistencia en función del esfuerzo que ejerza el conductor sobre el volante. Este par/fuerza de asistencia se aplica hacia las ruedas a través de la cremallera de dirección, el par generado por el motor eléctrico se modifica permanentemente con el fin de reducir el esfuerzo de giro que aplica el conductor. Este mecanismo cuenta con un retorno activo del volante, es decir existe una pesa montada sobre la columna de dirección. Al soltar el volante al salir de una curva, la dirección asistida eléctrica hace que el motor eléctrico ejerza un par de retorno, esto hace que las ruedas se alineen más

rápidamente. Este retorno activo de las ruedas, depende del ángulo de giro medido en la columna de dirección y de la velocidad del vehículo. (Palomino, 2020)

### **Figura 7**

*Sistema de dirección asistida electrónicamente EPS*



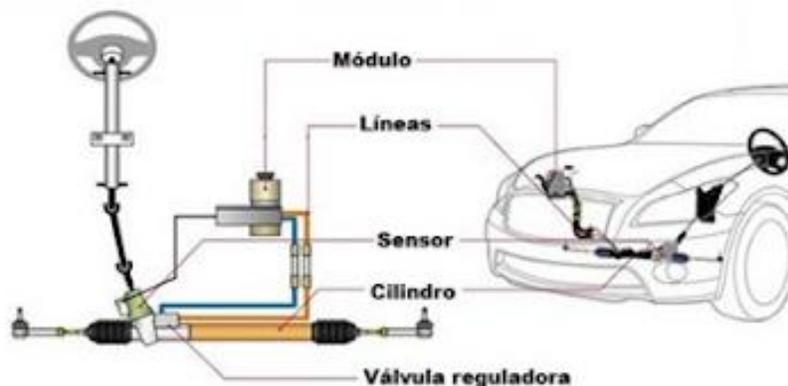
*Nota.* En la imagen se puede identificar el sistema completo de la dirección asistida electrónicamente EPS. Tomado de (Palomino, 2020)

### ***Sistema de dirección asistida electrohidráulica (EHPS)***

Un sistema de dirección asistida electrohidráulica o EHPS está fabricado híbridamente ya que este sistema combina potencia eléctrica e hidráulica. Anteriormente, los sistemas HPS eran los encargados de generar presión hidráulica mediante una bomba la cual se accionaba por una correa, pero debido a su baja eficiencia estos sistemas poco a poco fueron perdiendo su fama. Se implementaron bombas eléctricas para así crear los sistemas EHPS actuales estos poseen una mayor eficiencia para transmitir la presión hidráulica. La conversión de potencia se da dentro de la cremallera de la dirección, y la bomba hidráulica se acciona gracias a un motor eléctrico que está separado del motor de combustión. Una gran desventaja del sistema EHPS es que posee un mayor número de componentes a diferencia de los sistemas convencionales. (TransTec, 2018)

## Figura 8

### *Sistema de dirección asistida electrohidráulica (EHPS)*



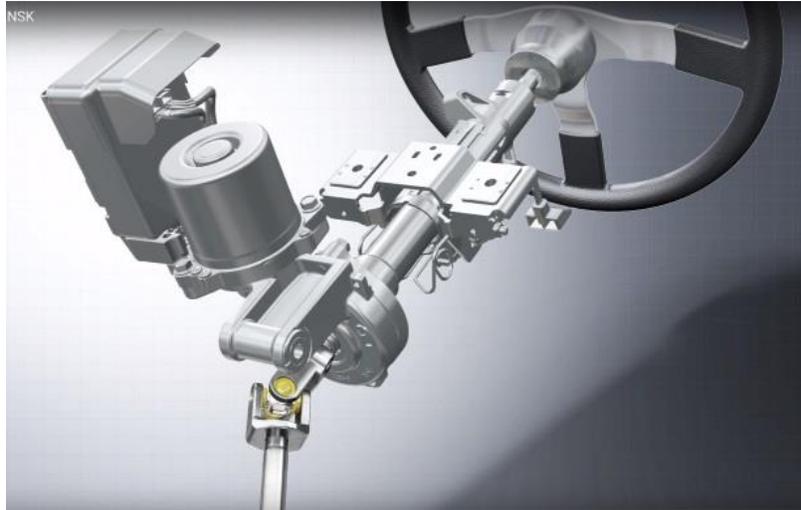
*Nota.* En la imagen se puede identificar todos los componentes del sistema de dirección asistida electrohidráulica. Tomado de (Automotive Electronics Technology, 2015)

### ***Sistema de dirección asistida con potencia eléctrica (EPAS)***

Los sistemas eléctricos asistidos o EPAS no necesitan bombas hidráulicas o fluidos para funcionar. En su lugar se implementa un motor eléctrico junto con un sensor de par los cuales se encuentran montados dentro de la columna de dirección, el sensor de par se encarga de monitorear la fuerza que aplicada el conductor sobre el volante para realizar un giro. Estas señales son recibidas por una unidad de control electrónico la cual envía señales al motor eléctrico y esta entrega la cantidad de par necesaria para asistencia al bastidor de la dirección. Con este sistema de dirección asistida con potencia eléctrica los conductores sienten menos interacción en el sistema de dirección es por eso que algunos fabricantes crearon un circuito de retroalimentación que compensar esta sensación de menor interacción en el sistema de dirección. (TransTec, 2018)

**Figura 9**

*Sistema de dirección asistida con potencia eléctrica (EPAS)*



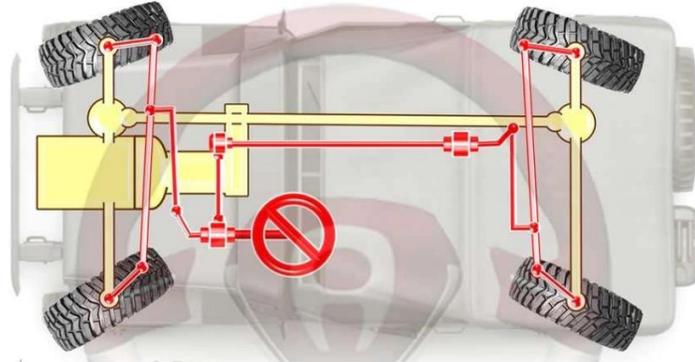
*Nota.* En la imagen se puede identificar el sistema de dirección EPAS de un automóvil. Tomado de (NSK EUROPE, 2019)

**Sistemas de dirección a las 4 ruedas**

Los sistemas de dirección a las cuatro ruedas permiten que el conductor gire las ruedas delanteras y conjuntamente se muevan las ruedas traseras hacia la izquierda o hacia la derecha. Con este sistema se consigue diámetros de giro más cerrados en las ruedas y una mejor maniobrabilidad en las curvas, al igual que se incrementa la estabilidad del vehículo a velocidades elevadas. (Blázquez, 2020)

## Figura 10

### Sistema de dirección a las 4 ruedas



*Nota.* En la imagen se puede identificar un sistema de dirección a las 4 ruedas. Tomado de (Tecnología del Automóvil, 2019)

Esta función de girar las ruedas en los ejes delanteros y posteriores de un vehículo no es nada reciente ya que este tipo de sistemas se los vienen utilizando ya hace tiempo en camiones, maquinaria pesada y en tanquetas militares, lo que buscaban al implementar este tipo de sistema era tener una mejor maniobrabilidad en espacios sumamente reducidos. (mecanicaautomotrizdgm, s.f.)

### **Sistema 4WS de Honda**

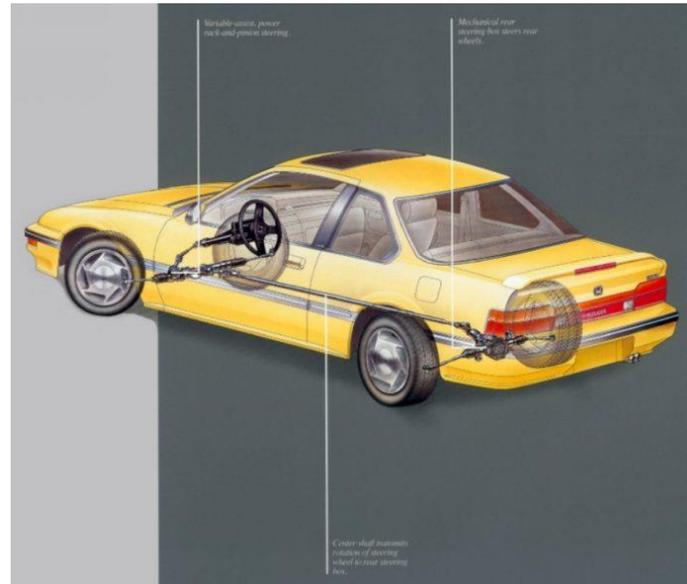
El sistema de dirección a las 4 ruedas de Honda, es el más reconocido, ya que este sistema fue implementado en uno de sus modelos, el Honda Prelude en su tercera generación entre 1988 y 1992 montaba ya este sistema, algunos años más tarde a partir de la cuarta generación entre 1992 y 1996 el sistema de dirección a las 4 ruedas era electrónico. (mecanicaautomotrizdgm, s.f.)

Este sistema funciona al controlar las ruedas delanteras por medio de una cremallera la cual podía tener o no asistencia, de allí se conecta un eje que se encarga de transmitir el

movimiento del volante hacia las ruedas traseras pasando previamente a una pequeña caja de dirección que las hace girar de forma limitada hacia uno u otro lado. (Arce, 2019)

### Figura 11

#### *Sistema de dirección a las 4 ruedas del Honda Prelude*



*Nota.* En la imagen se puede identificar un sistema de dirección a las 4 ruedas que implemento Honda. Tomado de (Blázquez, 2020)

#### **Sistema 4Control de Renault**

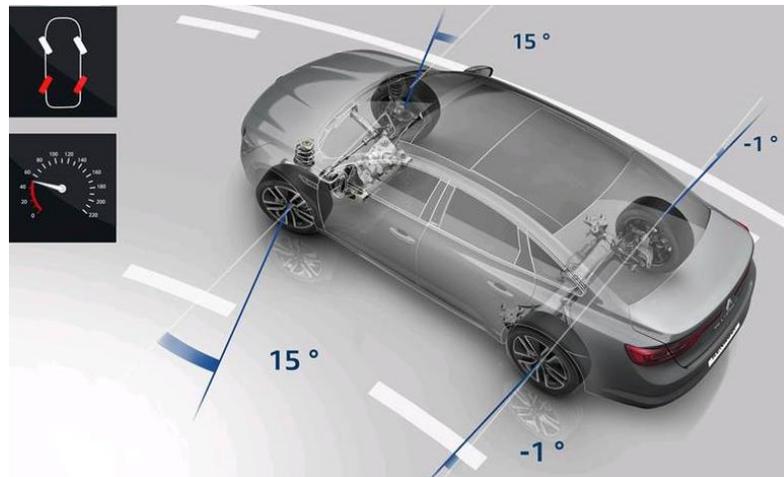
Este sistema de dirección en las ruedas traseras 4Control de Renault mejora significativamente la seguridad activa del conductor. Las ruedas traseras tienen dirección al igual que las delanteras, y estas son capaces de girar en el mismo sentido o en el contrario.

Cuando las ruedas posteriores giran en sentido contrario a las ruedas delanteras la guiñada aumenta y se disminuye el diámetro de giro, cuando lo hacen en el mismo sentido que las ruedas delanteras, la guiñada disminuye. Esta función es la misma que la del control de estabilidad, aunque en algunos casos puede resultar incluso más efectiva. Con este sistema se

mejora la maniobrabilidad cuando el vehículo se desplaza a bajas velocidades, el mecanismo de dirección a las ruedas posteriores se activa a partir de 2 km/h. (mecanicaautomotrizdgm, s.f.)

### Figura 12

*Sistema de dirección a las 4 ruedas 4Control de Renault*



*Nota.* En la imagen se puede identificar un sistema de dirección a las 4 ruedas que implemento Renault. Tomado de (EIMotornet, 2019)

Sobre el eje torsional trasero del Renault Laguna, están colocados unos bujes los cuales pivotan sobre un eje, con un ángulo máximo de  $3.5^\circ$  que es mucho menor que el de las ruedas delanteras, las cuales giran alrededor de  $60^\circ$ . Un sistema de palancas parecido al que hay en las ruedas delanteras mueven las ruedas traseras mediante un motor eléctrico el cual está ubicado al lado del eje trasero. Una centralita controla este sistema mediante los datos que recibe como la velocidad y el ángulo de giro del volante, la velocidad a la que circula el vehículo y los datos del control de estabilidad. La centralita evalúa cada dato en centésimas de segundo. (mecanicaautomotrizdgm, s.f.)

Las ruedas traseras pueden girar contrariamente a las delanteras hasta máximo una velocidad de 60 km/h, esto hace que las maniobras a baja velocidad sean más fáciles de ejecutar. En comparación al resto de versiones del Renault Laguna, el diámetro de giro disminuye pasando de 12,05 metros a 10,80 metros y la dirección se vuelve más eficaz y rápida. (Calle, 2008)

## Componentes de un sistema de dirección hidráulica

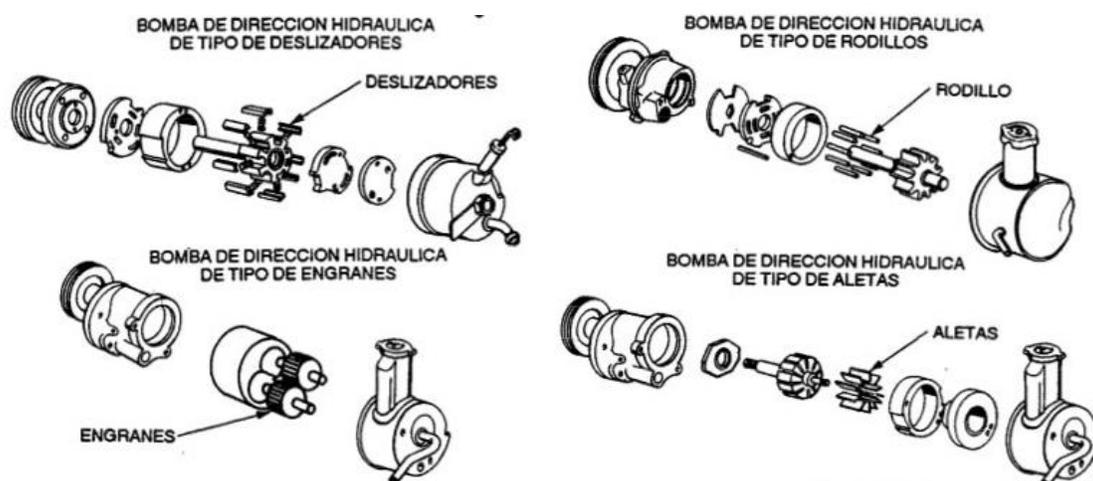
### **Bomba**

La bomba hidráulica produce la presión y flujo necesaria para el funcionamiento de un sistema, usualmente esta bomba se encuentra propulsada mediante de una correa conectada a la polea del cigüeñal del motor de combustión.

Dentro de los elementos de bombeo existen cuatro tipos de bombas de dirección hidráulica las cuales son: engranes, aletas o paletas, rodillos y láminas deslizantes.

