

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Implementación y conversión del sistema de dirección vehicular
manual a eléctricamente asistida”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Romina Belén Arrata Zambrano

Frank Israel Yoza Rodríguez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Familia, amigos, compañeros de clase y futuros colegas de profesión, este proyecto es para ustedes.

Romina Arrata Zambrano

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi abuela, quien fue mi inspiración a lo largo de todo este proceso para obtener una de mis más anheladas metas; a mi madre cuyo trabajo incansable fue el pilar fundamental que siempre estuvo conmigo en todo momento; a mi abuelo que es mi ejemplo a seguir, por su dedicación y su nobleza; a mi familia por todos los consejos y aliento para ser mejor cada día; a mi novia por ser la mejor compañera y jamás dejar de creer en mí; a mi mejor amiga, por su amistad incondicional y su gran corazón; y a mis amigos, mi segunda familia, que siempre me respaldó en los momentos difíciles.

Frank Yoza Rodríguez

AGRADECIMIENTO

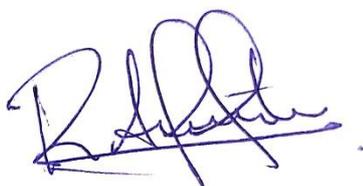
Expresamos nuestros sinceros agradecimientos a nuestro tutor PhD. Jorge Hurel y al coordinador de la materia PhD. Francis Loayza quienes nos guiaron de manera impecable en este proyecto, y nos ayudaron a conseguir el objetivo planteado. Agradecemos a nuestros compañeros y amigos por siempre estar prestos a brindar ayuda. Y una mención especial para el ingeniero José Miguel Larrea que nos brindó la asesoría necesaria para poder desarrollar temas esenciales del trabajo. Y finalmente agradecemos a la ESPOL por brindarnos una educación de calidad y formarnos como excelentes profesionales.

Frank Yoza Rodríguez

Romina Arrata Zambrano

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Romina Belén Arrata Zambrano* y *Frank Israel Yoza Rodríguez* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Romina Arrata Z.



Frank Yoza R.

EVALUADORES

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a central vertical stroke with horizontal hatching.

Francis Loayza R.

PROFESOR DE LA MATERIA

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized 'J' and 'H' followed by a flourish.

Jorge Hurel E.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La constante evolución en los sistemas de dirección ha revolucionado el mundo automovilístico; un sistema eléctricamente asistido brinda nuevas opciones para el conductor moderno que tiene problemas al momento de usar la dirección mecánica de su vehículo. Por esta razón se tuvo como objetivo la realización de un código que permita la implementación de un EPS utilizando dispositivos locales y que puedan ser adquiridos para todo tipo de vehículos.

Se realizó un sistema compuesto de sensores de velocidad y torque, mediante los cuales se obtuvieron los parámetros de operación necesarios para la programación de una tarjeta de desarrollo Arduino UNO, que permitió el control de un motor eléctrico mediante un controlador con señales de ancho de pulso.

En base a las pruebas de funcionamiento de los sensores, se logró establecer el código de lectura para cada señal, con las que se obtuvieron los valores de la velocidad lineal del vehículo en tiempo real y la cantidad de amperaje que el controlador debe proporcionar al motor AE.

Finalmente, se logró la programación del código para el control general del sistema asistido eléctricamente, que permite al conductor disminuir el esfuerzo que aplica al volante para cambiar la dirección del vehículo.

Palabras Claves: EPAS, Arduino UNO, código, sensores, control.

ABSTRACT

The constant evolution in steering systems has revolutionized the automotive world; an electrically assisted system provides new options for the modern driver who has trouble using the mechanical steering of their vehicle. For this reason, the objective was to create a code that allows the implementation of an EPS using local devices that can be acquired for all types of vehicles.

A system composed of speed and torque sensors was made, through which the necessary operating parameters were obtained for the programming of an Arduino UNO development board, which allowed the control of an electric motor through the controller with pulse width signals.

Based on the functional tests of the sensors, it was possible to establish the reading code for each signal, with which the values of the vehicle's line speed in real time and the amount of amperage that the controller must provide to the ES motor.

Finally, the programming of the code for the general control of the electrically assisted system was achieved, which allows the driver to reduce the effort applied to the steering wheel to change the direction of the vehicle.

Keywords: EPAS, Arduino UNO, code, sensors, control.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1	1
1 Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Historia y antecedentes de la dirección vehicular.....	2
1.4.2 Sistema de Dirección	2
1.4.3 Componentes de un Sistema de Dirección	3
1.4.4 Dirección mecánica o manual	5
1.4.4.1 Dirección de cremallera.....	5
1.4.4.2 Dirección de bola de recirculación.....	5
1.4.5 Dirección asistida.....	6
1.4.5.1 Dirección Hidráulica Asistida	7
1.4.5.2 Dirección Electro-Hidráulica Asistida.....	7
1.4.5.3 Dirección Eléctrica Asistida	8

1.4.5.4	Funcionamiento:.....	10
1.4.5.5	Componentes de un EPAS	11
1.4.6	Análisis físico	11
CAPÍTULO 2	15
2	Metodología	15
2.1	Descripción de los dispositivos	16
2.2	Alternativas.....	17
2.2.1	Alternativa 1	17
2.2.2	Alternativa 2.....	18
2.2.3	Alternativa 3.....	18
2.3	Selección de Alternativa	19
2.3.1	Casa de Calidad	19
2.3.2	Matriz de Decisión	20
2.4	Diseño detallado.....	21
2.4.1	Cálculo del torque necesario para giro de ruedas delanteras.....	21
2.4.2	Recursos para el proyecto	24
2.4.3	Descripción de recursos.....	24
2.4.3.1	Arduino Uno	24
2.4.3.2	Sensor LJ12A3-4-Z/BY	25
2.4.3.3	Controlador tipo Puente H.....	26
2.4.4	Conexión de componentes	27
2.4.4.1	Etapa Sensor inductivo / Arduino	27
2.4.4.2	Etapa Arduino / Batería / Controlador de PWM / Motor	27
2.4.5	Diagrama de control.....	29
2.4.6	Diagrama de Flujo.....	30
2.4.7	Pruebas	30
2.4.7.1	Lectura de datos experimentales	31

2.4.7.2	Funcionamiento.....	31
2.5	Programación.....	32
2.5.1	Programación para la velocidad.....	32
2.5.2	Programación para torque y sentido de giro.....	32
2.5.3	Programación Final.....	32
CAPÍTULO 3	33
3	Resultados y análisis.....	33
3.1	Resultados de Cálculos.....	33
3.1.1	Cálculo del torque necesario para el giro de las ruedas.....	33
3.1.2	Resultado de Pruebas.....	35
3.1.2.1	Pruebas experimentales.....	35
3.1.2.2	Resultados de las pruebas de funcionamiento.....	36
3.1.3	Resultados de la programación.....	40
3.1.4	Programación Final.....	41
3.2	Análisis de costos.....	42
3.2.1	EPS Genérico.....	42
3.2.2	EPS importada.....	44
3.2.3	Comparación de Precios.....	44
3.2.4	Ahorro entre EPS.....	45
CAPÍTULO 4	46
4	Discusión, Conclusiones y recomendaciones.....	46
4.1	Discusión.....	46
4.2	Conclusiones.....	50
4.3	Recomendaciones.....	50
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
EPAS	Electric Power-Assisted Steering
EPS	Electric Power Steering
Cap.	Capítulo
Pág.	Página
OBD	On-Board Diagnostics
AE	Asistencia Eléctrica
DCL	Diagrama de Cuerpo Libre
GPS	Global Positioning System
PWM	Pulse Width Modulation
USB	Universal Serial Bus
GND	Ground
NCAP	Programa de evaluación de vehículos nuevos para América Latina y el Caribe
PCB	Printed Circuit Board

SIMBOLOGÍA

m	Metro
V	Voltaje
A	Amperio
N	Newton
W	Watts
kg	Kilogramos
s	Segundos
g	Gravedad
d_t	Distancia entre ejes
d_f	Distancia entre el eje delantero y el centro de gravedad
h	Altura del centro de gravedad medido desde el piso
$r_{piñon}$	Radio piñón
μ	Coeficiente de fricción
I_r	Inercia de la rueda
$r_{din.}$	Radio dinámico de la rueda
kgf	Kilogramos Fuerza
mA	Miliamperio
kB	Kilo Bytes
Hz	Herzt
mm	Milímetro
N	Numero de dientes
a	Aceleración
F	Fuerza
H	Fricción

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de flujo de Sistema de dirección	3
Figura 1.2 Partes de un sistema de dirección [4]	4
Figura 1.3 Esquema de sistema de dirección por cremallera y piñón [4]	5
Figura 1.4 Esquema de sistema de dirección tipo de bola de recirculación [4]	6
Figura 1.5 Esquema de dirección hidráulica asistida [4]	7
Figura 1.6 Esquema dirección electro-hidráulica asistida. [4]	8
Figura 1.7 Modelo matemático de Pang, Jang y Lee. [9]	9
Figura 1.8 Componentes de la dirección eléctricamente asistida. [9].....	9
Figura 1.9 Esquema de funcionamiento del EPS. [10].....	10
Figura 1.10 Diagrama de cuerpo libre del vehículo. [12].....	12
Figura 1.11 Diagrama de cuerpo libre de llantas. [12]	13
Figura 2.1 Diagrama del Motor AE	16
Figura 2.2 Alternativa 1	17
Figura 2.3 Alternativa 2	18
Figura 2.4 Alternativa 3	19
Figura 2.5 Casa de la Calidad	20
Figura 2.6 DCL de Twingo.....	22
Figura 2.7 DCL de la rueda	23
Figura 2.8 Tarjeta Arduino UNO	24
Figura 2.9 Sensor LJ12A3-4-Z/BY	25
Figura 2.10 Configuración de Controlador tipo Puente H.....	26
Figura 2.11 Conexión entre Sensor Inductivo y Arduino	27
Figura 2.12 Terminales de comunicación del motor	28
Figura 2.13 Conexión final Arduino-Controlador-Motor-Batería	28
Figura 2.14 Diagrama de control para EPS	29
Figura 2.15 Diagrama de flujo para EPS	30
Figura 3.1 Parte de código de programación para la velocidad	36
Figura 3.2 Respuesta de Estado de motor AE	37
Figura 3.3 Respuesta Positiva de Funcionamiento del Sensor de Torque	38
Figura 3.4 Respuesta Negativa de Funcionamiento del Sensor de Torque	38
Figura 3.5 Parte de código del Controlador	39

Figura 3.6 Respuesta del funcionamiento del Controlador	39
Figura 3.7 Resultado de la programación para la velocidad vs tiempo	40
Figura 3.8 Parte de código de programación para el torque	41
Figura 3.9 Parte de la programación final	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones Técnicas del motor AE [5]	16
Tabla 2.2 Ponderaciones.....	20
Tabla 2.3 Matriz de Decisión	21
Tabla 2.4 Recursos	24
Tabla 2.5 Tabla de especificaciones de tarjeta Arduino UNO	25
Tabla 2.6 Especificaciones Técnicas de Sensor Inductivo [18].....	26
Tabla 3.1 Parámetros de entrada	33
Tabla 3.2 Resultados de los cálculos experimentales durante la desaceleración.	35
Tabla 3.3 Resultados de Pruebas Experimentales	36
Tabla 3.4 Rangos de operación para código final.....	41
Tabla 3.5 Tabla de costos para elaboración de proyecto.....	43
Tabla 3.6 Tabla comparativa de precios entre plataformas digitales	44
Tabla 3.7 Comparación de precios de EPS	45

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Implementar un sistema EPAS brinda nuevas opciones para el conductor moderno que tiene problemas al momento de cambiar la dirección de su vehículo mecánico, y representa también un **crecimiento social**, aportando una solución óptima de movilización para personas con alguna discapacidad. Dentro de un sistema de dirección vehicular se encuentran distintos aspectos a considerar, como en los sistemas hidráulicos, estos constan de componentes que requieren de un constante mantenimiento, debido a fugas de aceite y líquido hidráulico, en el caso que estos no han sido tratados correctamente, perjudican al **medio ambiente**. La parte **económica** del conductor se ve afectada debido a los mantenimientos requeridos, y el combustible que se necesita para alimentar la bomba de presión. Un aspecto importante a considerar es que la **salud** del conductor está afectada por los esfuerzos que debe aplicar para realizar alguna maniobra.

1.2 Justificación del problema

Actualmente la mayoría de los vehículos modernos constan con un sistema de dirección asistida (EPAS por siglas en inglés). Se caracteriza por tener una computadora que controla el motor de asistencia eléctrica (motor AE). Este está acoplado a un tornillo sin fin, que a su vez está transmitiendo la potencia a un sistema de engranajes planetario¹. El torque empleado por el motor AE ayuda a disminuir el esfuerzo empleado por el conductor en el volante.

Al reemplazar el sistema hidráulico en los vehículos por el EPAS se eliminan componentes como: la bomba de presión, depósito, válvula de distribución, etc. Como consecuencia se tiene una solución sustentable con una mejora en la eficiencia del motor al no perder la potencia entregada a la bomba hidráulica. [2]

¹ Un engranaje planetario o engranaje epicicloidal es un tren de engranajes donde uno o más engranajes llamados *planetas* están rotando sobre un engranaje central o *sol* [2, Cap. 9, Pág. 438].

Se hará toma de datos de velocidad de vehículo, ángulo de dirección de volante, torque aplicado sobre el volante, para el desarrollo de la unidad de control electrónico (ECU) utilizando una placa de desarrollo, la cual generará la acción de respuesta del motor AE, mejorando el confort en la conducción del vehículo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar la codificación de una tarjeta de desarrollo para un sistema de dirección eléctricamente asistida genérico para un automóvil con dirección mecánica.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar un sistema en base a las lecturas de los sensores.
2. Establecer la conexión entre los sensores y la tarjeta de desarrollo.
3. Desarrollar el código de programación para la unidad de control electrónico mediante una tarjeta de desarrollo.
4. Realizar pruebas de funcionamiento y su respectivo análisis de resultados.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Historia y antecedentes de la dirección vehicular

La primera mención de la dirección vehicular como se conoce en la actualidad data en el siglo VXIII. El transporte en carruaje implicaba una constante molestia para los pasajeros, debido tanto a las condiciones de la carretera como el diseño de los carruajes. Personajes como Erasmus Darwin y George Lankensperger fueron quienes innovaron en el diseño de la dirección de los carruajes, logrando así resolver el mayor problema que era la inestabilidad.
[3]

1.4.2 Sistema de Dirección

Los automóviles constan de un sistema de dirección, el cual sirve para direccionar la trayectoria que tendrá el vehículo, donde a través de un conjunto

de engranes y mecanismos se genera una transmisión de movimiento, desde el volante hasta las ruedas. Los componentes básicos que se encuentran en un sistema de dirección son: volante de dirección, columna de dirección, engranajes de dirección y varillaje de dirección. La dirección de un vehículo se clasifica dentro de dos grandes categorías: Dirección Mecánica y Dirección Asistida.

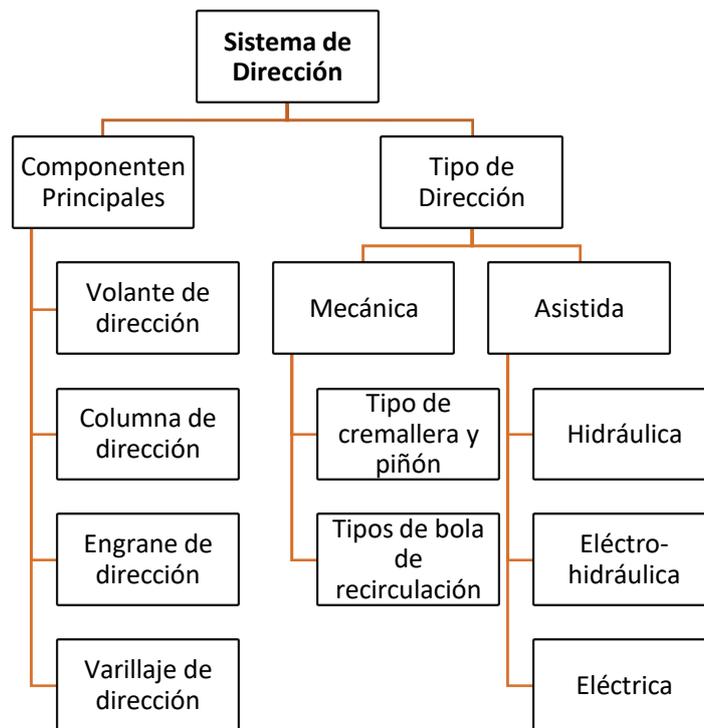


Figura 1.1 Diagrama de flujo de Sistema de dirección

1.4.3 Componentes de un Sistema de Dirección

Volante de dirección: Elemento operado por el conductor, donde su objetivo es transmitir la rotación hacia las ruedas, a través de la columna de dirección.

Columna de dirección: Es el eje de conexión entre el volante y el engrane de dirección. Dentro de la columna de dirección se encuentra un dispositivo de seguridad que absorbe la fuerza producida por el impacto, ayudando a evitar que el eje principal de dirección se desplace al momento de una colisión, lesionando así al conductor. El engrane de dirección está unido con una junta

cardan al extremo inferior del eje principal de dirección, con la cual se transmite el movimiento rotacional de la columna de dirección. Esta junta se la utiliza cuando se quiere cambiar el ángulo de un eje y mantener la rotación del mismo.

También en la columna de dirección se encuentran distintos mecanismos que aportan a un mayor control del sistema de dirección como: bloqueo de la dirección, que se desactiva al introducir la llave en la ranura de encendido y moviendo el volante y la llave a la posición ON; dirección inclinable, permite al conductor posicionar el volante a un ángulo deseado; y dirección telescópica, permite mover el volante de adelante a atrás según la preferencia del conductor. Y de misma manera se encuentran mecanismos que ayudan a la conducción del vehículo como la palanca de direccionales/luz y la palanca de las plumillas.

Engrane de dirección: Se encarga de recibir el torque y ángulo generado por el volante de dirección y lo transmite a las ruedas a través del varillaje.

Varillaje de la dirección: Es una unión entre manguetas, rotulas y varillas que llevan el movimiento desde el engrane hacia las ruedas. [4]

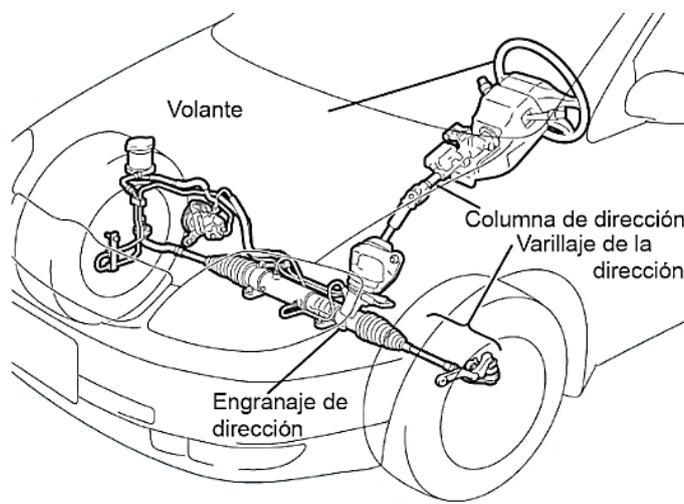


Figura 1.2 Partes de un sistema de dirección [4]

1.4.4 Dirección mecánica o manual

Este tipo de dirección se caracteriza debido al esfuerzo requerido para desplazar los engranes, surge únicamente de la fuerza que emplea el conductor al girar el volante. Hay dos tipos de configuraciones: dirección de cremallera y dirección de bola de recirculación.

