

# UACM

Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México

---

*Nada humano me es ajeno*

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

**Construcción, control e instrumentación de un carro eléctrico.**

TRABAJO RECEPCIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

PRESENTAN

**JORGE ALBERTO IGLESIAS JIMÉNEZ Y ANDRÉS SÁNCHEZ MARTÍNEZ**

DIRECTOR

**Mtro. Christian Agustín Vázquez Villanueva**

Ciudad de México, Julio 2019.

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

### DERECHOS RESERVADOS<sup>©</sup>

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

# Agradecimientos

**Jorge Alberto Iglesias Jiménez**

A Dios por haberme permitido concluir mis estudios universitarios y cumplir una de mis metas.

A mi madre Jiménez Barrera Adelaida que con su esfuerzo y el apoyo que me brindo logre culminar mis estudios y hacerla sentir orgullosa de mí.

A mi padre Wenceslao Raúl Iglesias Nava por que gracias a los valores y consejos que me brindo termine mis estudios.

A mi hermano Wenceslao Raúl Iglesias Jiménez por el gran apoyo y consejos que me brindo durante el proceso de titulación.

A mi hermano Alejandro Yair Iglesias Jiménez por sus consejos y regaños durante el proceso de titulación.

A mi novia Laura Alicia Ulloa Hernández por todo el apoyo brindado durante mis estudios.

Al director de mi tesis Vázquez Villanueva Christian Agustín y a todos y cada uno de mis profesores por su apoyo y enseñanzas.

A todos mis amigos por los gratos momentos que pasamos en la banca.

## **Andrés Sánchez Martínez**

Son muchas las personas que han contribuido al proceso y conclusión de este proyecto, en primer lugar quiero agradecer al director de esta tesis Christian Agustín Vázquez Villanueva quien nos aliento y apoyo mucho durante estos dos años.

A mis padres Andrés Sánchez Trejo y Susana Martínez Mondragón, quienes con sus consejos y apoyo me motivaron a alcanzar la meta de terminan una carrera universitaria.

Gracias a mi universidad, por haberme permitido formarme en ella y a las personas que directa o indirectamente fueron participes de este proceso.

A mis amigos que durante toda mi formación académica permanecieron junto a mí, mostrándome su amistad y nunca olvidare los momentos que pasamos en la banca, ni cada uno de los momentos y experiencias que vivimos juntos.

A mi esposa Samanta Estefania Flores Ortíz, quien me ha apoyado durante todo este tiempo, alimentándome a la terminación de esta tesis.

Y en especial le quiero agradecer a mi hija Vania Valentina Sánchez Flores quien es mi motor de vida, a quien cuidare para verla hecha una persona capaz y que pueda valerse por sí misma.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
1.1. Planteamiento del problema . . . . .	6
1.2. Objetivos generales . . . . .	7
1.3. Objetivos particulares . . . . .	7
1.4. Organización de la tesis . . . . .	7
<b>2. Autos eléctricos</b>	<b>9</b>
2.1. El motor eléctrico . . . . .	9
2.2. Ventajas y Desventajas del motor eléctrico . . . . .	9
2.2.1. Ventajas del motor eléctrico en automóviles . . . . .	9
2.2.2. Desventajas del motor eléctrico en automóviles . . . . .	11
2.3. Componentes que conforman un auto 100 % eléctrico . . . . .	11
2.4. Componentes que conforman un auto híbrido . . . . .	15
2.5. Componentes que conforman un auto tipo Golf . . . . .	16
<b>3. Diseño y construcción del carro eléctrico</b>	<b>18</b>
3.0.1. Diseño del auto eléctrico . . . . .	18
3.1. Construcción física de la estructura . . . . .	23
3.1.1. Elección de Motorreductor y transmisión . . . . .	27
3.2. Costos y Materiales . . . . .	29

<b>4. Diseño del sistema de control manual y automático</b>	<b>31</b>
4.1. Diagrama general de máquina de estados . . . . .	32
4.2. Modo manual . . . . .	33
4.2.1. Pasos a seguir Modo manual . . . . .	34
4.3. Modo Automático . . . . .	35
4.3.1. Pasos a seguir Modo automático . . . . .	37
4.4. Diseño Control PID del motor DC para el modo automático . . . . .	39
4.4.1. Identificación experimental de parámetros de un motor DC . . . . .	40
4.4.2. Medición de velocidad . . . . .	41
4.4.3. Procesamiento de datos . . . . .	42
4.4.4. Calculo de Ganancias del control PID . . . . .	44
4.4.5. Implementación del control PID en Arduino Uno . . . . .	47
4.4.6. Librería Arduino PID . . . . .	48
<b>5. Diseño de hardware para el control del carro</b>	<b>50</b>
5.1. Diagrama de Bloques del sistema . . . . .	51
5.2. Panel de Control . . . . .	52
5.3. Puente H completo para motor C.D. . . . .	54
5.3.1. Motor C.D. . . . .	55
5.3.2. IGBT . . . . .	56
5.3.3. Optoacplador PC817 . . . . .	58
5.4. Diseño de drivers para control de un motor de CD . . . . .	59
5.4.1. Driver Mono direccional . . . . .	59
5.4.2. Diseño proteus puente H . . . . .	61
5.4.3. Encoder Q9873 de resolución 400 ppr (pulsos por revolución) . . . . .	63
5.5. Batería . . . . .	64
<b>6. Pruebas y Resultados de desempeño del carro eléctrico</b>	<b>66</b>
6.1. Pruebas de tablero de control manual y automático . . . . .	67

6.1.1.	Modo manual . . . . .	67
6.1.2.	Modo automático . . . . .	69
6.1.3.	Señales PWM de la tarjeta electrónica Arduino uno . . . . .	72
6.1.4.	Señales PWM en modo manual . . . . .	72
6.1.5.	Respuestas del carro eléctrico con carga en modo automático . . .	74
6.1.6.	Características generales del carro eléctrico . . . . .	75
<b>7.</b>	<b>Conclusión</b>	<b>77</b>
7.1.	Limitaciones . . . . .	79
7.2.	Trabajo a futuro . . . . .	79
<b>8.</b>	<b>Referencias</b>	<b>81</b>
<b>I</b>	<b>Anexo</b>	<b>84</b>

# Capítulo 1

## Introducción

En la actualidad el automóvil se ha convertido en una herramienta esencial de uso cotidiano para poder desplazarse de un lugar a otro en el menor tiempo posible, pero al haber un mayor crecimiento demográfico, en este caso la Ciudad de México CDMX, se contribuye a una mayor demanda de vehículos por parte de la población, ya sea transporte público o privado, generando una mayor afluencia de autos, lo cual genera contaminación en el medio ambiente, por ello, las compañías automotrices se han dado a la tarea de producir vehículos más amigables con el ambiente reduciendo el uso de fuentes de energías no renovables.

El auto eléctrico es uno de los primeros automóviles que se desarrollaron. De hecho, existieron vehículos eléctricos anteriores al motor de cuatro tiempos sobre el que Diésel (motor diésel) y Benz (gasolina) basaron el automóvil de combustión [1].

Entre 1832 y 1839, el hombre de negocios escocés Robert Anderson inventó el primer vehículo eléctrico puro. El profesor Sibrandus Stratingh de Groninga, en los Países Bajos, diseñó y construyó con la ayuda de su asistente Christopher Becker vehículos eléctricos a escala reducida en 1835. A finales de 1920 la industria del auto eléctrico desapareció por completo, quedando relegada a algunas aplicaciones industriales muy concretas, como montacargas, toros elevadores de batería eléctrica, o carros de golf eléctricos, con los primeros modelos de Lektra en 1954. [2]

La problemática del abandono de su desarrollo se debió principalmente a las mejoras que se realizaron al motor de combustión, provocando el abandono por costes y prestaciones del auto eléctrico. Después de la segunda Guerra Mundial la preocupación por la contaminación y la escasez de petróleo reactivaron el interés por los autos eléctricos.

En la actualidad, existen otros tipos de autos eléctricos que son utilizados para transporte urbano dentro de algunas colonias Ciudad de México, este tipo de móviles han sido diseñados para uso deportivo en campos de Golf, sin embargo, su uso se ha extendido en la ciudad, principalmente por tener unas características de alto rendimiento y muy bajo presupuesto de operación. Sin embargo, este tipo de móviles son vulnerables a fallas, tal que, en el peor caso, sus motores se llegan a quemar y quedar inservibles, de tal manera que su reemplazo resulta ser de elevado costo tanto en su compra como en su importación. Por lo que surge la motivación de hacer un primer prototipo de auto eléctrico de este tipo, como una iniciativa de desarrollar tecnología propia. Existen varios desarrollos de este tipo, lo que se quiere es mostrar la aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera y mejorar algunas características de este tipo de autos, como medidor de velocidad digital y modo de control de velocidad automático.

Debido a que la Ciudad de México es uno de los lugares más contaminados de Latinoamérica, los principales generadores de gases de efecto invernadero son los medios de transporte, generan el 79 % de Dióxido de carbono ( $CO_2$ ), 86 % de carbono negro, sin embargo, los automóviles son la fuente principal de monóxido de carbono y existe un parque vehicular de 5 millones en la ciudad [3].

La utilización de los automóviles eléctricos presenta ventajas desde el punto de vista medioambiental, ya que permite disminuir el nivel de emisiones a la atmósfera (URL2). El 58 % de consumo de combustibles fósiles como Gasolina, Diésel, Gas natural, Gas LP, lo lidera el transporte público y privado en nuestra Ciudad [4].

La Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA) informa que durante los primeros meses del año 2018 la venta de autos eléctricos se ha mantenido en un rango de entre 3 y 5 autos por mes [5], es decir, se pone de manifiesto el cambio hacia una

conciencia ambiental a futuro.

Con la creación de este prototipo de auto se espera contribuir a la sociedad con un vehículo amigable con el ambiente, ya que al ser eléctrico se evita la emisión de contaminantes ambientales como el  $CO_2$  (Dióxido de carbono), así como la contaminación sonora, reducción de costos con la utilización de materiales reciclados para la construcción del chasis.

## 1.1. Planteamiento del problema

En vista de lo anterior, en esta tesis se propone que el uso de vehículos eléctricos, son parte de la solución del problema planteado, el automóvil eléctrico no interviene directamente en el aumento de la contaminación en las ciudades y por lo tanto en el crecimiento del efecto invernadero del planeta, uno de los factores que limita el uso de estos vehículos es el costo elevado de varias empresas automotrices, el consumo por parte de los ciudadanos no ha detonado el excesivo crecimiento que se esperaba sobre estos vehículos.

El auto prototipo que se propone en este proyecto es para un usuario, con una estructura de herrería rígida, ligera y hueca, tomando en cuenta el peso de los usuarios y el peso de los dispositivos electrónicos.

Se contará con tres baterías de 12 Voltios a 7 Amperios-Hora, tipo sellada de ácido conectadas en serie dando un voltaje de 36 Volts, voltaje necesario para activar el motor de corriente directa (CD) (AMETEK el cual funciona con un voltaje nominal de hasta 40 Volts y 15 Amp), en el diseño propuesto se pretende que se podrá elegir entre dos modos de operación, modo manual y modo automático, también tendrá un encoder para visualizar la velocidad con la cual avanzara el vehículo.

## 1.2. Objetivos generales

En este trabajo recepcional, se tiene por objetivo diseñar, construir y controlar un carro eléctrico accionado por un motor C.D. (Corriente Directa) de 36 Voltios (tipo carro de golf), que tenga dos modos de control velocidad, manual y automática mediante control PID (Controlador Proporcional, Integral y Derivativo).

## 1.3. Objetivos particulares

Diseño general del carro eléctrico completo en Solid Works.

Manufactura y construcción del carro eléctrico propuesto.

Elección del motor, motorreductor y engrane de transmisión

Diseño e implementación del control de velocidad manual y automática.

Diseño de puente H para el accionamiento de motor de Corriente Directa de 36 V

Pruebas de desempeño.

## 1.4. Organización de la tesis

En el segundo capítulo se da una breve introducción sobre el motor eléctrico, ventajas y desventajas que existen entre un motor eléctrico y un motor de combustión, se hablará de los componentes que constituyen a un vehículo 100% eléctrico y los componentes de un auto tipo Golf en la actualidad, lo cual nos ayudará a entender sobre el funcionamiento de los autos eléctricos.

El capítulo tres se trata del diseño realizado en la herramienta Solidworks y manufactura como, por ejemplo, chasis, asientos, base del motor del carro, así como también del sistema de dirección, sistema de trasmisión, el sistema de frenos y sistema de engranes. También se comentará sobre las partes del carro, como son: el asiento del carro, techo, banco de baterías y caja de control.

En el capítulo cuatro se hablará sobre los modos con que se maneje el carro eléctrico, modo manual y modo automático, ilustrando con diagramas de flujo los pasos que se deben de seguir para cada uno de los modos, así como una explicación breve de la programación en Arduino para cada uno de ellos.

El capítulo cinco trata sobre el diseño del hardware para el control del carro, se presentan los circuitos que se realizaron en Proteus del panel de control, el circuito de control del motor (etapa de potencia), así como la implementación física (tarjeta) de cada uno de ellos, también se mencionan componentes como el pedal, las baterías que se utilizaron, el Encoder Q9873 de resolución 400 ppr (pulsos por revolución) , el transistor bipolar de puerta aislada (IGBT), con los cuales se diseñó el auto eléctrico.

En el capítulo seis se habla de los resultados obtenidos a las pruebas realizadas al carro eléctrico en cada una de las partes diseñadas, modo manual y automático pruebas realizadas al panel de control, carga y descarga de baterías, tarjeta del control del motor, así como desempeño del carro con carga y sin carga. Con la ayuda de estos resultados obtenidos se podrá llegar a una conclusión y nos ayudará a establecer qué modificaciones o mejoras se pueden realizar para un mejor desempeño de carro.

En el capítulo siete se habla de las conclusiones a las que se llegaron del carro eléctrico, las conclusiones de los resultados de las pruebas del carro y las mejoras que se le pueden hacer en un futuro al carro eléctrico.

# Capítulo 2

## Autos eléctricos

Por definición un auto eléctrico es aquel que se impulsa con la fuerza que produce un motor o actuador alimentado por electricidad [6].

### 2.1. El motor eléctrico

Para los autos eléctricos hay diferentes tipos de motores eléctricos de corriente directa C.D y de corriente alterna C.A como: Motor Asíncrono o de Inducción (AC), Motor síncrono de imanes permanentes (AC), Motor síncrono de reluctancia conmutada o variable (AC), Motor sin escobillas de imanes permanentes (DC).