### **Figura 13**

#### *Tipos de bombas hidráulicas*



*Nota.* En la imagen se puede identificar los tipos de bombas de dirección hidráulica. Tomado de (Thiessen y Dales, 2007)

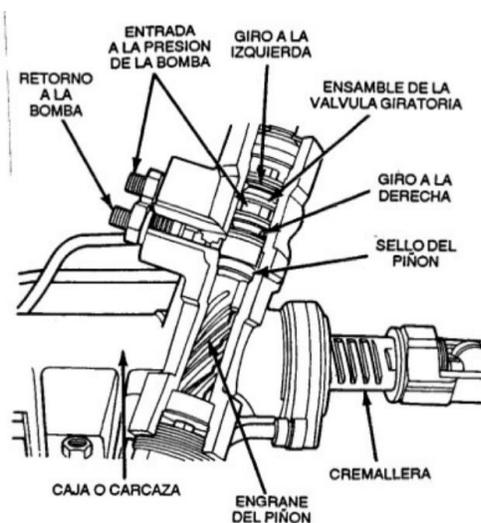
Según Thiessen y Dales (2010) las bombas hidráulicas más utilizadas son las de paletas ya que suministran un caudal progresivo de aceite que puede alcanzar los 1000 rpm y luego se mantienen suministrando un caudal casi constante a cualquier régimen de trabajo gracias a unos limitadores de caudal y presión que se sitúan dentro de la misma. Poseen un regulador de presión de 60 a 100 bar y los caudales pueden encontrarse entre 7 y 25 litros por minuto (lpm) según el tamaño.

### ***Válvula rotativa***

Este tipo de válvula controla la asistencia hidráulica y dirige el flujo del fluido hacia el cilindro posee tres posiciones y un centro abierto. El fluido que sale a presión desde la bomba ingresa al cuerpo de la válvula por medio de un puerto de presión ubicado en la carcasa de engranes, la válvula se encarga de dirigir el fluido hacia el pistón de la cremallera, pasando este entre los pasajes de fluido existentes en la carcasa.

### **Figura 14**

#### *Válvula de tipo rotativa*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el mecanismo interno de una válvula rotativa. Tomado de (Thiessen y Dales, 2007)

## ***Tuberías y mangueras***

Las mangueras de la dirección hidráulica usualmente están fabricadas de hule y materia tejido. Están fabricadas para soportar altas presiones hidráulicas. Una manguera conduce el fluido hidráulico a una presión sumamente alta hacia los mecanismos de la dirección, mientras que otra se encarga de retornar el fluido al depósito de la bomba. (Thiessen y Dales, 2007)

### **Figura 15**

#### *Mangueras hidráulicas*



*Nota.* En la imagen se puede identificar las mangueras hidráulicas para un sistema de dirección asistida. Tomado de (Gates, 2020)

### ***Fluido de dirección***

El aceite hidráulico desempeña muchas funciones dentro del funcionamiento de un sistema hidráulico. Sus diversas características gracias a los materiales que lo componen le permiten funcionar como medio de transferencia de calor, transmite la potencia de los elementos en funcionamiento, contribuye a la lubricación del sistema y de las piezas móviles evitando su desgaste por la fricción. (Ipesa, 2020)

El fluido hidráulico posee algunas características como resistencia al calor, poder antiespumante, buena estabilidad en cuanto a viscosidad y lubricación. No se deben utilizar

otros tipos fluidos hidráulicos para reemplazar los que recomienda cada fabricante de vehículos, el uso de un fluido incorrecto puede ocasionar que los sellos y o-ring se deterioren y presenten fugas o causen espuma. (Thiessen y Dales, 2007)

## Figura 16

*Fluido hidráulico*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el fluido hidráulico. Tomado de (Grainger, 2021)

## Componentes electrónicos

### *Arduino UNO*

Arduino es una plataforma de desarrollo la cual basa su funcionamiento en una placa electrónica de hardware libre dentro de esta se incorpora un microcontrolador re-programable y un conjunto de pines hembra. Estos pines permiten realizar conexiones de manera sencilla entre el microcontrolador y la gran variedad de sensores y actuadores existentes en la actualidad. (Arduino, s.f.)

## Figura 17

*Placa Arduino UNO*

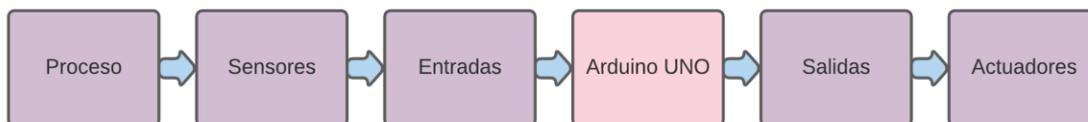


*Nota.* En la imagen se puede identificar un Arduino UNO.

Un Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Los microcontroladores son conocidos como circuitos integrados en los que se puede grabar instrucciones que permitan crear programas los cuales van a interactuar con los circuitos en placa. (Fernández, 2020)

## Figura 18

*Arquitectura de un autómata programable*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el diagrama de secuencia de funcionamiento de un Arduino UNO.

### ***Estructura del Arduino UNO***

Los Arduino se componen esencialmente por bloques internos los cuales se dividen en:

- Fuente de alimentación
- Microcontrolador
- Pines de alimentación
- Pines de entradas analógicas
- Pines de entradas y salidas digitales

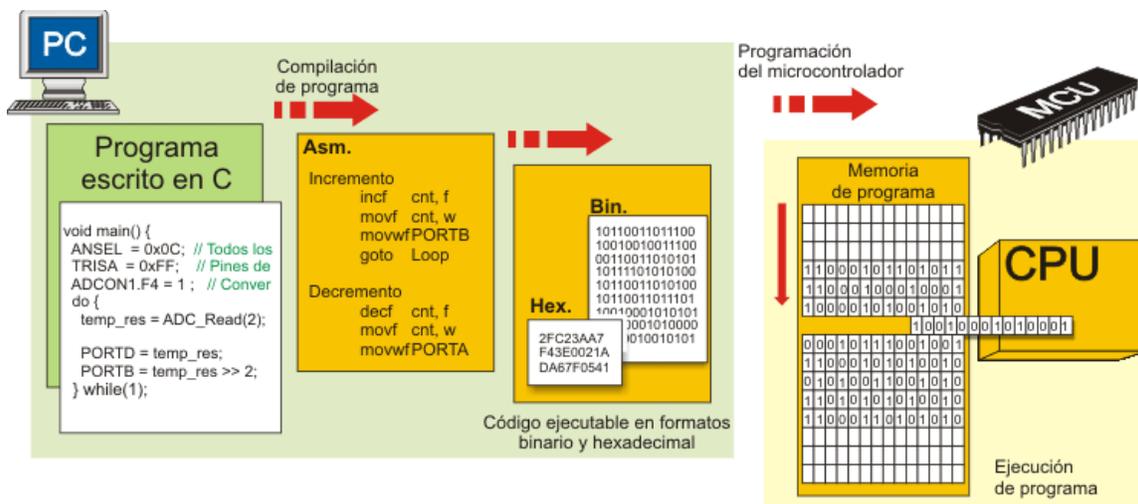
### ***Programación de un Arduino***

Al momento de programar un Arduino se debe traducir las líneas de código a tareas automatizadas que se desea realizar mediante la lectura de sensores, para programar la interacción con el entorno, mediante el uso de actuadores. (Automatic, 2017)

El entorno de programación de Arduino es sencillo y potente para programar, incluye además las herramientas necesarias para compilar el programa y grabarlo en la memoria flash del microcontrolador. (Automatic, 2017)

Figura 19

### Compilación y carga de código a un Arduino



*Nota.* En la imagen se puede identificar el diagrama de compilación y carga de código a un Arduino. Tomado de (Crespo, s.f.)

### Clasificación

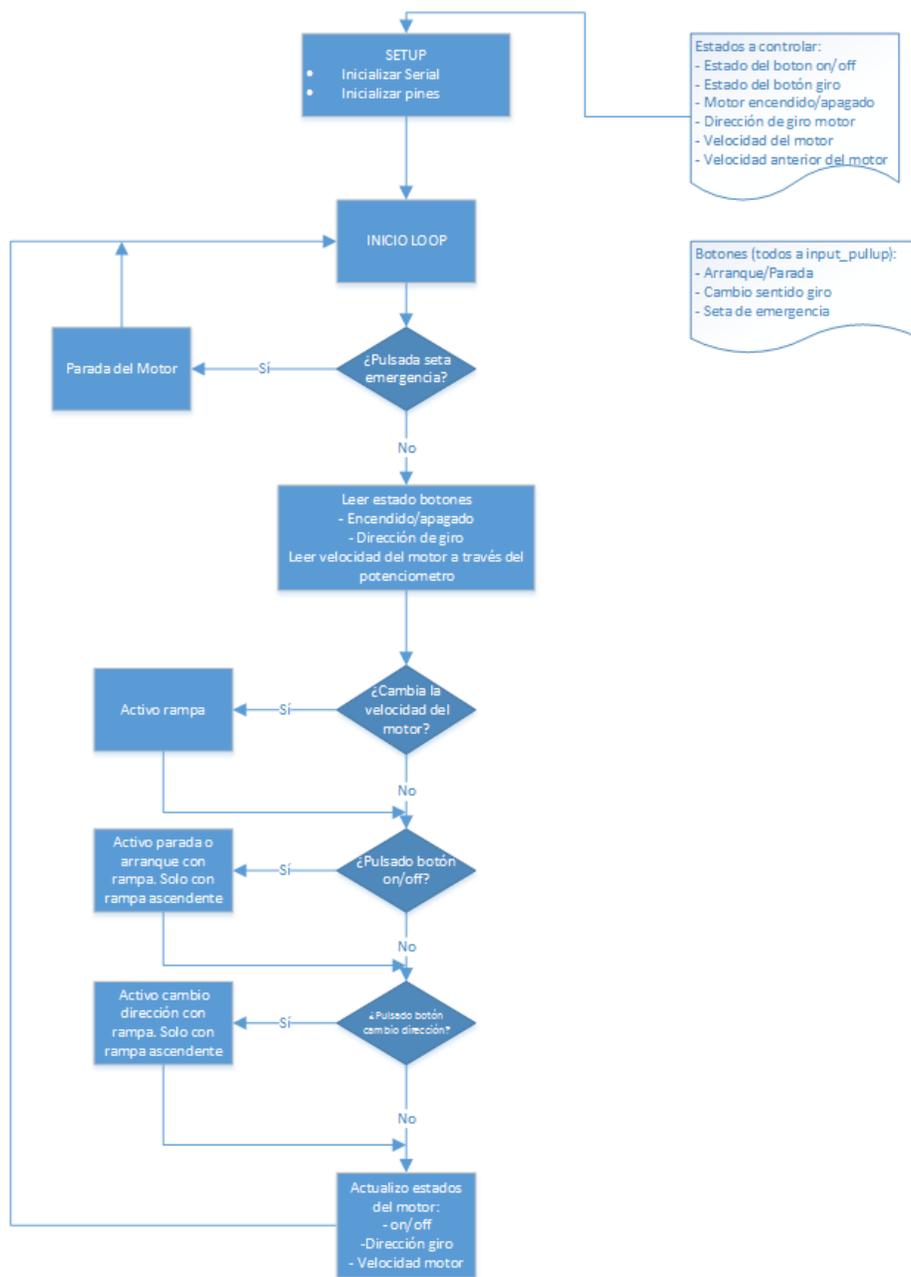
Según la estructura existen varios tipos de Arduino, entre ellos el Arduino NANO, Arduino MEGA, Arduino LEONARDO, Arduino YUN y Arduino UNO

En el control electrónico se utiliza un Arduino UNO, por las características que este nos brinda para la facilitar la programación y control de los actuadores, dentro de los aspectos considerados se especifican los siguientes:

- Capacidad de entradas y salidas
- Cantidad de procesos que puede ejecutar al mismo tiempo (multitarea).
- Entorno de programación multiplataforma.
- Lenguajes de programación de fácil comprensión.
- Re-usabilidad y versatilidad.
- Compatibilidad con equipos de otras gamas.

Figura 20

Ejemplo de etapa de chequeo de un Arduino



Nota. En la imagen se puede identificar el ciclo de funcionamiento de un Arduino. Tomado de (Crespo, s.f.)

## **Motores eléctricos**

Este tipo de aparatos transforman la energía eléctrica que recibe en energía mecánica. Se constituyen de una parte fija llamada estator, y una parte móvil llamada rotor, ambas están hechas de material ferro magnético, y poseen una serie de ranuras en las cuales se alojan los hilos de cobre que forman un devanado eléctrico.

En todo motor eléctrico se hallan dos tipos de devanados: el inductor, que se encarga de originar el campo magnético que inducirá las tensiones necesarias en el segundo devanado llamado inducido, en el devanado inducido se presentan las corrientes eléctricas que producirán el par de funcionamiento. (Gilbertocr, 2014)

### ***Clasificación***

Se clasifican en dos grandes grupos, según el tipo de red eléctrica a la que se encuentren conectadas. Así, se tienen:

- Motores eléctricos de corriente alterna.
- Motores eléctricos de corriente continua; normales y paso a paso

Debido a su reversibilidad, estos tipos de máquinas eléctricas rotativas pueden funcionar:

- Como motores, transformando la energía eléctrica en energía mecánica.
- Como generadores y equipos autógenos, transformando la energía mecánica en eléctrica.

### ***Motor paso a paso***

Son dispositivos electromecánicos que se encargan de transformar los pulsos eléctricos en pequeños desplazamientos angulares, es decir son capaces de avanzar una serie de grados

o pasos, dependiendo de su unidad de control, por estas características de precisión y fiabilidad se utilizan en sistemas CNC. (Wikipedia, 2014)

Los parámetros que se consideran en este tipo de motores son la velocidad de respuesta, torque, facilidad de manipulación y control, existen motores híbridos que ofrecen torques desde 1 N·m hasta los 22 N·m, como se presenta en la tabla.

**Tabla 1**

*Tipos de motores paso a paso*

<b>Tipo de motor</b>	<b>Descripción</b>
<b>Motores paso a paso</b>  <b>Unipolares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesitan un driver y estar conectados a un ordenador (PLCs o microcontroladores).</li> <li>• Requieren de una programación para controlar el cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.</li> </ul>
<b>Motor de paso de</b>  <b>reluctancia variable (VR)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando se encuentran energizados, el par estático de este tipo de motor es cero.</li> <li>• Se produce el giro cuando los dientes del rotor son atraídos a los dientes del estator electromagnéticamente energizados.</li> <li>• La inercia del rotor es pequeña y la respuesta es muy rápida, pero la inercia permitida de la carga es pequeña.</li> <li>• El paso angular de este tipo de motor es de 15°</li> </ul>
<b>Motor híbrido de paso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este motor es un híbrido ya que combina de los</li> </ul>



### **Características**

- Fuente de alimentación hasta 80 VAC/110VDC
- Corriente de salida hasta 7.2 A. controlado por un potenciómetro.
- Aislamiento óptico de entrada.
- El pulso de la señal se conecta a 24V.

El Driver cuenta con ocho terminales: PUL+, PUL-; regulan los pulsos y señales, DIR+, DIR-; proporcionan la dirección de rotación al motor eléctrico, ENA+, ENA-; activan y desactivan la alimentación eléctrica del actuador, ERRO COM; el exceso de voltaje o bajo voltaje se envía por este terminal. (Davila, 2013)

### **Sensor de giro (encoder)**

Es un dispositivo que convierte los movimientos rotatorios en señales eléctricas (pulsos) su uso es muy común en aplicaciones industriales como control de posición, robots, servomotores, para medir velocidades.

### **Figura 22**

*Sensor de giro*



*Nota.* En la imagen se puede identificar un encoder absoluto rotativo con interface. Tomado de (Álvarez y Carrera, 2015)

### ***Encoder incremental***

Generan un número determinado de pulsos eléctricos por revolución al rotar su eje, la velocidad de giro se mide contando los pulsos en un determinado periodo de tiempo, para determinar el ángulo o la distancia recorrida, los pulsos se cuentan a partir de un punto de referencia.