1.4.4.1 *Dirección de cremallera*

En la parte inferior del eje principal de la columna de dirección está localizado el piñón de dirección, que se engrana directamente con la cremallera. Debido al contacto existente entre el piñón y la cremallera, genera una transmisión de movimiento rotacional a movimiento de traslación; el movimiento del volante produce que el piñón gire sobre sí mismo moviendo así la cremallera. Simultáneamente el movimiento que se produce en la cremallera se transmite a los brazos de acoplamiento y manguetas ubicados a los extremos de la cremallera. [4], [5]

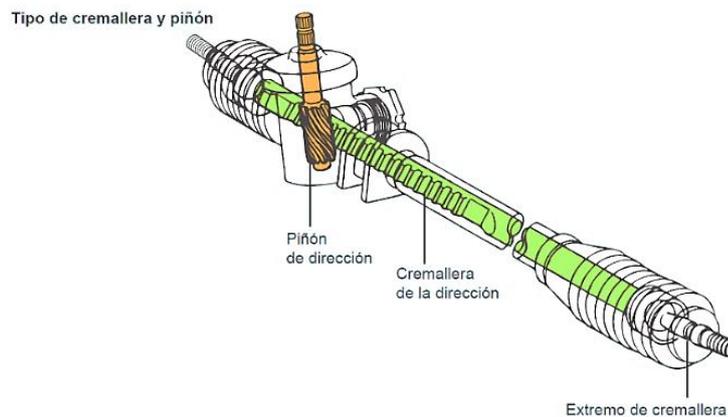


Figura 1.3 Esquema de sistema de dirección por cremallera y piñón [4]

1.4.4.2 *Dirección de bola de recirculación*

Es una configuración que consta de un tornillo sinfín, está unido directamente a la columna de dirección. Éste transmite el movimiento

rotacional del volante al engranaje de dirección ya sea, mediante tuerca o rodillo, que se encarga de transmitir el movimiento a la biela de mando y por consecuencia a las barras de acoplamiento. [4], [5]

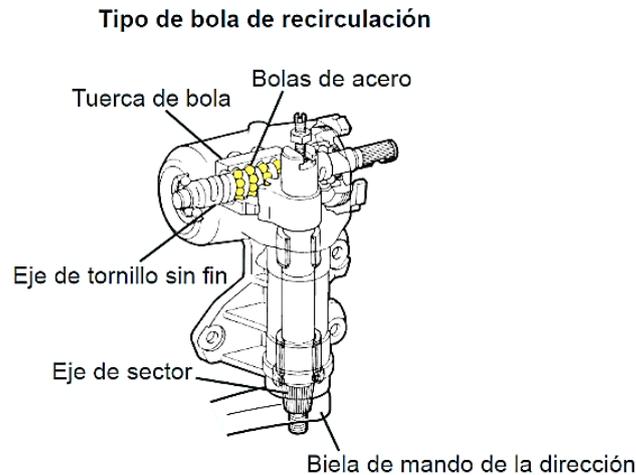


Figura 1.4 Esquema de sistema de dirección tipo de bola de recirculación [4]

1.4.5 Dirección asistida

La industria automovilística ha realizado cambios en los modelos emergentes de vehículos, debido al creciente avance de la tecnología, para mejorar las condiciones de seguridad a las que está sujeta el conductor, uno de los cambios principales fue aumentar el ancho de las llantas, con la finalidad de que el área de contacto entre la llanta y la carretera sea mayor y mejorar la estabilidad, a pesar de que generaba una pérdida en el ángulo de giro permitido. [4]

El cambio en las dimensiones de las llantas, influyeron en la variación del esfuerzo que requería el conductor para maniobrar la dirección. Fue así como surgió la servodirección o dirección asistida, donde se implementó un sistema de ayuda que proporcione el esfuerzo suficiente que se requiere, sin que la maniobrabilidad del conductor sea afectada. [4]

La dirección asistida se clasifica en: dirección asistida hidráulica, dirección asistida electro-hidráulica y dirección asistida eléctrica.

1.4.5.1 **Dirección Hidráulica Asistida**

La dirección hidráulica consta de una bomba, que utiliza la potencia del motor para ejercer presión en un pistón dentro del cilindro hidráulico incorporado a la cremallera. Al girar el volante se activa la válvula reguladora a través de las mangueras, localizada en la caja de engranes. A pesar del beneficio que aporta a la conducción, se genera una pérdida de eficiencia en el motor por la potencia entregada a la bomba. [4]

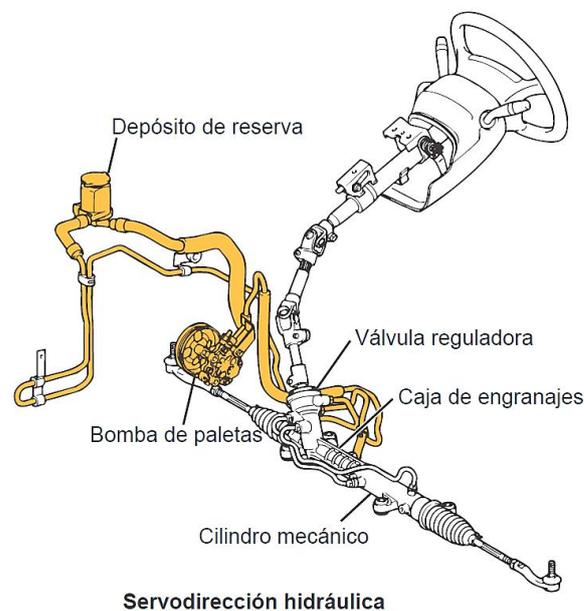


Figura 1.5 Esquema de dirección hidráulica asistida [4]

1.4.5.2 **Dirección Electro-Hidráulica Asistida**

La dirección electrohidráulica asistida, se caracteriza debido a que la bomba de presión es reemplazada por un motor AE y mediante un ECU calcula y libera la presión hidráulica requerida, disminuyendo así el esfuerzo que ejerce el conductor en el volante. Es un sistema ahorrativo de combustible, dado que el motor del automóvil no genera

mayor potencia para alimentar la bomba hidráulica, mejorando la eficiencia en el motor. [6], [7]

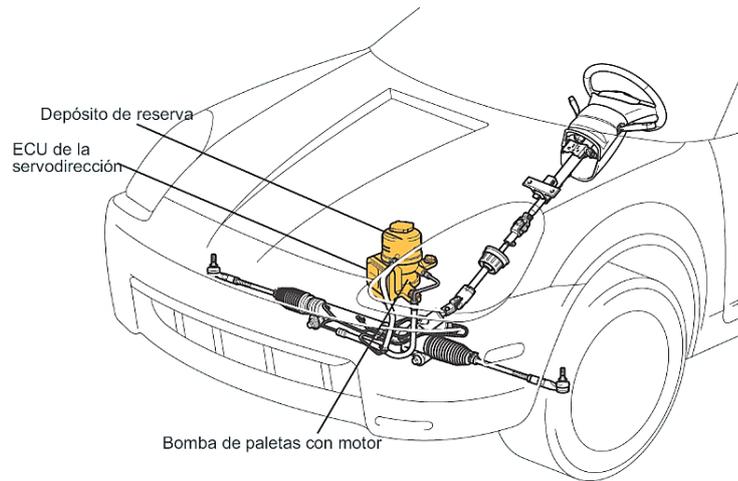


Figura 1.6 Esquema dirección electro-hidráulica asistida. [4]

1.4.5.3 **Dirección Eléctrica Asistida**

Este sistema se empezó a utilizar en vehículos pequeños y se fue acoplando en automóviles de segmento medio como por ejemplo los sistemas de dirección del Hyundai Elantra y el Renault Megane. Otra marca que se ha unido a esta tecnología es FORD, donde el EPAS, tiene como ventaja principal la compensación automática en la dirección que actúa cuando el auto está en movimiento a velocidad constante y ajusta automáticamente el volante, para que el auto se mantenga derecho sin que el conductor pueda notarlo. [8]

En el año de 1996 se desarrolló el primer modelo matemático basado únicamente en leyes físicas para los sistemas de dirección asistida hidráulicamente, cuyo estudio mecánico es semejante al del EPS. Luego en el 2008 Chun-hua [9] planteó un modelo basado en espacios de estado y ecuaciones diferenciales, el cual se desarrolló mediante dinámica de traslación y rotación del sistema EPS. Finalmente en el 2014, Mohamed y Albatlan [9] plantearon un modelamiento con

enfoque en la integración del sistema EPS y el sistema basado en el control del ángulo de la dirección (Steer-By-Wire). [9]

Pang, Jang y Lee, los cuales en el 2005 plantearon un modelo que posee 4 grados de libertad, el cual consta de una parte eléctrica, una mecánica y un ECU y cuya transmisión va desde el volante hasta las ruedas delanteras del automóvil. [9]

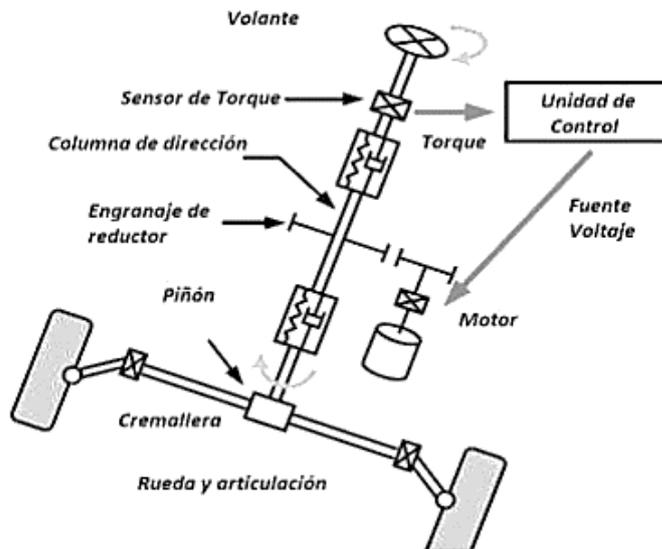
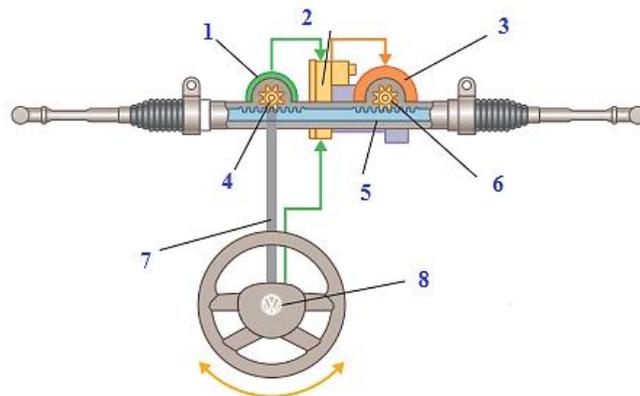


Figura 1.7 Modelo matemático de Pang, Jang y Lee. [9]



Componentes:

- 1 Sensor de par dirección, 2 ECU, 3 Motor Eléctrico, 4 Piñón de dirección,
- 5 Cremallera, 6 Piñón de accionamiento, 7 Columna de dirección, 8 Sensor de ángulo de dirección

Figura 1.8 Componentes de la dirección eléctricamente asistida. [9]

1.4.5.4 **Funcionamiento:**

La dirección electro asistida se genera a través de un piñón que trabaja de manera paralela sobre la cremallera, es accionado por un motor AE que actúa a través de un engranaje de sin fin y un piñón de accionamiento, que se lo acopla a la cremallera de forma perpendicular, de esta manera transmite la fuerza de asistencia de la dirección. [10]

El torque generado por el motor AE es aplicado a las ruedas a través de las manguetas y es modificado por el ECU. Este valor es calculado, mediante los valores del par de dirección en función de: la velocidad de marcha del automóvil, el régimen del motor de combustión, velocidad de mando del volante, ángulo de dirección y los valores característicos de la unidad de control, los cuales son obtenidos a través de sensores de ángulo y velocidad. [10], [11]

En la siguiente figura se puede apreciar el funcionamiento del sistema de dirección asistida, desde su punto inicial en el volante hasta el momento donde, con la ayuda de un segundo piñón, se realiza la servoasistencia para la respectiva dirección del vehículo. [11]

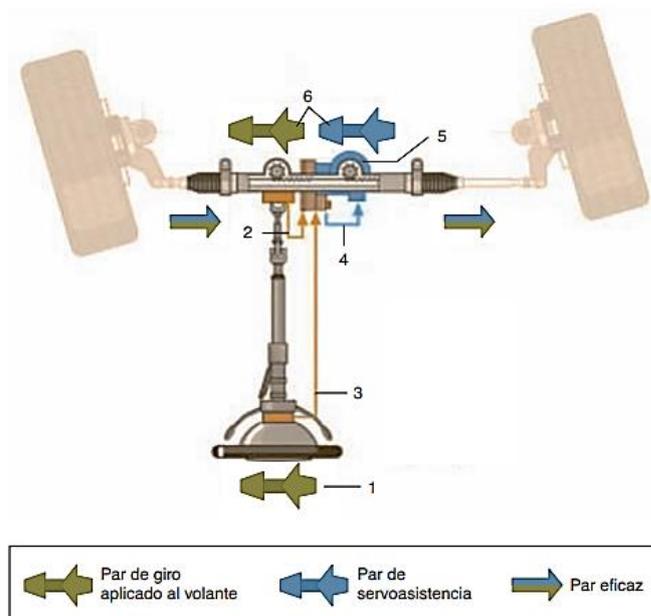


Figura 1.9 Esquema de funcionamiento del EPS. [10]

Este tipo de sistemas poseen varios sensores, los mismos que aportan con el control del EPS y representando una reducción de espacio que se utiliza en comparación al que ocupan los sistemas convencionales. [10], [11]

1.4.5.5 Componentes de un EPAS

Sensor del motor. - El motor DC es un elemento actuador y su funcionamiento es monitoreado por otros sensores, como lo son el de corriente eléctrica y el de velocidad angular.

Unidad de control de la dirección. - Se encarga de controlar el sistema EPS, se rige bajo una ley de control que permite disminuir el esfuerzo aplicado por el conductor.

Sensor de torque. - Se encarga de la medición del par generado por la inercia del sistema mecánico de dirección y el conductor.

Motor de Corriente Continua. - Elemento encargado de aportar el torque de asistencia necesario para reducir el esfuerzo del conductor.

Sensor de velocidad. - Brinda información necesaria para realizar la asistencia del sistema EPS.

1.4.6 Análisis físico

En un automóvil existe una fuerza de fricción que interfiere con el giro libre de las llantas delanteras, lo que genera un aumento en el esfuerzo que debe ser aplicado por el conductor sobre el volante, este valor guarda una relación proporcionalmente inversa con la velocidad del vehículo. [12]

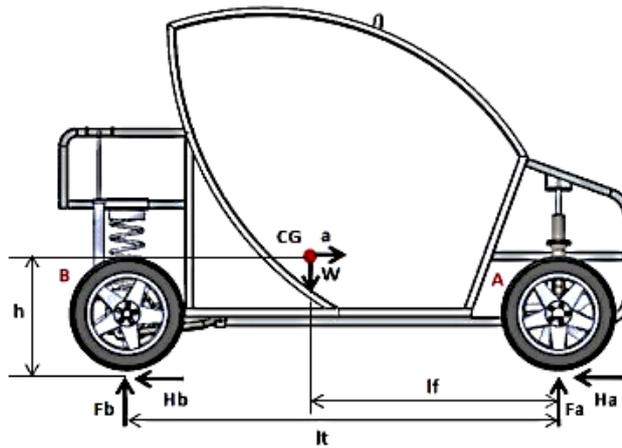


Figura 1.10 Diagrama de cuerpo libre del vehículo. [12]

Se aplica una sumatorio en el eje X:

$$\sum F_x = m * a (\rightarrow +)$$

$$H_a + H_b = m * a \quad (1.1)$$

Donde:

H_a = Fuerza de fricción en el punto A.

H_b = Fuerza de fricción en el punto B.

m = Masa del vehículo.

a = Aceleración del vehículo.

Se aplica una sumatorio en el eje Y:

$$\sum F_y = W (\uparrow +)$$

$$F_a + F_b = W \quad (1.2)$$

Donde:

F_a y F_b = Fuerzas normales que aplica el piso sobre las llantas.

W = Peso del vehículo.

Se aplica una sumatorio de momentos en el punto A:

$$\curvearrow (+) \sum T_A = I * \alpha$$

$$(F_b * l_t) + (m * a * h) + m * g * l_t = \frac{4I_r * a}{r_{din}}$$

Donde:

h = Distancia del piso al centroide del vehículo.

g = Gravedad

a = desaceleración

l_t = Distancia de centro a centro de las llantas.

l_f = Distancia desde el centro de la llanta hasta el centroide del vehículo.

De la anterior ecuación se despeja la fuerza normal F_a :

$$F_b = \frac{\left(\frac{4I_r * a}{r_{din}}\right) - (m * a * h) - (m * g * l_t)}{l_t} \quad (1.3)$$

Lo cual nos permite calcular el valor de la fuerza normal F_a :

$$F_a = W - F_b \quad (1.4)$$

Con estos valores se calcula las fuerzas de fricción en los puntos A y B:

$$H_a = \mu * F_a \quad (1.5)$$

$$H_b = \mu * F_b \quad (1.6)$$

Cálculo de la fuerza necesaria para mover las llantas.

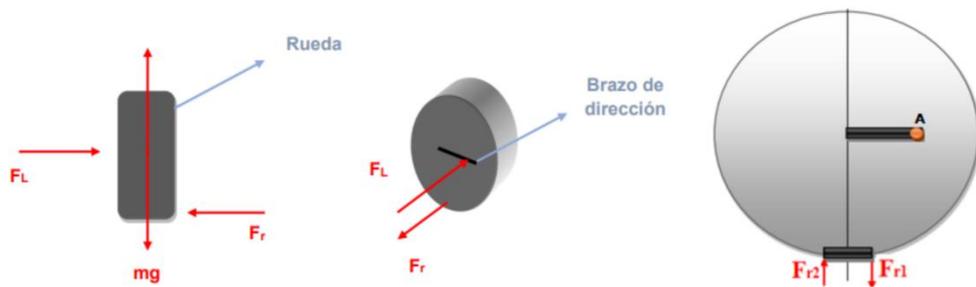


Figura 1.11 Diagrama de cuerpo libre de llantas. [12]

Consideraciones:

1. F_{r1} y F_{r2} son las fuerzas de fricción que se generan al momento de que la llanta empieza a girar, su magnitud es igual, pero tienen sentidos opuestos.