Un motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. El elemento conductor que tienen en su interior tiende a moverse cuando está dentro de un campo magnético y recibe corriente eléctrica.

### 2.2. Ventajas y Desventajas del motor eléctrico

#### 2.2.1. Ventajas del motor eléctrico en automóviles

- Un motor eléctrico no quema combustibles durante su uso, por lo que no emite gases a la atmósfera.

- Un motor eléctrico producido en serie es más compacto, más barato y mucho más simple que un motor de combustión interna. No necesita circuito de refrigeración, ni aceite, ni demasiado mantenimiento.

- Prácticamente no hace ruido al funcionar y sus vibraciones son imperceptibles.
- Funciona a pleno rendimiento sin necesidad de variar su temperatura. Al no tener elementos oscilantes, no necesita volantes de inercia ni sujeciones espaciales que lo aíslen del resto del auto. Al generar poco calor y no sufrir vibraciones su duración puede ser muy elevada.

- Un motor eléctrico no necesita cambio de marchas, exceptuando un mecanismo para distinguir avance o retroceso, que bien puede ser la inversión de polaridad del propio motor.

- Teóricamente un motor eléctrico puede desarrollar un par máximo desde 0 rpm, por lo que hace posible arrancar desde cero con una velocidad máxima.

- Una vez que se elimina la caja de cambios y la refrigeración, se abre la posibilidad de descentralizar la generación de movimiento, situando un pequeño motor en cada rueda en lugar de uno “central” acoplado a una transmisión. Lo que puede suponer una nueva distribución del espacio del auto.

- En cuanto a la eficiencia del motor eléctrico, ésta se sitúa alrededor del 90%. Por limitaciones termodinámicas un motor diesel se situaría en eficiencias de hasta un 40%, siendo éste superior a la eficiencia de un motor de gasolina.

- Resulta sencillo recuperar la energía de las frenadas (o parte de ella) para recargar las baterías (energía cinética), porque un motor eléctrico puede ser también un generador eléctrico.

- Otra gran ventaja del auto eléctrico es su proceso reversible. Esto quiere decir que de igual manera que carga su batería a través de la red eléctrica, el coche puede aportar también energía a la red eléctrica, de manera reversible. Este hecho se conoce como Vehicle 2 Grid [8].

- La energía eléctrica se puede obtener de muchas maneras ya sea eólica, nuclear,

térmica, a través de paneles fotovoltaicos (energía solar) o por medio de una instalación doméstica.

- En la Ciudad de México es común ver en plazas o parques centros de carga de energía para autos eléctricos. Estos pueden ser cargados por un lapso no mayor a media hora, lo cual evidencia la importancia que les está dando a los autos eléctricos en la actualidad

### **2.2.2. Desventajas del motor eléctrico en automóviles**

- La principal desventaja y la más importante es la autonomía que tiene el coche eléctrico sin conectarlo a la red. El hecho de que a los 100 o 120 kilómetros de viaje se tenga que recargar las baterías limita mucho a los usuarios. En cambio, con los motores de combustión el tiempo entre repostaje y repostaje es mucho más elevado. Aun así las marcas de coches trabajan para aumentar la autonomía de sus modelos y cada vez nos encontramos modelos con más autonomía.

- Otro inconveniente relacionado con la autonomía del vehículo es el tiempo de repostaje, ya que se requieren de horas para realizar una carga completa.

- Además, las baterías eléctricas tienen fecha de caducidad, ya que se degeneran con el uso y empiezan a tener menor capacidad de carga, así como el alto precio de las baterías.

- La necesidad de carga de los coches eléctricos hace que exista más demanda de electricidad proveniente de micro generadores o centrales eléctricas. A más demanda, más generación y más consumo de los recursos naturales.

## **2.3. Componentes que conforman un auto 100 % eléctrico**

Un auto eléctrico (Figura 2.1 ) básicamente se conforma de los siguientes componentes:

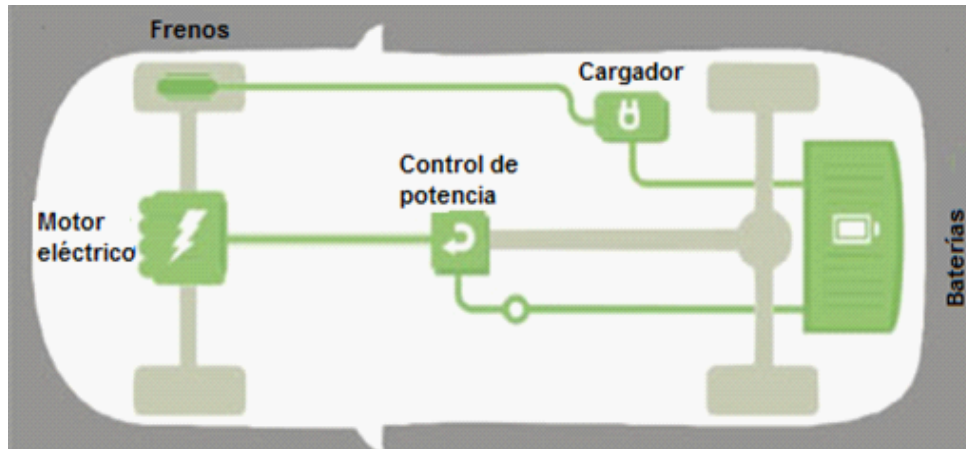


Figura 2.1. Componentes de un auto 100 % eléctrico. Tomada de [8].

Cargador.

El cargador o transformador convertidor es aquel elemento que absorbe la electricidad de forma alterna directamente desde la red de energía eléctrica y la transforma en corriente continua, para así poder cargar la batería principal.

Batería.

Las baterías de Litio-ion almacenan la energía que le cede el cargador en forma de corriente continua C.D. Esta batería principal es el medio por el que se alimenta todo el auto eléctrico.

Motor eléctrico.

Hay diferentes tipos de motores que se usa para el auto eléctrico como:

Los motores de corriente directa (DC): Transforman la energía eléctrica en energía mecánica, impulsan dispositivos tales como ventiladores, bombas, calandrias y carros. La característica de par o de momento de torsión – velocidad del motor es adaptada al tipo de carga que se tiene que impulsar.

Motor sin escobillas de imanes permanentes (BLDC): El motor funcionan a través de imanes permanentes localizados en el rotor y que se alimentan secuencialmente de cada fase del estator. Habitualmente, se conocen como “brushless”.

Motor Asíncrono o de Inducción (AC): El giro del rotor no va a la misma velocidad que el campo magnético que produce el estator. Este motor es ideal si buscas un costo

bajo, poco ruido o vibraciones y, además, un motor fiable y de la máxima eficiencia. Este tipo de motores requieren de un inversor

Motor síncrono de imanes permanentes (PMSM): Estos motores tienen un alto rendimiento, se controla la velocidad fácilmente y cuentan con poco peso y tamaño. En este caso, la velocidad del rotor, que es constante, sí corresponde con la del campo magnético producido por el estator. Este tipo de motores requieren de un inversor.

Motor síncrono de reluctancia conmutada o variable (SRM): Estos motores son robustos, cuentan con un alto par a baja velocidad. No necesitan escobillas ni imanes permanentes. En este caso la corriente se conmuta a través de las bobinas creando un campo magnético giratorio. Requieren control para realizar la conmutación.

Frenos.

Estos autos eléctricos (dependiendo del modelo) pueden auto cargarse con el frenado, la energía que se perdía en forma de calor se reconduce a un sistema que la convierte en energía eléctrica que podemos almacenar en una batería o acumulador y reutilizar más tarde.

Control de potencia.

Esta etapa regula y controla el nivel de voltaje de las baterías hacia el motor, así como la temperatura que generan los componentes.

Para que realice la función de control de potencia se necesitan circuitos para el control de los motores como un puente H, si es un Motor DC, inversores monofásicos e inversores trifásicos, convertidores DC -DC.

En la siguiente Tabla 2.1, se mencionan algunos modelos de autos eléctricos que se encuentran a la venta en la actualidad, se menciona qué tipo de motor usan, baterías, torque y potencia total del sistema, así como los precios en los que se venden estos autos eléctricos.

MODELO	TIPO DE MOTOR	BATERÍA QUE USAN	POTENCIA TOTAL SISTEMA / TORQUE QUE PROPORCIONA	PRECIO
<b>RENAULT TWIZY</b>	3CG eléctrico síncrono con rotor bobinado	Batería de iones de litio de 6.1 kWh	20 hp / 42 lib/pie	\$319,300
<b>ZACUA M2</b>	Motor eléctrico PMSM (Motor Control Permanent Magnet) Motor Síncrono de CA, sin escobillas.	Batería de iones de litio de 18 kWh	35 Kw /3750 rpm	\$460,520
<b>NISSAN LEAF</b>	Motor síncrono de 80 kW	Batería de iones de litio de 100 kWh	147 hp / 236 lib/pie	\$544,401
<b>TESLA</b>	Motor eléctrico trifásico de imán permanente	Batería de iones de litio	258 hp / 20 lib/[pie	\$700,000
<b>CHEVROLET BOLT EV</b>	Motor eléctrico de imán permanente	Batería de iones de litio de 60 kWh	200 hp / 266 lib/pie	\$806,300
<b>BMW i3</b>	Motor eléctrico de 130 kW	Batería de iones de litio de 33 kWh	170 hp / 184 lib/pie	\$879,900

Tabla 2.1. Autos eléctricos. Tomada de [9, 10, 11, 12,13, 14].

## 2.4. Componentes que conforman un auto híbrido

Un auto híbrido está compuesto por dos motores, un motor de combustión y uno eléctrico estos autos están diseñados para ahorrar combustible.

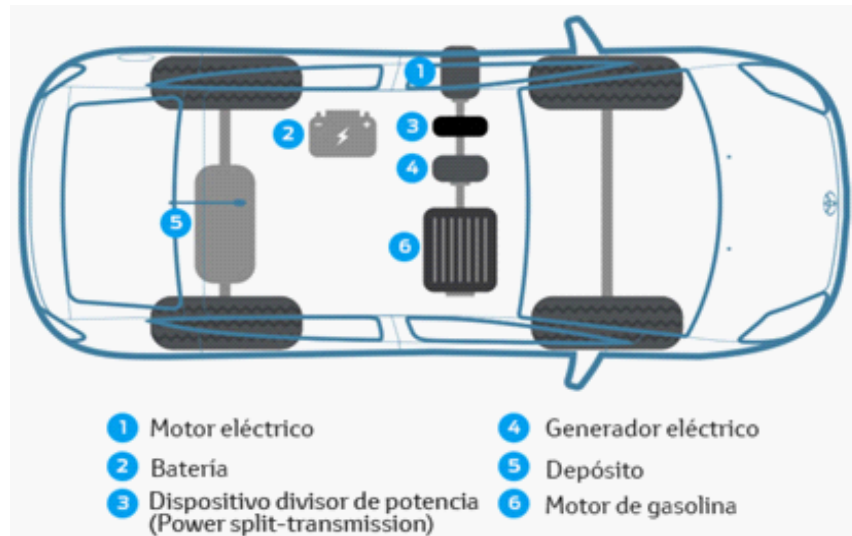


Figura 2.2 Componentes principales del auto híbrido Toyota. Tomada de [15]

Para poder entender el funcionamiento de los autos híbridos tenemos el ejemplo del auto de la compañía Toyota Yaris hybrid (ver Figura 2.2), cuando el auto se encuentra en marcha y la batería se empiezan a descargar, recurre a parte de la potencia del motor de combustión para recargarla. También se da el caso que el calor en vez de dejarlo disipar lo conduce hacia el motor eléctrico.

Este auto tiene los mismos componentes que un auto 100 % eléctrico, como el motor eléctrico, la batería, el control de potencia, etc. que se describieron en la sección anterior, la diferencia radica en que se tiene un motor de combustión y un depósito de combustible, en la actualidad se están diseñados autos híbridos que no necesiten de un cargador para poder recargar la batería, se está aprovechando el calor, la energía de fricción (frenos),

En la siguiente Tabla 2.2, se presentan algunos modelos de autos híbridos que se encuentran a la venta en la actualidad, se menciona qué tipo de motor usan, baterías, torque y potencia total del sistema, así como los precios en lo que se venden estos carros eléctricos.

MODELO	TIPO DE MOTOR	BATERIA QUE USAN	POTENCIA TOTAL SISTEMA HIBRIDO / TORQUE QUE PROPORCIONA	PRECIO
HONDA CIVIC HYBRID	Motor de gasolina 1.5 litros y Motor de Aleación de Aluminio	Baterías de iones de litio (Li-Ion)	110 hp / 127 lb/pie	\$361,900
HONDA CR-Z	Motor 1.5 litros y motor SOHC 4 cilindros en línea	Tiene 100,8 V y es de níquel e hidruro metálico	137 hp / 105 lb/pie	\$344,900
TOYOTA PRIUS HÍBRIDO	Motor de gasolina 1.8 litros y Motor térmico ciclo Atkinson	Tiene 201.6 V y es de níquel e hidruro metálico	121 hp / lb/pie	\$339,700
INFINITI Q50 HIBRID	Motor V6 3.5 litros que y Motor de Aleación de Aluminio	Baterías de iones de litio (Li-Ion)	Desarrolla 360 hp y 403 lb/pie de torque	\$719,900

Tabla 2.2. Carros híbridos. Tomado de [16, 17, 18, 19].

## 2.5. Componentes que conforman un auto tipo Golf

En la Figura 2.3 se muestra un diagrama general de los componentes de auto tipo Golf. Que consta de un motor eléctrico, 6 baterías conectadas en serie, sistema de transmisión, driver, sistema de dirección, motor eléctrico DC, cargador de baterías y panel de control.