### **Sistema hidráulico de la dirección posterior**

Para el sistema hidráulico que dará asistencia a la dirección posterior se debe realizar una apropiada selección de los componentes todo esto con la finalidad que el sistema trabaje de manera correcta sin fallo alguno.

El programa que nos va a permitir diseñar y simular los componentes para posteriormente analizar cuáles son los más convenientes es Automation Studio 5.0.

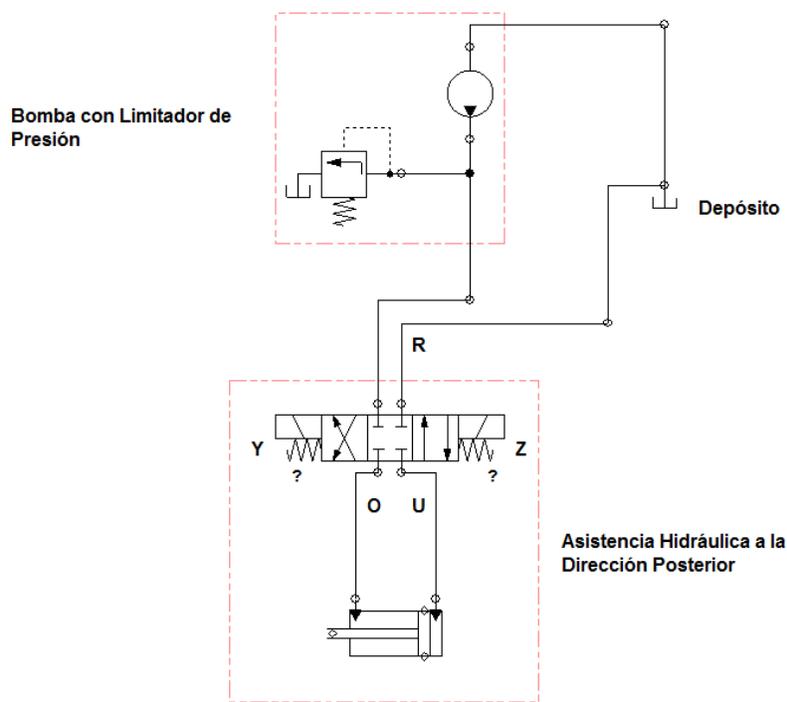
### ***Diseño y simulación del sistema hidráulico para la asistencia de la dirección posterior***

#### **a. Circuito hidráulico de la dirección posterior**

Este circuito será el encargado de suministrar asistencia hidráulica a la dirección del eje posterior, este circuito será el que se implementará en el banco de pruebas didáctico y dará la asistencia que se requiere hacia las ruedas posteriores.

**Figura 23**

*Circuito hidráulico de la dirección posterior*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el circuito hidráulico que dará asistencia a la dirección posterior.

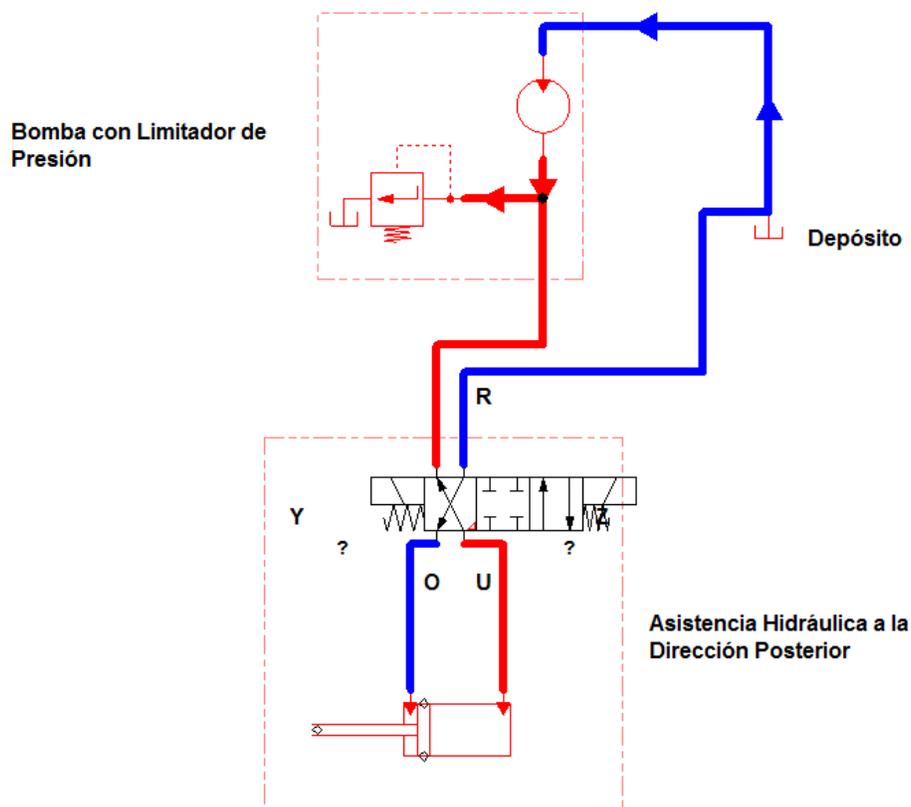
Está constituido por los siguientes elementos:

- Depósito
- Cilindro de efecto doble
- Bomba de paletas
- Limitador de presión
- Válvula direccional rotativa

A continuación, se presenta el funcionamiento del circuito hidráulico para la asistencia de la dirección posterior.

Figura 24

*Circuito hidráulico en funcionamiento*



*Nota.* En la imagen se puede apreciar el funcionamiento del circuito hidráulico.

Donde:

- O, U = Vías de trabajo por las cuales circula el fluido
- Y, Z = Accionamiento de control
- R = Retorno hacia el depósito

Este circuito será el encargado de proporcionar la asistencia hacia la dirección posterior, la cual será dirigida por un actuador (motor a pasos) el cual hará que la válvula distribuidora gire hacia un lado o al otro.

## Conductores eléctricos

Normalmente los cables actuales se encuentran constituidos por una trenza de alambres de cobre recubiertos por un revestimiento aislante de materia plástica. Acorde al sistema American Wire Gauge (AWG) se encuentran categorizados los diámetros de los cables y alambres, mientras más pequeño el número AWG mayor será el diámetro del cable. (Truper S.A, 2014)

De acuerdo a la corriente que pueden soportar se determina el diámetro de los alambres y cables, esto quiere decir que a mayor diámetro tenga el cable, será capaz de conducir más amperes. Si una corriente mayor circula a través de un cable de menor diámetro, el cable puede sufrir sobrecalentamientos y ocasionar incendios, aparte de generar desperdicios de energía. (Unicrom, 2014)

### Figura 25

*Conductor eléctrico*



*Nota.* En la imagen se puede identificar un conductor eléctrico. Tomado de (Ingelcom, s.f.)

## Capítulo III

### Desarrollo del tema

#### Sistema hidráulico para la asistencia al eje posterior

##### **Bomba**

##### a. Cálculo para determinar la bomba hidráulica

Según el estudio realizado por (Álvarez y Carrera, 2015) el cual tenía el propósito de determinar la fuerza existente en el eje posterior del vehículo prototipo, obtuvieron un resultado de 3086.22 N.

Con este dato es posible calcular la presión necesaria que se requiere para que la bomba hidráulica pueda vencer la fuerza mencionada anteriormente, en el eje posterior.

##### b. Área del pistón de la dirección posterior

Con el mecanismo de asistencia hidráulica seleccionado se tiene que el émbolo posee un radio de 3.5 cm. Aplicando la fórmula para hallar el área se tiene:

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (3.5 \text{ cm})^2$$

$$A = 38.48 \text{ cm}^2 = 5.96 \text{ in}^2$$

Una vez obtenida el área transversal del émbolo es posible calcular la presión hidráulica necesaria que debe ejercer la bomba hidráulica.

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{3086.22 \text{ N}}{38.48 \text{ cm}^2}$$

$$P = 8.02 \text{ bar}$$

La presión necesaria para generar una fuerza de 3086.22 N en la dirección posterior es de 8.02 bares.

**c. Fuerza que genera la bomba hidráulica**

Para conseguir mejores resultados y que la bomba no de problemas a futuro se optó por utilizar una bomba de paletas con una presión de alrededor de 60 bares.

**Tabla 2**

*Características de la bomba hidráulica*

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
<b>Presión de bomba</b>	60 bar (870.226 psi)
<b>Revoluciones</b>	1000 rpm
<b>Caudal</b>	2 Gpm

*Nota.* En la tabla se indica las características de la bomba que se utilizará para la asistencia de la dirección posterior.

Para determinar la fuerza que generará la bomba utilizamos la ecuación:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = P * A$$

$$F = 870.226 \frac{lb}{in^2} * 5.96 in^2$$

$$F = 5186.54 lb = 23070.87 N$$

Esta es la fuerza que genera el sistema hidráulico hacia la dirección posterior, por lo tanto, el sistema hidráulico si será capaz de generar la presión adecuada para el movimiento del sistema de dirección posterior.

### **Depósito**

Para seleccionar este elemento es necesario calcular el volumen del depósito, además se toma en cuenta sus conductos de succión y retorno, así como sus dimensiones. Para los cual se utiliza la fórmula:

$$V = A * h$$

$$V = \pi * (4.5 \text{ cm})^2 * 10 \text{ cm}$$

$$V = 636.17 \text{ cm}^3$$

El volumen del depósito es de 636.17 cm<sup>3</sup> equivalentes a 0.636 L.

### **Dirección hidráulica tipo piñón y cremallera**

Este es el componente más importante de todos los anteriores, ya que este debe ajustarse a nuestras necesidades, por el espacio requerido al momento de su instalación y su correcto funcionamiento a la dirección del eje posterior. La fuerza proporcionada el mecanismo varillaje es similar a la presión que provee la bomba por el área transversal de su émbolo.

$$F = P * A$$

$$F = 1080.4 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} * 5.96 \text{ in}^2$$

$$F = 6439.184 \text{ lb} = 28642.92 \text{ N}$$

Es así que se decide utilizar la cremallera de dirección de un Daewoo lanos por las prestaciones que nos brinda.

### **Motor eléctrico para el accionamiento de la bomba hidráulica**

Este motor eléctrico será el encargado de generar las revoluciones necesarias para que la bomba hidráulica genere la presión adecuada en el sistema hidráulico. Para lo cual se decide utilizar un motor eléctrico monofásico de 1hp y 1800 rpm, ya que las rpm mínimas para que esta bomba trabaje son de alrededor 1000rpm.

**Tabla 3***Especificaciones técnicas del motor eléctrico 1hp*

<b>Motor Eléctrico Monofásico</b>	
<b>Modelo</b>	WEG
<b>Voltaje de operación</b>	110/220 VAC
<b>Potencia HP</b>	1
<b>RPM</b>	1800
<b>Polos</b>	4
<b>Aislación</b>	Clase B
<b>Ventilador de refrigeración</b>	Si

*Nota.* En la tabla se indica el motor eléctrico seleccionado. Tomado de (Promesa, s.f.)

### **Montaje del sistema de dirección hidráulica**

Los elementos que conformaran el sistema hidráulico para la asistencia de las ruedas posteriores son:

- Dirección hidráulica de piñón y cremallera
- Bomba
- Depósito
- Cañerías de alta presión y retorno
- Acoples de presión
- Abrazaderas

Se procede a adaptar el mecanismo de dirección hidráulica en el eje posterior el cual estará sujeto a unas bases soldadas en la estructura del banco didáctico.

**Figura 26**

*Mecanismo de dirección hidráulica adaptado a la estructura*



*Nota.* En la imagen se puede identificar la adaptación del mecanismo de dirección hidráulica se realizó en la parte posterior.

Se construye una base a medida para fijar la bomba hidráulica, esta base estará soldada a la estructura del banco didáctico. Se procede a instalar la bomba hidráulica como se aprecia en la figura 27.

**Figura 27**

*Base de la bomba hidráulica*



*Nota.* En la imagen se puede identificar la base de la bomba adaptada en la estructura.

Para fijar el depósito de líquido hidráulico se procede a soldar una base hecha a medida en la estructura del banco didáctico.

Se procede a realizar el conexionado respectivo de la cañería hidráulica de presión hacia la bomba, se ajustan bien con abrazaderas para evitar liqueos de aceite.

### Figura 28

*Depósito fijado a la estructura*



*Nota.* En la imagen se puede identificar como se fijó el depósito a la estructura.

Para unir la cañería de alta presión con el mecanismo de dirección hidráulica, se hace uso de un acople de presión. Asimismo, se conecta el retorno de fluido del mecanismo de dirección hidráulica hacia el depósito.

**Figura 29***Acople de presión*

*Nota.* En la imagen se puede identificar el acople que se utilizó para unir la cañería de alta presión con el mecanismo de dirección.

Posteriormente se acopla el motor eléctrico que servirá para dar las revoluciones necesarias a la bomba, en la estructura del banco didáctico para lo cual se procede a fijar el motor eléctrico a la estructura mediante pernos grado 8, el motor eléctrico está situado cerca de la bomba.

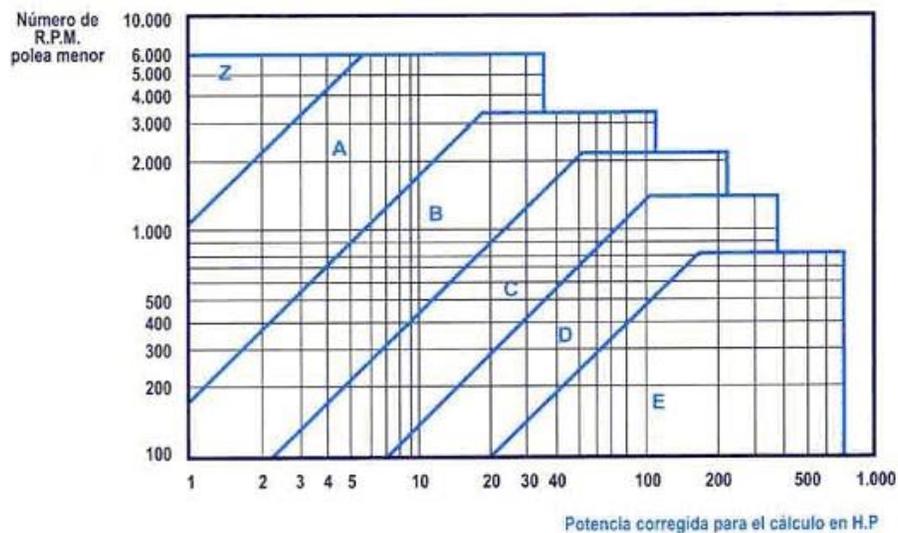
**Figura 30***Motor eléctrico acoplado a la estructura*

*Nota.* En la imagen se puede identificar el motor eléctrico acoplado a la estructura.

Para seleccionar la correa que transmitirá el giro del motor eléctrico hacia la bomba se toma en cuenta los datos: velocidad de polea motora varía entre 1000 y 1900 rpm, potencia de servicio de 4Hp.

**Figura 31**

*Selección de la sección de correa*



*Nota.* En la imagen se puede identificar la sección de correas. Tomado de (ingemecanica, s.f.)

La velocidad máxima que puede alcanzar el motor eléctrico es de 1900 rpm tomando en cuenta este valor se decide seleccionar la banda tipo A y se procede a instalarla.