2. La fuerza F_L debe ser más grande que la fuerza de fricción para que la llanta pueda romper su estado de reposo y empezar a girar.
3. $F_{r1} = F_{r2} = F_r$

Se realiza una sumatoria en el eje X:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_L - F_r = 0 \quad (1.7)$$

Se asume el caso más crítico, donde la fuerza lateral mínima necesaria para girar las ruedas es igual a la fuerza de fricción de las llantas:

$$F_L = F_r = H_a \quad (1.8)$$

Una vez calculado el valor de la fuerza lateral, se realiza el cálculo de torque aplicado en la cremallera de dirección:

$$T_{pinión} = F_L * r_{pinión} \quad (1.9)$$

Finalmente calcular la fuerza que el conductor debe aplicar en el volante para girar las ruedas, utilizando la ecuación del par de giro:

$$T_{pinión} = F_1 * r_1$$

$$F_1 = \frac{T_{pinión}}{r_1} \quad (1.10)$$

Finalmente, por superposición se sabe que el torque empleado en la cremallera:

$$T_{crem.} = T_{cond.} + T_{motor elec.} \quad (1.11)$$

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

Según el diario electrónico La Hora de Quito [13], cerca del 20% del parque automotriz del país aún utiliza vehículos que operan con el sistema tradicional de carburador, que poco a poco ha ido quedando obsoleto por el inminente crecimiento de la industria automovilística, en la cual los vehículos que funcionan a inyección han tenido un crecimiento importante, debido a que este tipo de autos poseen sistemas más modernos donde es más accesible obtener información del mismo mediante distintos dispositivos y que permiten un correcto análisis.

La implementación de un sistema electrónico EPS, se realiza en vehículos que no funcionan a carburador debido al alto costo que representaría su instalación, es así que vehículos como el Renault Twingo 2001 son ideales para un proceso de mejora debido a su sistema de inyección, que permitiría la instalación de este sistema de dirección a un bajo costo.

La velocidad del automóvil representa un punto clave a la hora generar la característica de asistencia al EPS, debido a que existe un principio llamado la desmultiplicación de la dirección. Se basa en la relación que existe entre el giro del volante y el cambio de dirección de las ruedas. Sí la velocidad es baja, el valor de la desmultiplicación aumenta, lo cual implica un mayor torque de asistencia y viceversa; si la velocidad es alta, este valor disminuye y puede llegar a un punto donde no se necesite agregar asistencia a la dirección. [14]

El presente proyecto consiste en la codificación de una tarjeta de desarrollo que utilice como entradas los sensores de la velocidad del vehículo, el torque del volante mediante el uso de un algoritmo que genere como respuesta el torque que debe proporcionar el motor AE. Para poder llevar acabo lo antes mencionado, contamos de primera mano con un motor AE y su respectivo driver.

2.1 Descripción de los dispositivos

a. Motor de asistencia eléctrica

Para este proyecto se disponía de un motor AE el cual consta con las especificaciones mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Especificaciones Técnicas del motor AE [5]

Motor AE	
Marca	Denso
Código de Fabricante	JJ301-000331
Voltaje	12 V
Amperaje	10.13A
Max. Potencia	121.56 W

El motor AE tiene un mecanismo de reducción y un sensor de torque. Dentro se encuentra un rotor, estator y el eje que está transfiriendo el par del motor AE hacia el engranaje sinfín. Es aquí donde el mecanismo de reducción disminuye la velocidad mediante el engranaje sinfín y el engranaje del volante, transmitiéndolo directamente a la columna de dirección.

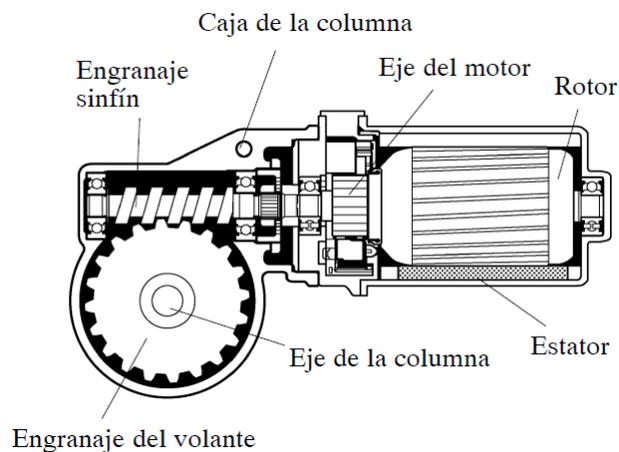


Figura 2.1 Diagrama del Motor AE

b. Driver o controlador

Se utilizó un controlador para regular el torque del motor AE mediante anchos de pulsos, el cual posteriormente iría conectado entre el motor, la fuente de

poder y la tarjeta de programación. Para la elección del controlador ideal, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Entrada y salida de datos (analógico, digital, serial).
- Voltaje y amperaje.

Con los elementos anteriormente mencionados como base, se desea obtener una solución óptima que permita alcanzar los objetivos planteados, para ello se procedió con la elaboración de tres alternativas diferentes usando distintos microcontroladores e interfaces de comunicación con el automóvil.

2.2 Alternativas

2.2.1 Alternativa 1

Implementación de un Velocímetro de GPS, mediante la transmisión satelital de ubicación calcula la velocidad del vehículo. El sentido de dirección y torque aplicado son obtenidos a través de un sensor de torque localizado en el motor AE. Estos parámetros de entrada se procesan en una tarjeta RASPBERRY que entrega una señal al controlador, la cual es modulada por ancho de pulso (PWM) entregando una corriente al motor AE donde genera el torque de salida.

La tarjeta RASPBERRY, es una placa capaz de actuar como un ordenador de tamaño reducido, que puede soportar varios componentes de audio, video, USB, etc.

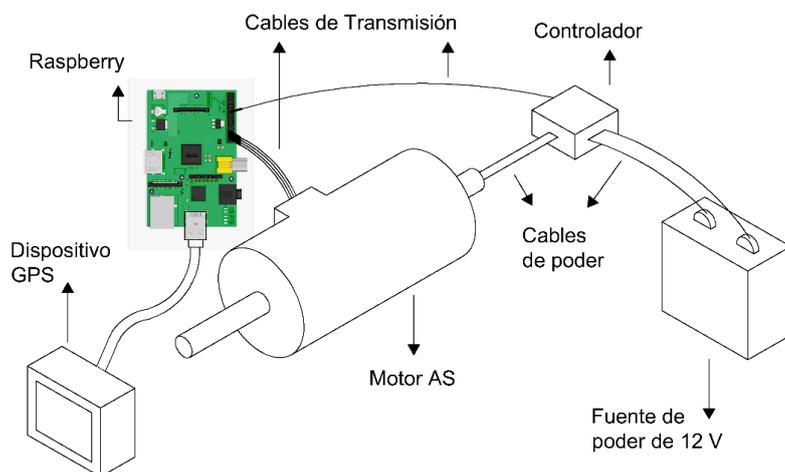


Figura 2.2 Alternativa 1

2.2.2 Alternativa 2

Se utilizará un sensor inductivo de proximidad para medir la velocidad angular de una llanta del vehículo, y a partir de la geometría de la misma, determinar la velocidad lineal.

De la misma manera, del sensor del torque del motor AE se obtiene el sentido del giro del volante y el torque aplicado en este; donde posteriormente con el dato de la velocidad se procesarán en la tarjeta Arduino Uno. Los resultados se ven reflejados mediante un PWM hacia el driver obteniendo una corriente dirigida al motor AE para producir el torque de salida.

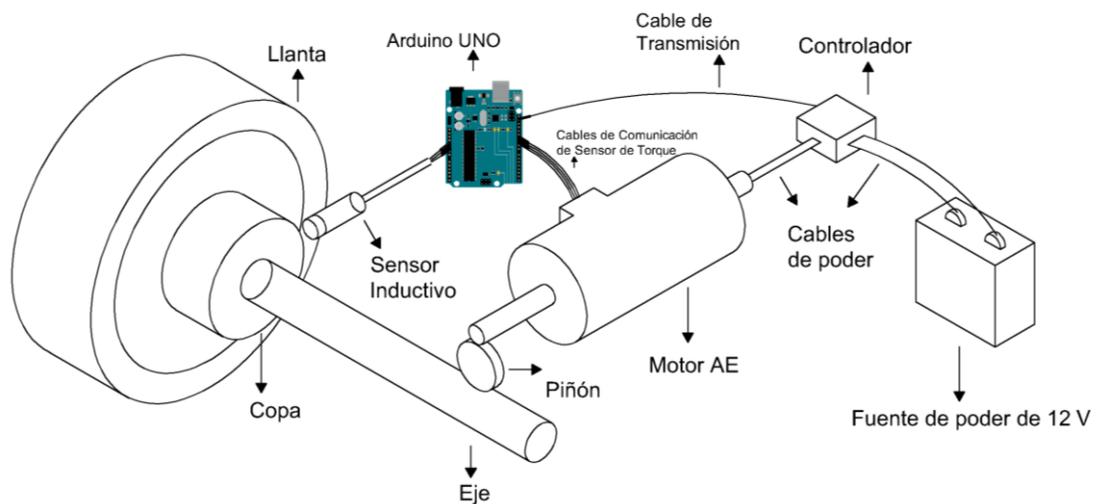


Figura 2.3 Alternativa 2

2.2.3 Alternativa 3

Esta alternativa consiste en realizar una conexión vía bluetooth partiendo desde el uso de un OBD II inalámbrico que proporcionará la lectura de la velocidad del automóvil. Los datos de sentido de giro y torque del volante son obtenidos a través del sensor del torque y son procesados en una tarjeta ORANGE PI 2G-IoT, donde los resultados son enviados a un controlador que transfiere la señal de corriente para generar el torque de salida mediante un PWM.

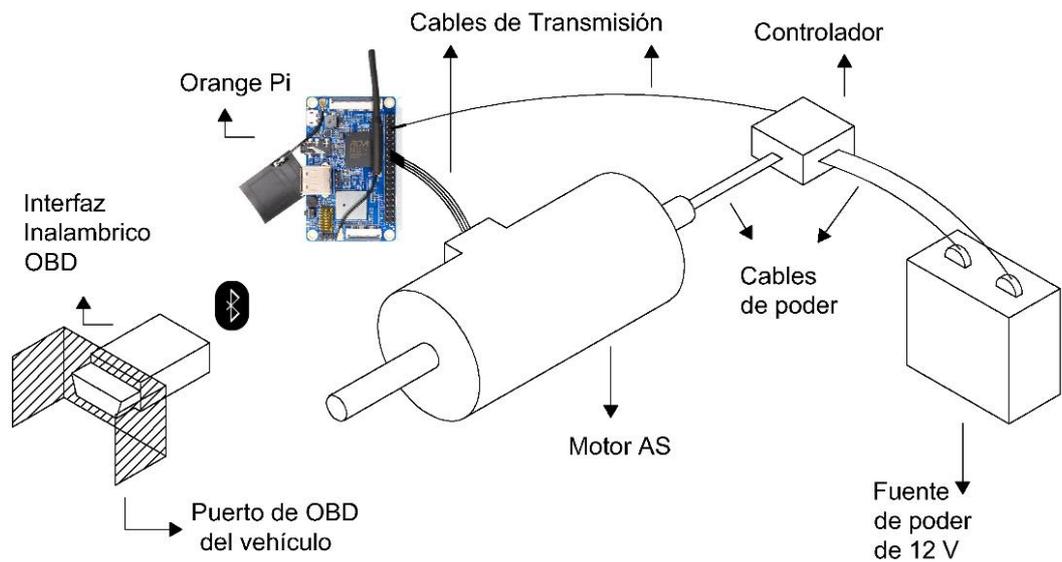


Figura 2.4 Alternativa 3

2.3 Selección de Alternativa

Para la elección de una alternativa que se ajuste a las necesidades se evaluaron los principales parámetros de diseño y que peso tienen para la elección final de la mejor solución. Es por esto que se emplean estrategias como matrices de calidad y de decisión para la correcta selección.

2.3.1 Casa de Calidad

Se asignaron diferentes rangos para la relación entre los requisitos y requerimientos, se procedió al cálculo y obtención de los porcentajes de importancia de dichos requisitos.

Correlación:	+	0	-
	Positivo	No correlación	Negativo

Relaciones:	[7-9]	[4-6]	[1-3]	0
	Fuerte	Moderado	Débil	Ninguno

Casa de la Calidad

Título del Proyecto: Dirección Eléctricamente Asistida
 Líder del Proyecto: _____
 Fecha: _____

		Dirección de mejora deseada (↑,0,↓)						
		↓	↑	0	↑	↓	↑	
		Requisitos funcionales (Cómo)						
		→						
		Requerimientos del cliente - (Qué)						
		↓						
1: bajo, 5: alto	Valoración de importancia del cliente	Tipo de conexión	Confort de conducción	Consumo eléctrico	Velocidad de procesamiento	Programación	Respuesta del motor eléctrico	
1	5	Procesamiento de datos	9	9	5	9	9	
2	5	Costo	9	9	6	6	7	
3	5	Adaptabilidad a otros vehículos	6	1	0	0	7	
4	5	Seguro	0	9	0	9	5	
5	5	Precisión	9	9	0	9	8	
6	5	Estabilidad	2	7	0	9	2	
7	5	Maniobrabilidad	9	8	0	9	2	
8	5	Rendimiento de combustible	1	0	0	0	0	
9	5	Confiabilidad	9	9	0	9	0	
		Puntuación de importancia técnica	270	305	55	300	200	260
		Importancia%	19%	22%	4%	22%	14%	19%

Figura 2.5 Casa de la Calidad

2.3.2 Matriz de Decisión

De la casa de calidad se obtuvieron los pesos porcentuales de los requerimientos planteados para la solución del problema, y se procedió a utilizar la matriz de decisión para la selección de la mejor alternativa. Para la cual, se elaboró una tabla de ponderaciones, con valores que se encuentran en un rango donde 5 representa una característica ideal y 1 una característica que no se ajusta al requerimiento.

Tabla 2.2 Ponderaciones

Ponderación Cualitativa	
5	Excelente
4	Muy Bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo

Evaluando en la matriz de decisión:

$$(5 * 0.19) + (5 * 0.22) + (4 * 0.04) + (3 * 0.22) + (5 * 0.14) + (5 * 0.22) = 4.53$$

Tabla 2.3 Matriz de Decisión

	Tipo de conexión	Confort de conducción	Consumo eléctrico	Velocidad de procesamiento	Programación	Respuesta del motor eléctrico	Total
	19%	22%	4%	22%	14%	19%	
Alternativa 1	5	5	3	4	1	5	4.13
Alternativa 2	5	5	4	3	5	5	4.53
Alternativa 3	3	5	4	4	3	5	4.07

Finalmente, la matriz de decisión dio como resultado que la **Alternativa 2**, es la mejor opción para la solución del problema planteado, con un valor de 4.53 y en base a la ponderación de la Tabla 2.2, la alternativa 2 se encuentra por encima de una solución muy buena.

2.4 Diseño detallado

Una vez seleccionada la alternativa que se ajustó a los requerimientos planteados, se realizó la obtención de los recursos que se utilizaran para el proyecto.

Primero se constató que el motor AE de un vehículo Toyota Prius 2011, era el ideal para ser implementado en el Renault Twingo 2001, por lo que se procedió a calcular el torque mínimo necesario para girar las ruedas.

2.4.1 Cálculo del torque necesario para giro de ruedas delanteras

Condiciones:

Existe un efecto llamado transferencia de pesos, donde el vehículo no actúa como un elemento rígido, y esta condición de movimiento genera suspensión de la masa. En consecuencia, la fuerza inercial provoca que al momento de realizar un frenado la masa se transfiera de atrás hacia adelante, también conocido como “cabeceo”. Este efecto de desaceleración implica que, al ocurrir la transferencia de masa, las llantas tengan una mayor superficie de contacto con el suelo y en consecuencia es mayor la fuerza de fricción. [15]

La desaceleración se calculó mediante la ecuación:

$$-a = \frac{V_f - V_o}{t} \quad (2.1)$$

Se procedió con el cálculo de reacciones presentes en el vehículo mediante sumatoria de fuerzas y torque.

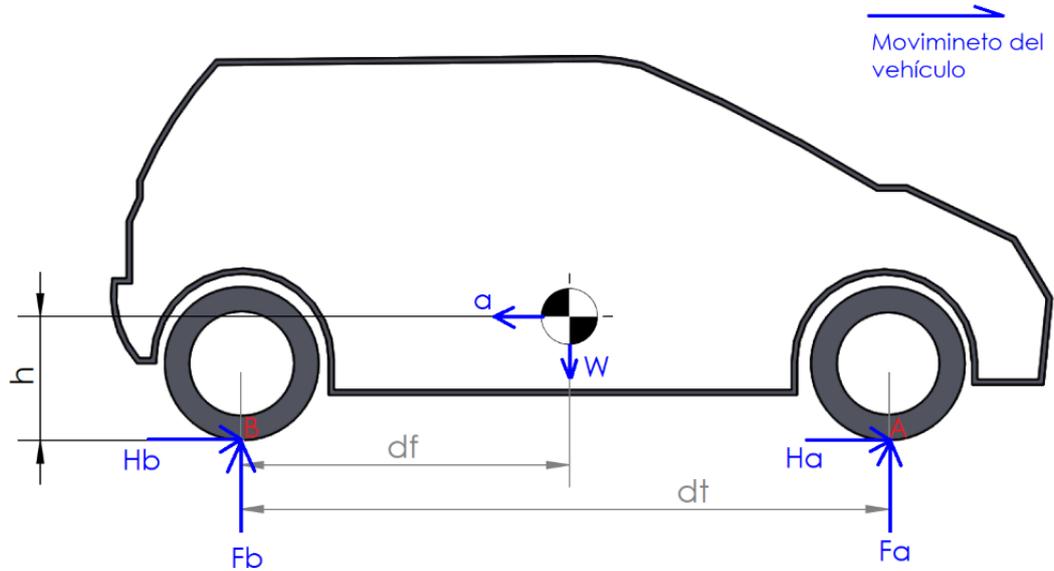


Figura 2.6 DCL de Twingo

Se realizó la sumatoria de fuerzas en el eje X con el fin de calcular los valores de las fricciones en las llantas:

$$\sum F_x = m * a \ (\rightarrow +)$$

$$H_a + H_b = -m * a \quad (2.2)$$

A partir de la sumatoria de fuerzas en el eje Y, se obtuvieron los valores de fuerzas normales presentes en cada llanta:

$$\sum F_y = W \ (\uparrow +)$$

$$F_a + F_b = W = m * g \quad (2.3)$$

En el punto de contacto B entre el vehículo y la superficie, se hizo un análisis de sumatoria de torques para obtener los valores de las reacciones:

$$\curvearrowright (+) \sum T_B = I * \alpha$$

$$(W * d_f) - (m * a * h) - (F_a * d_t) = I_{veh.} * \alpha_{veh.} - \frac{4I_r * a}{r_{din}}$$

$$F_a = \frac{+ \left(\frac{4I_r * a}{r_{din}} \right) - (I_{veh.} * \alpha_{veh.}) - (m * a * h) + (m * g * d_t)}{d_t} \quad (2.4)$$

A partir del valor obtenido y haciendo uso de la ecuación 2.3, se pudo obtener el valor de F_b :

$$F_b = W - F_a$$

Con el valor de las reacciones y el del coeficiente de fricción de los neumáticos, se calculó el valor de la fricción en cada rueda:

$$H_a = \mu * F_a \quad (2.5)$$

$$H_b = \mu * F_b \quad (2.6)$$

Para determinar el torque del piñón necesario para generar el giro en las ruedas, se realizó un análisis de fuerzas sobre las llantas cuando el auto se encuentra en reposo. Debido que en este estado mayor será la inercia que se debe de romper cuando el conductor trate de girar el volante de dirección.