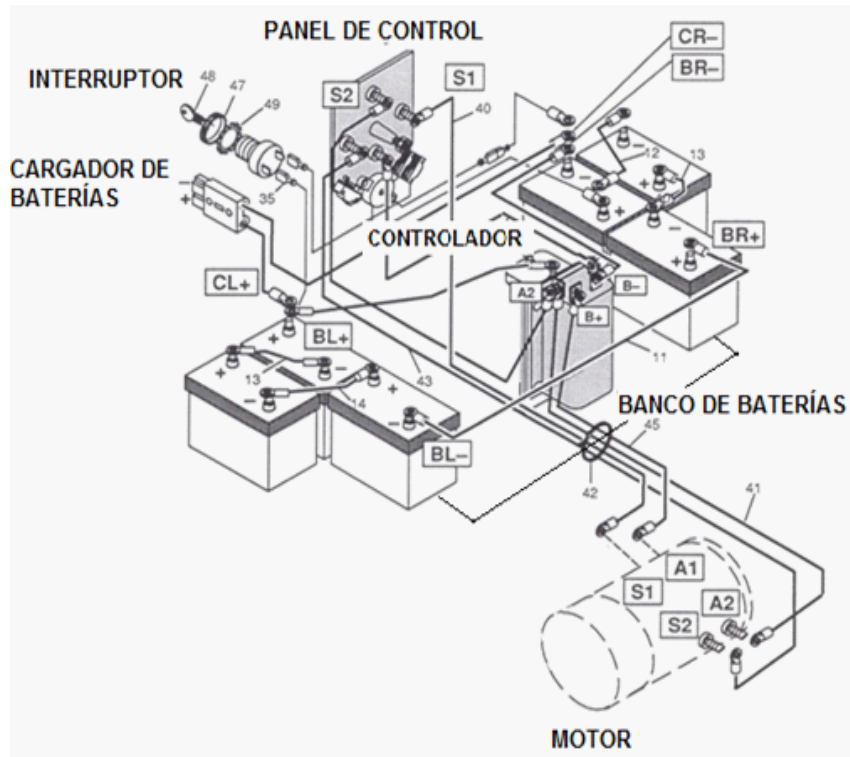


Figura 2.3 Diagrama eléctrico del EZGO Golf Cart. Tomada de [20]

Los carros de Golf EZGO tienen un costo en el mercado de \$ 320,000 pesos, este tipo de carros utilizan un circuito de control curtis, el cual provee un control regenerativo uniforme y perfecto de motores, una sección de potencia MOSFET de avanzada, combinado con un microprocesador haciendo que se tengan menos pérdidas en el motor y en la batería.

# Capítulo 3

## Diseño y construcción del carro eléctrico

En este capítulo se aborda el proceso de diseño y construcción del carro eléctrico, así como también de los sistemas de dirección, sistemas de transmisión, sistemas de frenos y sistemas de engranes. También trata sobre el desarrollo de las diferentes partes del auto, como son: asientos, banco de baterías, techo y caja de control.

Para el diseño se usó el software de diseño mecánico Solid Works, este sirve, para diseñar piezas mecánicas en 3D y ensamblar dichas piezas en el carro eléctrico. El objetivo del diseño en Solid Works, es facilitar la construcción de las piezas del auto eléctrico, tales como; chasis, asientos, techo, dirección y la base del motor. Las piezas se harán con materiales reciclados como perfiles, láminas y tubos de metal.

### 3.0.1. Diseño del auto eléctrico

SolidWorks es una aplicación de automatización de diseño mecánico que permite a los diseñadores industriales expresar las ideas y diseños con rapidez en esquemas, experimentar con operaciones y cota, producir modelos y dibujos detallados. Este documento analiza los conceptos y la terminología utilizados en toda la aplicación SolidWorks [21].

En esta ocasión utilizaremos este software para la realización de este proyecto, el cual

comenzaremos con las piezas principales y básicas de la construcción del carro eléctrico que ya han sido mencionadas en párrafos anteriores.

Las piezas son los bloques de construcción básicos en SolidWorks, los ensamblajes contienen piezas u otros ensamblajes, denominados sub-ensamblajes. Un modelo en SolidWorks consta de geometría en 3D que define sus aristas, catas y superficies. También permite diseñar modelos de forma rápida y precisa, estos modelos están definidos por un diseño en 3D y se basan en componentes [22].

Por otro lado, la idea que se tiene en la construcción de este carro es la reducción de costos en materiales, peso y tamaño, pues los autos eléctricos en la actualidad 2019, tienen un elevado costo y la gente no puede acceder fácilmente a ellos, ya que también son menos contaminantes que un auto de combustión. Así mismo el diseño fue enfocado a un tamaño más reducido que el de un carrito de golf, ya que no se quiere que sea grande para poder circular por calles reducidas y así evitar tráfico.

Con respecto al proyecto del carro eléctrico, utilizaremos la herramienta SolidWorks, con la cual se realizó el diseño a escala de cada una de las partes que integran al carro.

En la Figura 3.1 podemos ver el chasis, chumaceras, eje, llantas, sistema de dirección, volante, transmisión, motor, engranes, sistema de frenos, asiento (en este caso está pensado para una persona), techo, tablero de control, caja del controlador y banco de baterías.

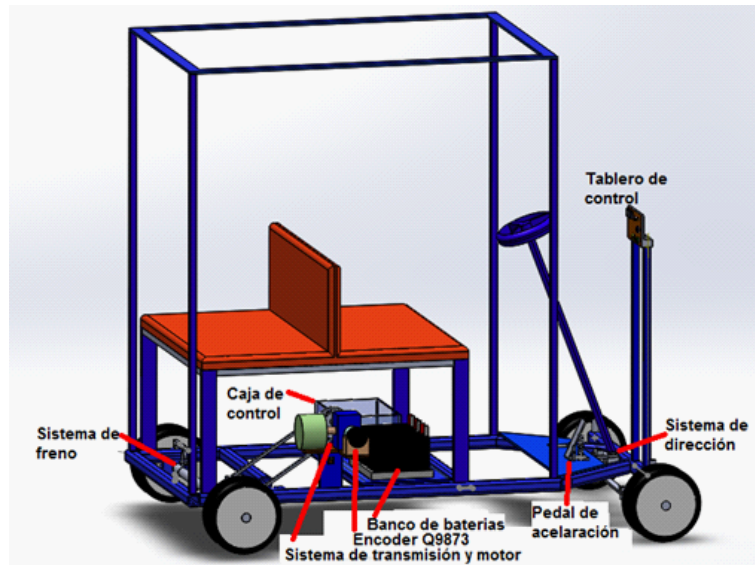


Figura 3.1: Diseño del auto eléctrico.

En la Figura 3.2 se muestra la base del carro eléctrico (chasis) es lo que sostiene a todas las partes del sistema en general, también se puede observar las dimensiones de largo y ancho de la base.

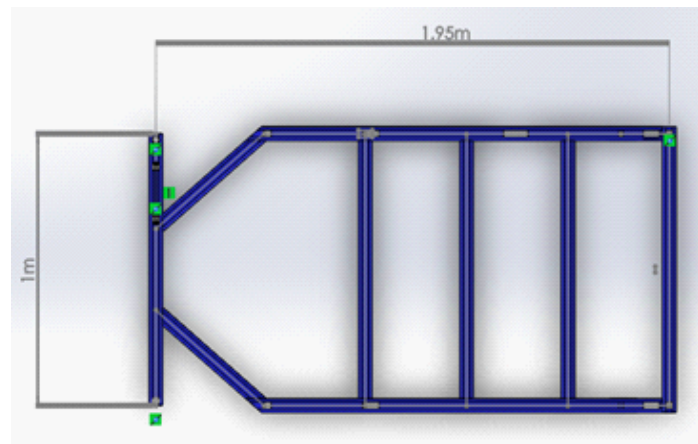


Figura 3.2: Dimensiones de la base o chasis.

La Figura 3.3 se observa un sistema de dirección basado en las direcciones mecánicas convencionales rígidas. Este sistema hace la función requerida, pero la dirección es dura, generando sea brusca al utilizarse, aunque es un sistema muy económico y fácil de construir.

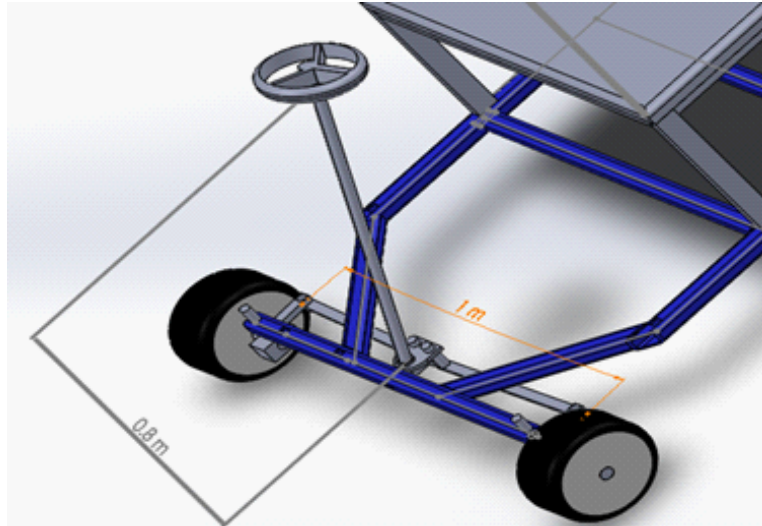


Figura 3.3 Sistema de dirección.

En la Figura 3.4 se muestra el motor conectado a una caja de transmisión con una relación de 10 vueltas del motor a 1 vuelta a la salida de la caja de transmisión, que a su vez va conectado con una cadena de paso 25, con dos engranes, uno de 2 pulgadas y otro de 4 pulgadas de paso 25, que hacen una relación de 2 vueltas de la caja de transmisión a 1 vuelta al eje trasero del carro eléctrico.

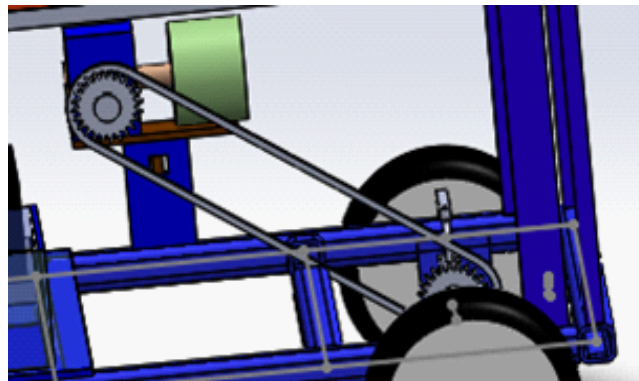


Figura 3.4 Sistema de transmisión, motor y engranes.

La Figura 3.5 hace referencia a las dimensiones del asiento de los usuarios y las dimensiones de la base del motor.

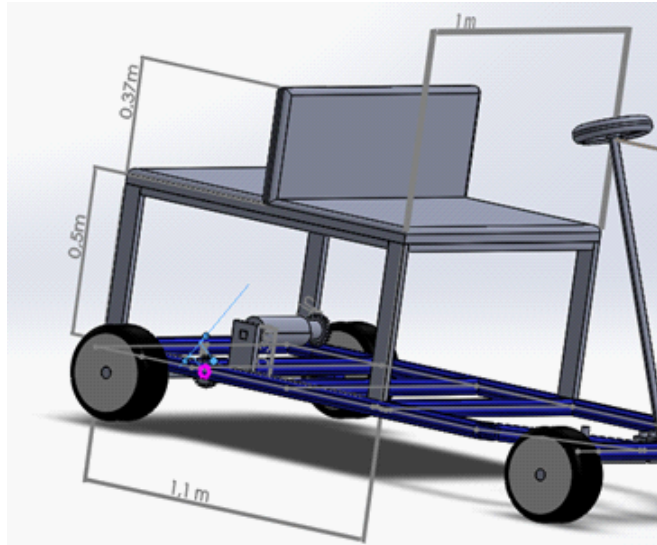


Figura 3.5 Dimensiones de asientos y base del motor.

En la Figura 3.6 se muestra el sistema de frenos, se utilizan frenos de disco mecánico de bicicleta que son operados por un cable, al igual que la gran mayoría de los frenos de llanta, los discos se ponen en el eje trasero para poder frenar la inercia del motor en cuanto se deje de acelerar, como se muestra en la imagen.

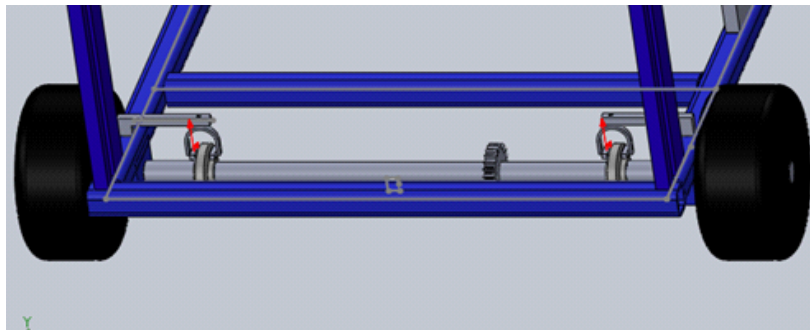


Figura 3.6: sistema de frenos.

La Figura 3.7 se muestra las dimensiones del techo del auto eléctrico, que consta de 4 tubos base para poder sostener el techo que cubrirá a los usuarios que se encuentren abordo.

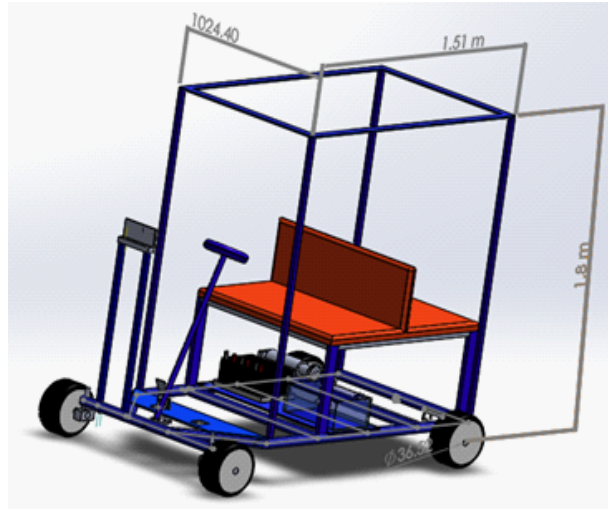


Figura 3.7 Dimensiones y medidas del techo.

En la Figura 3.8 se observa el tablero del control del carro eléctrico, en el tablero se encuentra una pantalla, 5 botones que son encendido y apagado, reversa y adelante, modo manual, modo automático, inicio del modo automático y una perilla para fijar la velocidad del modo automático que se mostrara en la pantalla.

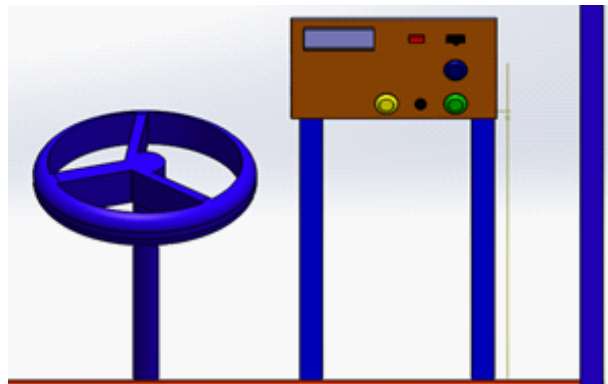


Figura 3.8 Tablero de control.