**Figura 32**

*Banda tipo A instalada*

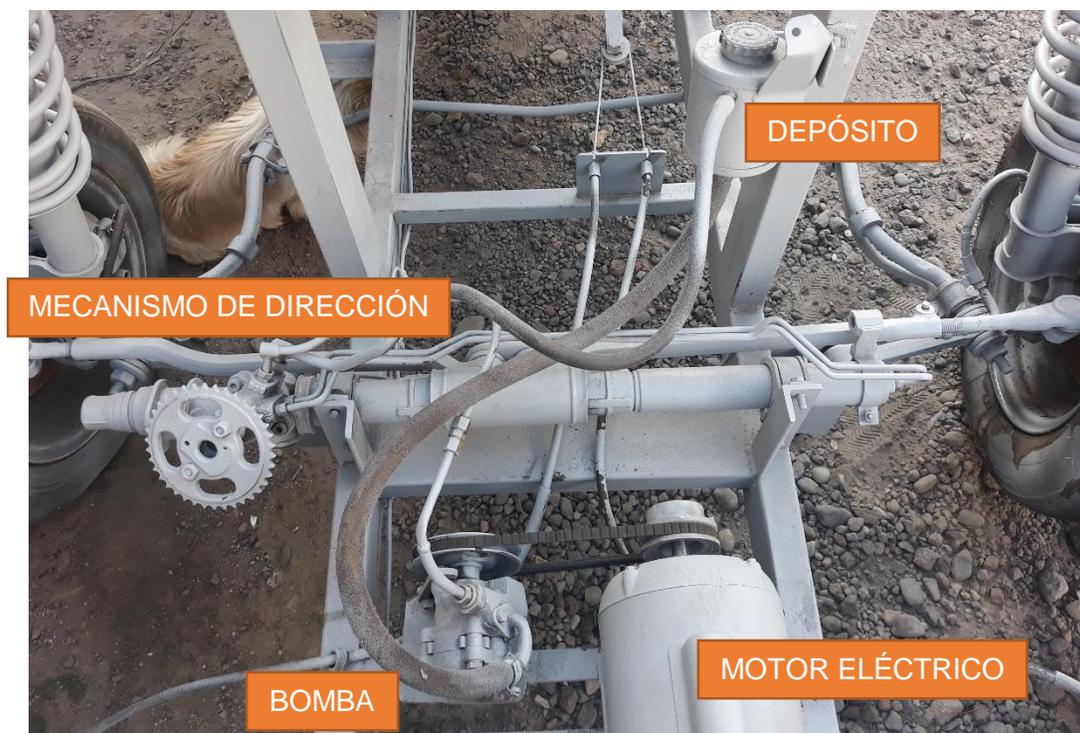


*Nota.* En la imagen se puede identificar la banda instalada entre el motor y la bomba.

El sistema hidráulico queda instalado y funcionando dentro de la estructura.

**Figura 33**

*Sistema de asistencia hidráulica instalado*



*Nota.* En la imagen se puede identificar como quedo montado el sistema de asistencia hidráulica en la estructura del banco didáctico.

En la tabla 4 se presenta un diagrama de procesos en el cual se detalla el desarrollo de la adaptación del sistema hidráulico en la estructura del banco didáctico.

**Tabla 4**

*Diagrama de procesos de adaptación del sistema hidráulico*

<b>DIAGRAMA DE PROCESO</b>		
<b>Proceso:</b> Adaptación del sistema hidráulico	Operación	○
<b>Método:</b> Actual	Inspección	□
<b>Operador:</b> Macas Juan / Naranjo Juan	Transporte	⇨
<b>Fecha:</b> Diciembre 2021	Retraso	D

### DIAGRAMA DE PROCESO

Total horas: 119		Almacenaje		△
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	○ □ → D △	TIEMPO (h)	MÉTODO	
Selección de elementos	X	97	Diseño	
Adaptación del mecanismo de dirección	X	6	Manual	
Adaptación de la bomba hidráulica	X	5	Manual	
Instalación depósito liquido hidráulico	X	3	Manual	
Conexión de cañerías del circuito hidráulico	X	2.5	Manual	
Adaptación del motor eléctrico	X	3	Manual	
Instalación de la banda	X	1	Manual	
Llenado del fluido para el circuito hidráulico	X	0.30	Manual	
Inspección visual de fugas	X	0.5	Visual	
Verificación de fluido en el depósito	X	0.20	Visual	
Verificación manual del mecanismo de dirección	X	0.5	Manual	

*Nota.* En la tabla se indica el proceso que se siguió para adaptar el sistema hidráulico.

## Sistema de control electrónico

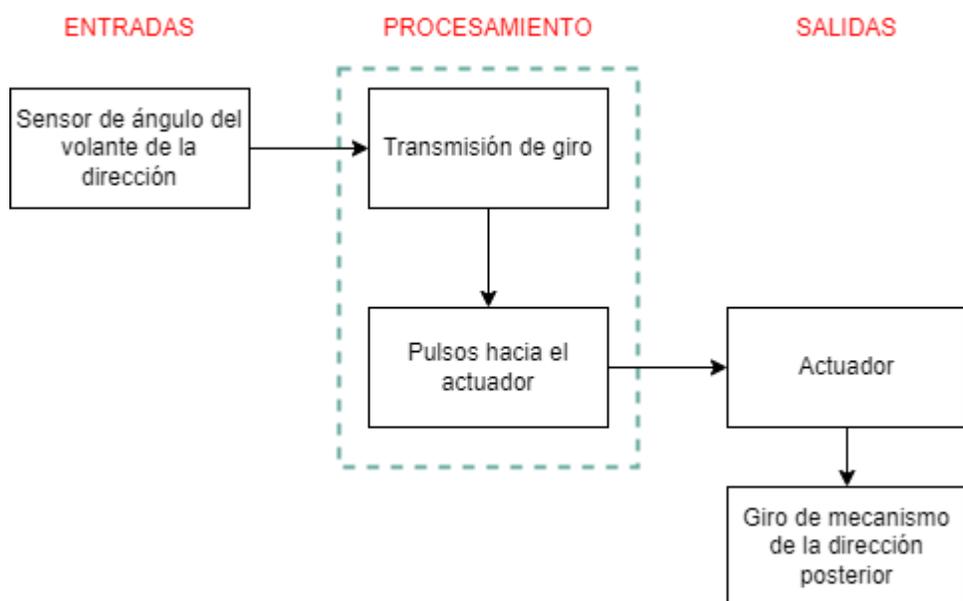
### Diseño del sistema electrónico

Para el diseño del sistema electrónico que gobernara el mecanismo en la dirección posterior, se toma como referencia todos los sistemas de control electrónico de dirección a las cuatro ruedas existentes en el área automotriz, estas servirán como guía para la implementación en el banco de pruebas didáctico.

A continuación, se representa el diagrama de funcionamiento del sistema, sus entradas y salidas para controlar el actuador.

**Figura 34**

*Diagrama de funcionamiento del sistema de dirección a las ruedas posteriores*

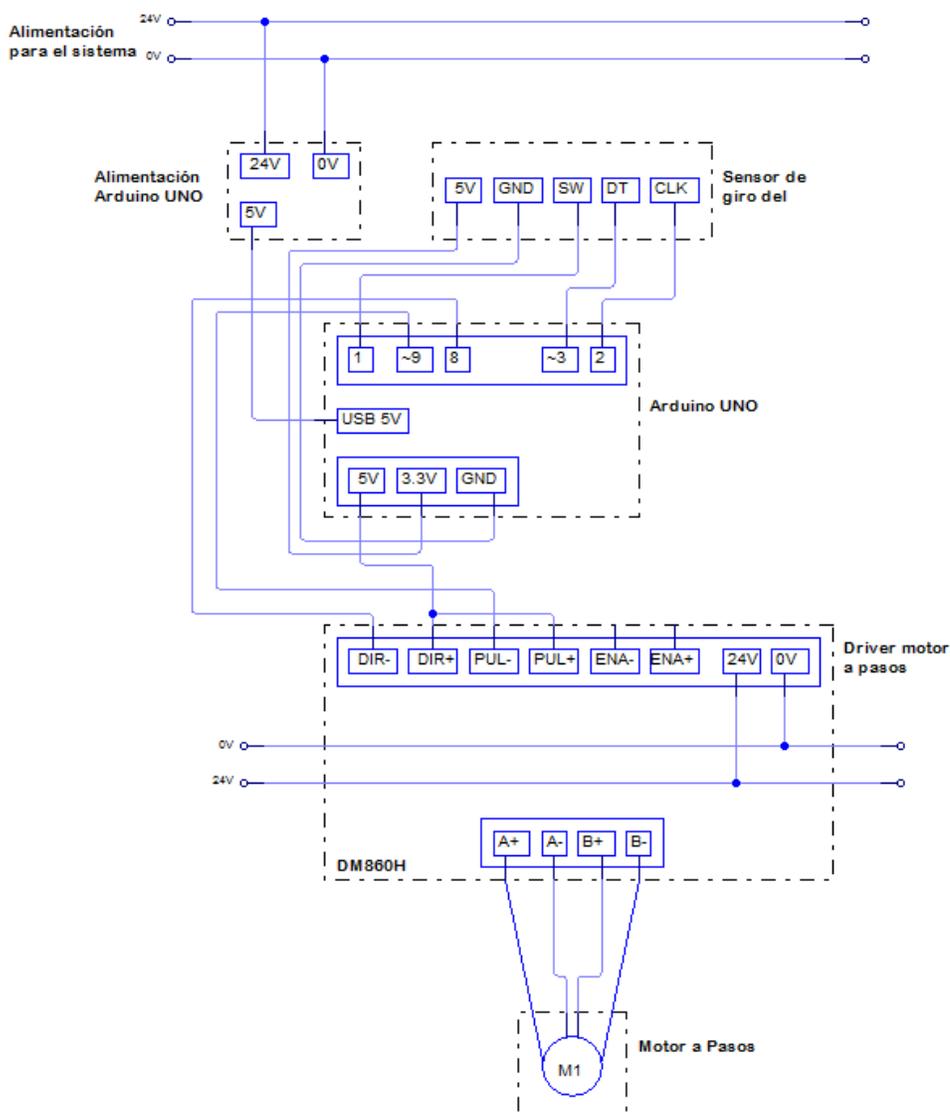


*Nota.* En la imagen se puede identificar el diagrama de funcionamiento del sistema de dirección a las ruedas posteriores.

Para el diseño del circuito electrónico es necesario previamente ilustrar la disposición de sus elementos con sus respectivas conexiones y así conocer el procedimiento necesario para la instalación de los mismos de esta manera se consigue optimizar el espacio y costos.

**Figura 35**

*Circuito de control electrónico de asistencia a la dirección posterior*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el circuito de control electrónico que se utilizará para la asistencia en la dirección posterior.

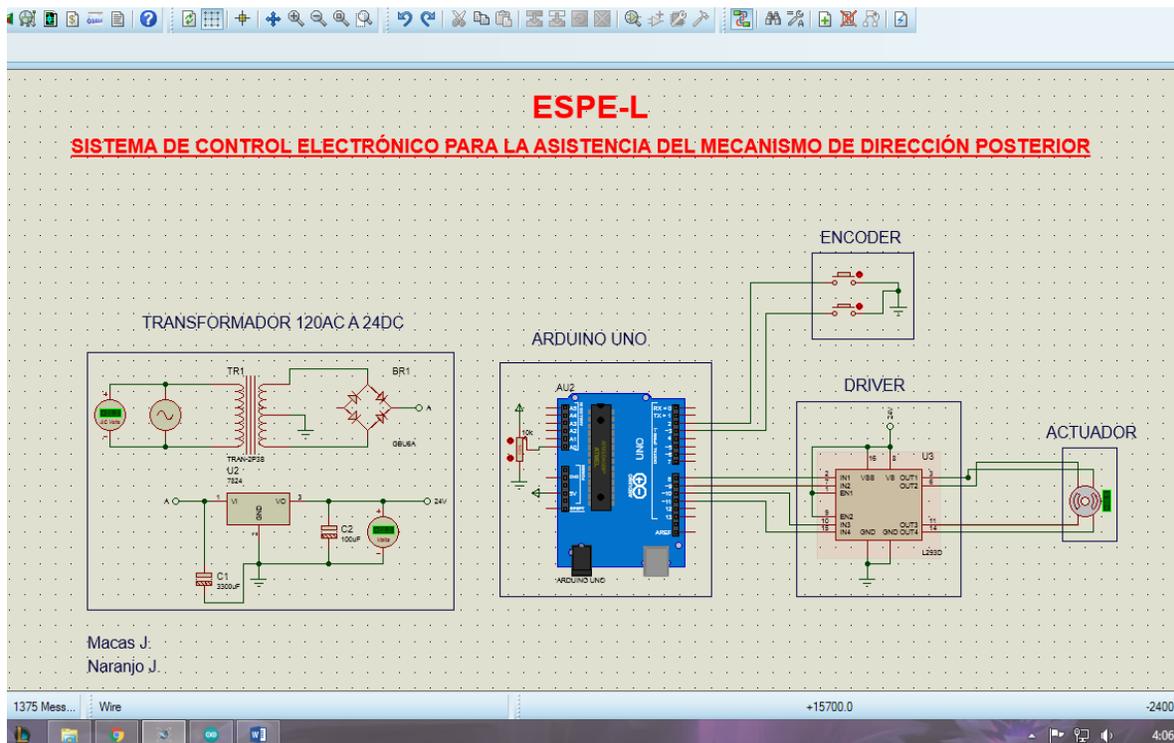
**Simulación del sistema de control electrónico**

Para proceder con el desarrollo del sistema de control electrónico se decide realizar una simulación previa en el programa de circuitos Proteus, con esto nos aseguramos que el sistema va a funcionar a sus optimas capacidades.

A continuación, se presenta en la figura 36 el circuito que se ha creado con el fin de determinar cómo va a trabajar el sistema de control electrónico.

**Figura 36**

*Circuito del sistema de control electrónico simulado en Proteus*

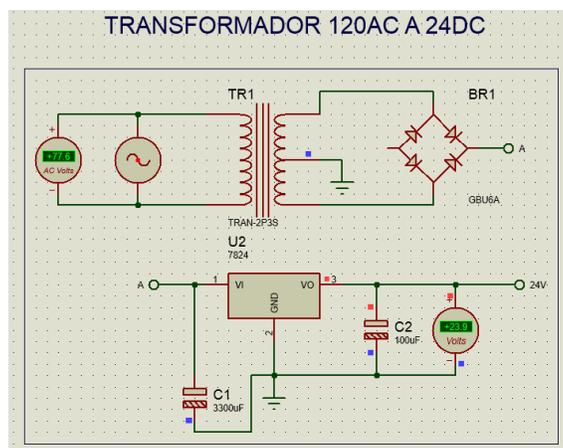


*Nota.* En la imagen se puede identificar el circuito del sistema simulado en Proteus.

En la figura 37 se muestra el circuito que será el encargado de alimentar al actuador, obteniendo en la simulación un voltaje de salida de 24VDC.

**Figura 37**

*Circuito de alimentación para el actuador*

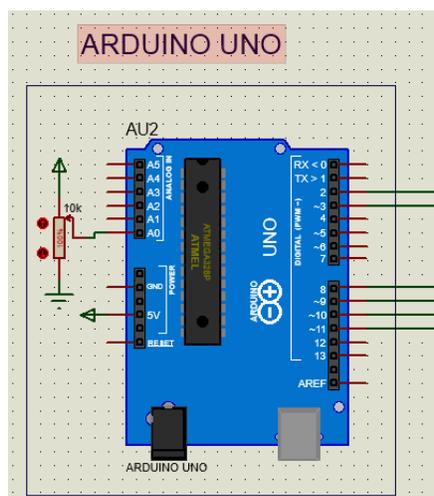


*Nota.* En la imagen se puede identificar el circuito del sistema de transformación simulado en Proteus.

Para la simulación del Arduino UNO se utiliza una librería externa que nos permite simular el sistema procesamiento de Arduino UNO, un potenciómetro de 10kΩ se encuentra conectado al Arduino UNO para simular la velocidad de giro del volante.