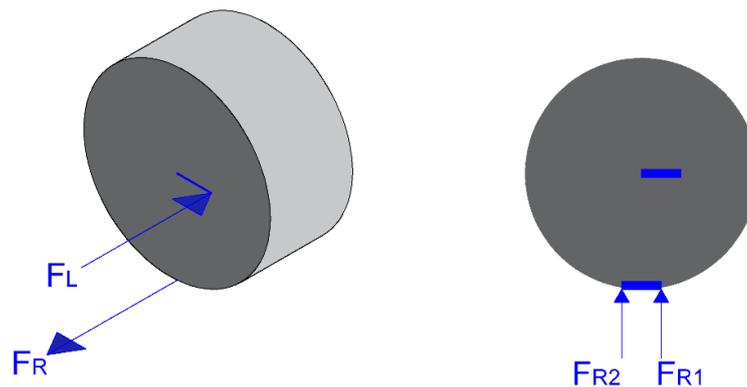


Figura 2.7 DCL de la rueda

Por sumatorias de fuerzas la fuerza lateral es igual a la fuerza de fricción:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ F_L - F_r &= 0 \\ F_L = F_r &= H_a \end{aligned} \quad (2.7)$$

Se calculó el torque de giro del piñón:

$$T_{\text{piñón}} = F_L * r_{\text{piñón}} \quad (2.8)$$

$$T_{\text{piñón}} = T_{\text{conductor}}$$

2.4.2 Recursos para el proyecto

A continuación, se detalla los diferentes componentes que se requirieron para la elaboración de la alternativa ganadora.

Tabla 2.4 Recursos

Equipos y Herramientas	Cantidad
Motor AE	1
Sensor Inductivo	1
Arduino Uno	1
Controlador PWM	1

2.4.3 Descripción de recursos

2.4.3.1 *Arduino Uno*

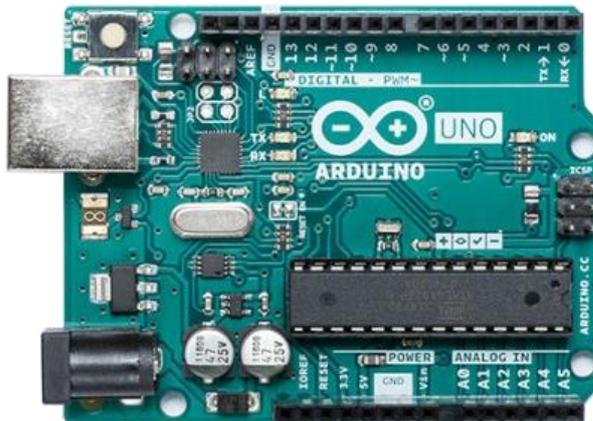


Figura 2.8 Tarjeta Arduino UNO

Es una placa que funciona como un microcontrolador la cual posee 14 pines de entrada y salida digital, 6 entradas analógicas, conexión USB,

entre otros componentes que lo convierten en el dispositivo más utilizado para iniciar en el mundo de la programación electrónica. [16]

Tabla 2.5 Tabla de especificaciones de tarjeta Arduino UNO

Especificaciones de tarjeta Arduino UNO	
Voltaje de salida	5 V
Voltaje de entrada	6 – 20 V
Pines	14
Corriente	40 – 50 mA
Memoria	32 KB

2.4.3.2 Sensor LJ12A3-4-Z/BY



Figura 2.9 Sensor LJ12A3-4-Z/BY

El LJ12A3-4-Z/BY es un sensor inductivo de proximidad que permite la detección de presencia de elementos metálicos que se encuentren a una distancia de 8 mm como valor máximo.

Este tipo de sensores constan de un circuito oscilador que sirve de fuente de energía a una bobina, produciendo de esta manera un campo electromagnético en la sección frontal del sensor. Cuando un elemento metálico ingresa en el campo del sensor, genera una corriente parasita que origina una perturbación en el campo electromagnético, haciendo

que el circuito experimente una pérdida de energía, es así como entra en acción un circuito comparador que detecta este tipo de variaciones y emite una señal como respuesta. [17]

Tabla 2.6 Especificaciones Técnicas de Sensor Inductivo [18]

Sensor Inductivo	
Voltaje	6 - 36 V
Amperaje	300 mA
Modelo	LJ12A3-4-Z/BY
Frecuencia	100 Hz
Rango de detección	8 mm
Diámetro	12 mm
Longitud	64 mm
Peso	45 g

2.4.3.3 Controlador tipo Puente H

La configuración de Puente H, es un circuito electrónico que permite el control de giro horario o anti horario de un motor mediante el uso de cuatro transistores. En la Figura 2.10 la fuente de poder proporcionará la potencia necesaria para poner en funcionamiento el motor AE, es aquí donde la tarjeta Arduino activará los transistores Q1 y Q4 permitiendo el paso de la señal PWM los transistores Q3 y Q2 permanecen desactivados, generando así el giro del motor AE a la potencia deseada.

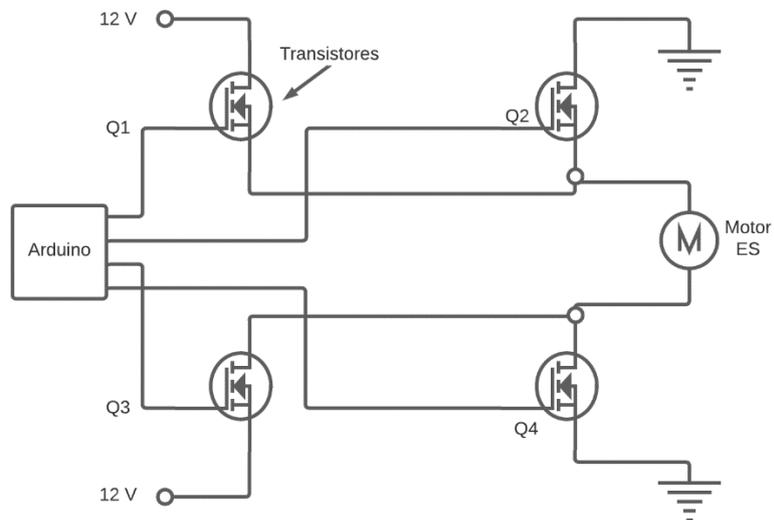


Figura 2.10 Configuración de Controlador tipo Puente H

2.4.4 Conexión de componentes

Para la elaboración de la alternativa ganadora se dividió el trabajo en varias etapas:

2.4.4.1 *Etapa Sensor inductivo / Arduino*

Conexión entre los terminales del sensor inductivo a los pines del Arduino. El sensor consta de tres cables de colores: negro, azul y café; los cuales representan el cable de poder, tierra y señal respectivamente. Las conexiones fueron las siguientes:

- i. El cable NEGRO al pin de entrada digital
- ii. El cable CAFÉ a un pin de 5V
- iii. El cable AZUL a un pin GND

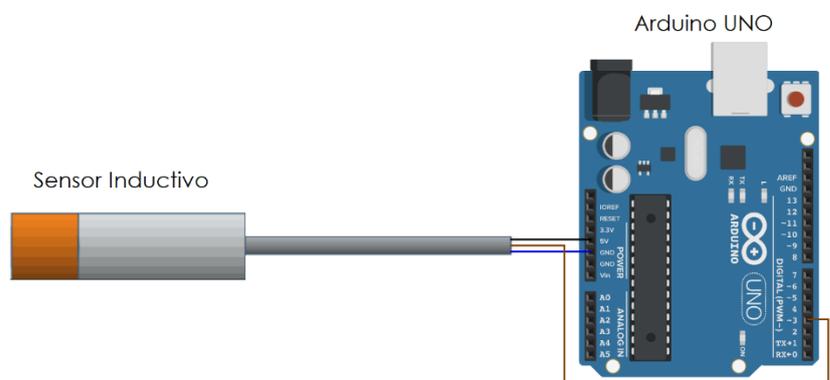


Figura 2.11 Conexión entre Sensor Inductivo y Arduino

- iv. Finalmente, el sensor se instala en una de las manguetas del vehículo, para poder obtener la información de la velocidad angular ya sea leyendo la rotación de la copa o la rotación del anillo dentado del semieje.

2.4.4.2 *Etapa Arduino / Batería / Controlador de PWM / Motor*

Para la respectiva conexión entre el Arduino, controlador y motor AE, se procedió con los siguientes pasos:

- Identificación de los terminales de salida del motor AE para la comunicación del mismo, tanto con el controlador (cables de

poder) como con el Arduino (cables de comunicación del sensor de torque).

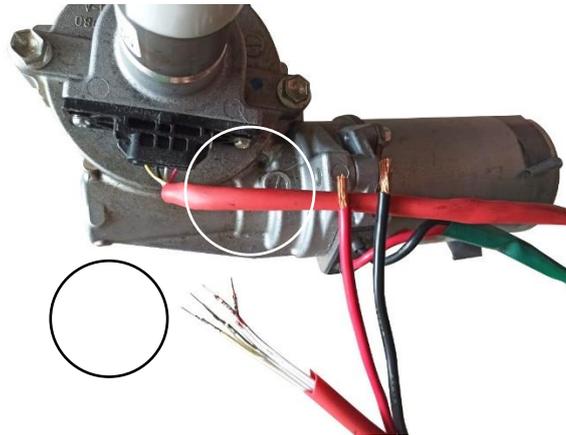


Figura 2.12 Terminales de comunicación del motor

- Conexión del motor y la batería de 12 V al controlador y a su vez del controlador al Arduino, donde será este quien mande el pulso para controlar el torque de salida.
- Conexión de los cables de comunicación del sensor de torque con los puertos digitales de lectura del Arduino.

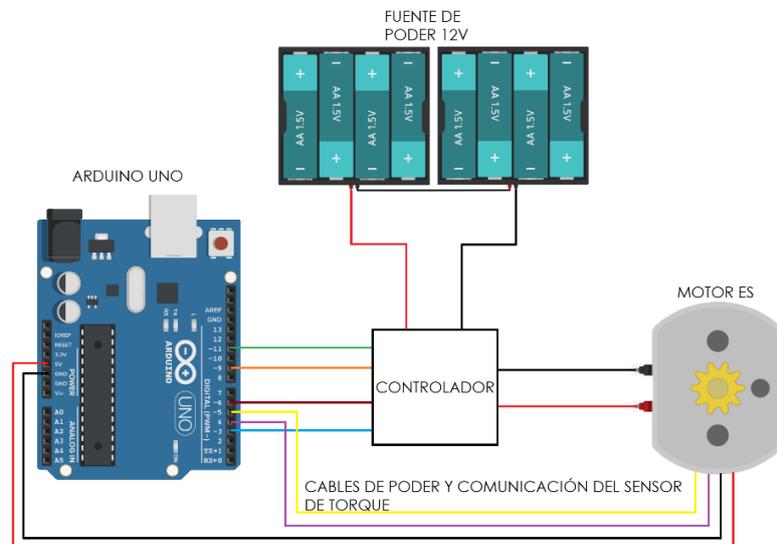


Figura 2.13 Conexión final Arduino-Controlador-Motor-Batería

2.4.5 Diagrama de control

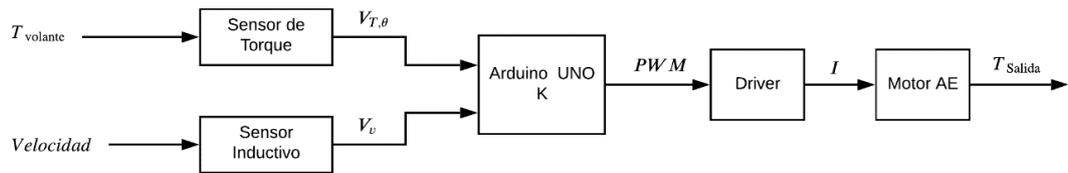


Figura 2.14 Diagrama de control para EPS

En la se aprecia el diagrama de control para un sistema de dirección EPS, donde se puede observar que el EPS es un sistema de lazo abierto, donde la señal de control es el torque de salida que se encuentra en función de la velocidad del vehículo, y ángulo y torque aplicado en el volante.

Para obtener la función de transferencia del EPS es necesario recurrir a un proceso de toma de datos de los parámetros de entrada, a fin de poner reducir el diagrama de bloque correspondiente del Arduino, también es necesario conocer la función de operación tanto del driver como del motor AE para poder obtener las ecuaciones de salida en función a cada señal de entrada.

2.4.6 Diagrama de Flujo

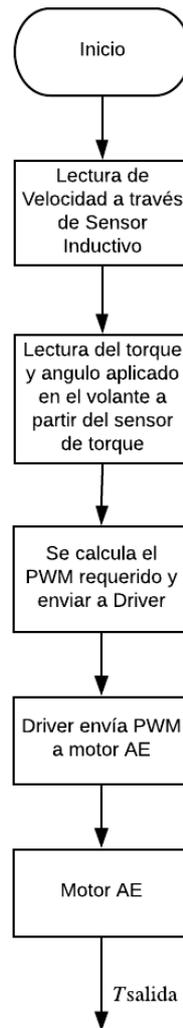


Figura 2.15 Diagrama de flujo para EPS

En el código de programación para la tarjeta Arduino UNO, inicia leyendo los parámetros de velocidad, torque y posición del volante, para determinar el PWM requerido por el motor AE para la obtención del torque de salida.

2.4.7 Pruebas

Se realizaron diversas pruebas para la recolección de datos experimentales en el vehículo Renault modelo Twingo del año 2011. También se llevó a cabo pruebas de funcionamiento para los distintos sensores y dispositivos presentes.

2.4.7.1 *Lectura de datos experimentales*

Ángulo de giro del volante: Se realizaron varios giros en el volante para determinar cuál era su ángulo máximo de giro, y se determinó la velocidad angular del volante según el tiempo transcurrido.

Torque mínimo aplicado al volante: Con ayuda de una báscula de mano, se determinó la fuerza mínima requerida para mover el volante en un radio de aplicación.

Aceleración de vehículo: Utilizando un dispositivo OBD II conectado a la computadora del vehículo y mediante el uso de una aplicación de Smartphone llamada CamScanner, se obtuvo la aceleración del automóvil en un tiempo determinado para los cálculos posteriores de fuerza de fricción, entre otros.

2.4.7.2 *Funcionamiento*

Sensor inductivo: Se escaló el sistema de tracción de llantas delanteras y con un código se procedió a leer e interpretar la perturbación del sensor inductivo. Ver Apéndice A-i

Estado del motor eléctrico: Se conectó el motor una fuente de voltaje, de manera que se observó su respuesta. Ver Apéndice A-ii

Sensor de Torque: Se alimentó el sensor a través de los cables rojo y negro a una fuente de poder de 5V y mediante un multímetro se confirmó el paso de corriente por cada uno de los cables blanco y amarillo para su interpretación. Ver Apéndice A-iii

Controlador: Se realizó las conexiones entre motor, controlador y fuente de voltaje, y mediante un potenciómetro se observó la respuesta de giro del motor AE. Ver Apéndice iv

2.5 Programación

La tarjeta Arduino, recolectó los valores de velocidad, torque y ángulo del sensor inductivo y de torque respectivamente. Llevando a cabo una relación de torque y velocidad, donde se generó un PWM que fue entregado al controlador para regular así el torque de salida del motor AE.

2.5.1 Programación para la velocidad

Se realizó un código de programación donde se leyeron las perturbaciones por ciclo y así determinar la velocidad lineal del vehículo.

2.5.2 Programación para torque y sentido de giro

A partir de las señales analógicas de los cables de comunicación, el código leerá los valores y en base a su magnitud y signo interpretará el torque aplicado en el volante y su sentido de giro.

2.5.3 Programación Final

De las pruebas realizadas se determinó las condiciones de operación. Se unió los códigos de velocidad y de torque, y se realizó la programación final del sistema en base a todos los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados de Cálculos

3.1.1 Cálculo del torque necesario para el giro de las ruedas

Utilizando la Figura 2.6, se realizaron los cálculos para la obtención del torque y velocidad angular requeridos para el motor AE:

Datos:

Tabla 3.1 Parámetros de entrada

Descripción	Simbología	Valor
Peso máximo del vehículo	m	1260 Kg
Gravedad	g	9.8 m/s^2
Distancia entre ejes	d_t	2.347 m
Distancia entre el eje delantero y el centro de gravedad	d_f	1.19 m
Altura del centro de gravedad medido desde el piso (Apéndice B)	h	0.4455 m
Radio piñón	$r_{piñon}$	0.01905 m
Coefficiente de fricción del neumático	μ	0.70 m
Inercia de la Rueda (Apéndice C)	I_r	25.53 kg * m ²
Radio Dinámico de la rueda (Apéndice C)	$r_{din.}$	0.28 m

La desaceleración se calculó mediante la ecuación:

$$-a = \frac{V_f - V_o}{t} \quad (3.1)$$

$$-a = \frac{0 - 15.61}{3}$$

$$-a = 5.20 \text{ m/s}^2$$

Sumatoria de fuerzas en el eje X:

$$\sum F_x = m * a (\rightarrow +)$$

$$H_a + H_b = -m * a \quad (3.2)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje Y:

$$\sum F_y = W (\uparrow +)$$

$$F_a + F_b = W = m * g \quad (3.3)$$

$$F_a + F_b = 790 * 9.8$$

$$F_a + F_b = 7742 \text{ N}$$

Sumatoria de Torque:

$$\cup (+) \sum T_B = I * \alpha \quad (3.4)$$

$$(W * d_f) - (m * a * h) - (F_a * d_t) = I_{veh.} * \alpha_{veh.} - \frac{4I_r * a}{r_{din}}$$

$$F_a = \frac{+ \left(\frac{4I_r * a}{r_{din}} \right) - (I_{veh.} * \alpha_{veh.}) - (m * a * h) + (m * g * d_t)}{d_t}$$

$$F_a = \frac{\left(\frac{4(25.53) * 5.20}{0.28} \right) - (790 * 5.20 * 0.4455) + (7742 * 1.19)}{2.347}$$

$$F_a = 3953.72 \text{ N}$$

Entonces:

$$F_b = 7742 - 3953.72$$

$$F_b = 3788.28 \text{ N}$$

El valor de la fricción en cada rueda fue:

$$H_a = \mu * F_a$$

$$H_a = 0.7 * 3953.72$$

$$H_a = 2767.60 \text{ N}$$

$$H_b = \mu * F_b$$

$$H_b = 0.7 * 3769.38$$

$$H_b = 2651.80 \text{ N}$$

La fuerza lateral de la rueda de la Figura 2.7:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_L - F_r = 0$$

$$F_L = F_r = H_a \quad (3.5)$$

$$F_L = F_r = 2767.60 \text{ N}$$

De tal manera el torque del piñón fue:

$$T_{\text{piñón}} = F_L * r_{\text{piñón}} \quad (3.6)$$

$$T_{\text{piñón}} = 2767.60 * 0.009525$$

$$T_{\text{piñón}} = 26.36 \text{ Nm}$$

Finalmente, la fuerza del conductor aplicada en el volante resultó ser:

$$T_{\text{piñón}} = T_{\text{conductor}}$$

$$T_{\text{conductor}} = F_{\text{conductor}} * r_1 = T_{\text{piñón}}$$

$$F_{\text{conductor}} = \frac{T_{\text{piñón}}}{r_1} \quad (3.7)$$

$$F_{\text{conductor}} = \frac{26.49}{0.14}$$

$$F_{\text{conductor}} = 188.30 \text{ N}$$

$$F_{\text{conductor}} = 19.21 \text{ kgf}$$

Tabla 3.2 Resultados de los cálculos experimentales durante la desaceleración.