### 3.1. Construcción física de la estructura

El objetivo principal que tenemos para la construcción del carro eléctrico, es usar material reciclado como son: tubos de metal huecos y láminas, con la finalidad de que el costo del material de construcción no sea elevado.

Para la base del carro (chasis) se utilizó tubo de metal cuadrado y una lámina de metal para realizar el diseño que se hizo en Solid Works, se llevó con un herrero, para que cortara y soldara la estructura, se pusieron las chumaceras para poner el eje trasero del carro, como se muestra en la Figura 3.9.



Figura 3.9: base de auto (chasis).

Una vez teniendo el chasis del carro eléctrico se decidió que el asiento y techo sean desarmables para que no sea estorboso para el usuario, de igual manera las piezas fueron diseñadas previamente con la finalidad de que sean cortadas y soldadas por un herrero, la estructura completa se muestra en la Figura 3.10.



Figura 3.10 asiento y techo de auto eléctrico.

En la Figura 3.11. Se muestra la elaboración del sistema de dirección mecánica convencional y volante.

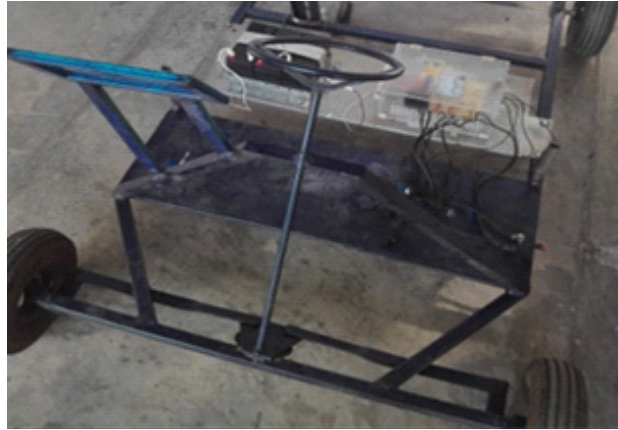


Figura 3.11. Sistema de dirección y volante

En la Figura 3.12 se muestra el banco de baterías que se conecta a la caja del controlador que es como si fuera el cerebro del auto eléctrico y así pueda realizar las funciones que se le fueron programadas.



Figura 3.12. Banco de Batería y caja de control.

En la Figura 3.13 se observa el tablero de control del carro eléctrico, que cuenta con una pantalla LCD, un interruptor de encendido y apagado, un interruptor para activar el sentido del carro (adelante o atrás), un botón arcade azul es para activar el modo manual

del carro, el botón arcade amarillo es para entrar al modo automático, un potenciómetro para fijar la velocidad en rpm del modo automático y el botón arcade verde es para iniciar el modo automático.

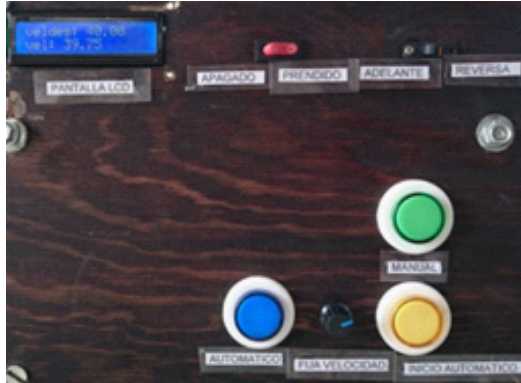


Figura 3.13 Tablero de control.

La Figura 3.14 se observa el carro eléctrico con todas sus partes principales, sistemas de dirección, transmisión y frenos, así como banco de baterías, caja de control, tablero de control, motor DC, asiento y techo.



Figura 3.14 Carro eléctrico.

### 3.1.1. Elección de Motorreductor y transmisión

Para aumentar el torque y disminuir el esfuerzo sobre el motor DC, es necesario el uso de un sistema de transmisión.

Para la transmisión del carro se usó, un motor reductor, dos catarinas, una de 4 pulgadas y otra de 2 pulgadas de paso 25 y una cadena de paso 25.

La transmisión del carro, será trasera, normalmente para reducir el esfuerzo del motor y aumentar el torque es necesario usar un motor reductor que no es más que un arreglo de engranes para reducir la velocidad del motor y aumentar el torque.

Se usó motorreductor Motovario, que tiene una relación 10 a 1. Es decir, va reducir la velocidad en 10 del motor, a la salida del motorreductor tendremos dos catarinas conectadas con una cadena de paso 25 y tendrá una relación 2 a 1.

Un tren de engranes, una placa o una banda sobre una polea son dispositivos mecánicos, que transfieren energía desde una parte del sistema a otra alternándose la fuerza, el par la velocidad y el desplazamiento. La inercia y la fricción de los engranes son despreciadas en el caso ideal siguiente [23]:

“La relación entre los pares ( $T_1$ ) Y ( $T_2$ ) los desplazamientos angulares ( $\theta_1$ ) y ( $\theta_2$ ) y los números de dientes ( $N_1$ ) y ( $N_2$ ) del tren de engranes se obtiene del siguiente hecho”.

1. El número de dientes sobre la superficie de los engranes es proporcional a los radios ( $r_1$ ) y ( $r_2$ ) de los engranes.

$$r_1 N_2 = r_2 N_1$$

2. La distancia sobre la superficie que viaja cada engrane es la misma, por lo tanto:

$$\theta_1 r_1 = \theta_2 r_2$$

3. El trabajo realizado por un engrane es igual al que realiza el otro engrane, ya que se supone que no hay pérdidas.

$$T_1 \theta_1 = T_2 \theta_2$$

En la práctica los engranes tienen inercia y fricción entre los dientes de los engranes acoplados que a menudo no se pueden despreciar. Es posible reflejar la inercia, fricción

compliance, par, velocity and displacement from one side of the gear train to the other. The following quantities are obtained when they are reflected from gear 2 to gear 1:

$$\text{Inercia: } \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 J_2$$

$$\text{Desplazamiento: } \frac{N_1}{N_2} \theta_2$$

Bands and chains allow energy transfer over a longer distance without using an excessive number of gears. Figure 3.15 shows the diagram of a chain or band between two pulleys.

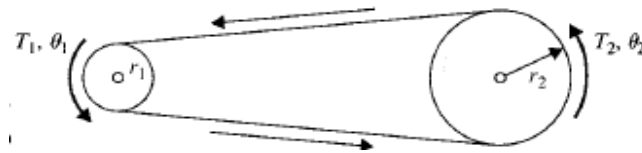


Figura 3.15 Diagrama de cadena o banda. Tomada de [23].

In Figure 3.16, a motor is connected to a gearbox with a ratio of 10 motor revolutions to 1 output revolution. The gearbox is also connected to a chain with a pitch of 25 and two gears, one of 2 inches and the other of 4 inches of pitch 25, which makes a ratio of 2 revolutions of the gearbox to 1 revolution of the rear shaft.

The final gear ratio is, 20 revolutions of the motor to 1 revolution of the rear shaft.

$$\frac{1}{10} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{20}$$

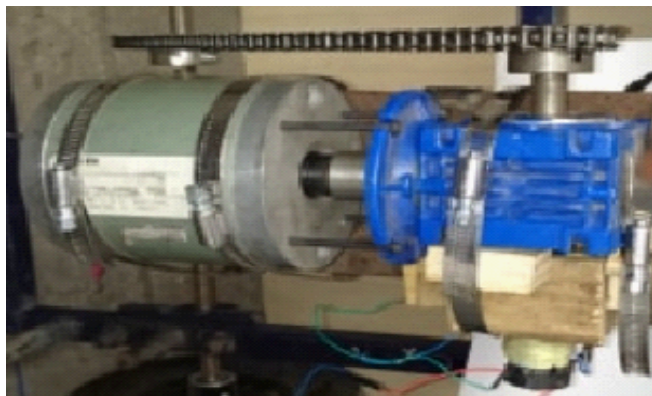


Figura 3.16 Transmisión de auto eléctrico y base motor.

## **3.2. Costos y Materiales**

Para hacer un diseño de bajo costo del carro eléctrico para los usuarios, es necesario buscar componentes económicos y eficientes, ya que una de las principales características u objetivos de los fabricantes son los costos de los materiales, para que con un presupuesto bajo se pueda realizar el diseño del carro eléctrico, la construcción del carro y sus sistemas como banco de baterías, controlador, tablero de control, transmisión y frenos.

En la siguiente Tabla 3.1 Se presentan los costos y materiales utilizados en la construcción del carro eléctrico.

MATERIAL	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO
Estructura de carro eléctrico	Estructura metálica	1	\$1000
Baterías	Mitsu MBR-1005	4	\$1300
Motor C.D	Motor C.D 40voltios	1	\$1500
Llantas y eje trasero	Llantas Delanteras y traseras	4	\$900
	Eje trasero	1	
Cableado	Cable alta corriente	4m	\$50
	Cable baja corriente	10m	\$50
Tablero de control	Contiene: 2 switch, 3 botones arcade, 2 potenciómetros, borneras, resistencias y una pantalla LCD	1	\$500
Chumaceras	Para sostener eje trasero	2	\$300
Arduino uno	Tarjeta programable	1	\$200
Sistemas de transmisión	2 catarinas paso 25	1	\$500
	Cadena paso 25		
Sistema de frenado	Frenos de disco mecánico para bicicleta	1	\$800
Driver	Contiene 4 IGBT, 2 PC817, 8 capacitores, resistencias, borneras y 4 disipadores.	1	\$800
Encoder Q9873 de resolución 400 ppr	Mide velocidad	1	\$300
Cargador para baterías	Carga baterías de 12 voltios	1	\$200
Sistema reductor	Caja de engranes (transmisión)	1	\$1600
<b>TOTAL</b>			<b>\$9900</b>

Tabla 3.1 Costos y Materiales.

# Capítulo 4

## Diseño del sistema de control manual y automático

En este capítulo se describen los dos modos de velocidad que se requieren para controlar el carro eléctrico. Así como el procedimiento que se tuvo que realizar para los modos manual y automático, para el funcionamiento del carro. A lo largo del capítulo se podrá apreciar los diagramas de flujo y fotos, que nos expone los pasos de cómo funciona cada botón y formula para que el conductor pueda utilizar el carro de manera simple y conociendo cada pieza que lo compone y como ayudaron a realizar el proyecto; no solo con esto si no con los programas que nos permitieron desarrollar nuestro trabajo.

En el control de velocidad en modo manual tiene el objetivo de que la velocidad rpm (revoluciones por minuto) pueda ser controlada por el conductor por medio de un potenciómetro, así como controlar la reversa de este mismo. Con el mismo potenciómetro se buscó obtener la modulación ancho de pulso pwm (siglas en ingles pulse-width modulation).

En el control de velocidad en modo automático, tiene el objetivo de hacer un control en lazo cerrado con el cual el conductor pueda elegir la velocidad deseada del carro sin necesidad de usar el pedal de aceleración. El sistema de control se manda el ancho de pulso a un puente H necesario para alcanzar la velocidad deseada.

## 4.1. Diagrama general de máquina de estados

Para la elaboración del programar lo primero que se hizo fue una máquina de estados esto nos sirve para que el código sea más eficiente, más fácil de depurar y ayudan a organizar el flujo del programa. En la Figura 4.1 se muestra el diagrama de máquina de estados que se usó.

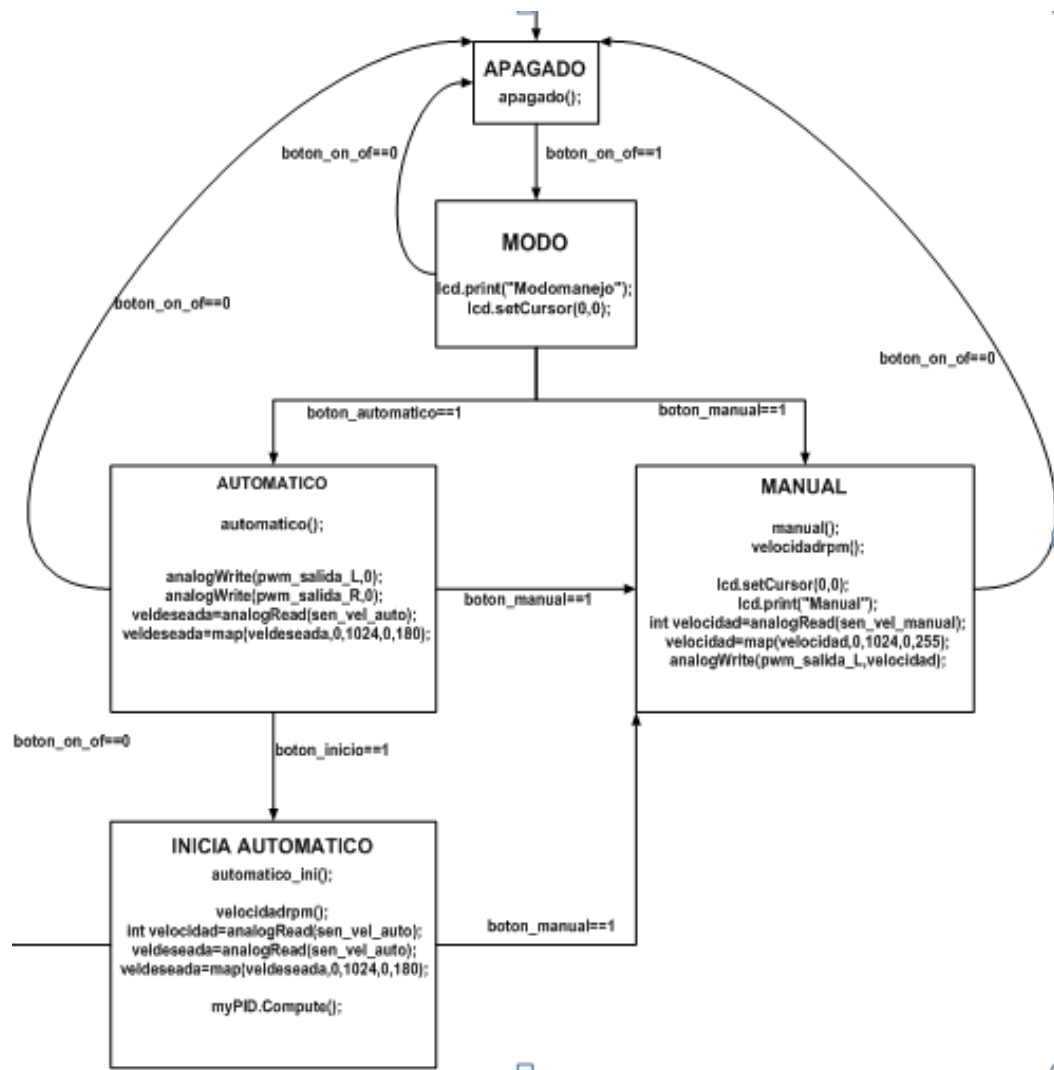


Figura 4.1 Diagrama de maquina de estados.