**Figura 38**

*Simulación de Arduino UNO en Proteus*

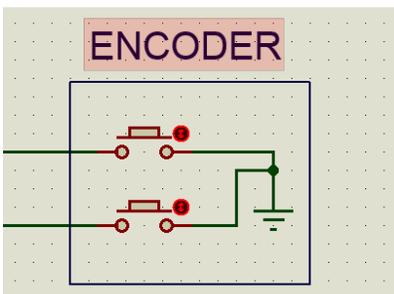


*Nota.* En la imagen se puede identificar el circuito del Arduino UNO simulado en Proteus.

Al Arduino UNO se encuentran conectados un par de pulsadores que serán los encargados de simular el sentido de giro del encoder ya sea horario o anti horario.

### Figura 39

*Circuito de pulsadores que simulan el encoder*

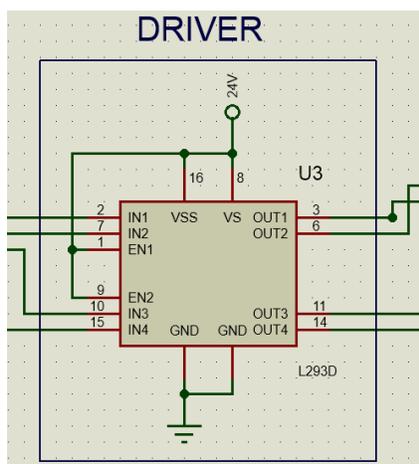


*Nota.* En la imagen se puede identificar el circuito de pulsadores que simulan el sentido de giro del encoder.

El driver para motores a pasos que nos proporciona Proteus se encuentra conectado a los pines digitales del Arduino UNO y su funcionamiento es casi similar al driver real que se planea utilizar.

### Figura 40

*Circuito de conexión del driver*

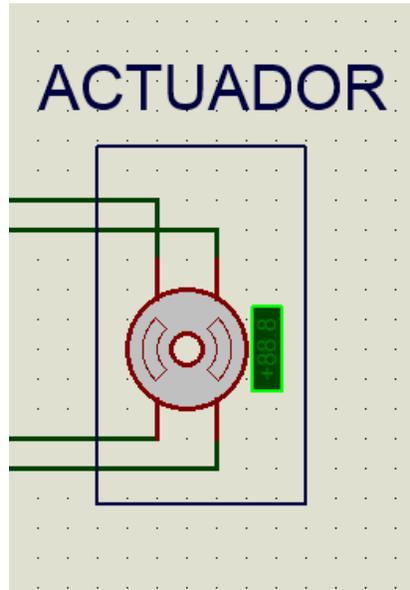


*Nota.* En la imagen se puede identificar el circuito del driver para motores a pasos simulado en Proteus.

Para simular al actuador se utiliza un motor bipolar que nos permitirá conectarlo al driver para cambiar su sentido de giro.

### Figura 41

*Simulación del actuador en Proteus*

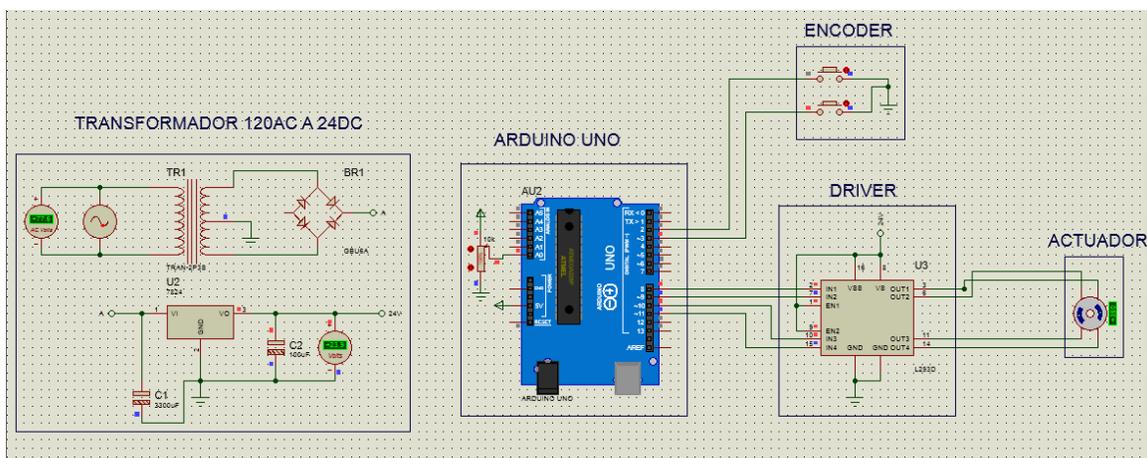


*Nota.* En la imagen se puede identificar la simulación del actuador en Proteus.

Con la simulación corriendo se determinó que el sistema trabaja adecuadamente de acuerdo a los parámetros que se desea.

**Figura 42**

*Circuito del sistema de control electrónico en funcionamiento simulado en Proteus*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el funcionamiento del circuito del sistema de control electrónico simulado en Proteus.

### **Selección de elementos eléctricos y electrónicos**

#### ***Unidad central de procesamiento Arduino UNO***

Debido a su compatibilidad y bajo costo, sin dejar de lado los beneficios y facilidades que nos proporciona, este dispositivo electrónico digital posee una memoria programable que guarda instrucciones y es capaz de llevar a cabo funciones lógicas de conteo, secuencia, sincronización, configuración, necesarias para el control del actuador que será instalado en el banco de pruebas didáctico.

**Figura 43***Arduino UNO*

*Nota.* En la imagen se puede identificar el Arduino seleccionado para la unidad de control electrónico de la dirección a las ruedas posteriores.

**Tabla 5***Especificaciones técnicas del Arduino UNO*

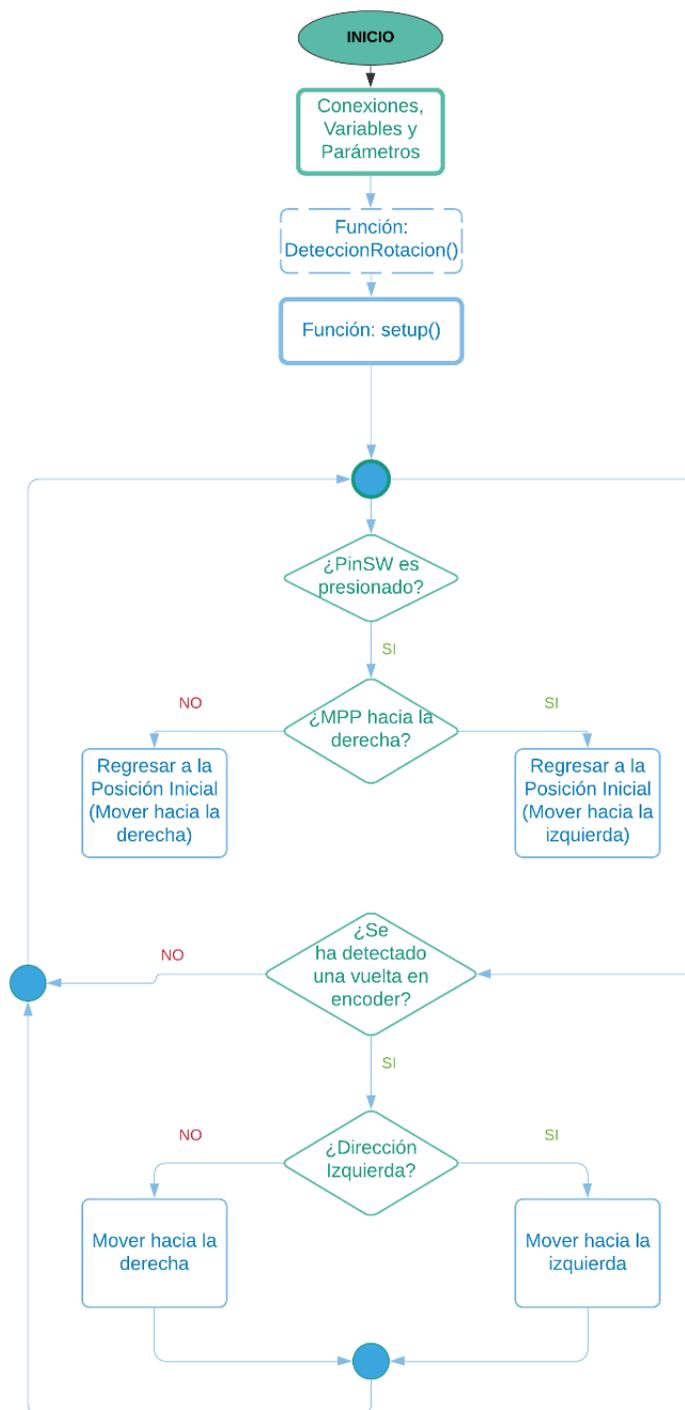
<b>ARDUINO UNO</b>	
<b>Microcontrolador</b>	ATMega328P
<b>Velocidad de reloj</b>	16 MHz
<b>Voltaje de trabajo</b>	5V
<b>Voltaje de entrada</b>	7.5 a 12V
<b>Pinout</b>	14 pines digitales (6 PWM) y 6 pines analógicos
<b>Puerto serie</b>	1
<b>Memoria</b>	32 KB Flash (0,5 para bootloader), 2KB RAM y 1KB Eeprom

*Nota.* En la tabla se indica los tipos de motores paso a paso. Tomado de (Arduino, s.f.)

La lógica de programación para el control electrónico de las ruedas posteriores, en el cual se indica los rangos de funcionamiento.

Figura 44

Lógica de programación del Arduino UNO para el viraje de las ruedas posteriores.



*Nota.* En la imagen se puede identificar la lógica de programación que se usará en el Arduino UNO.

### **Actuador**

Este actuador proporcionará el par necesario hacia el mecanismo de asistencia hidráulica de la dirección posterior, para lo cual se utilizará un sistema de cadena y catarina.

### **Figura 45**

*Motor Nema 34 6.5Nm*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el actuador seleccionado para la dirección a las ruedas posteriores.

### **Tabla 6**

*Especificaciones técnicas del motor Nema 34*

<b>MOTOR SUMTOR NEMA 34</b>	
<b>Modelo</b>	86HS9860A4J
<b>Marca</b>	SUMTOR
<b>Certificación</b>	CE y ROHS
<b>Torque</b>	6.5 Nm
<b>Fase</b>	2
<b>Corriente</b>	6 <sup>a</sup>
<b>Voltaje nominal</b>	24VDC
<b>Ángulo de Paso</b>	1.8°

---

**MOTOR SUMTOR NEMA 34**

---

**Longitud del motor**      100 mm

---

**Peso**                      3 Kg

---

*Nota.* En la tabla se indica el motor paso a paso seleccionado. Tomado de (Alibaba, s.f.)

***Sensor del volante de la dirección***

Este elemento será el encargado de sensar el ángulo en el que se encuentra el volante de la dirección. Por esta razón se recurre a la selección de un encoder de tipo incremental bidireccional que tiene tres canales de salida CLK, DT y SW, estos permiten detectar el sentido de rotación del eje, el canal DT se encuentra desfasado en 90° eléctricos respecto al canal CLK.

**Figura 46**

*Encoder*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el encoder que se utilizará.

**Tabla 7**

*Especificaciones técnicas del encoder rotativo KY-040*

---

**Encoder KY-040**

---

**Modelo**                      KY-040

---

**Voltaje de Alimentación**    5V

---

Encoder KY-040	
Desfase entre señal CLK y DT	90°
Rotación Angular	30°
Ciclos por Resolución	20
Peso	10 g
Dimensiones	20 x 30 x 30 mm

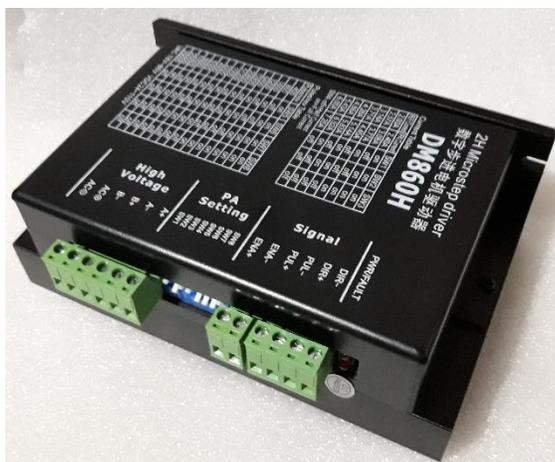
*Nota.* En la tabla se indica el encoder seleccionado. Tomado de (Unit Electronics, s.f.)

### ***Driver para el actuador***

El driver se encargará de controlar el motor paso a paso e tiene un amperaje de funcionamiento de 7.2 A, se utilizan en motores de pasos híbridos de dos a cuatro fases cuya corriente nominal es por debajo de 7.0 A.

### **Figura 47**

#### *Driver*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el driver seleccionado para controlar el actuador.

**Tabla 8**

*Especificaciones técnicas del driver que controlará el actuador*

<b>Driver Para Motor A Pasos</b>	
<b>Modelo</b>	DM860H
<b>Voltaje de operación</b>	18 - 80 VAC / 24 – 110VDC
<b>Corriente pico</b>	7.2 <sup>a</sup>
<b>Frecuencia de entrada de pulsos</b>	Hasta 300 KHz
<b>Protección</b>	Contra sobretensión y sobrecorriente
<b>Adecuado para motores</b>	2 y 4 fases
<b>Temperatura de trabajo</b>	-20°C / 65°C
<b>Ventilador de refrigeración</b>	Si

*Nota.* En la tabla se indica el driver seleccionado. Tomado de (Unit Electronics, s.f.)

### ***Sistema de alimentación eléctrica***

El sistema de control electrónico trabaja con un voltaje de 24VDC, y sus elementos requieren de esta corriente para funcionar correctamente, debido a esto es necesario utilizar una fuente suministre con la corriente necesaria a los equipos electrónicos y al actuador de la dirección posterior.

Es así que se decide usar un transformador de voltaje AC-DC, para obtener en sus bornes extremos una tensión de 24VDC a 6A y de esta forma tener la fuente eléctrica para el funcionamiento de los equipos.

**Figura 48**

*Transformador de voltaje AC-DC*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el sistema de alimentación que se utilizará. Tomado de (arcaelectronica, s.f.)

### **Conductores eléctricos para el sistema**

Para realizar el cableado de los dispositivos eléctricos y electrónicos se utilizan cables en función del amperaje y diámetro de cada uno.

**Tabla 9**

*Amperaje de cables de cobre*

<b>Número</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Sección</b>	<b>Capacidad</b>
<b>AWG</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(A)</b>
<b>0</b>	8,252	53,48	150
<b>2</b>	6,544	33,63	96
<b>4</b>	5,189	21,15	70
<b>6</b>	4,115	13,3	55
<b>8</b>	3,26	8,32	40
<b>10</b>	2,59	5,29	30
<b>12</b>	2,05	3,29	20

Número	Diámetro	Sección	Capacidad
AWG	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(A)
14	1,62	2,08	15
16	1,29	1,29	8
18	1,02	0,85	6

*Nota.* En la tabla se indica el amperaje que soportan los cables de cobre. Tomado de (Unicrom, s.f.)

Así se determinó que el cable número 18 es necesario para realizar las conexiones con la fuente de alimentación eléctrica del sistema.

### **Proceso de adaptación de elementos electrónicos e instalación eléctrica**

Se procederá a realizar la instalación de los equipos electrónicos los cuales servirán para el control del sistema de dirección hidráulica.

Estos equipos son: motor paso a paso, sensor de ángulo (encoder), driver para el actuador, Arduino UNO.