Descripción	Valor	Unidades
Desaceleración	-5.20	m/s^2
Reacción en A	3953.72	N
Reacción en B	3769.38	N
Fricción de neumático en A	2767.60	N
Fricción de neumático en B	2651.80	N
Fuerza lateral	2767.60	N
Torque piñón	26.36	Nm
Fuerza de conductor	19.21	kgf

3.1.2 Resultado de Pruebas

3.1.2.1 Pruebas experimentales

En la Tabla 3.3 se muestran los resultados de las pruebas realizadas de ángulo de giro de volante, fuerza mínima aplicada al volante y la desaceleración del vehículo Twingo.

Tabla 3.3 Resultados de Pruebas Experimentales

Parámetro	Valor	Unidades
Ángulo de giro del volante	688	° (Grados)
Fuerza mínima aplicado al volante	18	kgf
Aceleración de vehículo	5.20	m/s ²

En base al resultado de la Tabla 3.2, de la fuerza aplicada por el conductor para mover la cremallera, y el resultado obtenido de la prueba experimental; se obtuvo un porcentaje de error del 6.74%, donde indicó que el resultado experimental se encuentra dentro un margen menor al 10%, siendo una respuesta de trabajo aceptable.

$$\%Error_{F_{conductor}} = \left| \frac{F_{Teórico} - F_{Experimental}}{F_{Teórico}} \right| * 100 \quad (3.8)$$

$$\%Error_{F_{conductor}} = \left| \frac{18 - 19.21}{18} \right| * 100 = 6.74\%$$

Estas pruebas sirvieron para conocer los posibles rangos operacionales de la dirección mecánica del vehículo, que se debieron de tomar en consideración a la hora de programar el código para el ECU.

3.1.2.2 Resultados de las pruebas de funcionamiento

Sensor Inductivo: Previamente para determinar el funcionamiento del sensor se necesitó realizar un código de programación el cual sea capaz de reconocer la señal de perturbación.

```

#define PI 3.14159265

int sensor_velocidad = 2;
int N = 1;
//int PWM = 11;

double f = 0;
double W = 0;
double VL = 0;
double V = 0;

float Diametro = 0.6604;

volatile unsigned t1 = 0;
volatile unsigned t2 = 0;
volatile unsigned delta = 0;

void encoder(){
    delta = t2 - t1;
    t1=t2;
    f = (1000)/(double)delta;
    W = ((2*PI)/N)*f;
    VL= W*(Diametro/2);
    V = VL*(3.6);D
}

```

Figura 3.1 Parte de código de programación para la velocidad

Se estableció el pin 2 de los puertos digitales como el pin receptor de la señal del sensor. También se declararon las variables involucradas para la elaboración del código. De la Figura 3.1 el valor de N corresponde a cuantas perturbaciones existentes habrá en un ciclo generado, donde en base a estas interrupciones, se calculó el tiempo transcurrido entre cada perturbación y así lograr determinar cuánto tiempo le tomó a la llanta dar una revolución.

Se calculó la frecuencia a partir de la variación de tiempo transcurrido a fin de obtener la velocidad angular de la rueda, donde en base geometría de la llanta se obtuvo la velocidad lineal de esta.

Estado del motor AE: Al conectar el motor a la fuente de poder, y según su polaridad, el piñón de la columna de dirección como el de salida empezaron girar ambos en un mismo sentido, pero a diferentes velocidades.

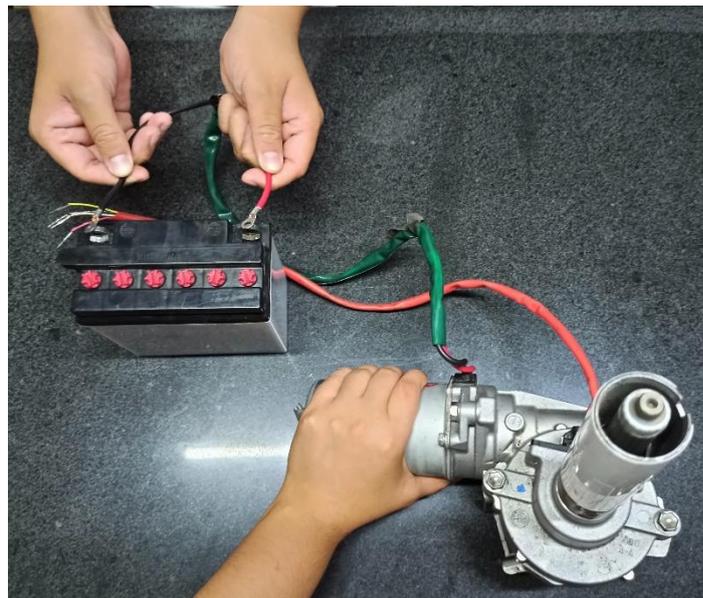


Figura 3.2 Respuesta de Estado de motor AE

Sensor de Torque: De la lectura del multímetro se obtuvo que los cables blanco y amarillo arrojaron valores de 2.5V cada uno aproximadamente. Se realizó una medición con las puntas del multímetro conectado a los cables blanco y amarillo del sensor, para

poder leer la reacción al aplicar un torque en sentido horario y después antihorario. De esta manera se obtuvo una respuesta con signos positivos y negativos que se le atribuye al sentido de giro del volante.

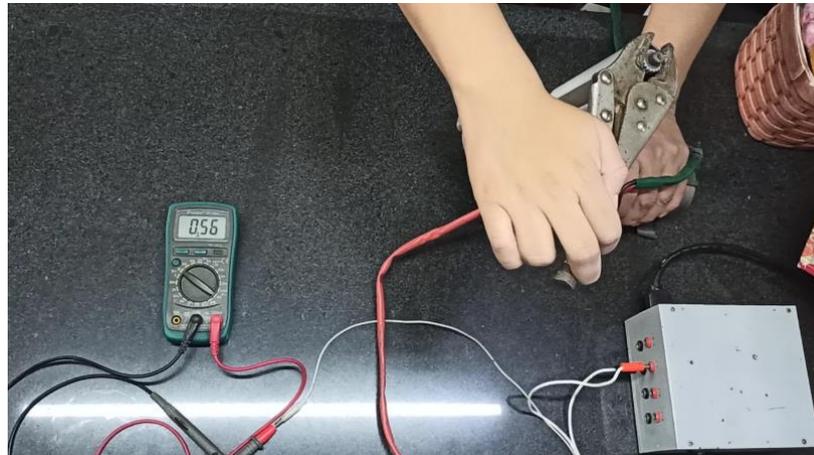


Figura 3.3 Respuesta Positiva de Funcionamiento del Sensor de Torque

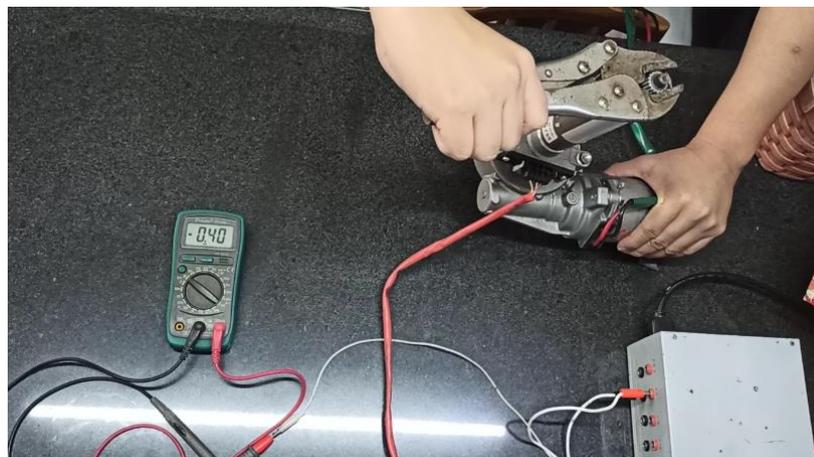


Figura 3.4 Respuesta Negativa de Funcionamiento del Sensor de Torque

Controlador: Se realizó un código el cual permitió el control del paso de señal en los transistores para generar el sentido de giro, y a través del potenciómetro controlar las revoluciones del motor AE.

```

..
void giro_1() {
  analogWrite(a, 255*potencia); // Q1
  digitalWrite(b, HIGH); // Q2
  digitalWrite(c, HIGH); // Q3
  analogWrite(d, 255*potencia); // Q4
}

void giro_2() {
  digitalWrite(a, HIGH); // Q1
  analogWrite(b, 255*potencia); // Q2
  analogWrite(c, 255*potencia); // Q3
  digitalWrite(d, HIGH); // Q4
}

void detener() {
  digitalWrite(a, HIGH); // Q1
  digitalWrite(b, HIGH); // Q2
  digitalWrite(c, HIGH); // Q3
  digitalWrite(d, HIGH); // Q4
}

```

Figura 3.5 Parte de código del Controlador

El código se basó en la figura de la simulación del Puente H ubicada en el Apéndice E; donde la tarjeta Arduino envía la señal de activación a los optoacopladores quienes activan o desactivan a los transistores que permiten el cambio de giro del motor.

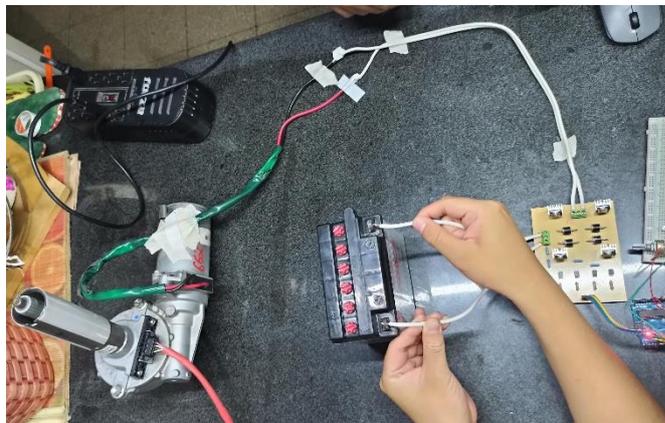


Figura 3.6 Respuesta del funcionamiento del Controlador

3.1.3 Resultados de la programación

Programación de la velocidad: En el código se estableció los parámetros como cuantas perturbaciones se encontraban por una vuelta y el radio de la llanta del vehículo.

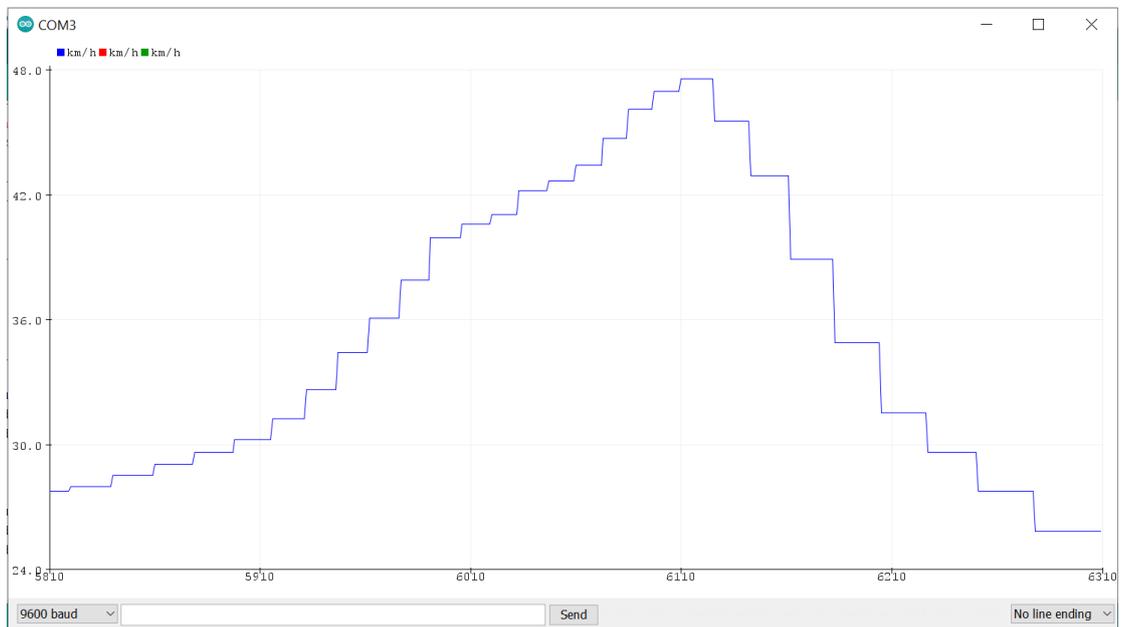


Figura 3.7 Resultado de la programación para la velocidad vs tiempo

Programación del torque:

Dado que el sensor lee una diferencia entre el torque aplicado en el volante y el torque de salida; se realizó un código donde en base a la magnitud del valor sentido poder generar el PWM necesario para producir la asistencia requerida por el motor AE.

Al mismo tiempo se implementó una sección en el código que interprete como sentido de giro del volante el signo de la diferencia de torque.

```

void loop() {
  //-----Torque-----
  blanco = analogRead(A2);
  amarillo = analogRead(A3);

  Torque = (blanco - amarillo)/10;
  //-----
  t2 = millis();          // Me

  //----Potencia-----
  potencia = (100 - (0.5*v))/100; /

  velocidad();
}

```

Figura 3.8 Parte de código de programación para el torque

3.1.4 Programación Final

Se estableció distintos rangos de operación para las condiciones de trabajo del motor AE.

Tabla 3.4 Rangos de operación para código final

Velocidad [Km/H]	Giro	% Potencia
0	Sí	100
	No	0
(0 - 20]	Sí	(100 - 90]
	No	0
(20 - 40]	Sí	(90 - 80]
	No	0
(40 - 60]	Sí	(80 - 60]
	No	0
(60 - 80]	Sí	(60 - 50]
	No	0
>80	Sí	(50 - 40]
	No	0

Finalmente se unieron los códigos de lectura de velocidad y torque como el del controlador, y se agregaron los rangos y condiciones de operación para formar el código final del ECU logrando el control del motor AE y obtener la asistencia eléctrica para la dirección mecánica del vehículo Twingo.

```

const int a = 3;
const int b = 9;
const int c = 10;
const int d = 11;
float potencia = 0;
//-----Torque-----
int blanco = 0;
int amarillo = 0;
float Torque = 0;
int led_1 = 7;
int led_2 = 8;
//-----Filtro-----
int t = 0;          // contador de interi
int p = 1;          // numeros de interr
int tam = 5;
float filtro[]={0,0,0,0,0};
//-----Sensor Inductivo-----
int sensor_velocidad = 2;      // Pin
int N = 1;                      // Numero

```

Figura 3.9 Parte de la programación final

3.2 Análisis de costos

3.2.1 EPS Genérico

La dirección EPS al contrario de los sistemas convencionales de dirección asistida, tiene como ventaja la reducción de elementos hidráulicos, lo cual disminuye su costo de instalación y mantenimiento. Por consecuencia, una vez obtenidos los recursos para su construcción, tomando en cuenta parámetros como la materia prima, envíos, logística y mano de obra utilizados para su manufactura, se elaboró una tabla de costos de producción.

Tabla 3.5 Tabla de costos para elaboración de proyecto

EPS Genérico					
		Ítem	Cantidad	Precio unidad	Precio total
Controlador PWM	Materia prima	Transistor MOSFET	4	\$ 1.50	\$ 6.00
		Resistencias 560 Ohms	4	\$ 0.05	\$ 0.20
		Resistencias 1000 KOhms	4	\$ 0.05	\$ 0.20
		Disipadores	4	\$ 0.20	\$ 0.80
		Optoacoplador	4	\$ 0.20	\$ 0.80
		Diodos 6A10	4	\$ 0.30	\$ 1.20
		Pasta Térmica	1	\$ 2.00	\$ 2.00
	Mano de obra	Elaboración de placa	1	\$ 40.00	\$ 40.00
	Logística	Transporte	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Arduino	Materia prima	Hardware	1	\$ 10.00	\$ 10.00
		Jumpers	4	\$ 0.13	\$ 0.50
	Logística	Transporte	1	\$ 10.00	\$ 10.00
	Mano de obra	Programación	1	\$ 50.00	\$ 50.00
		Prototipo	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Sensor inductivo	Materia prima	Sensor LJ12A3	1	\$ 12.00	\$ 12.00
	Logística	Envío	1	\$ 5.60	\$ 5.60
Motor AE	Materia prima	Motor eléctrico	1	\$ 190.00	\$ 190.00
	Logística	Envío	1	\$ 100.00	\$ 100.00
		Aduana	1	\$ 50.00	\$ 50.00
		Transporte	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Instalación			1	\$ 50.00	\$ 50.00
Total					\$ 699.30

3.2.2 EPS importada

En una entrevista realizada a Alejandro Furas, el director de NCAP (Programa de evaluación de vehículos nuevos para América Latina y el Caribe), el costo de instalación de estos sistemas se encuentra entre los \$60 y \$100 dependiendo la complejidad de los autos. [19]

A continuación, se presentan dos cotizaciones realizadas en diferentes plataformas de comercio electrónico: Amazon y eBay; donde se incluyen el costo a pagar debido a la importación del producto a Ecuador e instalación del sistema en el vehículo.