**Apagado:** Este estado se usa para apagar cuando el botón `_on_off==0`, que se puede apagar desde cualquier estado del sistema, para prender el sistema es cuando el botón `_on_off==1` y pasa al siguiente estado.

Modo: Este estado se encarga de elegir el "modo manejo", si el botón `_manual==1` se va a modo manual y si el botón `_automatico==1` se va a modo automático.

Manual: Este estado hace que el usuario tenga control de la velocidad rpm (revoluciones por minuto), en cualquier sentido del motor C.D (corriente directa).

Automático: En este estado el usuario establece una velocidad deseada rpm (revoluciones por minuto) que se muestra en una pantalla LCD. Otra ventaja es que si el usuario quiere pasar al modo manual solo tiene que poner el botón `_manual==1`.

Inicia Automático: En este estado cuando el botón `_inicio==1`, entra el control PID para mantener la velocidad a la que el usuario elegio, también tiene la ventaja de pasar al modo manual solo tiene que poner el botón `_manual==1`.

## 4.2. Modo manual

El control de auto en modo manual es un control en lazo abierto, en el cual el usuario, por medio de un potenciómetro controla el ancho de pulso que se entrega a un puente H para regular la velocidad del motor C.D

Para usar el modo Manual, en el auto primero se hizo un tablero para que el usuario tenga la opción de usar el modo que le agrada, si la opción fue modo Manual entonces el objetivo de este modo es que la velocidad rpm sea controlada por el usuario por medio de un potenciómetro y también tiene la opción de ir de reversa controlada por el mismo potenciómetro.

El modo Manual se controla por medio de un ancho de pulso PWM, este pulso controla la velocidad que desea el conductor por medio de un potenciómetro como si fuera el pedal del carro, en este caso tenemos dos variables de salida PWM, la primera se llama `pwm_salida_L` y la segunda salida se llama `pwm_salida_R`.

La función de este modo es de la siguiente forma si el botón de reversa está en alto +5V el carro hace la función de reversa, ya que la salida `pwm_salida_L` sale una señal PWM y la salida `pwm_salida_R` tiene un bajo +0V, pero si en el botón de reversa se

encuentra en bajo +0V, el carro hace la función de avanzar hacia adelante, ya que la salida pwm\_salida\_R sale una señal PWM y la salida pwm\_salida\_L en bajo +0V. La velocidad se muestra en la pantalla LCD del tablero del carro y es medida por medio de un Encoder Q9873 de resolución 400 ppr (pulsos por revolución).

Para tener una idea detallada del modo manual se realizó un diagrama de flujo, que se muestra en la Figura 4.2, en dicha imagen observamos los pasos que se deben de seguir para activar el modo manual de carro electrico desde el inicio.

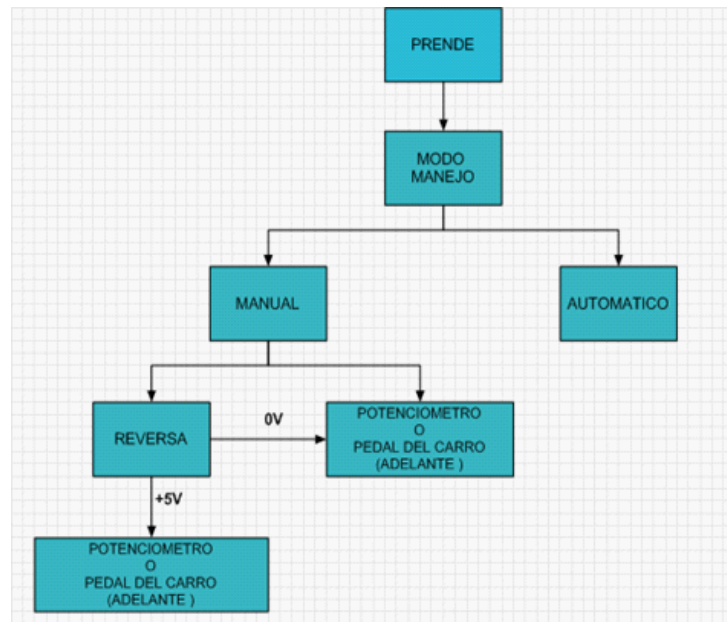


Figura 4.2: Diagrama de flujo modo manual.

#### 4.2.1. Pasos a seguir Modo manual

1. En la LCD se despliega la leyenda apagado.
2. Se Activa Interruptor de encendido y apagado para prender +5V.
3. Se despliega en la LCD la leyenda "modo manejo".
4. Se presiona botón verde para modo manual.
5. En la LCD se va a desplegar la velocidad en rpm a la que usted prefiera ir en el carro esto se realiza por medio del pedal o potenciómetro.

6. Si necesita ir en reversa tendrá que poner la velocidad en cero rpm y activar el Interruptor negro +5V.
  7. De igual manera en la LCD se va a desplegar la velocidad en rpm y se va a controlar por medio del mismo pedal o potenciómetro.
  8. Para desactivar el auto se tiene que poner el interruptor en +0V.
- A continuación, se muestra en la Figura 4.3 el código en Arduino, que se realizó para la parte del Modo Manual.

```

//////////////////////////////////// MODO MANUAL //////////////////////////////////////
void manual(){
  lcd.setCursor(0,0);           // Posición donde desplegara mensaje
  lcd.print("Manual");         // escribe en la LCD

  int velocidad=analogRead(sen_vel_manual); // Manda la medición de la velocidad
  velocidad=map(velocidad,0,1024,0,255);

  if(digitalRead(boton_reversa)==HIGH) // si reversa esta en 5V sigue el if
  // si reversa esta en bajo 0v se va al else
  {
    analogWrite(pwm_salida_L,velocidad); // manda un alto 5V y activa pwm_salida_L
    digitalWrite(pwm_salida_R,LOW);     // se le manda un 0V para desactiva pwm_salida_R
  }

  else

  {
    analogWrite(pwm_salida_R,velocidad); // manda un alto 5V y activa pwm_salida_R
    digitalWrite(pwm_salida_L,LOW);     // se le manda un 0V para desactiva pwm_salida_L
  }
}

```

Figura 4.3 Programa modo manual.

### 4.3. Modo Automático

El control de auto en modo automático es un control en lazo cerrado en el cual el usuario puede elegir la velocidad con la cual quiere que valla el auto sin necesidad de usar el pedal de aceleración, ya que con la velocidad deseada el ancho de pulso que se entrega a un puente H para motor DC tenga una velocidad constante.

Para usar el modo automático en el carro primero se hizo un tablero para que el usuario tenga la opción de usar el modo que le agrada, si la opción fue modo automático entonces el objetivo del modo automático es que el usuario proponga una velocidad en rpm con

la que quisiera ir en el carro y al elegir la velocidad por medio de un potenciómetro, que está el tablero que se muestra en la pantalla LCD, el siguiente paso es apretar el botón para que inicie el modo automático, para que este modo automático se use tenemos que hacer un control PID.

En este caso tenemos dos variables de salida pwm, la primera se llama `pwm_salida_L` y la segunda salida se llama `pwm_salida_R`.

La función de este modo es de la siguiente forma, si el botón de reversa está en alto +5V el carro va hacer la función de reversa, ya cuando se allá fijado la velocidad que se mostrara en la pantalla LCD para que se realiza la siguiente función, se tiene que la salida `pwm_salida_L` sale una señal PWM y la salida `pwm_salida_R` tiene un bajo +0v. Ya teniendo la velocidad fija y las salidas pwm, se activa el botón de inicio automático para que el carro avance en reversa.

Pero si el botón de reversa estas en bajo +0V el carro va hacer la función de ir hacia adelante, ya cuando se allá fijado la velocidad que se mostrara en la pantalla LCD para que se realice la siguiente función se tiene que la salida `pwm_salida_R` sale una señal PWM y la salida `pwm_salida_L` tiene un bajo +0V, teniendo la velocidad fija y las salidas pwm, se activa el botón de inicia automático para que el carro avance hacia adelante.

La velocidad rpm deseada y la medida por el Encoder Q9873, se muestra en la LCD del tablero del carro, para comprobar que la velocidad medida sea igual a la deseada por el usuario.

Para tener una idea detallada del modo automático se realizó un diagrama de flujo que se muestra en la Figura 4.4, en dicha imagen observamos los pasos que se deben de seguir para activar el modo automatico del carro electrico desde el inicio.

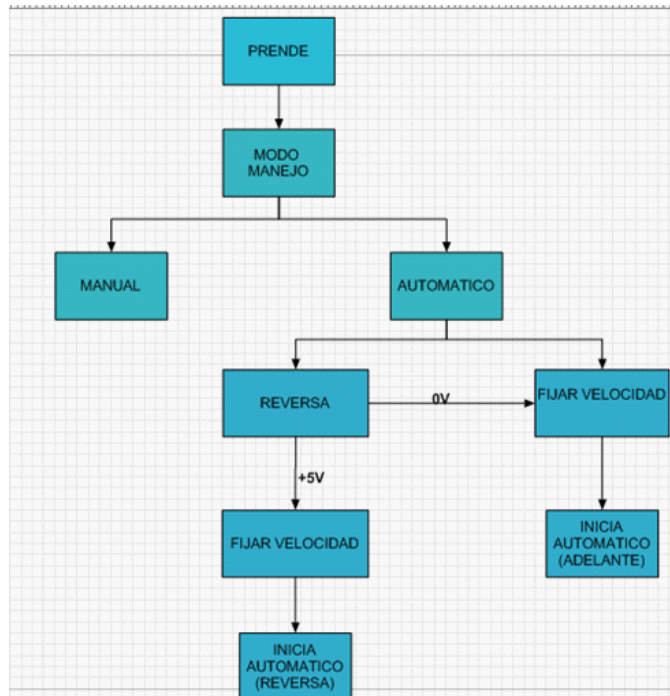


Figura 4.4 Diagrama de flujo modo automático .

#### 4.3.1. Pasos a seguir Modo automático

1. En la LCD se despliega leyenda apagado.
2. Activa Interruptor para prender +5v.
3. Se despliega en la LCD *-modomanejo*.
4. Se presiona botón azul para modo automático
5. En la LCD se desplegará la velocidad deseada y la velocidad medida por el Encoder Q9873
6. Para fijar la velocidad deseada se usará el potenciómetro que está en el tablero a lado del botón azul.
7. Para que el carro se empiece a moverse tendrá que presionar el botón amarillo de iniciar modo automático.
8. Si necesita ir en reversa tendrá que presionar el botón azul (automático), fijar la velocidad en 0 rpm y activar interruptor negro +5v.

9. De igual manera en la LCD se va desplegar la velocidad deseada en rpm y la velocidad del encoder Q9873.

10. Para que el carro se empiece a moverse en reversa tendrá que presionar el botón amarillo de iniciar modo automático.

11. Para desactivar el auto se tiene que poner en Interruptor en +0v.

En la Figura 4.5. nos muestra la importación de la librería PID y su configuración con sus respectivas ganancias.

```
/////////////////////////////////CONTROL PID GANACIAS ////////////////////////////////////////  
  
double rpm,error,Output,veldeseada;           // variables rpm, error, velocidad deseada almacenadas  
double Kp=0, Ki=0.05, Kd=0;                   // ganancias del control PID almacenadas  
  
extern volatile unsigned long timer0_millis;   // contador en milisegundos  
unsigned long new_value = 0;  
  
PID myPID(&rpm, &Output, &veldeseada, Kp, Ki, Kd, DIRECT); // configuracion de la biblioteca PID
```

Figura 4.5 Programa del control PID.

A continuación, se muestra en la Figura 4.6 el código en Arduino que se realizó para la parte del Modo Automático.

```
///////////////////////////////// MODO AUTOMATICO ////////////////////////////////////////  
  
void automatico(){  
  
  analogWrite(pwm_salida_L,0);                 // salida pwm_salida_L en 0 no esta activada  
  analogWrite(pwm_salida_R,0);                 // salida pwm_salida_R en 0 no esta activada  
  
  veldeseada=analogRead(sen_vel_auto);         // lee velocidad de deseada  
  veldeseada=map(veldeseada,0,1024,0,255);  
  
  lcd.setCursor(0,0);                          // escribe la velocidad  
  lcd.print("Escoje velocidad");              // se escoje la velocidad deseada  
  lcd.setCursor(8,1);                           // posicion donde escribe la velocidad deseada  
  lcd.print(veldeseada);  
  
}  
  
void automatico_ini(){  
  
  velocidadrpm();  
  int velocidad=analogRead(sen_vel_auto);      // lee velocidad de sensor  
  veldeseada=analogRead(sen_vel_auto);         // le velocidad deseada  
  veldeseada=map(veldeseada,0,1024,0,255);  
  
  myPID.Compute();                             // se activa el control pid  
  if(digitalRead(boton_reversa)==HIGH)        //si reversa esta en 5V sigue el if  
  {  
    analogWrite(pwm_salida_L,Output);         //manda un alto 5V y activa pwm_salida_L  
    digitalWrite(pwm_salida_R,LOW);           //manda un bajo 0V y desactiva pwm_salida_R  
  }  
  
  else                                         //si reversa esta en bajo 0v se va al else  
  {  
    analogWrite(pwm_salida_R,Output);         //manda un alto 5V y activa pwm_salida_R  
    digitalWrite(pwm_salida_L,LOW);           //manda un bajo 0V y desactiva pwm_salida_L  
  }  
  
  lcd.setCursor(0,0);                          // se escribe en la lcd  
  lcd.print("veldes:");                        // se escribe en la lcd  
  lcd.setCursor(8,0);                           // posicion donde escribe la lcd  
  lcd.print(veldeseada);  
  
}
```

Figura 4.6 Programa modo automático.

## 4.4. Diseño Control PID del motor DC para el modo automático

Para el control automático usamos un controlador PID, ya que teniendo el modelo del sistema en este caso del motor se puede usar una herramienta de sintonización para encontrar las ganancias usando Matlab.

El controlador PID es una implementación simple de la idea de realimentación. Tiene la capacidad de eliminar el error en estado estacionario mediante la acción integral, y puede mejorar la estabilidad con la acción derivativa. Los controladores PID, son útiles para muchos problemas de control. Los controladores PID se encuentran en un gran número en las industrias y se presentan de muchas formas diferentes.