### ***Montaje del actuador en la dirección posterior***

Según el estudio realizado por (Álvarez y Carrera, 2015) el cual tenía el propósito de determinar el torque necesario para direccionar el eje posterior, con el motor del vehículo encendido y el sistema hidráulico de asistencia en funcionamiento obtuvieron una medida de 30 lbf con este dato y la medida de la longitud de la palanca donde se aplicó la fuerza, calcularon el torque necesario a partir de la fórmula para encontrar el momento de fuerza o torque.

$$T = F \times d$$

$$T = 30\text{lb}f \times 2\text{ in}$$

$$T = 60\text{lb}f * \text{in}$$

$$T = 133.447\text{N} \times 0.0508\text{m}$$

$$T = 6,779\text{Nm}$$

La válvula rotativa del cajetín de la dirección hidráulica se encuentra acoplada al actuador mediante un sistema de transmisión de cadena y catarina, para lo cual fue necesario previamente adaptarle una catarina al actuador como se aprecia en la figura 49, una de las catarinas estará acoplada al eje del actuador mediante una chaveta y un chavetero.

#### **Figura 49**

*Adaptación de catarina al actuador*



*Nota.* En la imagen se puede identificar la adaptación que se realizó en el actuador.

La otra catarina estará fijada al extremo de la válvula rotativa de la dirección posterior mediante pernos.

**Figura 50**

*Adaptación de catarina al cajetín de la dirección*



*Nota.* En la imagen se puede identificar la adaptación que se realizó en el cajetín de la válvula rotativa de la dirección.

El actuador estará instalado en la parte posterior del banco de pruebas, para lo cual se procede a hacerle una base regulable que estará soldada a la estructura tal como se ve en la figura 51.

**Figura 51**

*Base regulable para el actuador*



*Nota.* En la imagen se puede identificar la adaptación de una base que sujetará el actuador.

**Figura 52**

*Fijación de la base del actuador*



*Nota.* En la imagen se puede identificar la regulación que se le hace a la base que se fabricó para el actuador.

El actuador queda acoplado con el sistema de transmisión cadena y catarina en la parte posterior de la maqueta didáctica, listo para el control electrónico.

**Figura 53**

*Sistema de transmisión acoplado al sistema de dirección*



*Nota.* En la imagen se puede identificar la adaptación del sistema de transmisión para la dirección de las ruedas posteriores.

### ***Funcionamiento del actuador***

La finalidad del proyecto es lograr direccionar las ruedas posteriores con un ángulo máximo de  $16^\circ$ , en relación de giro las ruedas posteriores tendrán un giro inferior con respecto a las ruedas delanteras.

Para conocer el ángulo de giro de las ruedas posteriores se procedió a girarlas manualmente, llegando así a la conclusión que el ángulo de giro máximo de las ruedas posteriores es de  $30^\circ$ .

### ***Montaje del encoder***

El ángulo de giro del volante es un dato de suma importancia para controlar la dirección posterior ya que en función a este valor las ruedas posteriores giraran un determinado grado.

1. Previamente fue necesario construir dos engranajes de diferentes dimensiones para transmitir el giro del volante de la dirección al encoder, el primer engranaje (engranaje de la columna de dirección) tiene 15 dientes, el segundo engranaje (engranaje del encoder) tiene 40 dientes.

### **Figura 54**

*Engranajes para la transmisión de giro del volante*



*Nota.* En la imagen se puede identificar los engranajes que se utilizaran para la transmisión de giro del volante hacia el Arduino UNO.

2. Sobre el eje de la columna de dirección se instala el engranaje respectivo, para lo cual se desmonta el volante dejando libre la columna de hierro de 18.5 mm (0.73 in).

**Figura 55**

*Engranaje instalado en la columna de dirección*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el engranaje instalado en la columna de dirección.

3. El segundo engranaje está instalado en el eje del encoder.
4. Para que los dos engranajes engranen correctamente fue necesario acoplar una placa para el encoder la cual estará sujeta mediante pernos a la estructura del banco de pruebas como se observa en la figura 56.

**Figura 56**

*Montaje del encoder a la estructura*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el acoplamiento de una placa que sujeta el encoder.

5. El encoder realizará la función de sensor de ángulo de giro, este enviará las señales eléctricas hacia el Arduino UNO para posteriormente controlar el actuador.
6. Los engranajes tienen una relación de transmisión de 2.66:1 para que la transmisión de giro sea la que se requiere para el viraje de las ruedas posteriores.

### **Programación del Arduino UNO**

Para la programación primero se definen los pines que se conectarán al driver DM860H, se declaran las variables para las interrupciones para detectar el movimiento del encoder, se declaran las constantes para las conexiones del encoder y sus variables para almacenar la posición del actuador.

#### **Figura 57**

*Asignación de variables y pines del driver y encoder*

```

Sistema_de_direcci_n_a_las_4_ruedas_2
3
4 //Control del sistema de dirección a las ruedas posteriores
5
6 //*****
7
8 //Macas Juan
9 //Naranjo Juan
10
11 //-----
12
13 #include <Stepper.h>
14
15 //Conexiones Driver DM860H
16 #define PUL 9 //Pin 9 conectado al Pin PUL
17 #define DIR 8 //Pin 8 conectado al Pin DIR
18
19
20 volatile boolean VueltaDetectada; //Se necesita volatile para interrupciones
21 //volatile boolean DireccionRotacion; //Rotación Derecha (sentido anti-horario) o Izquierda (sentido horario)
22
23 //Conexiones Encoder
24 const int PinCLK = 2; //Generación de interrupciones utilizando la Señal CLK
25 const int PinDT = 3; //Lectura para Señal DT
26 const int PinSW = 12; //Lectura para el Botón
27
28 int PosicionMpp = 0; //Almacena la Posición del MPP
29 int PasosRecorrido = 100; //Controla la velocidad del MPP por Rotación 7w7

```

*Nota.* En la imagen se puede identificar la programación en Arduino UNO asignando los pines que se utilizaran.

Se procede a desarrollar una función para una rutina de interrupción, esta será la encargada de detectar si se está moviendo el encoder en sentido horario o anti horario, debido a que es una función esta se ejecutara solamente cuando sea invocada.

**Figura 58**

### *Función de interrupción*

```
Sistema_de_direcci_n_a_las_4_ruedas_2
39 //-----
40 //Rutina de Interrupción
41 //-----
42
43 void DeteccionRotacion()
44 {
45     static unsigned long ultimaInterrupcion = 0; // variable static con ultimo valor de tiempo de interrupcion
46     unsigned long tiempoInterrupcion = millis(); // variable almacena valor de func. millis
47
48     if (tiempoInterrupcion - ultimaInterrupcion > 5) { // rutina antirebote desestima pulsos menores a 5 mseg.
49         if (digitalRead(PinDT) == LOW) // si es HIGH, sentido horario
50         {
51             DireccionRotacion = (digitalRead(PinCLK)-digitalRead(PinDT) > 50);
52         }
53         else {
54             DireccionRotacion = (!digitalRead(PinCLK)-digitalRead(PinDT) < 50);
55         }
56     }
57 }
```

*Nota.* En la imagen se puede identificar la función que detectará si se está moviendo el encoder en sentido horario o anti horario.

En la función set up se definen los pines de entrada y salida.

**Figura 59**

### *Pines de entrada y salida*

```
Sistema_de_direcci_n_a_las_4_ruedas_2
..
65 void setup()
66 {
67     pinMode(DIR, OUTPUT);
68     pinMode(PUL, OUTPUT);
69
70
71     pinMode(PinCLK, INPUT); //horario
72     pinMode(PinDT, INPUT); //anti-horario
73     pinMode(PinSW, INPUT_PULLUP);
74     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PinCLK), DeteccionRotacion, LOW); //Interrupción 0 siempre conectado al Pin 2 en Arduino UNO
75 }
76 }
```

*Nota.* En la imagen se puede identificar los pines configurados para la conexión en el Arduino UNO.

En la función `loop` se ejecutan las instrucciones que se repiten durante el funcionamiento del Arduino UNO, en esta sección primero se consulta si el botón del encoder `PinSW` es presionado. Luego se consulta si la posición del actuador es distinta de cero, es decir que el actuador se ha movido y no se encuentra en su posición inicial, con esto si presionamos el botón del encoder el actuador regresará a su posición inicial.

## Figura 60

### *Función loop*

```

Sistema_de_direcci_n_a_las_4_ruedas_2
77 void loop()
78 {
79   if(!digitalRead(PinSW)) //Revisa si el botón es presionado
80   {
81     if(PosicionMpp != 0) //Revisa si el botón ya fue presionado
82     {
83       if(PosicionMpp > 0) //Motor fue movido a la derecha
84       {
85         while(PosicionMpp != 0) //Hacer hasta que la posición del Motor regresa a cero
86         {
87           digitalWrite(DIR, HIGH); // (HIGH = sentido anti-horario / LOW = sentido horario)
88           for(int x = 1; x < PasosRecorrido; x++)
89           {
90             digitalWrite(PUL, HIGH);
91             delay(1);
92             digitalWrite(PUL, LOW);
93             delay(1);
94           }
95           PosicionMpp = PosicionMpp - PasosRecorrido;
96         }
97       }

```

*Nota.* En la imagen se puede identificar la función que realizara el botón del encoder si este es presionado.

La decisión principal corresponde cuando es rotado el encoder para mover el actuador hacia una determinada posición, para lograr esta decisión principal se consulta si es que existe una vuelta detectada en el encoder, luego se consulta la dirección de la rotación del encoder. Si dirección de la rotación es igual a `true`, quiere decir que el encoder se ha movido en sentido anti horario, por lo que el actuador deberá moverse en la misma dirección, si dirección de la

rotación es igual a false, quiere decir que el encoder se ha movido en sentido horario, por lo que el actuador deberá moverse en la misma dirección.

**Figura 61**

*Función de movimiento del actuador*

```

Sistema_de_direcci_n_a_las_4_ruedas_2
117 //Funciona si la rotación fue detectada
118 if(VueltaDetectada)
119 {
120     VueltaDetectada = false; //No se repite hasta una nueva rotación detectada
121
122     if(DireccionRotacion) //Mover el Motor en sentido anti-horario
123     {
124         digitalWrite(DIR, HIGH); // (HIGH = sentido anti-horario / LOW = sentido horario)
125         for(int x = 1; x < PasosRecorrido; x++)
126         {
127             digitalWrite(PUL, HIGH);
128             delay(1);
129             digitalWrite(PUL, LOW);
130             delay(1);
131         }
132         PosicionMpp = PosicionMpp - PasosRecorrido;
133     }
134
135     if(!DireccionRotacion) //Mover el Motor en sentido horario
136     {
137         digitalWrite(DIR, LOW); // (HIGH = sentido anti-horario / LOW = sentido horario)
138         for(int x = 1; x < PasosRecorrido; x++)
139         {
140             digitalWrite(PUL, HIGH);
141             delay(1);
142             digitalWrite(PUL, LOW);
143             delay(1);
144         }
145         PosicionMpp = PosicionMpp + PasosRecorrido;
146     }
147 }

```

*Nota.* En la imagen se puede identificar la función que realizara el actuador si el encoder es girado hacia un lado u otro.

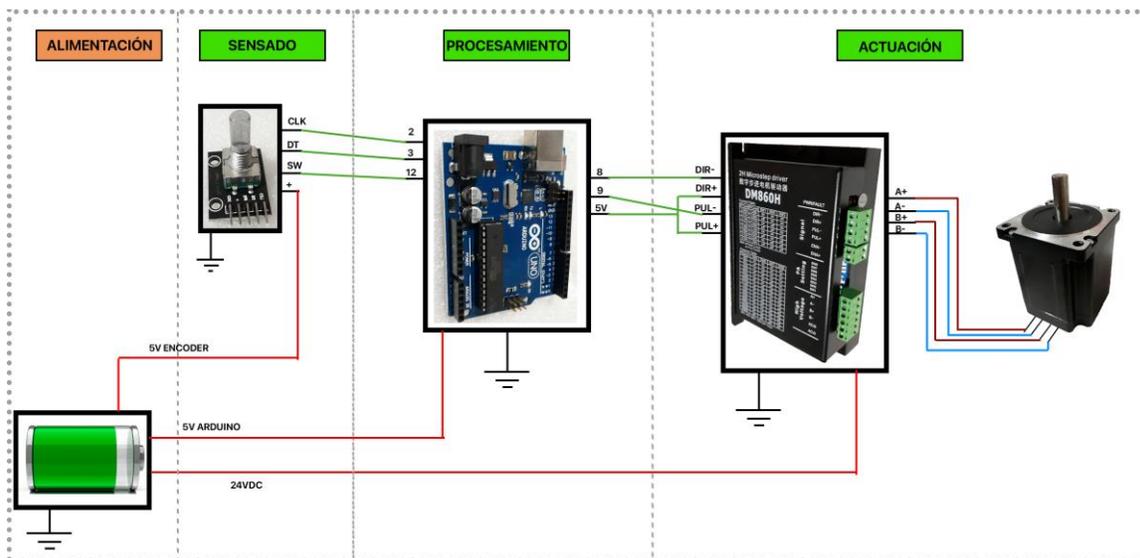
### **Montaje del tablero electrónico**

El tablero de control electrónico estará ubicado al lado derecho en el banco de pruebas, dentro de este gabinete se encuentran albergados los equipos electrónicos para evitar el ingreso de agua o polvo y que no se produzcan daños en el sistema.

A continuación, se presenta un diagrama esquemático de la conexión de los componentes para el control electrónico.

**Figura 62**

*Diagrama esquemático del control electrónico*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el diagrama esquemático para el conexionado de los componentes.

Se procede a fijar todos los componentes electrónicos al gabinete en el que se alojarán, teniendo mucho cuidado con cada uno de ellos ya que si por algún error se los dejara caer estos podrían dejar de funcionar como deberían y podrían presentarse fallos internamente en los circuitos integrados.

Para evitar que los componentes electrónicos dentro gabinete hagan contacto con el mismo, se recurre a utilizar separadores de goma para placas con esto evitamos que ocurran cortocircuitos o fallos al momento de iniciar el sistema.

**Figura 63**

*Fijación de elementos electrónicos al gabinete*



*Nota.* En la imagen se puede identificar como están siendo fijados los componentes para el control electrónico.

Los elementos electrónicos se encuentran dispuestos de tal manera que no ocurran cortocircuitos y sean de fácil reemplazo en caso de ocurrir algún fallo en cualquiera de los componentes.

**Figura 64**

*Elementos electrónicos instalados*



*Nota.* En la imagen se puede identificar la disposición de los elementos electrónicos dentro del gabinete.

Una vez instalados los elementos electrónicos se procede a realizar la conexión de cada uno de ellos para posteriormente probar el funcionamiento del sistema.

### **Figura 65**

*Conexión de los elementos electrónicos*



*Nota.* En la imagen se puede identificar como está siendo conectado el cableado de los componentes para el control electrónico.

Como conductores eléctricos para el actuador se utilizó cable AWG 18 con capacidad de 6A.

Para la conexión del Arduino UNO hacia el driver se utilizó cables jumper para placas, ya que la corriente máxima que pasará a través de ellos será de 6 VDC.