Tabla 3.6 Tabla comparativa de precios entre plataformas digitales

Plataformas digitales			
Amazon*		eBay*	
Producto	\$ 989.15	Producto	\$ 1,031.53
Envío	\$ 321.40	Envío	\$ 155.83
Instalación	\$ 100.00	Instalación	\$ 100.00
Aduana	\$ 288.40	Aduana	\$ 288.40
Transporte	\$ 10.00	Transporte	\$ 10.00
Total	\$ 1,708.95	Total	\$ 1,585.76

*Ver Apéndice D

De la Tabla 3.6 se observa que los EPS que se encuentran en el mercado internacional presentan precios muy elevados, y debido a la importación y desaduanización que conlleva el proceso de entrega se encarece el producto. Dado que para adquirir un equipo EPS se realizó una investigación internacional; para el costo de instalación se tomó en consideración el precio en México, que es un país que realiza este tipo de servicio donde sus costos varían entre \$50 a \$100, dependiendo la complejidad del vehículo. [20]

3.2.3 Comparación de Precios

Se realizó una comparativa de precios entre los EPS que se encuentran comúnmente en el mercado internacional y el que representó realizar el proyecto presente.

Tabla 3.7 Comparación de precios de EPS

Comparación de precios	
Amazon	\$ 1,708.95
eBay	\$ 1,585.76
EPS casero	\$ 699.30

Finalmente, en la Tabla 3.7 se observa la diferencia de precios entre la importación de los equipos EPS y su instalación, versus manufacturar e implementarlos en territorio nacional. A pesar de que importar el motor AE eleva el precio de producir el EPS, no representa un costo elevado en comparación al sistema completo.

3.2.4 Ahorro entre EPS

Se realizó un cálculo para comparar el ahorro que se obtiene entre el EPS genérico vs adquirir un EPS en las plataformas de comercio digital.

$$Ahorro = 100 - \left| \frac{P_{Teórico} - P_{Experimental}}{P_{Teórico}} \right| * 100 \quad (3.9)$$

$$\%Ahorro_{Générico\ vs\ Amazon} = 100 - \left| \frac{1,708.95 - 699.30}{1,708.95} \right| * 100 = 40.91\%$$

$$\%Ahorro_{Générico\ vs\ eBay} = 100 - \left| \frac{1,585.76 - 699.30}{1,708.95} \right| * 100 = 44.09\%$$

Realizar un sistema genérico de dirección asistida representó un ahorro mayor al 40% de su valor comercial respecto a ambas plataformas; convirtiéndolo en un producto rentable para el mercado local, dado que la mayoría de los recursos utilizados son asequibles, exceptuando el motor, lo que aumenta su factibilidad tecnológica.

Debido a que el precio en el mercado varía dependiendo del modelo del vehículo, este tipo de sistemas es totalmente viable ya que al ser genérico puede ser adaptado para cualquier tipo de vehículo, brindado así una clara ventaja con respecto a los sistemas que se encuentran ya existentes que son para vehículos específicos.

CAPÍTULO 4

4 DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Discusión

A partir de este trabajo realizado se ha logrado el desarrollo de una ECU genérica de bajo costo en base a los requerimientos de potencia y corriente de un motor AE, y que sea capaz de otorgar asistencia eléctrica a un vehículo Renault modelo Twingo.

Para la ECU genérica se ha detallado todos los dispositivos necesarios para su elaboración, donde el componente principal es la tarjeta de desarrollo Arduino UNO, la cual fue la encargada de realizar el procesamiento de datos obtenidos de los sensores inductivo y de torque, para posteriormente enviar las señales de control para el motor AE.

El software al simular la ECU del EPS determina la asistencia que se requiere y se ve reflejado en la potencia de trabajo del motor AE a través de un PWM. Al mismo tiempo la tarjeta Arduino UNO envía señales de activación y desactivación a los transistores del controlador tipo Puente H controlando el sentido de giro del motor AE. Se establecieron condiciones de operación para la programación de Arduino a fin de lograr que la ECU pueda reconocer las situaciones lo más realistas posibles.

Finalmente, se realizó un análisis de precios entre la adquisición de los EPS disponibles en el mercado versus la elaboración de un EPS genérico donde se determinan los beneficios que acarrea manufacturar un EPS de manera local, teniendo una clara ventaja económica, que lo hace completamente viable al producto.

De manera experimental se obtuvo la fuerza necesaria para poner en movimiento el volante del vehículo Twingo dando un valor de 18 kgf, donde se comparó con el resultado teórico obtenido mediante análisis estático y cinético el cual fue de 19.21 kgf. En [12] se realizó el mismo análisis para un vehículo de menor peso y geometría, donde al comparar el resultado de este proyecto con los obtenidos en este

documento, efectivamente la fuerza realizada para mover la cremallera del Twingo es de mayor magnitud dado que el Twingo es más pesado y grande versus el auto eléctrico UTA'-IM17.

El esfuerzo que conlleva aplicar esta fuerza dependió de la persona que la está ejerciendo, ya que al comparar entre un hombre y una mujer promedio existe una diferencia morfológica debido a su anatomía [21]. Este análisis fue realizado con el propósito de establecer la diferencia de la fuerza aplicada al sistema de dirección antes y después de tener una asistencia eléctrica.

El código para el ECU del EPS genérico estuvo basado en las lecturas de dos sensores: uno inductivo y uno de torque. El sensor de torque es primordial para los sistemas EPS ya que vienen incorporado en los motores eléctrico para la asistencia en la dirección [22].

Dispositivos como el ODB 2 son utilizados como interfaz de comunicación entre el automóvil y el conductor, utilizado para conocer los fallos que este presenta o simplemente conocer valores como nivel de aceite, velocidad, revoluciones del motor, etc. Este tipo de dispositivos son recomendados para realizar captura de datos del vehículo, pero presentan un problema en su configuración; su programación no permite conectar directamente el dispositivo a una tarjeta de desarrollo, debido a que se rige bajo una contraseña cada que se realiza la conexión, esto lo hace dependiente, por lo cual no se pudo establecer en el sistema como sensor de velocidad, y en su lugar se utilizó un sensor que tenga las características de ser independiente del uso de contraseñas y cuya programación sea fácil de entender para su funcionamiento.

Se usó el sensor inductivo para obtener la velocidad del vehículo según las condiciones del tamaño de la llanta, como cuantos dientes tiene el anillo dentado y se ubicó el sensor en la mangueta del vehículo. Mediante una inspección visual del semieje del Twingo se identificó que tiene accesible los anillos dentados en su sistema de dirección, de manera que en la copa se le adjunto un pequeño objeto

metálico para que el sensor sea capaz de medir las revoluciones de la llanta. Ver Apéndice F

Utilizar un sensor de proximidad para determinar la velocidad lineal del vehículo radica en la exactitud de la lectura. El factor decisivo para su elección radica en el diámetro del sensor, dado que a mayor diámetro mayor será la posible distancia de comunicación permitida [23]. Es por eso que el sensor utilizado en este proyecto permite una distancia máxima de 8mm, porque el diámetro del sensor es de 12 mm [18], lo que permite un gran rango de detección, lo cual vuelve al sensor en una buena opción de elegir para la elaboración del EPS genérico. Sin embargo, para aquellos casos donde el vehículo si tenga acceso al anillo dentado tener consideración los valles de profundidad entre cada diente; el sensor debe ser ubicado a una distancia que no sea capaz de leer los valles, pero lo suficientemente cerca para leer los dientes.

Se agregó un filtro de señal en el código del sensor inductivo. Con este filtro se logró obtener una lectura de señal más estable y constante durante el transcurso del tiempo y lograr leer de manera más rápida los cambios de velocidad. Si bien el filtro ofrece una ayuda para determinar la velocidad del vehículo dentro del código puede prestar confusión a la hora de leer y entender las variables. Para asegurar la eficiencia de la toma de velocidades, las variables con las que se programó el filtro tendrán una relación con la cantidad de perturbaciones por ciclo (N), dado que, a mayores perturbaciones existentes, mayor será el conteo (p) de toma de perturbaciones que se podrían promediar, un ejemplo sería, en el caso que un anillo dentado tenga $N = 40$ dientes, se puede tomar el cálculo de velocidad dentro de los $p = 5$ primeros dientes y si en los siguientes segundos ocurre una variación de velocidad los 5 siguientes dientes podrán reflejar la nueva lectura de velocidad sin necesidad que la rueda haya realizado un ciclo completo.

De esta manera se aseguró que la programación sea capaz de detectar los más sutiles cambios, por lo que el filtro se lo diseñó de tal manera que no tenga que procesar muchas lecturas de señal para calcular el promedio, ya que, si el tamaño del filtro es de gran magnitud, mayor es el tiempo que transcurre para recolectar y

procesar los valores, y por ende aumenta el tiempo de respuesta de toma de velocidad. Es por esto que el código fue realizado en base a la cantidad de perturbaciones hay y establecer cuantas interrupciones se desea procesar. (Ver Apéndice G)

El sensor de torque donde a partir de las pruebas realizadas se determinó que es de tipo de contacto [24]; donde a partir de las respuestas de las señales de comunicación se estableció las condiciones de operación que tuvo el código del ECU. Otra observación que se tuvo de las pruebas es que según el sentido de aplicación del torque del motor AE mostrado cambios positivos o negativos de los cables de comunicación, es de esta manera que se determinó el sentido del motor AE en base al signo reflejado.

Para el control de la asistencia del EPS se necesitó conocer a cuanto potencia trabajaría el motor AE según las condiciones de operación. Estas condiciones están basadas principalmente en la velocidad del vehículo, dado que se requiere de una mayor asistencia a bajas velocidad, y a medida que el vehículo vaya adquiriendo velocidad, el sistema otorgue menor asistencia [12]. Es por esta razón que se necesitó una lectura gradual y lo más estable posible de la velocidad durante el tiempo por parte del sensor inductivo.

Se determinaron rangos de velocidades, tomando en cuenta los valores que rigen los cambios del vehículo y cuando el carro está estacionado, donde se estableció un porcentaje de potencia del motor, el cual se ve reflejado en el código como la señal de PWM que se enviaría al controlador y este posteriormente al motor AE para su control.

Para este proyecto se pidió asesoría con un especialista electrónico para la elaboración de la placa de circuito impreso (PCB). Esta placa está compuesta por pistas de cobre, transistores, resistencias y optoacopladores, los cuales, en conjunto, representaría la configuración tipo Puente H del controlador que se necesitó para el control del sentido de giro del motor AE; y el paso del PWM para que el motor opere a la potencia deseada.

El controlador tiene que estar diseñado de tal manera que pueda ser capaz de aguantar el amperaje que envía la fuente de poder. Es por esto que un factor determinante a la hora de desarrollar la PCB es el posicionamiento de los componentes electrónicos, ya que caso contrario, las pistas se elevarán de temperatura, produciendo un corto y rompiéndose (ver Apéndice G).

4.2 Conclusiones

- La experimentación ayudó a conocer el funcionamiento del sensor de torque y cómo obtener el sentido de giro del motor, mediante la medición de la diferencia de voltaje se evidenció que el signo de este valor nos brindaba información acerca de la orientación del giro, por lo cual no es necesario el uso de un sensor de ángulo para determinar el movimiento del volante.
- La utilización de un sensor inductivo para la obtención de la velocidad resulta una ventaja para este tipo de sistemas, debido a su rango de sensibilidad de 8 mm, permite la obtención de datos fiables dentro de este perímetro, y debido a sus dimensiones facilita su posicionamiento permitiendo maniobrar el dispositivo según la conveniencia del conductor.
- En base al análisis económico realizado, un sistema de dirección eléctricamente asistido dentro del territorio nacional resulta más económico y viable que importar un EPS completo ya fabricado en otro país. Es así como en comparación con los sistemas encontrados en las plataformas comerciales eBay y Amazon, este representa un ahorro de aproximadamente el 50% de su precio con respecto de los otros sistemas, por lo que le da una amplia ventaja en el mercado local.

4.3 Recomendaciones

- Se aconseja realizar calibraciones de los sensores cada tres meses, tiempo en el cual por la acción del movimiento estos sufran algún desperfecto, con la finalidad de tener un sistema más seguro, que permita a las personas tener un alto grado de confiabilidad de su seguridad.

- Para la obtención de la velocidad, el sensor inductivo que se utilizó, basado en la detección de perturbaciones, posee un rango de trabajo de 8 mm, por lo que se recomienda el uso de un sensor que puede brindar un mayor grado de sensibilidad a 8 mm, para de esta manera trabajar con valores más confiables.
- Se recomienda que antes de realizar la implementación de este sistema de dirección asistida en un vehículo cualquiera, primero se deben realizar pruebas de funcionamiento para los componentes, para de esta manera poder establecer los parámetros iniciales de uso y que el sistema funcione con alta fiabilidad.
- Se sugiere realizar una investigación más amplia en controladores de motores, debido a que se trabajan con valores elevados de potencia y se debe utilizar tarjetas acordes a las dimensiones eléctricas del sistema para evitar fallas en su funcionamiento.
- Al implementar el sistema de EPS en el vehículo con dirección mecánica, se requiere una previa calibración del sensor de torque, dado que la sensibilidad del sensor dependerá de la manera que esté posicionado el motor de asistencia eléctrica, como del peso del volante contado al motor AE

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. L. Norton, *Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. México, D.F.: McGraw-Hill., 2009.
- [2] W. Cunningham, «Power steering shifts to electric», *Roadshow*. <https://www.cnet.com/roadshow/news/power-steering-shifts-to-electric/> (accedido abr. 22, 2020).
- [3] D. King-Hele, «Erasmus Darwin's Improved Design for Steering Carriages--And Cars», *Notes and Records of the Royal Society of London*, vol. 56, n.º 1, pp. 41-62, 2002, Accedido: abr. 27, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/532121>.
- [4] TOYOTA MOTOR CORPORATION, *Manual de Entrenamiento: Técnico de diagnóstico - Sistema de dirección.*, vol. 11. 2003.
- [5] L. Salán y B. Andrés, «Análisis de funcionamiento y detección de fallas del sistema de dirección electro asistida del vehículo toyota prius 2010», nov. 2016, Accedido: may 13, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1594>.
- [6] «SISTEMA DE DIRECCIÓN ELECTRO-HIDRÁULICA | Motor y Dominio». <https://www.motorydominio.com.mx/investigaciones/sistema-de-direccion-electro-hidraulica> (accedido may 10, 2020).
- [7] «Que es la Dirección asistida Electro-Hidráulica y Eléctrica?», *Auto Seguro Compara*, ene. 08, 2013. <https://auto-seguro.com.mx/blog/que-es-la-direccion-asistida-electro-hidraulica-y-electrica/> (accedido may 10, 2020).
- [8] W. B. Services, «Curiosidades del mundo del motor: la dirección asistida», *Motorpasión*, may 16, 2012. <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/curiosidades-del-mundo-del-motor-la-direccion-asistida> (accedido may 08, 2020).
- [9] A. Copacondori y L. Angel, «Desarrollo de un sistema de diagnóstico de fallas en la dirección asistida eléctrica de automóviles», *Pontificia Universidad Católica del Perú*, nov. 2017, Accedido: jun. 09, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9640>.
- [10] D. L. Donaire, «Cómo funciona la dirección asistida», *Actualidad Motor*, abr. 17, 2019. <https://www.actualidadmotor.com/la-direccion-asistida/> (accedido may 14, 2020).
- [11] D. Gutiérrez, «Cómo funciona una dirección asistida eléctricamente (EPAS)», *Planeta del Motor*. <http://planetadelmotor.com/reviews/como-funciona-una-direccion-asistida-electricamente-epas/> (accedido may 08, 2020).
- [12] G. Tonato y W. Omar, «Selección e implementación del sistema de dirección para el prototipo de auto eléctrico BIPLAZA UTA-CIM17», 2018, Accedido: jun. 16, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/27929>.
- [13] D. L. Hora, «Vehículos a carburador se mantienen en Quito - La Hora», *La Hora Noticias de Ecuador, sus provincias y el mundo*. <https://lahora.com.ec/noticia/1101152350/vehiculos-a-carburador-se-mantienen-en-quito> (accedido jul. 02, 2020).
- [14] D. L. Donaire, «La desmultiplicación de la dirección, ¿para qué sirve?», *Actualidad Motor*, may 25, 2019. <https://www.actualidadmotor.com/desmultiplicacion/> (accedido jul. 13, 2020).
- [15] «The Effects of Rotational Inertia on Automotive Acceleration». <http://hpwizard.com/rotational-inertia.html> (accedido jul. 12, 2020).

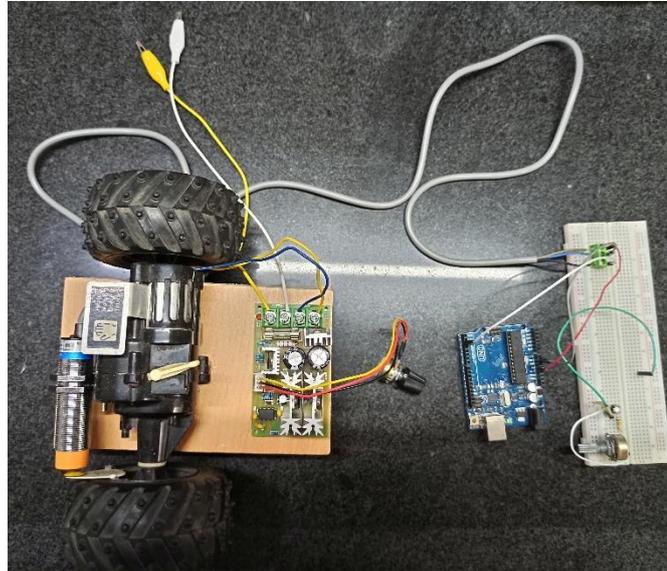
- [16] «Placa Arduino UNO | MiArduino». <http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/> (accedido jul. 29, 2020).
- [17] «Sensor de proximidad inductivo LJ18A3-5-Z/AX (NPN)», *Naylamp Mechatronics - Perú*. <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/403-sensor-de-proximidad-inductivo-lj18a3-5-zax-npn.html> (accedido ago. 20, 2020).
- [18] *datasheetcafe.com*, «LJ12A3-4-Z-BY Datasheet - Inductive Proximity Sensor», *DatasheetCafe*, may 01, 2018. <http://www.datasheetcafe.com/lj12a3-4-z-by-datasheet-pdf-sensor/> (accedido ago. 30, 2020).
- [19] «LatinNCAP: "Agregarle control de estabilidad a un auto cuesta 60 dólares"», *ARGENTINA AUTOBLOG*, mar. 27, 2017. <https://autoblog.com.ar/2017/03/27/latinncap-agregarle-control-de-estabilidad-a-un-auto-cuesta-60-dolares/> (accedido ago. 24, 2020).
- [20] «Análisis: ¿Qué tan complejo y costoso es agregar ESP a todos los autos?», *soloautos.mx*. <https://soloautos.mx/noticias/detalle/analisis-que-tan-complejo-y-costoso-es-agregar-esp-a-todos-los-autos/ED-LATAM-9574/> (accedido jul. 28, 2020).
- [21] D. de Navarra, «Diferencias físicas entre el hombre y la mujer para entrenar», *diariodenavarra.es*, jul. 03, 2015. <https://www.diariodenavarra.es/noticias/blogs/fitness/2015/07/03/diferencias-fisicas-entre-hombre-la-mujer-para-entrenar-642425-3353.html> (accedido ago. 30, 2020).
- [22] T. J. NSK, «MOTION & CONTROL No. 6», n.º 6, jun. 1999, [En línea]. Disponible en: https://cnctar.hobbycnc.hu/VarsanyiPeter/THK%20-NSK%20-%20ISEL%20-%20IKO-%20SKF%20-%20Rexroth%20Katalogusok/NSK/TECHNICAL_JOURNAL_Motion_Control/etj-0006.pdf#page=12.
- [23] TransTec, «2 tipos de sensores de torque en sistemas de dirección asistida electrónicamente». <https://blog.transtec.com/spanish/2-tipos-de-sensores-de-torque-en-sistemas-de-dirección-asistida-electrónicamente> (accedido ago. 30, 2020).
- [24] G. Fernández Amador, «Sensores Magnéticos e Inductivos», Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, 2005.
- [25] «Amazon.com: Borgeson 999020 Kit de conversión de dirección asistida: Automotive». https://www.amazon.com/-/es/Borgeson-999020-conversi%C3%B3n-direcci%C3%B3n-asistida/dp/B004A660EA/ref=pd_ybh_a_1?encoding=UTF8&psc=1&refRID=30D3QM FY4MYD4YBJKRGE (accedido ago. 25, 2020).
- [26] «Borgeson 999016 Kit de conversión de dirección asistida se adapta a 63-65 Corvette», *eBay*. https://www.ebay.com/itm/Borgeson-999016-Power-Steering-Conversion-Kit-Fits-63-65-Corvette-/372935432505?_ul=EC (accedido ago. 25, 2020).
- [27] «IPP17N25S3-100 Infineon Technologies | Mouser», *Mouser Electronics*. <https://www.mouser.com/ProductDetail/726-IPP17N25S3-100> (accedido ago. 22, 2020).
- [28] «6A10 Diodo Rectificador 1000V @ 6A :: Micro JPM». <https://www.microjpm.com/products/a6a10-diodo-rectificador-6a-1000v/> (accedido ago. 22, 2020).
- [29] «4N35 Opto-Transistor :: Micro JPM». <https://www.microjpm.com/products/a4n35-optoacoplador-telefunken-/> (accedido ago. 22, 2020).
- [30] D. Saadeddin, «Quality Function Deployment Template | Continuous Improvement Toolkit». <https://citoolkit.com/templates/quality-function-deployment-template/> (accedido jun. 30, 2020).