El control PID se va a utilizar como mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación nos va a permitir regular la velocidad del motor DC.

Consideremos un lazo de control de una entrada y una salida de un grado de libertad como se muestra en la Figura 4,7;

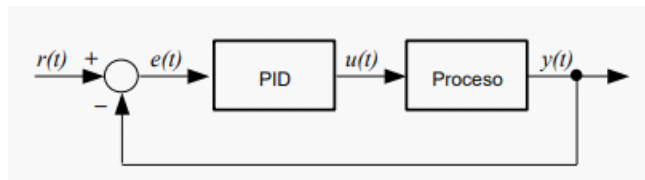


Figura 4.7 Diagrama en bloques del control PID. Tomada de [23]

El algoritmo teórico elemental del controlador PID es:

$$u(t) = K \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Figura 4.8 Algoritmo elemental del control PID. Tomada de [24]

donde  $u$  es la señal de control y  $e$  es el error de control ( $e = y_{sp} - y$ ). La señal de control es así una suma de tres términos: el término P (que es proporcional al error), el

término I (que es proporcional a la integral del error), y el término D (que es proporcional a la derivada del error). Los parámetros del controlador son la ganancia proporcional K, el tiempo integral  $T_i$ , y el tiempo derivativo  $T_d$ . [24]

La función que tiene el control proporcional es que el error permanente disminuye, la velocidad de respuesta aumenta y el sobre- pico aumenta. El control integral hace que el error se elimine, la estabilidad empeore y el sobre - pico aumenta. El control derivativo hace que la estabilidad mejore, el sobre - pico disminuye y La velocidad de respuesta aumenta.

En nuestro caso el control PID calculara el ancho de pulso de la señal PWM hacia la tarjeta de control, en función del error de velocidad, el error de velocidad está dado por la diferencia entre la velocidad deseada y la velocidad medida, como se muestra en la Figura 4.9.

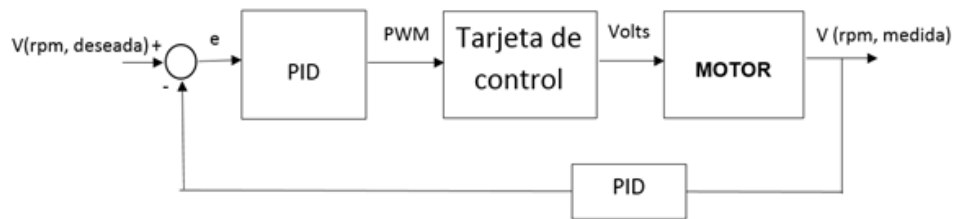


Figura 4.9 Diagrama de control.

#### 4.4.1. Identificación experimental de parámetros de un motor DC

El objetivo de esta sección es obtener los parámetros de la función de transferencia, midiendo el voltaje de alimentación, y la velocidad rpm del motor.

Para medir la velocidad rpm del motor usamos un encoder Q9873 de resolución 400 ppr (pulsos por revolución), anclado al rotor como se muestra en la Figura 4.10.

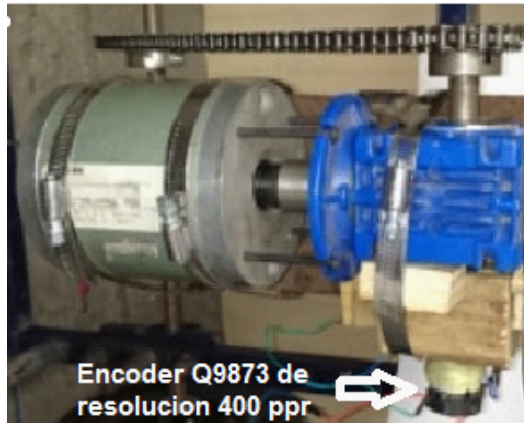


Figura 4.10 Encoder Q9873.

#### 4.4.2. Medición de velocidad

Para medir la velocidad con el encoder Q9873, usamos la tarjeta Arduino uno.

Se usó un tacómetro para ver que la medición fuera correcta.

El objetivo de este programa es medir la velocidad rpm y enviar vía serial al computador.

Se realizó el experimento y se verificó que la medición que da nuestro programa es correcta comparada con el tacómetro.

Para obtener la función de transferencia del sistema y las ganancias utilizamos los siguientes datos obtenidos experimentalmente:

El arreglo experimental es sencillo

1. Se fija el motor C.D.
2. Se monta el encoder Q9873 al eje del motor C.D. de 36V.
3. La salida del encoder Q9873, está conectado al Arduino y este está conectado a la PC.
4. Se inicia la captura de datos vía serial usando el programa Realterm.
5. Se conecta el motor a una fuente de 36 V.

### 4.4.3. Procesamiento de datos

Se abre el archivo donde se guardan los datos (Ver tabla 4.1)

Se agrega una columna con los valores de la entrada (en este caso el voltaje de entrada fue de 36 V).

<b>Tiempo</b>	<b>Velocidad (rpm)</b>	<b>Voltaje</b>
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>36</b>
<b>2</b>	<b>1120</b>	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>1140</b>	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>1140</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>8</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>9</b>	<b>1140</b>	<b>36</b>
<b>10</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>11</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>12</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>13</b>	<b>1140</b>	<b>36</b>
<b>14</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>15</b>	<b>1140</b>	<b>36</b>
<b>16</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>17</b>	<b>1140</b>	<b>36</b>
<b>18</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>19</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>20</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>21</b>	<b>1140</b>	<b>36</b>
<b>22</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>23</b>	<b>1140</b>	<b>36</b>
<b>24</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>25</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>26</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>27</b>	<b>1080</b>	<b>36</b>
<b>28</b>	<b>1140</b>	<b>36</b>

Tabla 4.1 Parámetros obtenidos de Velocidad (rpm) vs Voltaje.

Se cargan los datos del txt a Matlab y Se usó la herramienta (Opening System Identification Tool), para encontrar la función de transferencia.

La Ecuación 1 nos muestra la función de transferencia que más se aproxima a los datos es:

$$G(s) = \frac{W(s)}{V(s)} = \frac{1.721e^4}{s^2 + 299.8s + 561.2}$$

Ecuación 1

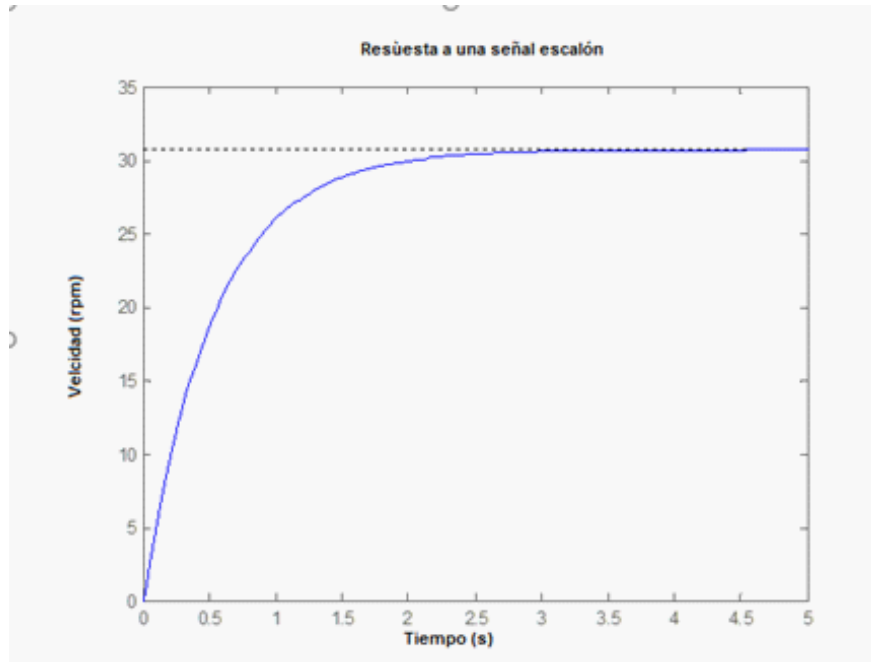


Figura 4.11 respuesta a la señal escalón.

La Figura 4.11 nos representa que la salida del sistema es la velocidad angular y la entrada es el voltaje en la armadura y que en la gráfica se muestra la respuesta a la señal escalón. De la que interpreta que si al motor le aplicáramos una señal escalón alcanzaría una velocidad de 30 rpm en un tiempo de 3 seg.

Es decir nuestro motor en lazo abierto con voltaje de 36 volt, alcanzara una velocidad de 1080 rpm sin carga.

En la figura 4.12 se muestra que a la salida del motor se conecta a un motorreductor con una relación 10:1 y a la salida de motorreductor se va a conectar a una sistemas de engranes con una relación 2:1.

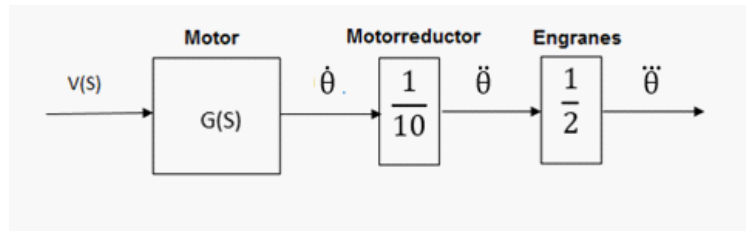


Figura 4.12 sistema de transmisión.

En la figura 4.13 se muestra que a la salida del motorreductor se colocó el encoder Q9873 de resolución 400 ppr (pulsos por revolución) para medir la velocidad del carro eléctrico y poder hacer las mediciones para poder obtener las ganancias del control PID.

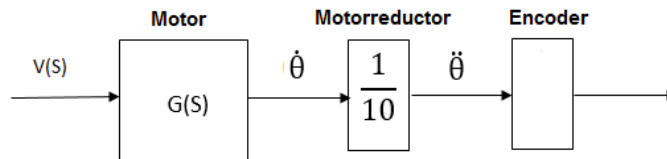


Figura 4.13 sistema para medir velocidad.

En la Ecuación 2 se observa la función de transferencia multiplicada por la relación del motorreductor, ya que el encoder se puso a la salida del motorreductor, y queda de la siguiente manera.

$$G(s) = \frac{17210}{10s^2 + 2998s + 5612}$$

Ecuación 2.

#### 4.4.4. Cálculo de Ganancias del control PID

Para el cálculo de las ganancias PID se utilizó la herramienta PID Tuner de Matlab, como se observa en la Imagen 4.14, la cual es una interfaz gráfica en la cual se puede importar la función de transferencia e indicar los parámetros de desempeño como tiempo de asentamiento y sobrepaso, y algoritmo calcula las ganancias PID para lograr el objetivo.

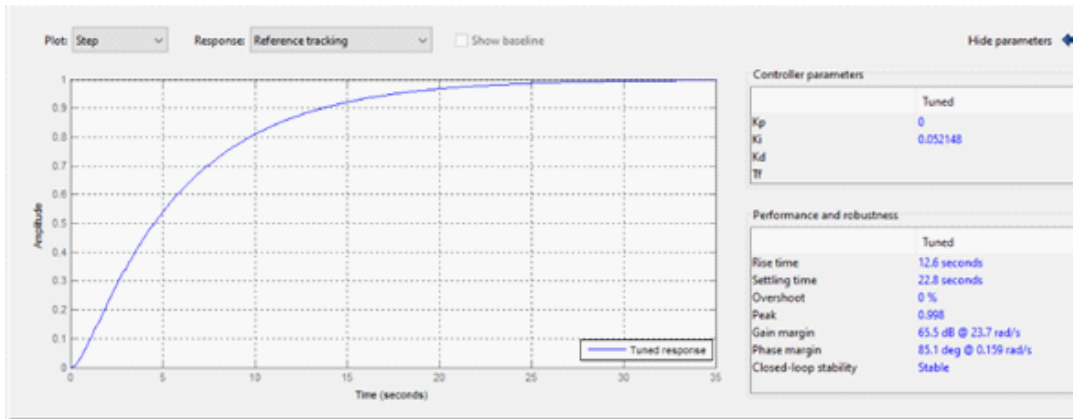


Figura 4.14 PID tuner.

Escogiendo un tiempo asentamiento de 22.8 seg. y un porcentaje de sobrepaso de 0 % se obtuvieron las siguientes ganancias:

Ki	Kp	Kd
0	0.05	0

Las ganancias que se obtuvieron anteriormente se colocan en el programa en la parte del control PID como se muestra en la Figura 4.15.

```

/////////////////////////////////CONTROL PID GANACIAS ///////////////////////////////////

double rpm,error,Output,veldeseada;           // variables rpm, error, velocidad deseada almacenadas
double Kp=0, Ki=0.05, Kd=0;                   // ganancias del control PID almacenadas

extern volatile unsigned long timer0_millis;  // contador en milisegundos
unsigned long new_value = 0;

PID myPID(&rpm, &Output, &veldeseada, Kp, Ki, Kd, DIRECT); // configuracion de la biblioteca PID

```

Figura 4.15 Control PID Ganancias.

Obteniendo la función de transferencia y las ganancias del sistema, usamos la herramienta Simulink de Matlab para hacer un diagrama de bloques con la finalidad de obtener la respuesta a lazo cerrado de una señal escalón unitario para observar el comportamiento del control PID.

En la Figura 4.16 se muestra el diagrama de bloques del control PID, se observa la señal escalón unitario, el controlador PID, la función de transferencia y el To workspace, este último nos sirve para obtener la gráfica del control PID en lazo cerrado.

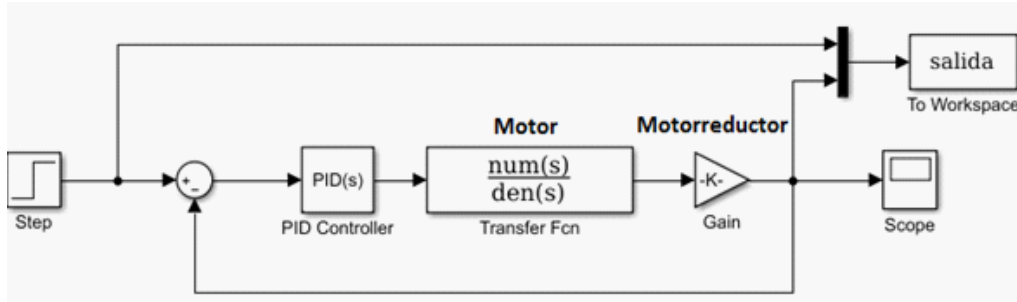


Figura 4.16: Diagrama de bloques del control PID.

En la Figura 4.17 se observa, como se agrega las ganancias del sistema al control PID del diagrama de bloques.