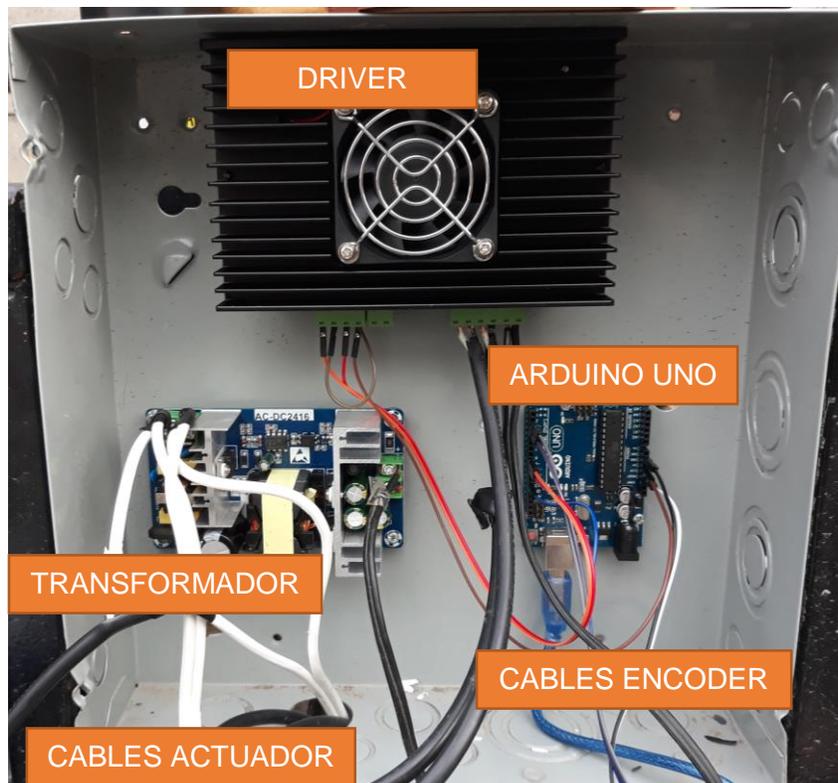
Para la conexión de alimentación eléctrica hacia el sistema se utilizó cable AWG 2, ya que este será el encargado de alimentar al transformador.

Se extendió todo el cableado por debajo de acuerdo a la forma de la estructura del banco didáctico todo esto con el fin de ocultar los cables para que se vea estéticamente mejor.

En la figura 66 se muestra el cableado general realizado entre todos los componentes electrónicos, estos serán los encargados de dar la orden al actuador para que este gire en un sentido o en otro, dando así el torque necesario para mover la dirección posterior.

### Figura 66

*Tablero con los elementos electrónicos*



*Nota.* En la imagen se puede identificar la distribución de los elementos electrónicos para la asistencia de la dirección posterior.

En la tabla 10 se presenta un diagrama de procesos en el cual se detalla el desarrollo de la instalación de los sistemas eléctricos y electrónicos en la estructura del banco didáctico.

Tabla 10

*Diagrama de procesos adaptación del sistema eléctrico y electrónico*

DIAGRAMA DE PROCESO							
<b>Proceso:</b> Adaptación sistema eléctrico y Operación electrónico						○	
<b>Método:</b> Actual					Inspección	□	
<b>Operador:</b> Macas Juan / Naranjo Juan					Transporte	⇒	
<b>Fecha:</b> Enero 2022					Retraso	D	
<b>Total horas:</b> 431					Almacenaje	△	
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	○	□	⇒	D	△	TIEMPO (h)	MÉTODO
Selección de elementos	X					336	Diseño
Adaptación de catarina al actuador				X		24	Manual
Adaptación de catarina al cajetín de la dirección				X		7	Manual
Construcción de la base para el actuador				X		8	Manual
Instalación del actuador	X					7	Manual
Instalación de cadena entre las catarinas	X					1.5	Manual
Adaptación del encoder al volante de dirección				X		8	Manual
Instalación de equipos electrónicos dentro del gabinete				X		6	Manual

### DIAGRAMA DE PROCESO

Instalación de gabinete de equipos electrónicos	X	2	Manual
Cableado del sistema electrónico		4	Manual
Instalación switch de encendido	X	1	Manual
Programación de control en Arduino	X	60	Manual
Pruebas del actuador instalado en el eje posterior	X	4	Manual / Programación
Verificación de señales y voltajes	X	2.5	Manual

*Nota.* En la tabla se indica el diagrama de procesos que se siguió para la adaptación de los sistemas eléctrico y electrónico.

## Capítulo IV

### Pruebas de funcionamiento

Una vez terminado el proceso de montaje de todos los elementos hidráulicos y electrónicos necesarios para la asistencia a la dirección posterior, se realiza las respectivas pruebas de funcionamiento a fin de determinar si el sistema cumple con los parámetros de funcionamiento que se requiere, caso contrario se debe realizar las respectivas correcciones para un óptimo funcionamiento.

#### Prueba de funcionamiento al girar el volante de la dirección

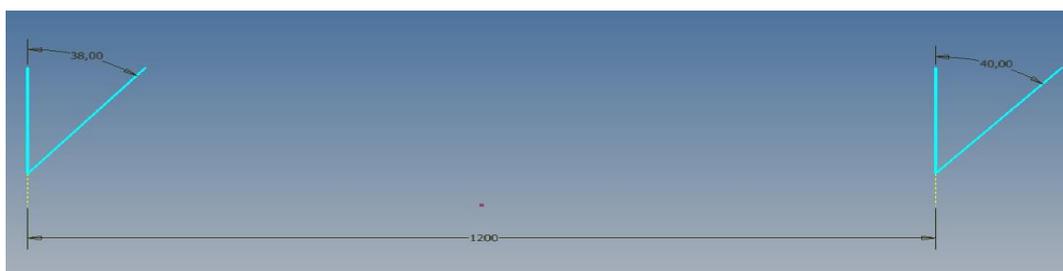
Para constatar que las ruedas den el giro que se estableció anteriormente se procede a girar las ruedas de derecha a izquierda y se procede a medir.

#### *Giro hacia la derecha*

Se realiza el giro del volante hacia la derecha hasta su tope (1.6 vueltas), el ángulo de la izquierda es el ángulo de viraje exterior de la rueda delantera el cual es de  $38^{\circ}$ , el ángulo de la derecha es el ángulo de viraje interior de la rueda delantera el cual es de  $40^{\circ}$ , así se puede notar que el ángulo de viraje de la rueda interior es mayor.

#### Figura 67

*Ángulo de viraje con el volante hacia la derecha ruedas delanteras*

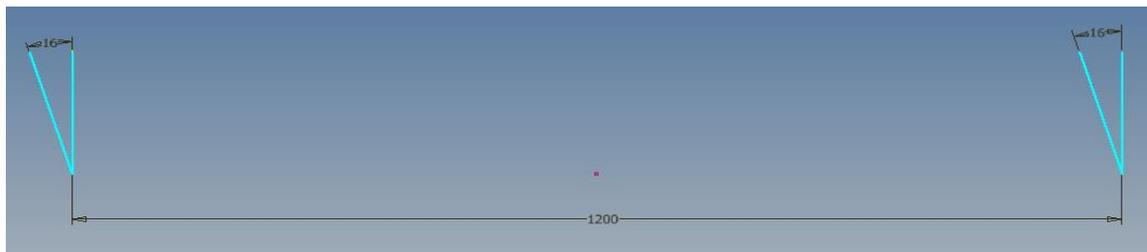


*Nota.* En la imagen se puede identificar el ángulo de viraje en las ruedas delanteras cuando se ha movido el volante hacia la derecha.

Posteriormente con el sistema electrónico activo se vuelve a girar el volante hacia la derecha hasta su tope, cuando las ruedas delanteras han girado su máximo ángulo de trabajo se observa que el ángulo máximo de viraje de las ruedas posteriores interna y externamente es de  $16^\circ$ .

**Figura 68**

*Ángulo de viraje con el volante hacia la derecha ruedas posteriores*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el ángulo de viraje en las ruedas posteriores cuando se ha movido el volante hacia la derecha.

**Figura 69**

*Dirección a las 4 ruedas con el volante girado hacia la derecha*



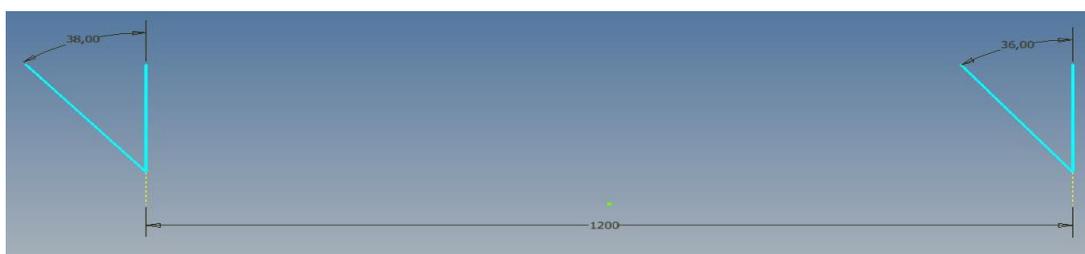
*Nota.* En la imagen se puede identificar como trabaja el sistema de dirección a las 4 ruedas cuando se ha girado el volante hacia la derecha.

### **Giro hacia la izquierda**

Se procede a realizar el giro del volante hacia la izquierda hasta su tope (1.5 vueltas) el ángulo de la izquierda es el ángulo de viraje interior de la rueda delantera el cual es de  $38^\circ$ , el ángulo de la derecha es el ángulo de viraje exterior de la rueda delantera el cual es de  $36^\circ$ , así se puede afirmar que el ángulo de viraje de la rueda interior es mayor.

### **Figura 70**

*Ángulo de viraje con el volante hacia la izquierda ruedas delanteras*

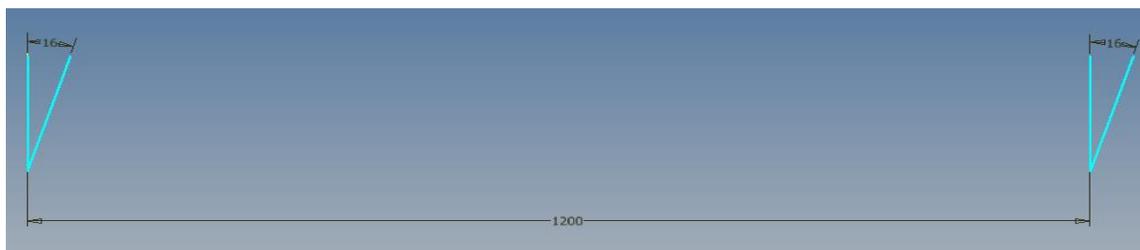


*Nota.* En la imagen se puede identificar el ángulo de viraje en las ruedas delanteras cuando se ha movido el volante hacia la izquierda.

Al igual que con el giro a la derecha con el sistema electrónico activo se vuelve a girar el volante hacia la izquierda hasta su tope, cuando las ruedas delanteras han girado su máximo ángulo de trabajo se observa que el ángulo máximo de viraje de las ruedas posteriores interna y externamente es de  $16^\circ$ .

### **Figura 71**

*Ángulo de viraje con el volante hacia la izquierda ruedas posteriores*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el ángulo de viraje en las ruedas posteriores cuando se ha movido el volante hacia la izquierda.

## **Figura 72**

*Dirección a las 4 ruedas con el volante girado hacia la izquierda*



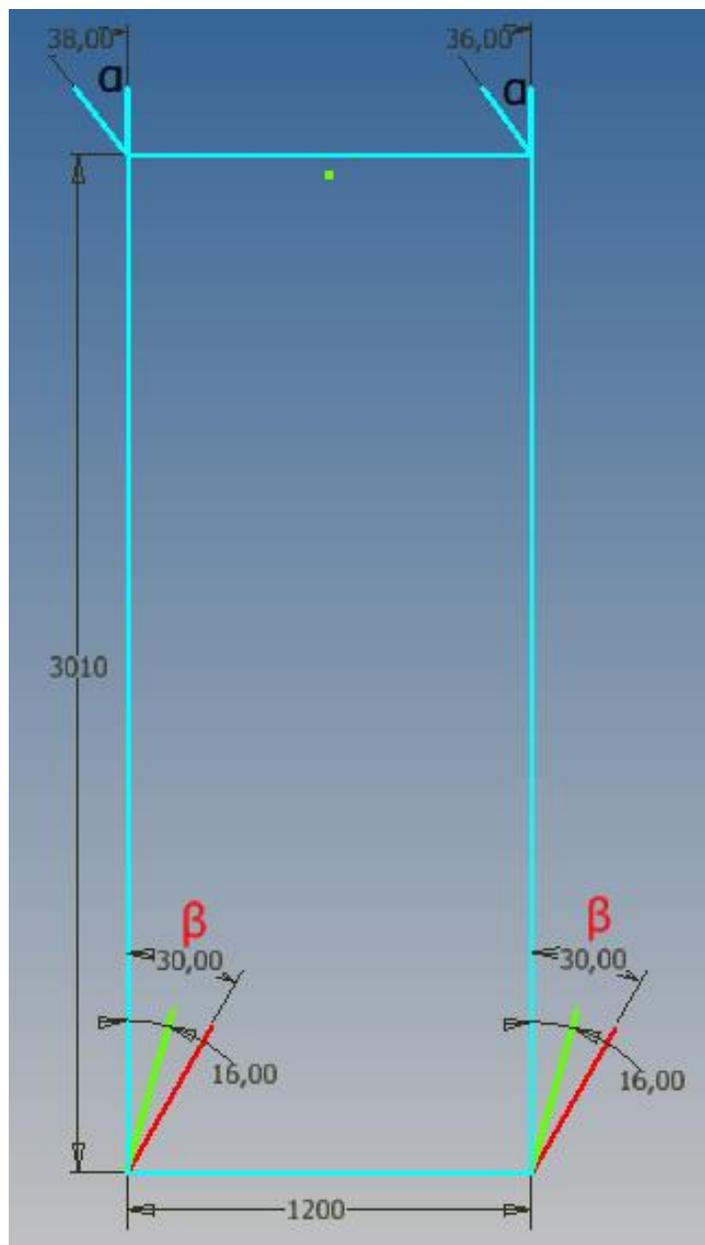
*Nota.* En la imagen se puede identificar como como trabaja el sistema de dirección a las 4 ruedas cuando se ha girado el volante hacia la izquierda.

## **Diagrama de giro**

A continuación, se presenta la nueva geometría de giro que tendrá el banco de pruebas didáctico, el viraje opuesto de las ruedas posteriores con respecto a las ruedas delanteras. En la figura 70 se aprecia el ángulo máximo de viraje de las ruedas posteriores cuando las ruedas delanteras han dado su ángulo máximo de viraje.

**Figura 73**

*Diagrama de geometría de giro dirección a las 4 ruedas*

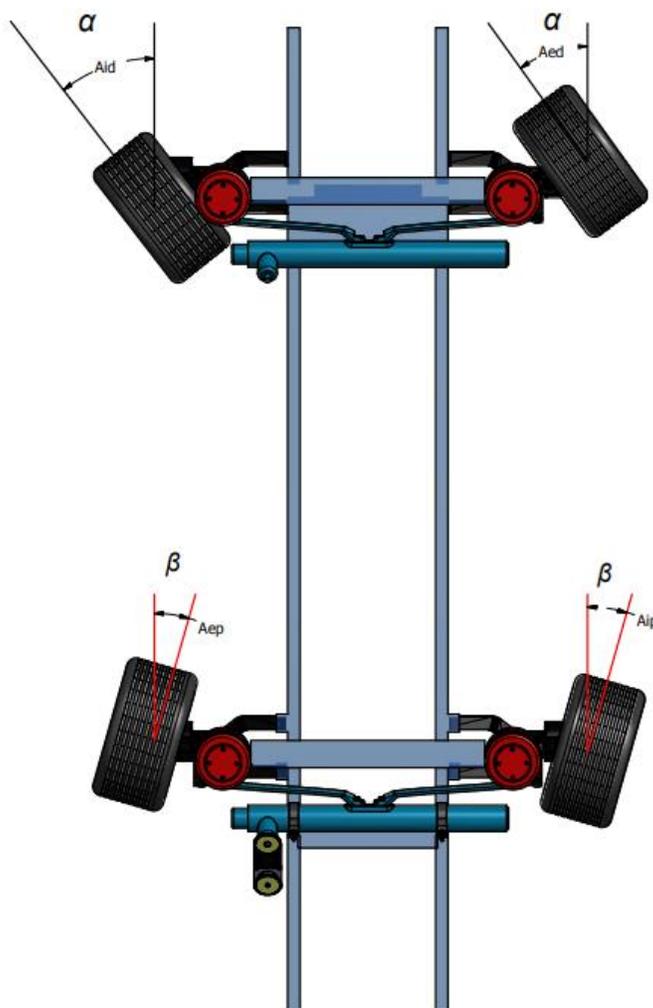


*Nota.* En la imagen se puede identificar el nuevo diagrama de giro cuando se encuentra activo el sistema de dirección a las 4 ruedas.