[31] «Arduino vs Raspberry», *Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea*.
<https://arduino.cl/arduino-vs-raspberry/> (accedido jul. 02, 2020).

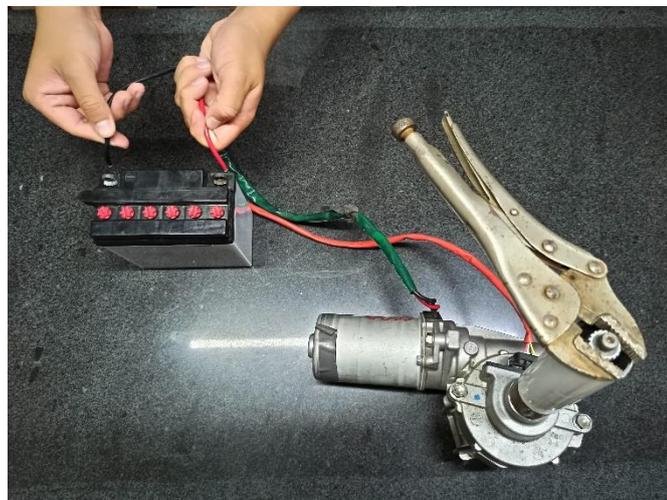
APÉNDICES

APÉNDICE A

i. Prueba Sensor de Inducción

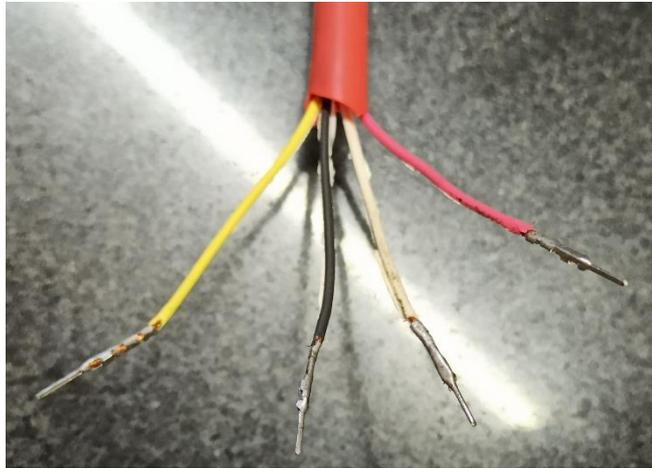


ii. Prueba de Estado de Motor AE

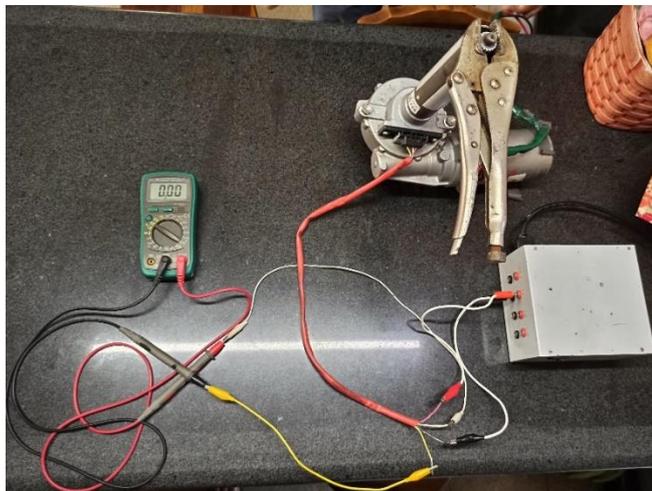


iii. Prueba de Sensor de Torque

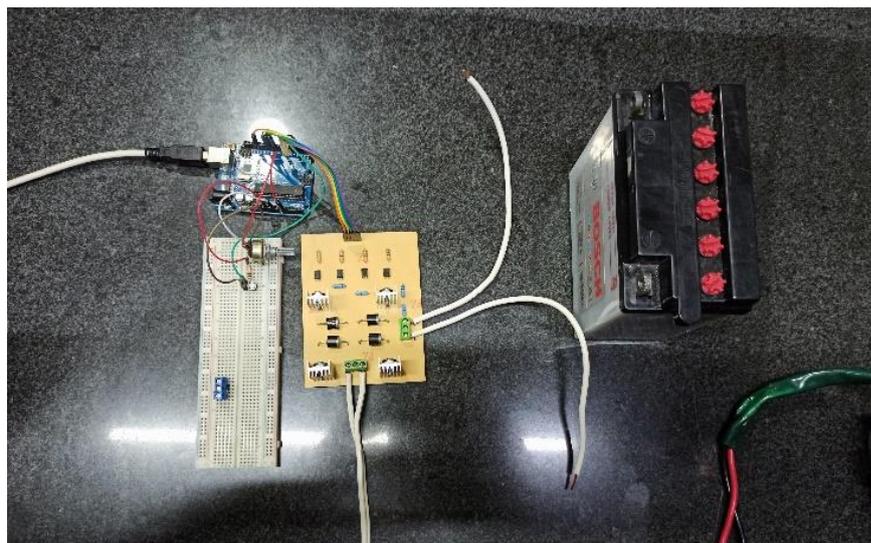
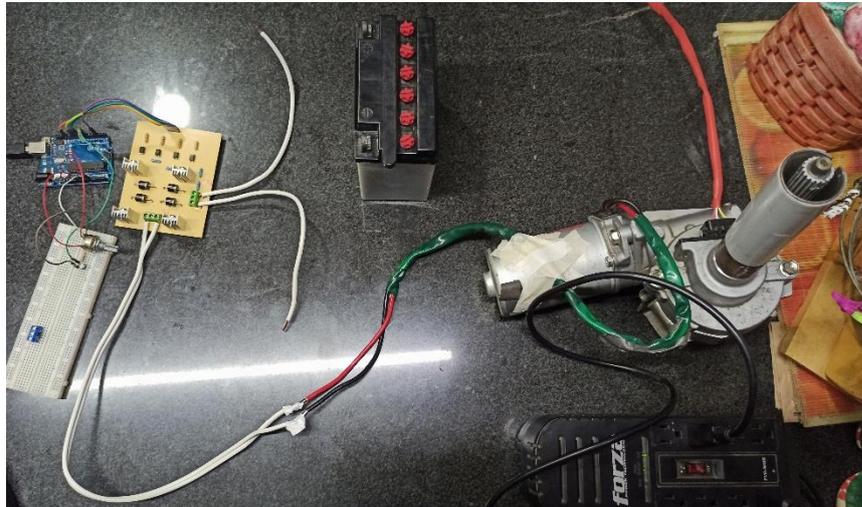
Cables de Comunicación



Prueba

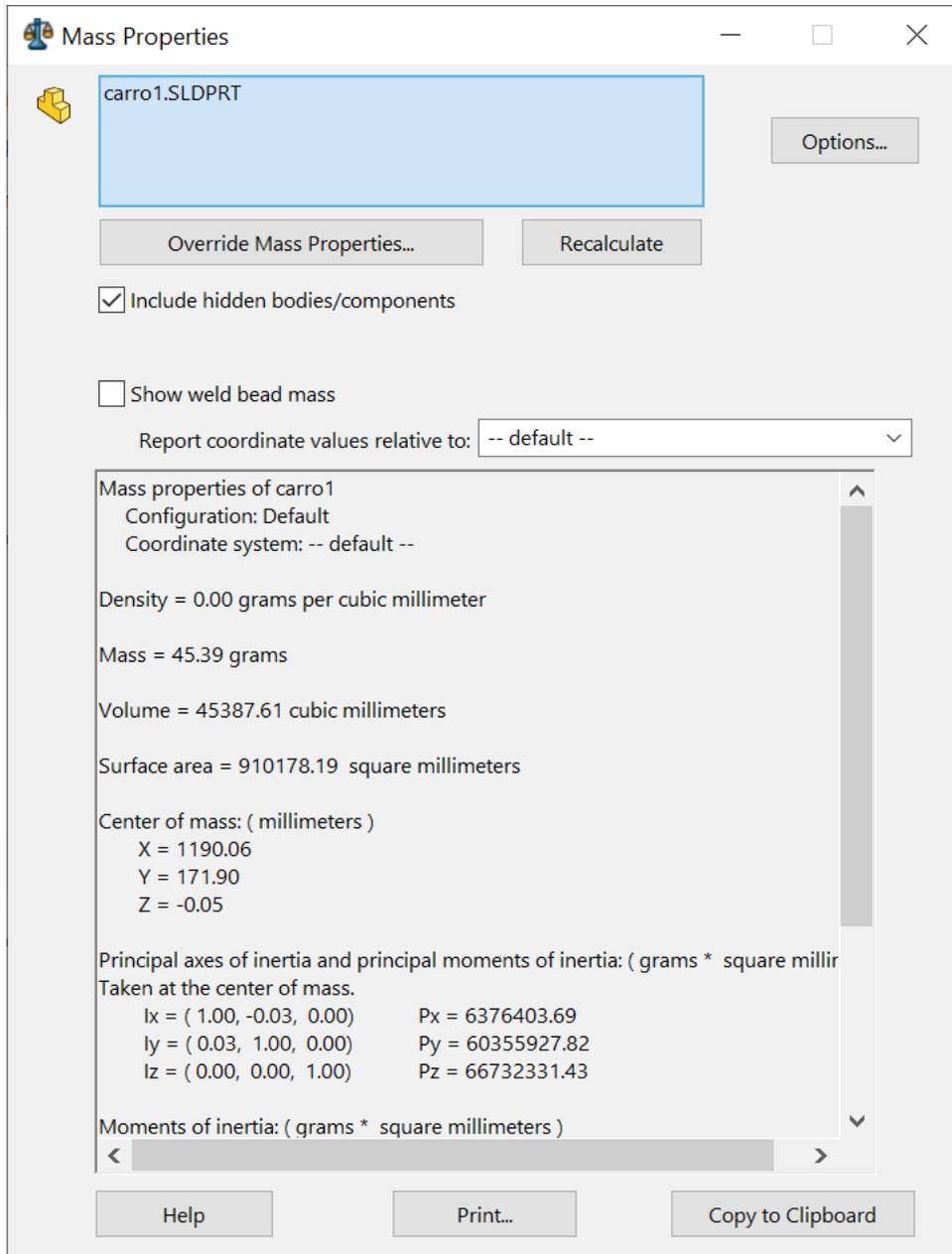


iv. Prueba de Funcionamiento de Controlador



APÉNDICE B

Centro de masa de carro Twingo - Elaboración Propia en Software SolidWorks 2018



$$h = y_c + r_{lanta}$$

$$h = 171.90 + 273.6$$

$$h = 445.5 \text{ mm} = 0.4455 \text{ m}$$

APÉNDICE C

Parámetros de llanta Twingo [15]

Tire Rotational Inertia

Enter tire size: *Section width (mm) / Aspect ratio (%) R Diameter (in)*

/ R ▾

Mass Units ▾

Tread to sidewall thickness ratio

Rolling Radius is: m

Sidewall Inertia is: kg-m²

Tread face Inertia is: kg-m²

Total Rotational Inertia is: kg-m² per tire

Tire equivalent mass is **kg per tire**

Equivalent mass ratio

Tire Rotational Inertia

Enter tire size: *Section width (mm) / Aspect ratio (%) R Diameter (in)*

/ R ▾

Mass Units ▾

Tread to sidewall thickness ratio

Rolling Radius is: m

Sidewall Inertia is: kg-m²

Tread face Inertia is: kg-m²

Total Rotational Inertia is: kg-m² per tire

Tire equivalent mass is **kg per tire**

Equivalent mass ratio

R [in]	I_r [kg * m ²]	r_{din} [m]
13	x	Y
14	28.194	0.28630
15	30.855	0.29900

$$x = - \left[\frac{(30.855 - 28.194)(15 - 13)}{(15 - 14)} - 30.855 \right]$$

$$x = 25.53 \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$y = - \left[\frac{(0.29900 - 0.28630)(15 - 13)}{(15 - 14)} - 0.29900 \right]$$

$$y = 0.28 \text{ m}$$

APÉNDICE D

Amazon [25]



Pasa el mouse encima de la imagen para aplicar zoom

Borgeson 999020 Kit de conversión de dirección asistida

Marca: Borgeson
★★★★★ 14 calificaciones | 21 preguntas respondidas

Precio: **US\$ 989.15** + US\$ 609.80 de envío y depósito de derechos de importación a Ecuador [Detalles](#)

Disponible a un precio menor de **otros vendedores** que podrían no ofrecer envío Prime gratis.

- 1965-1966 Mustang kit completo de conversión de dirección asistida. Para Mustangs 65-66 con dirección manual y 289 V-8. Incluye todos los componentes necesarios para la conversión.
- Kit de conversión P/S, para Mustang 65-66 con dirección manual y 289 V-8.
- Fabricado en Estados Unidos desde 1914.
- Componentes de dirección oficiales de la Asociación Nacional de Cañas de la Calle
- Garantía y soporte líderes en la industria

[Ver los detalles del producto](#)

Nuevo (3) desde **US\$ 989.15**

[Reportar información de producto incorrecta](#)

US\$ 989.15
+ US\$ 609.80 de envío y depósito de derechos de importación a Ecuador [Detalles](#)

Llega: **ago 28 - sept 7**

Sólo hay 6 disponible(s).

Cantidad: 1 ▼

[Agregar al Carrito](#)

[Comprar ahora](#)

[Transacción segura](#)

Envío desde Amazon.com
Vendido por Amazon.com
Empaque Muestra lo que hay dentro

eBay [26]



Borgeson 999016 Kit de conversión de dirección asistida se adapta a 63-65 Corvette - mostrar título original

In Stock | Ships Same Day | 2-3 Day Delivery
★★★★★ Sé el primero en escribir una reseña.

Vendedor: **americanperformanceparts** (4406 ★) 98.8% Comentarios positivos
[Guardar este vendedor](#) | [Contactar al vendedor](#) | [Ver otros artículos](#) | [Visitar tienda](#)

Estado: **Nuevo**
Compatibilidad: [Ver vehículos compatibles](#)

Precio: **US \$1 031.53**

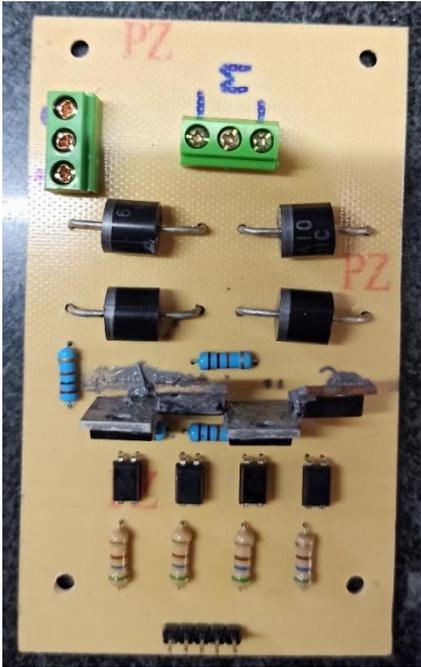
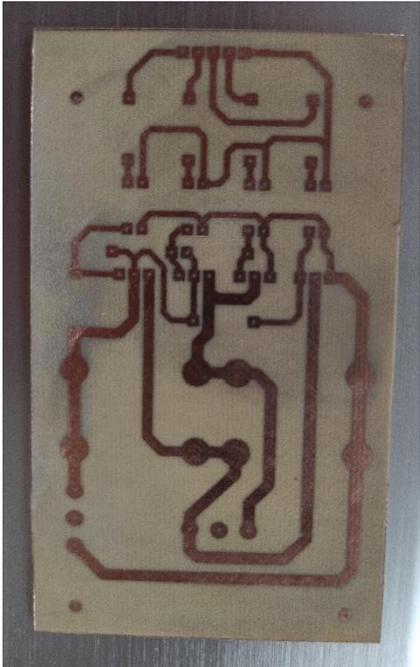
Envío: **USD155.83** International Priority Shipping a Ecuador mediante el Programa de envíos globales [Ver detalles](#)
Ubicación del artículo: Salem, Ohio, Estados Unidos
Realiza envíos a: Estados Unidos y muchos otros países | [Ver detalles](#)

Entrega: Prevista entre el **vie. 4 sep.** y el **lun. 14 sep.** [Ver detalles](#)
Incluye seguimiento internacional

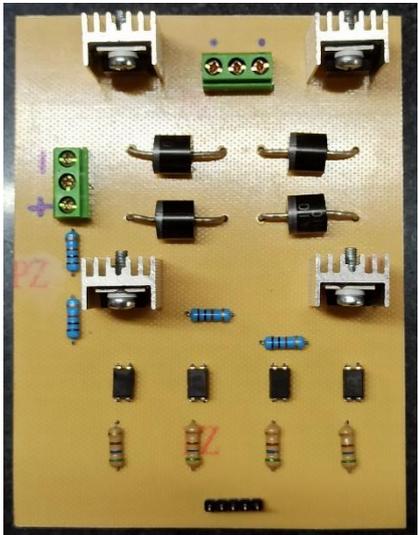
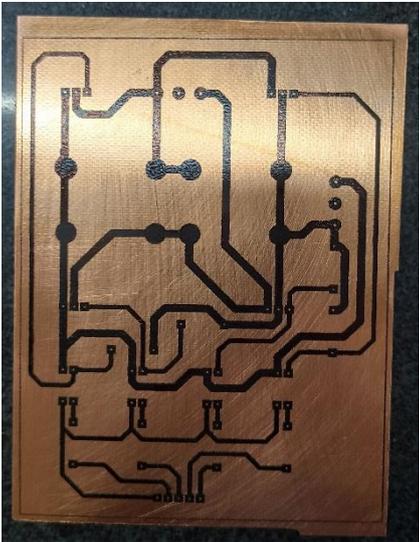
Pagos: [PayPal](#) [VISA](#) [MasterCard](#) [American Express](#) [DISCOVER](#)

Los costos de envío internacional y de importación se pagan en parte a Pitney Bowes Inc. [Más información](#)

Placa PCB 1 (Placa errada)



Placa PCB 2 (Placa final corto circuitada)



Componentes

Transistor [27]



IPB17N25S3-100

IPP17N25S3-100

OptiMOS™ -T Power-Transistor



Features

- N-channel - Enhancement mode
- AEC qualified
- MSL1 up to 260°C peak reflow
- 175°C operating temperature
- Green Product (RoHS compliant)
- 100% Avalanche tested

Product Summary

V_{DS}	250	V
$R_{DS(on),max}$	100	mΩ
I_D	17	A

PG-TO263-3-2

PG-TO220-3-1



Diodo [28]



6A05 - 6A10

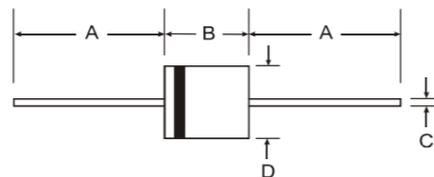
6.0A SILICON RECTIFIER

Features

- High Surge Current Capability
- Low Leakage and Forward Voltage Drop
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 1)

Mechanical Data

- Case: R-6
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020C
- Terminals: Finish — Tin. Axial Leads, Solderable per MIL-STD-202, Method 208 @3
- Polarity: Color Band Indicates Cathode
- Ordering Information: See Page 3
- Approximate Weight: 2.1 grams



R-6		
Dim	Min	Max
A	25.40	-
B	8.60	9.10
C	1.20	1.30
D	8.60	9.10
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, halfwave, 60Hz, resistive or inductive load.