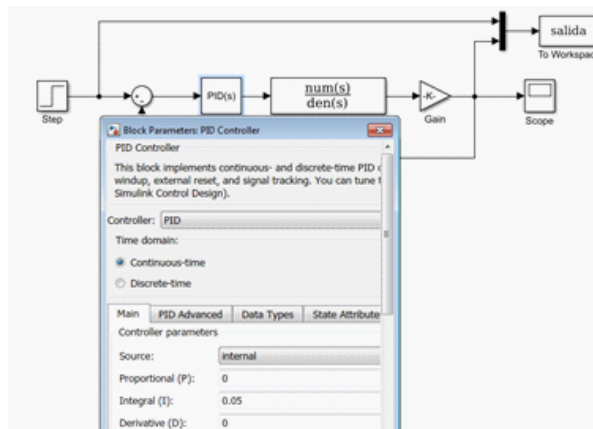


Figura: 4.17 Ganancias del control PID.

En la Figura 4.18 se observa, como se agrega la Función de transferencia del sistema al diagrama de bloques.

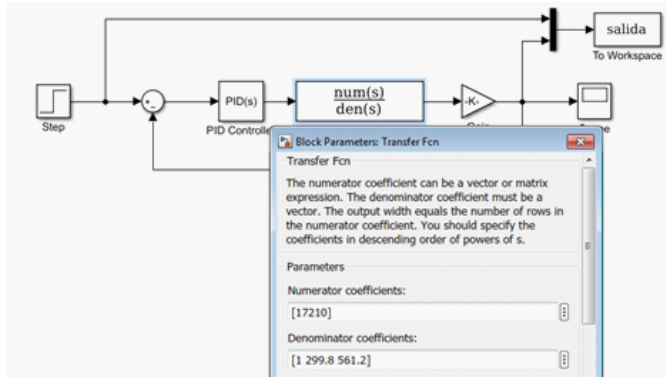


Figura: 4.18 Función de transferencia.

La Figura 4.19 nos representa que la salida del sistema es la velocidad angular (rpm), la gráfica nos muestra la respuesta a la señal escalón. De la que se interpreta que si al motor le aplicáramos una velocidad 50 rpm el tiempo de asentamiento sería de 30 segundos.

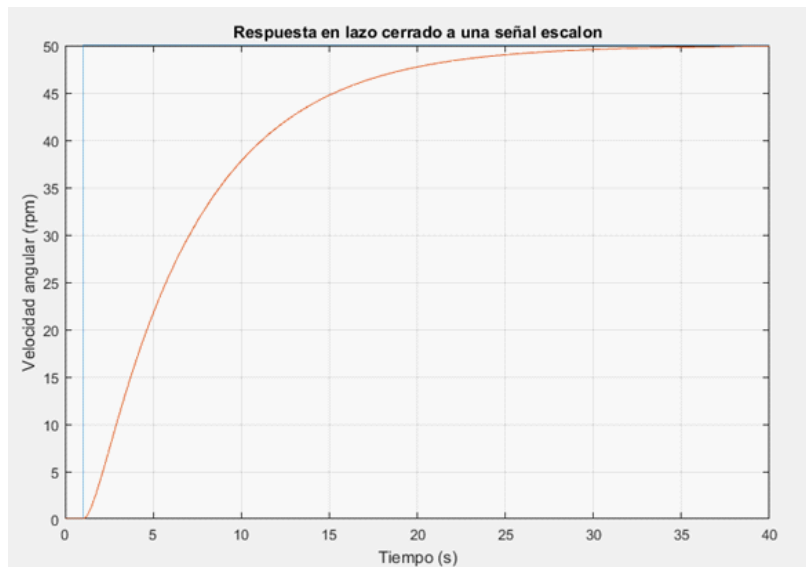


Figura 4.19: Respuesta en lazo cerrado a una señal escalón.

#### 4.4.5. Implementación del control PID en Arduino Uno

Para la implementación se usó la librería PID de Arduino, el algoritmo PID (Proporcional Integral Derivativo), es un elemento bastante usado en sistemas automáticos (de

una manera u otra), en los cuales este algoritmo cobra importancia en las funciones de realimentación, además de provocar que la curva de respuesta sea mucho más suave que si usamos un sistema alternativo [25].

El PID (Proporcional Integral Derivativo) tiene una fórmula, ecuación, expresión, que nos permite calcular los parámetros de salida, a partir de unos datos que se muestran en la figura 4.20.

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}$$

Figura 4.20 ecuación del PID, Tomada [25]

#### 4.4.6. Librería Arduino PID

Para la implementación de control PID en Arduino se usó librería ya existente, “Arduino PID library” tomada de [26], que tiene las siguientes funciones.

Funciones de la librería PID para Arduino:

PID(): Crea un controlador PID vinculado a la entrada, salida y punto de ajuste especificados. El algoritmo PID está en forma paralela

Compute(): Contiene el algoritmo PID. Debe llamarse una vez cada loop (). La mayoría de las veces simplemente regresará sin hacer nada. A una frecuencia especificada por SetSampleTime, calculará una nueva salida.

SetMode(): Especifica si el PID debe estar activado (Automático) o desactivado (Manual). El PID se establece de manera predeterminada en la posición de apagado cuando se crea.

SetOutputLimits(): El controlador PID está diseñado para variar su salida dentro de un rango determinado. Por defecto este rango es 0-255: el rango PWM Arduino.

SetTunings(): Los parámetros de sintonización dictan el comportamiento dinámico del PID.

SetSampleTime(): Determina la frecuencia con la que se evalúa el algoritmo PID. El valor predeterminado es 200 ms.

SetControllerDirection(): Esta función especifica a qué tipo de proceso está conectado el PID. Esta información también se especifica cuando se construye el PID.

# Capítulo 5

## Diseño de hardware para el control del carro

En este capítulo se presentara el Hardware diseñado para el funcionamiento del carro eléctrico, se explica a detalle cada uno de ellos, como son el tablero de control, sistema de control, banco de baterías, driver modo direccional y bi direccional, potenciómetro y motor. Cada uno de ellos necesarios para el manejo del carro.

De igual manera en el Panel de control se explica el modo de manejo que deseará utilizar el conductor en el carro, así como su diseño que fue necesario realizar en el programa Proteus; y una placa donde se ve la conexión del panel de control y el puente H, que este permite controlar el sentido de la circulación del carro, así como el control del voltaje que deseara el conductor y como se utiliza el puente H.

A continuación, se explica a detalle cada uno de los componentes útiles para armar el carro, con algunas ilustraciones de estos para entender mejor como funcionara este proyecto.

## 5.1. Diagrama de Bloques del sistema

Las conexiones eléctricas del carro se basan con respecto a la Imagen 5.1, es un diagrama de bloques que describe los componentes generales que contiene el sistema de auto eléctrico.

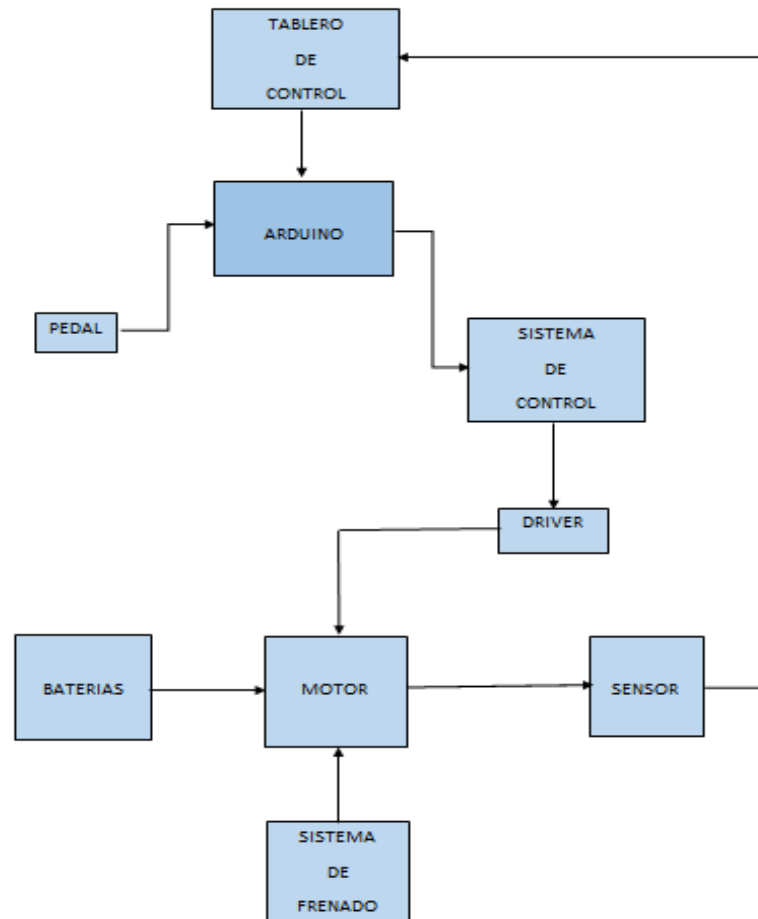


Figura 5.1: Diagrama de bloques del sistema.

**Tablero de control:** en el tablero de control está instalado un sistema de botones donde se puede elegir entre el modo manual y automático, así como dos interruptor, que uno es de encendido o apagado y el otro es de reversa o adelante.

**Sistema de control:** El sistema de control está conformado por un driver para el motor C.D (corriente directa), así como la parte de la tarjeta programable Arduino uno para que reciba las señales de entrada del encoder Q9873 de resolución 400 ppr, las señales

que indican los modos manual y automático, la del sentido del auto atrás o adelante y las del encendido o apagado del auto eléctrico.

Banco de baterías: La selección de las baterías se eligió mediante un análisis económico y de eficiencia, el banco de baterías está conformado por 3 baterías Mitsu MBR-1005, que proporciona 12 Voltios a 7 Amperios-Hora, conectadas en serie para formar los 36 voltios que requiere el motor C.D (corriente directa).

Sistema de frenado: La selección para el sistema de frenos se eligió frenos de disco mecánico de bicicleta que son operados por un cable, ya que son económicos y fácil de instalar en el auto eléctrico.

Sensor Q9873 con Encoder : La selección el encoder Q9873 de resolución 400 ppr (pulsos por revolución). se dio mediante un análisis de mediciones y comparaciones con un tacómetro, se observó que la velocidad rpm (revoluciones por minuto) medida por el sensor y el tacómetro son parecidas.

Potenciómetro (Pedal): El acelerador está conformado por un potenciómetro (pedal), que este a su vez hace que la velocidad del auto eléctrico aumente o disminuye dependiendo el usuario.

Motor C.D: Las características del motor eléctrico C.D (corriente directa) son de 40 voltios y 500 watts, este se encuentra conectado a una caja de transmisión, su relación es de 10 vueltas del motor a una vuelta a la salida de la caja de transmisión, que va conectado al eje trasero con una cadena y una relación de engranes de dos vueltas de la caja de transmisión a una vuelta al eje trasero del auto eléctrico.

## **5.2. Panel de Control**

Uno de los módulos importantes del carro eléctrico es el panel de control donde se podrá elegir el modo manejo que el usuario prefiera, para la elaboración del módulo se hizo el diseño en proteus.

En la Figura 5.2 Se muestra el circuito del panel de control, que se observa las conex-

iones que van a la tarjeta electrónica Arduino, así como los botones de modo Manual y modo automático, interruptor de prendido o apagado, interruptor de reversa y adelante, la pantalla LCD, el potenciómetro para fijar la velocidad en modo automático y el potenciómetro para la aceleración del modo manual.

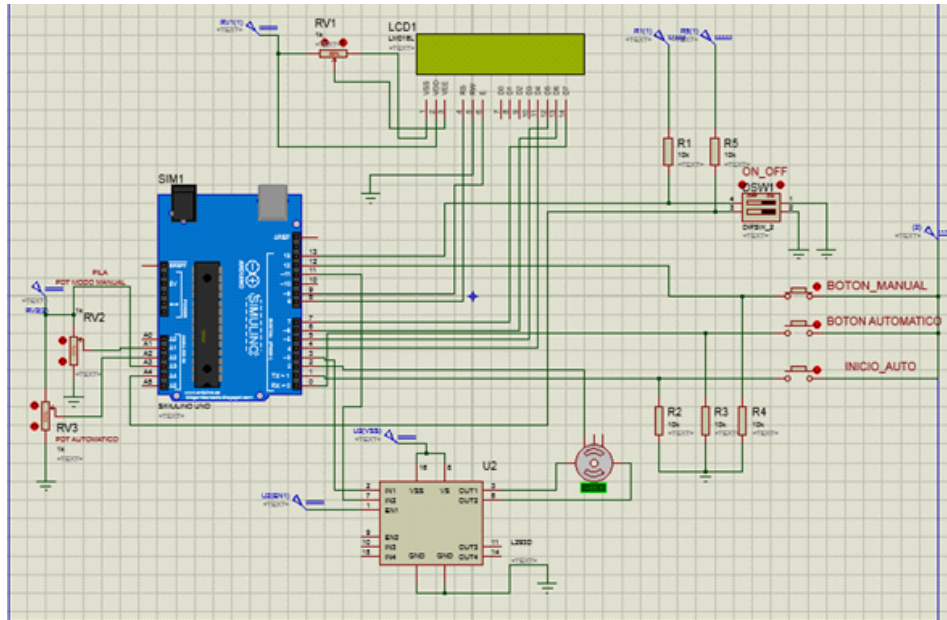


Figura 5.2: panel de control.

En la Figura 5.3 se muestra el PCB que se realizó para la conexión del panel de control y el puente H completo, para que el auto eléctrico realice las funciones que se le programaron, para realizar el PCB se usó el programa PCB layout.

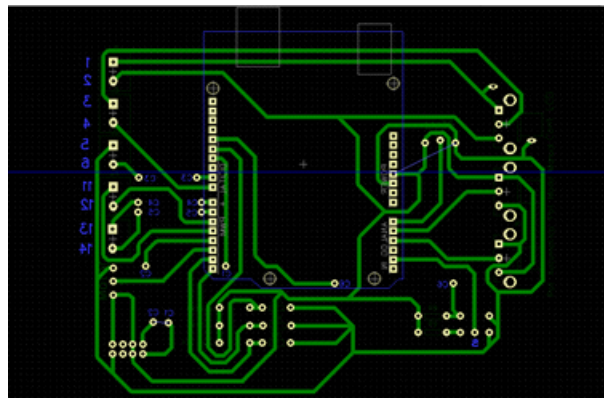


Figura 5.3: placa de panel de control.