La nueva geometría queda dispuesta tal como se ilustra en la figura 71 donde se aprecian las cotas de la nueva disposición del ángulo de viraje en las ruedas posteriores, así como el de las ruedas delanteras.

### Figura 74

*Nuevo diagrama de geometría de giro*



*Nota.* En la imagen se puede identificar el nuevo diagrama de giro del sistema de dirección a las 4 ruedas.

En la tabla se especifica los valores que tendrá cada uno de los ángulos de dirección de las ruedas posteriores y delanteras de acuerdo a la nueva geometría.

**Tabla 11***Geometría de dirección a las 4 ruedas*

	<b>Significado</b>	<b>Valor máximo en grados</b>
<b><i>Aid</i></b>	Ángulo de viraje interior de la rueda delantera	38
<b><i>Aed</i></b>	Ángulo de viraje exterior de la rueda delantera	36
<b><i>Aip</i></b>	Ángulo de viraje interior de la rueda posterior	16
<b><i>Aep</i></b>	Ángulo de viraje exterior de la rueda posterior	16
<b><math>\beta</math></b>	Ángulo de viraje de las ruedas posteriores	30
<b><math>\alpha</math></b>	Ángulo de viraje de las ruedas delanteras	76

*Nota.* En la tabla se indica la nueva geometría de dirección a las cuatro ruedas.

**Verificación del sistema de control electrónico**

En este apartado se desea comprobar el correcto funcionamiento del control electrónico, en la parte de los elementos electrónicos se comprueba con un multímetro si el amperaje que está llegando hacia el actuador es el correcto y se obtiene un valor de 5.92A lo que nos quiere decir que está trabajando a un amperaje óptimo.

En los terminales de conexión del driver se comprueba si las señales que recibe desde el Arduino UNO son las correctas para lo cual se procede a girar el volante hacia un lado o hacia el otro y se determina que las señales para la dirección del actuador están siendo recibidas de manera correcta.



### **Verificación del sistema hidráulico**

Para la verificación del sistema hidráulico se procede a hacer funcionar el actuador de manera que este gire de un lado hacia otro de manera rápida con esto comprobamos que el mecanismo de dirección está siendo suministrado con la presión necesaria ya que no presenta retrasos al momento de moverse el actuador, es decir el mecanismo de dirección hace girar las ruedas al preciso momento que se mueve el actuador.

Se procede a revisar cada una de las cañerías en busca de fisuras o cortaduras que pudieron presentarse al momento de la instalación o por algún desperfecto mismo de la cañería, una vez revisadas se concluye que no existe ninguna fisura o cortadura que pueda alterar el funcionamiento del sistema hidráulico.

Se inspecciona el depósito para determinar si existe alguna fisura por la cual pueda llegar a derramarse el líquido hidráulico, después de revisar se determina que no existen fisuras por las cuales se derrame líquido.

Se comprueba visualmente que no existan fugas de líquido hidráulico a través de las cañerías del sistema y las abrazaderas, para lo cual se hace funcionar el sistema por alrededor de 30 minutos, con esto se determina que no existen fugas a través de las abrazaderas de las cañerías.

### **Figura 77**

*Sistema hidráulico trabajando*



*Nota.* En la imagen se puede identificar que no existen fugas de líquido hidráulico durante el funcionamiento del sistema.

Se llega a la conclusión que el sistema hidráulico y todos sus componentes están trabajando en óptimas condiciones.

## Capítulo V

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Se implementó un sistema de dirección electrohidráulica con control electrónico al eje posterior del banco didáctico de mecánica de patio para el estudio y la práctica de los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, siendo este un sistema asistido a las cuatro ruedas para lograr reducir el radio de giro del banco de pruebas.
- Se analizó los tipos de sistemas de dirección a las cuatro ruedas existentes en la actualidad y se estudió cada uno de estos sistemas su funcionamiento y desempeño cuando este sistema se encuentra activo.
- Se diseñó un circuito electrónico que controla todo el mecanismo de dirección en el eje posterior del banco didáctico y se utilizó software para la simulación de los elementos electrónicos.
- Se implementó una unidad de control electrónico para el movimiento del mecanismo de la asistencia a la dirección en el eje posterior del banco didáctico para lo cual se utilizó un motor eléctrico de alto torque para generar el par necesario que mueva el mecanismo de dirección.
- Se analizó el desempeño del sistema de dirección a las 4 ruedas implementado en el banco didáctico haciendo pruebas de funcionamiento en las cuales se pudo constatar que el sistema funciona de acuerdo a todos los parámetros que se estableció.
- Para la realización del proyecto se puso en práctica todos los conocimientos teóricos y un poco prácticos adquiridos durante toda la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz.

**Recomendaciones**

- Se recomienda verificar que todas las conexiones de alimentación eléctrica y control electrónico estén bien realizadas ya que esto puede provocar que el sistema funcione solo a su capacidad media además de provocar gastos innecesarios.
- Es recomendable que para la instalación de un sistema similar o algún otro prototipo se debe primero analizar las características de construcción del vehículo o estructura al que se quiera incorporar este sistema.
- Resguardar el prototipo de cualquier tipo de fluido para la protección de los componentes del sistema de control electrónico.
- Se recomienda utilizar guantes de protección para evitar lesiones en las manos al momento de instalar los componentes mecánicos.

## Bibliografía

- Abreu Alvarado, Y., Barrera Jiménez, A., Breijo Worosz, T., & Bonilla Vichot, I. (2018). *El proceso de enseñanza-aprendizaje de los Estudios Lingüísticos: su impacto en la motivación hacia el estudio de la lengua*. Mendive. Revista de Educación, 16(4), 610-623. Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <https://mendive.upr.edu.cu/index.php/MendiveUPR/article/view/1462>. Consultado el 23 de Enero del 2022
- Aguayo, P. (12 julio de 2021). *¿Qué es Arduino? Arduino.cl*. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Agudelo, A. (1992). *Reparación de la dirección mecánica*. SENA. Recuperado el 17 de noviembre de 2021, de <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5584>
- Álvarez Veintimilla, C. E., & Carrera Tapia, R. D. (2015). *Artículo Científico-Diseño, construcción e implementación de un sistema de dirección asistida hidráulicamente a las cuatro ruedas de un vehículo automotor*. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9920>. Consultado el 23 de Enero del 2022
- Andrade Guerrero, S. M., & Potosí Potosí, M. J. (2012). *Modificación y mantenimiento a los sistemas de frenos, suspensión y dirección del automóvil Peugeot 604 en un vehículo tipo Buggy (Bachelor's thesis)*.
- Arce, J. M. (18 abril de 2019). *Prelude, la historia de un deportivo olvidado por Honda*. Puro Motor. Recuperado el 16 de noviembre de 2021, de <https://puromotor.com/industria/prelude-la-historia-de-un-deportivo-olvidado-por-honda/>
- ASHM. (15 junio de 2015). *¿Cómo Se Calcula La Superficie Del Pistón De Un Cilindro? Aceros y Sistemas Hidráulicos de México S. A. de C. V.* Recuperado el 12 de diciembre de 2021, de <http://www.ashm.mx/blog/como-se-calcula-el-area-del-piston-de-un-cilindro/>
- Automation Direct. (2007). *Sistema de motores paso a paso*. Recuperado el 5 de enero de 2022, de [https://issuu.com/carloslm8/docs/calculo\\_\\_de\\_motores\\_a\\_paso\\_y\\_plc](https://issuu.com/carloslm8/docs/calculo__de_motores_a_paso_y_plc)
- Blázquez, L. (26 noviembre de 2020). *Dirección a las cuatro ruedas: ¿Qué es? ¿Cómo funciona?* Noticias Coches. Recuperado el 22 de noviembre de 2021, de

<https://noticias.coches.com/consejos/direccion-a-las-cuatro-ruedas-que-es-como-funciona/409259>

BricoGeek. (s. f.). *Controlador de motores paso a paso 3.5A (TB6600)*. Recuperado el 26 de noviembre de 2021, de <https://tienda.bricogeek.com/controladores-motores/992-controlador-de-motores-paso-a-paso-35a-tb6600.html>

Buendia, R. (30 agosto de 2016). *Conoce los diferentes tipos de direcciones para saber cuál te conviene más*. Motorpasión México. Recuperado el 12 de noviembre de 2021, de <https://www.motorpasion.com.mx/tecnologia/los-diferentes-tipos-de-direcciones-y-cual-me-conviene-mas>

Calle, E. (13 octubre de 2009). *Renault Laguna GT 4Control (2008)*. Km77. Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <https://www.km77.com/coches/renault/laguna/2008/berlina/gt-4control/informacion/renault-laguna-gt-4control-impresiones-del-interior#:~:text=Hasta%20una%20velocidad%20de%2060,las%20maniobras%20a%20baja%20velocidad>. Consultado el 12 de Febrero del 2022

Crespo, J. (23 enero de 2017). *Programación Arduino*. Aprendiendo Arduino. Recuperado el 28 de noviembre de 2021, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/01/23/programacion-arduino-5/>

Dopico, D., Cuadrado, J., & Morer, P. (s.f.). *Sistema mecánico de dirección a las cuatro ruedas para vehículos automóviles*. [https://lim.ii.udc.es/docs/proceedings/2002\\_12\\_CNIM\\_Sistema\\_mecanico.pdf](https://lim.ii.udc.es/docs/proceedings/2002_12_CNIM_Sistema_mecanico.pdf). Consultado el 12 de Febrero del 2022

Electrónica Unicrom. (11 octubre de 2017). *Conductores eléctricos - alambres, cables*. Recuperado el 30 de noviembre de 2021, de <https://unicrom.com/conductores-electricos/>

ElectroniLab. (s. f.). *Driver Microstepper Motor Paso a Paso DMA860H 7.2A*. Recuperado el 29 de noviembre de 2021, de <https://electronilab.co/tienda/driver-microstepper-motor-paso-a-paso-dma860h-7-2a/>

ElMotorNet. (19 abril de 2020). *Cómo funciona el sistema de Dirección a las Cuatro Ruedas 4Control de Renault*. Recuperado el 17 de noviembre de 2021, de <https://elmotor.net/como-funciona-el-sistema-de-direccion-a-las-cuatro-ruedas-4control-de-renault/>

- Familia Profesional Sanidad. (2017). *Manual. Diagnósis preventiva del vehículo y mantenimiento de su dotación material (UF0680), certificados de profesionalidad, transporte sanitario (SANT0208)*. Editorial CEP.
- Galvis, P., & Trujillo, J. (2017). *MODELADO VIRTUAL E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN COMERCIAL APLICADO A UN VEHÍCULO ELÉCTRICO UTILITARIO*.
- Gates. (s. f.). *Manguera hidráulica y acoplamientos*. Recuperado el 3 de diciembre de 2021, de <https://www.gates.com/es/es/fluid-power/hydraulic-hose-and-couplings.html>
- INGELCOM. (s. f.). *Evita problemas selecciona el cable adecuado para tu instalación eléctrica*. AUTOMATIZACION Y CONTROL INGELCOM CIA. LTDA. Recuperado el 16 de noviembre de 2021, de <https://www.ingelcom.com.ec/blog/blog-1/post/evita-problemas-selecciona-el-cable-adecuado-para-tu-instalacion-electrica-81>
- Ingemecánica. (s. f.-a). *Correas de transmisión*. Recuperado el 5 de enero de 2022, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html#:~:text=Correas%20trap ezoidales%20o%20de%20secci%C3%B3n,hasta%20los%2030%20m%2Fs>.
- Ingemecánica. (s. f.-b). *Sistemas Hidráulicos de Transmisión de Potencia*. Recuperado el 5 de diciembre de 2021, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>
- Ipesa. (25 septiembre de 2020). *Conoce los tipos de aceite hidráulico y conoce cuál usar en tu equipo*. Blog de maquinaria pesada | IPESA. Recuperado el 20 de noviembre de 2021, de <https://www.ipesa.com.pe/blog/tipos-aceite-hidraulico/>
- M. (10 febrero de 2019). *Sistema De Dirección A Las 4 Ruedas (4WS)*. mecanicaautomotrizdgm. Recuperado el 20 de noviembre de 2021, de <https://mecanicaautomotrizdg.wordpress.com/2019/02/10/sistema-de-direccion-a-las-4-ruedas-4ws/>
- Orozco, G. M. (27 febrero de 2019). *Autos de cuatro ruedas directrices (4WS)*. Pruebaderuta. Recuperado el 19 de noviembre de 2021, de <https://www.pruebaderuta.com/autos-de-cuatro-ruedas-directrices-4ws.php>
- Palomino, D. A. (27 junio de 2017). *Así es una dirección asistida eléctricamente (EPS)*. Nitro.Pe. Recuperado el 3 de noviembre de 2021, de <https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/asi-es-una-direccion-asistida-electricamente-eps.html>

- Promesa. (s. f.). *MOTOR MONOFASICO 1800 RPM "WEG" 1 HP*. PROMESA | Productos Metalúrgicos S.A. Recuperado el 7 de diciembre de 2021, de <https://www.promesa.com.ec/producto/motor-monofasico-1800-rpm-weg-1-hp>
- Rojas Armijos, C. R., & Jaramillo Vásquez, J. J. (2012). *Mejora de la Eficiencia de los sistemas de dirección y frenos del vehículo Toyota 1000 año 1977*.
- Sánchez Martínez, I. A. (2011). *Diseño del prototipo del sistema de dirección de un vehículo híbrido todo terreno*.
- Tecnología del Automóvil. (27 noviembre de 2019). *Dirección a las 4 ruedas*. Recuperado el 14 de noviembre de 2021, de <https://www.tecnologia-automovil.com/articulos/actualidad/direccion-a-las-4-ruedas/>
- Thiessen, F. J., & Dales, D. N. (1996). *Manual técnico automotriz* (4.a ed., Vol. 3). Prentice Hall.
- Top Cable. (15 diciembre de 2020). *Tipos de Cables Eléctricos y sus Características*. Recuperado el 12 de diciembre de 2021, de <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/tipos-de-cables-electricos/>
- Toyota Motor Corp. (2003). *Sistema de Dirección*. Recuperado el 23 de noviembre de 2021, de <https://es.calameo.com/books/0031704936ef467815345>
- TransTec. (13 abril de 2018). *3 tipos principales de tecnologías en sistemas EPS hoy*. Recuperado el 13 de noviembre de 2021, de <https://blog.transtec.com/spanish/3-tipos-principales-de-tecnolog%C3%ADas-en-sistemas-eps-hoy>
- Velasco, E., Oliva, M., & Sánchez, M. (2013). *El Sistema de Dirección*. <https://umh1796.edu.umh.es/wp-content/uploads/sites/272/2013/02/sistema-de-direccion-texto1.pdf>

# Anexos