Characteristic	Symbol	6A05	6A1	6A2	6A4	6A6	6A8	6A10	Unit
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V _{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current 9.5mm lead length @ T _A = 75°C (See Fig. 1)	I <sub(av)< sub=""></sub(av)<>	6.0							A
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}	400							A
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 6.0A DC	V _{FM}	0.90							V
Maximum DC Reverse Current @ T _A = 25°C at Rated Blocking Voltage @ T _A = 100°C	I _{RM}	10 100							μA
Operating and Storage Temperature Range	T _i , T _{STG}	-65 to +175							°C

Notes: 1. RoHS revision 13.2.2003. Glass and high temperature solder exemptions applied, see *EU Directive Annex Notes 5 and 7*.

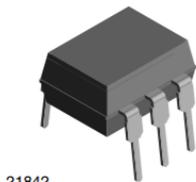
Optocoplador [29]



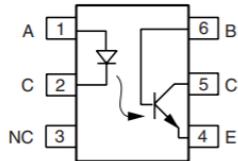
4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors

Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



1179004-5

FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

DESCRIPTION

Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

AGENCY APPROVALS

- Underwriters laboratory file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO; EN 60065, EN 60335, EN 60950 certificate no. 25156

APÉNDICE G

Se realizó una entrevista al ingeniero José Miguel Larrea, en la cual nos especificó ciertos detalles a tomar en cuenta respecto a la programación del sistema y a la placa PCB del controlador.

¿Por qué se debe utilizar un filtro para la obtención de datos mediante el sensor inductivo?

(3'16") "... si dibujamos el comportamiento de la señal veremos que su señal con respecto veremos que su señal se mantiene constante en periodos de tiempo, pero alrededor de esa constantes hay varios picos, saltos..."

(4'38") "...con 8 bits mi recomendación es que podrían usar un filtro, donde uno de los más aplicados es el filtro promedio, se refiere a que ustedes saber en qué momento de interrupción, cada cuantas interrupciones quieren que saquen un promedio para ese promedio ser visualizado como la velocidad..."

¿Qué recomendaciones serían importantes seguir para el diseño de la placa PCB del controlador?

(8'16") "...lo importante es que haya dos partes en la placa PCB que se vaya a diseñar, primero que tenga un aislante de etapas, que puede ser un optoacoplador, un integrado súper eficiente, entre las señales que la placa vaya a poder tener del controlador Arduino y separando de esta manera señales con la etapa, que tendría conectado al motor y a la fuente..."

(9'47") "... las PCBs están limitada con un poco respecto al tema espacio, de las pistas, de su tamaño; aunque eso depende de los circuitos integrados..."

(10'46") "...lo que se tendría que hacer en la placa es reforzarla, aparte de hacer las pistas, sobre las pistas hacer un reforzado ya sea con un bañado de estaño, que eso permitirá tener más material dentro de las pistas, permitiendo la transmisión de corriente de manera más eficiente, así disminuiríamos la sobre carga en los circuitos..."


```
//-----Parametros-----  
double f = 0;           // frecuencia  
double W = 0;           // velocidad angular  
double VL = 0;          // velocidad lineal m/s  
double V = 0;           // velocidad lineal km/h  
//-----  
float Diametro = 0.6604; // diametro de la llanta m  
//-----Tiempo-----  
volatile unsigned t1 = 0; // Tiempo de anterior  
volatile unsigned t2 = 0; // Tiempo actual  
volatile unsigned delta = 0; // Diferencia de tiempos  
  
//----Muestreo----  
volatile unsigned muestreoActual = 0; // variables para definici3n del tiempo de muestreo  
volatile unsigned muestreoAnterior = 0;  
volatile unsigned deltaMuestreo = 0;  
  
int k = 10;
```

```
void setup() {  
  
    Serial.begin(9600);  
  
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensor_velocidad), inductivo, FALLING);  
  
    // -----sensor inductivo-----  
    pinMode(A2, INPUT);  
    pinMode(A3, INPUT);  
    // -----PWM-----  
    pinMode(a, OUTPUT);  
    pinMode(b, OUTPUT);  
    pinMode(c, OUTPUT);  
    pinMode(d, OUTPUT);  
    //----- leds indicadores del sentido de giro-----  
    pinMode(led_1, OUTPUT);  
    pinMode(led_2, OUTPUT);  
  
}  
//-----
```

```

void loop() {
  muestreoActual = millis();
  //-----Torque-----
  blanco = analogRead(A2);
  amarillo = analogRead(A3);

  Torque = (blanco - amarillo)/10;
  //-----
  t2 = millis();          // Medicion de tiempo

  //----Potencia-----
  potencia = (100 - (0.5*V))/100; // 0 - 200 km/h

  velocidad();

  //-----Condiciones de funcionamiento-----

  if(V >= 0 && Torque > 0){
    digitalWrite(led_1,HIGH);
    digitalWrite(led_2,LOW);
    giro_1();
  }

```

```

if(V >= 0 && Torque < 0){
  digitalWrite(led_1,LOW);
  digitalWrite(led_2,HIGH);
  giro_2();
}

if(Torque == 0){
  digitalWrite(led_1,LOW);
  digitalWrite(led_1,LOW);
  detener();
}

//-----detener llantas-----
deltaMuestreo =(double) muestreoActual - muestreoAnterior;
if ( deltaMuestreo >= k)
{
  delta = t2 - t1;

  if(delta >= 1400*p){
    f=0;
  }
}

```

```

    }
}
muestreoAnterior = muestreoActual;

Serial.print(V);
Serial.println(" km/h");
}
// -----Funciones-----
void giro_1(){
    analogWrite(a,255*potencia); // Q1
    digitalWrite(b,HIGH); // Q2
    digitalWrite(c,HIGH); // Q3
    analogWrite(d,255*potencia); // Q4
}

void giro_2(){
    digitalWrite(a,HIGH); // Q1
    analogWrite(b,255*potencia); // Q2
    analogWrite(c,255*potencia); // Q3
    digitalWrite(d,HIGH); // Q4
}

```

```

void detener(){
    digitalWrite(a,HIGH); // Q1
    digitalWrite(b,HIGH); // Q2
    digitalWrite(c,HIGH); // Q3
    digitalWrite(d,HIGH); // Q4
}

void velocidad(){
    W = ((2*PI)/N)*f;
    VL= W*(Diametro/2); // m/s
    V = VL*(3.6); // km/h
}

void inductivo() {
    t++;
    if (t == p){
        float media = 0;
        //delta = t2 - t1;

        for(int i=0;i < tam-1;i++){
            filtro[i]=filtro[i+1];
        }
    }
}

```

```
    }  
    filtro[tam-1]=delta;  
  
    for(int i=0;i<tam;i++){  
        media = filtro[i]+ media;  
    }  
    media = media/tam;  
    delta = media;  
  
    f = (1000)/(double)delta;  
  
    t1 = t2;  
    t = 0;  
}  
}
```

Materia Integradora de Ingeniería Mecánica MECG1066, 2020 - Termino I

Registro de Reuniones del Proyecto

Paralelo: 3

Profesor del Paralelo: Phd. Francis Loayza

Profesor Tutor: Phd. Jorge Hurel

Proyecto: Implementación y conversión del sistema de dirección vehicular manual a eléctricamente asistida.

Reunión No.	Fechas	Estudiantes	Profesor Tutor	Retroalimentación del Tutor
1	18 Mayo – 22 Mayo	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Corrección del planteamiento del problema. Mejorar la justificación del problema.
2	25 Mayo – 29 Mayo	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Planteamiento de objetivo general y específicos. Investigar más acerca de la historia de los sistemas de dirección.
3	1 Junio – 5 Junio	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Entrega de materiales y documentos por parte del tutor. Búsqueda de información de los materiales.

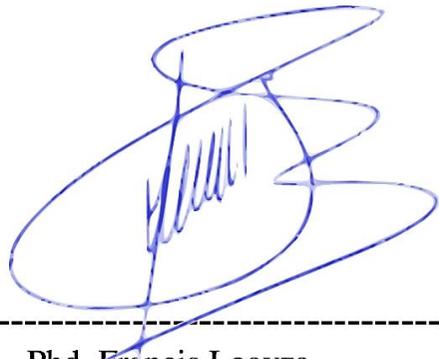
4	8 Junio – 12 Junio	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Marco Teórico: Correcciones de sintaxis e incluir breve reseña histórica.
5	15 Junio – 19 Junio	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Marco Teórico: Agregar información acerca de cálculos.
6	22 Junio – 26 Junio	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Alternativas de solución: Planteamiento y elección de dispositivos.
7	29 Junio – 3 Julio	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Elección de alternativa: Casa de calidad y matriz de decisión.
8	6 Julio – 10 Julio	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Revisión de cálculos de reacciones, fuerzas y torque del proyecto. Toma de datos experimentales.
9	13 Julio – 17 Julio	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Adquisición de recursos: Compra de materiales para la alternativa ganadora.

10	20 Julio – 24 Julio	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Conexiones: Realizar conexiones de los dispositivos para comprobar estado de uso.
11	27 Julio – 31 Julio	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Realizar investigación sobre: Diagrama de control y Diagrama de flujo para respectivo análisis.
12	3 Agosto – 7 Agosto	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Realizar pruebas de funcionamiento de las diversas conexiones. Cambios de dispositivos que no funcionan correctamente.
13	10 Agosto – 14 Agosto	Frank Yoza Romina Arrata Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Realizar la respectiva programación y pruebas de funcionamiento. Trabajar el código por partes.

14	17 Agosto – 21 Agosto	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Resultados de cálculos y pruebas de funcionamiento. Realizar más pruebas de programación.
15	24 Agosto – 28 Agosto	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Análisis de resultados de programación. Corrección de análisis económico.
16	31 Agosto – 4 Septiembre	Frank Yoza Romina Arrata	Phd. Jorge Hurel	Definición de conclusiones y recomendaciones. Corrección del análisis de resultados.

Bitácora de actividades en reuniones:

A continuación, se muestran las firmas del tutor y del profesor, para evidenciar las reuniones que se sostuvieron a lo largo del proceso de la materia integradora.

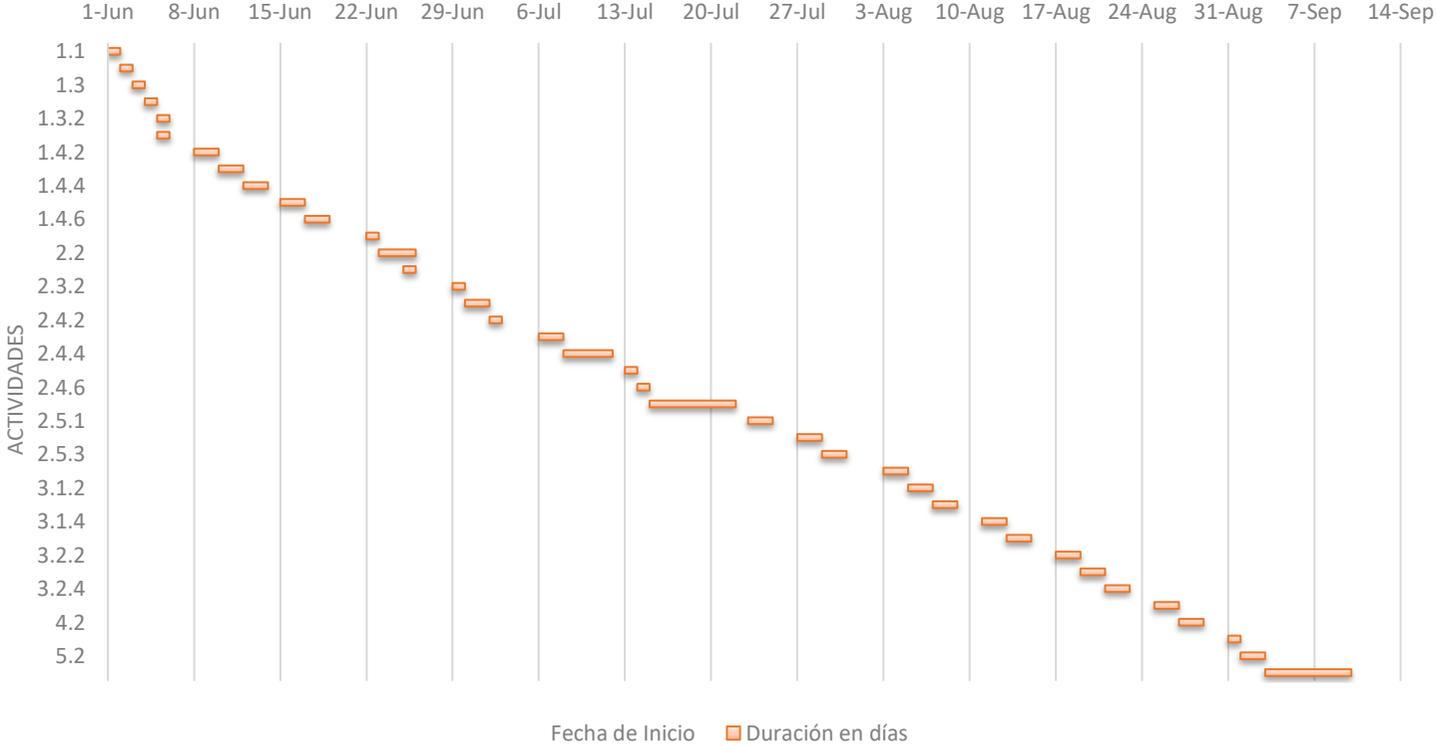


Phd. Francis Loayza



Phd. Jorge Hurel

MATERIA INTEGRADORA CALENDARIO DE GANTT



Calendario de Actividades				
No	Actividad	Fecha de Inicio	Duración en días	Fecha de Fin
1.1	Descripción del problema	1-Jun	1	2-Jun
1.2	Justificación del problema	2-Jun	1	3-Jun
1.3	Objetivos	3-Jun	1	4-Jun
1.3.1	Objetivo General	4-Jun	1	5-Jun
1.3.2	Objetivos Específicos	5-Jun	1	5-Jun
1.4.1	Historia y antecedentes de la dirección vehicular	5-Jun	1	6-Jun
1.4.2	Sistema de Dirección	8-Jun	2	10-Jun
1.4.3	Componentes de un Sistema de Dirección	10-Jun	2	12-Jun
1.4.4	Dirección mecánica o manual	12-Jun	2	15-Jun
1.4.5	Dirección asistida	15-Jun	2	17-Jun
1.4.6	Análisis físico	17-Jun	2	19-Jun
2.1	Descripción de los dispositivos	22-Jun	1	23-Jun
2.2	Alternativas	23-Jun	3	25-Jun
2.3.1	Casa de Calidad	25-Jun	1	26-Jun
2.3.2	Matriz de Decisión	29-Jun	1	30-Jun
2.4.1	Cálculo del torque necesario para giro de ruedas delanteras	30-Jun	2	2-Jul
2.4.2	Recursos para el proyecto	2-Jul	1	3-Jul
2.4.3	Descripción de recursos	6-Jul	2	8-Jul
2.4.4	Conexión de componentes	8-Jul	4	13-Jul
2.4.5	Diagrama de control	13-Jul	1	14-Jul
2.4.6	Diagrama de Flujo	14-Jul	1	15-Jul
2.4.7	Pruebas	15-Jul	7	23-Jul
2.5.1	Programación para la velocidad	23-Jul	2	27-Jul
2.5.2	Programación para torque y sentido de giro	27-Jul	2	29-Jul
2.5.3	Programación Final	29-Jul	2	31-Jul
3.1.1	Cálculo del torque necesario para el giro de las ruedas	3-Aug	2	4-Aug
3.1.2	Resultado de Pruebas	5-Aug	2	6-Aug
3.1.3	Resultados de la programación	7-Aug	2	10-Aug
3.1.4	Programación Final	11-Aug	2	12-Aug
3.2.1	EPS Genérico	13-Aug	2	14-Aug
3.2.2	EPS importada	17-Aug	2	18-Aug
3.2.3	Comparación de Precios	19-Aug	2	20-Aug
3.2.4	Ahorro entre EPS	21-Aug	2	22-Aug

4.1	Conclusiones	25-Aug	2	26-Aug
4.2	Recomendaciones	27-Aug	2	28-Aug
5.1	Presentacion de Doc Final	31-Aug	1	31-Aug
5.2	5 Min Pitch	1-Sep	2	2-Sep
5.3	Presentacion Final	3-Sep	7	11-Sep