### 5.3. Puente H completo para motor C.D.

Un puente H es un circuito que permite controlar el sentido de circulación de la corriente por un dispositivo o equipo, como un motor eléctrico C.D (corriente directa) creando un efecto de giro en ambos sentidos, que se observa en la Figura 5.4. Además, dependiendo de una adecuada técnica de conmutación permite también controlar el nivel de voltaje a ser aplicado a la carga, con un alto nivel de eficiencia y bajas pérdidas. Son ampliamente usados en robótica y como convertidores de potencia. Los puentes H se pueden encontrar como circuitos integrados, pero también se pueden construir con componentes discretos.

El puente H completo se va a construir con 4 interruptores (mediante transistores). Cuando los interruptores S1 y S4 están cerrados y S2 y S3 están abiertos se aplica una tensión positiva en el motor, haciéndolo girar en un sentido, y cuando están abiertos los interruptores S1 y S4 y cerrados los transistores S2 y S3, el voltaje se invierte, permitiendo el giro inverso del motor. Como se muestra en la Figura 5.4.

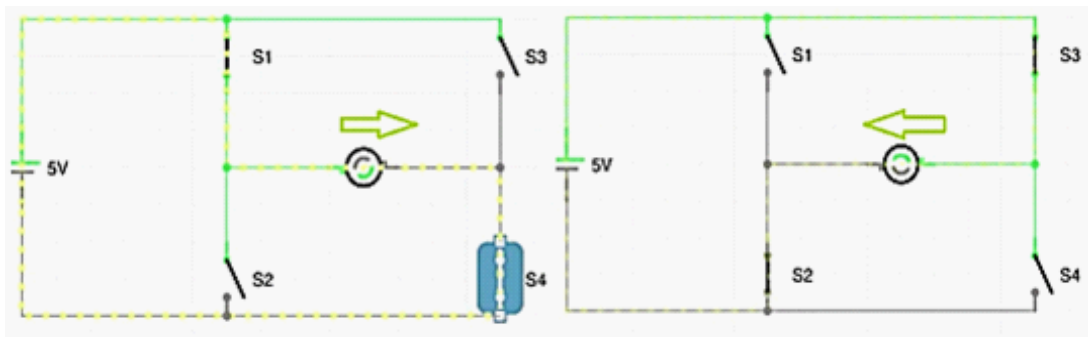


Figura 5.4 puente H completo. Tomada de [27].

La forma más común de hacer un puente H es usando transistores de estado sólido puesto que sus tiempos de vida y frecuencias de conmutación son mucho más altas, Además los transistores se acompañan de diodos que permitan a las corrientes circular en sentido inverso, cada vez que se conmute la tensión puesto que el motor está compuesto por bobinados que se opondrán a que la corriente varié.

En la Figura 5.5 se muestra un puente H con transistores, que son creados comúnmente.

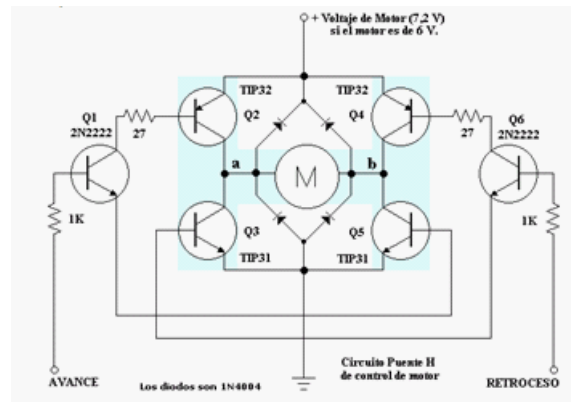


Figura5.5: Puente H con transistores. Tomada de [28]

### 5.3.1. Motor C.D.

A continuación se muestra el motor Ametek (Ver Figura 5.6 ) que se utilizó en el auto eléctrico, este motor fue construido para una larga vida: conmutador de 21 barras, 4 cepillos de carbón puro, rodamientos de bolas radiales sellados de 1.625 ". Caja del motor de acero soldado (1/6-pulgada de espesor). Eje de acero al carbono laminado en frío, Recubrimiento de óxido negro. Voltaje constante de 32.5 voltios / krpm 218 onza (oz) en el pico 113 onza (oz) en el par sostenido. 60 voltios máx. Continuo. Utilícelo como un generador eléctrico de CC de turbina eólica o como un servomotor a bajas revoluciones por minuto [29].

Este motor Ametek tiene cuatro escobillas de carbón en lugar de las dos habituales. Esto da como resultado una menor resistencia en el conmutador, genera menos calor residual y prolonga la vida útil del cepillo hasta 15,000 horas.

Este es un buen motor para uso como generador eléctrico de molino de viento de transmisión directa debido a sus potentes imanes y su constante de par alto. Produce voltajes más altos y más corriente a menos rpm que los motores de imán permanente normales. Este motor Ametek tiene una reputación de hacer un trabajo decente de generar energía eléctrica del viento para cargar sistemas de baterías de 12V.

La potencia de salida máxima generada es de aproximadamente 400 vatios bajo carga. Esta carga puede ser algo como un cargador de batería, una celda hidrolítica que produce combustible de hidrógeno a partir del agua, o un "inversor interconectado a la red" que sincroniza la salida de potencia del generador eléctrico eólico y lo descarga de nuevo en la línea de corriente alterna de su casa.



Figura. 5.6 Motor DC tomada de [29].

### 5.3.2. IGBT

El transistor IGBT (Transistor Bipolar de Puerta Aislada) es un dispositivo electrónico que generalmente se aplica a circuitos de potencia y que en la actualidad es utilizado cada vez más en aplicaciones automotrices, en el cual para la conmutación de altas corrientes es un requisito importante, este tipo de transistores aprovechan la ventaja de un transistor MOSFET y un transistor BJT (Bipolar).

Es un componente de tres terminales que se denominan G (gate o puerta), C (Colector), E (Emisor) y su símbolo corresponde a la Figura 5.7.



Figura 5.7 IGBT (FGA25N120). Tomada de [30].

Cuando se le es aplicado un voltaje  $V_{GE}$  (voltaje emisor-puerta) a G (puerta), el IGBT enciende inmediatamente, la corriente de colector  $I_C$  es conducida y el voltaje  $V_{CE}$  (voltaje emisor-colector) se va desde el valor de bloqueo hasta cero.

En el caso de la excitación de este transistor se utiliza una compuerta aislada tipo MOSFET con lo cual su conmutación se controla por medio del voltaje en G (gate o puerta) debe ser arriba de 15 voltios, y no por corriente. El IGBT se apaga simplemente removiendo la señal de voltaje  $V_G$  (voltaje en puerta) de la terminal G (gate o puerta), por lo que la frecuencia de conmutación puede estar en el rango de los 50 kHz.

En la tabla 5.1 se mostrará las características principales del IGBT (FGA25N120).

Símbolo	Descripción	Rango	Unidad
$V_{CES}$	Voltaje colector-emisor	1200	V
$V_{GES}$	Voltaje puerta-emisor	$\pm 20$	V
$I_C$	Corriente del colector máxima	25	A
$I_{FM}$	Corriente directa máxima del diodo	50	A
$P_D$	Disipación máxima de energía	312	W
$T_J$	Temperatura operativa máxima	-55 a +150	$^{\circ}\text{C}$
$V_{GE (th)}$	Voltaje de umbral	7.5	V
$V_{CE (sat)}$	Voltaje de saturación emisor-colector	2	V
$C_{ies}$	Capacitancia de entrada	3700	pF
$C_{oes}$	Capacitancia de salida	130	pF

Tabla 5.1: características del IGBT. Tomada de [31].

### 5.3.3. Optoacplador PC817

Un opto acoplador, también llamado optoaislador o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente opto electrónico, normalmente en forma de fototransistor o fototriac. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un foto emisor y un foto receptora cuya conexión entre ambos es óptica. Estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado que por lo general es del tipo DIP. Se suelen utilizar para aislar eléctricamente a dispositivos muy sensibles.[32]

Comúnmente el optoacoplador PC817 que se muestra en la Figura 5.8 se usa para elementos de control como MOSFET's, TRIACS, transistores de potencia, relevadores mecánicos ó relevadores de estado sólido. En este caso, cuando se usan en conjunto con otros circuitos electrónicos, el objetivo es aislar a la fuente del sistema de control de las perturbaciones que puedan ocasionar el encendido o apagado de los actuadores como motores, luces, etc.

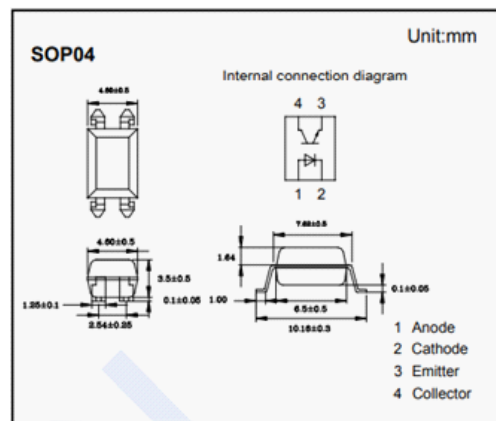


Figura 5.8 : Optoacoplador PC817. Tomada de [32]

En la Figura 5.9 se muestra las características del optoacoplador PC817.

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input Reverse voltage	$V_R$	6	V
Collector - Emitter Output Voltage	$V_{CEO}$	35	
Emitter-Collector Output Voltage	$V_{ECO}$	6	
Isolation Voltage	$V_{ISO}$	5000	$V_{rms}$
Input Forward Current	$I_F$	50	mA
Input Peak Forward Current (Note.1)	$I_{FM}$	1	A
Collector Current - Continuous	$I_C$	50	mA
Input Power Dissipation	$P$	70	mW
Collector Output Power dissipation	$P_C$	150	
Total Power Dissipation	$P_{tot}$	200	
Junction Temperature	$T_J$	125	°C
Soldering temperature	$T_{sol}$	260	
Operating Temperature	$T_{opr}$	-30 to 100	
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 to 125	

Figura 5.9: características del optoacoplador PC817. Tomada de [32]

## 5.4. Diseño de drivers para control de un motor de CD

En esta sección se hablará de la construcción del driver de un solo sentido (mono direccional) con el que se desplazará el carro eléctrico y el driver de dos sentidos (bi direccional).

### 5.4.1. Driver Mono direccional

El diseño del driver de control mono direccional consiste en un IGBT FGA25N120, un optoacoplador PC817 y una Red Snubber. A continuación, en la Figura 5.10 se muestra el diseño realizado en Proteus.

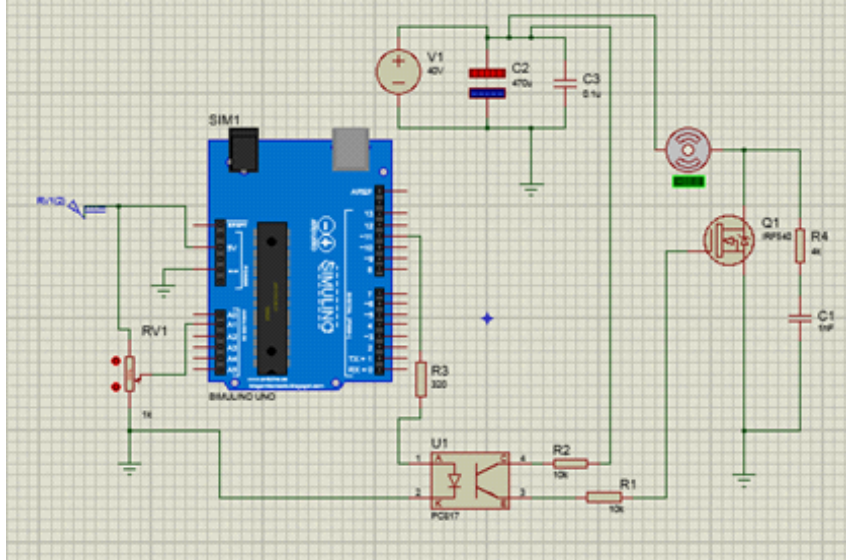


Figura 5.10: Circuito de control de velocidad.

Teniendo el diseño en Proteus, se realiza la impresión en PCB que se muestra en la siguiente Figura 5.11.

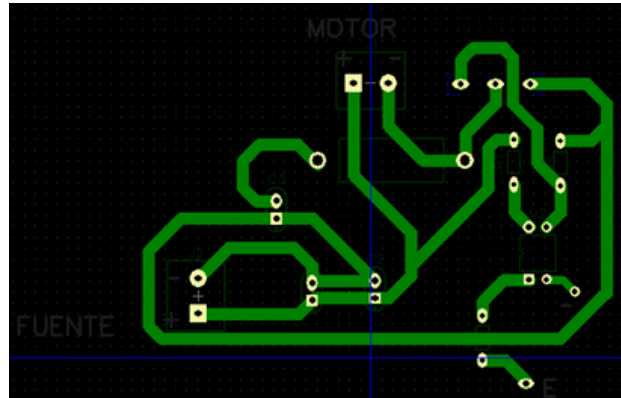


Figura 5.11 Circuito impreso de control de velocidad.

Las redes Snubber son circuitos que protegen los componentes electrónicos que están constituidos por elementos semiconductores que utiliza realimentación interna para producir una conmutación contra sobre tensiones, amortigua los picos de voltaje y corriente que demanda el motor, por lo tanto, no recae tanto esfuerzo sobre el IGBT.

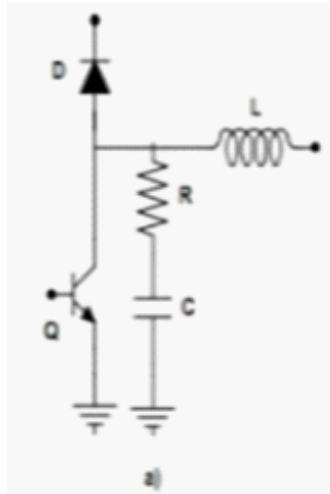


Figura 5.12 Red Snubber RLC. Tomada de [33].

### 5.4.2. Diseño proteus puente H

Para elaborar el puente H completo que se observa en la Figura 5.13 se utilizó el transistor IGBT (Transistor Bipolar de Puerta Aislada), ya que es utilizado para circuitos de potencia de altas corrientes y voltajes y se usa como interruptor conmutación rápida, ideal para el control por medio de señales PWM. El IGBT que se utilizó tiene la matrícula FGA25N120, para poder activar el IGBT se utilizó un optoacoplador PC817. Para proteger los IGBT del pico de corriente y voltaje se utilizó una Red Snubber que sirve como red disipativa y de amortiguamiento.

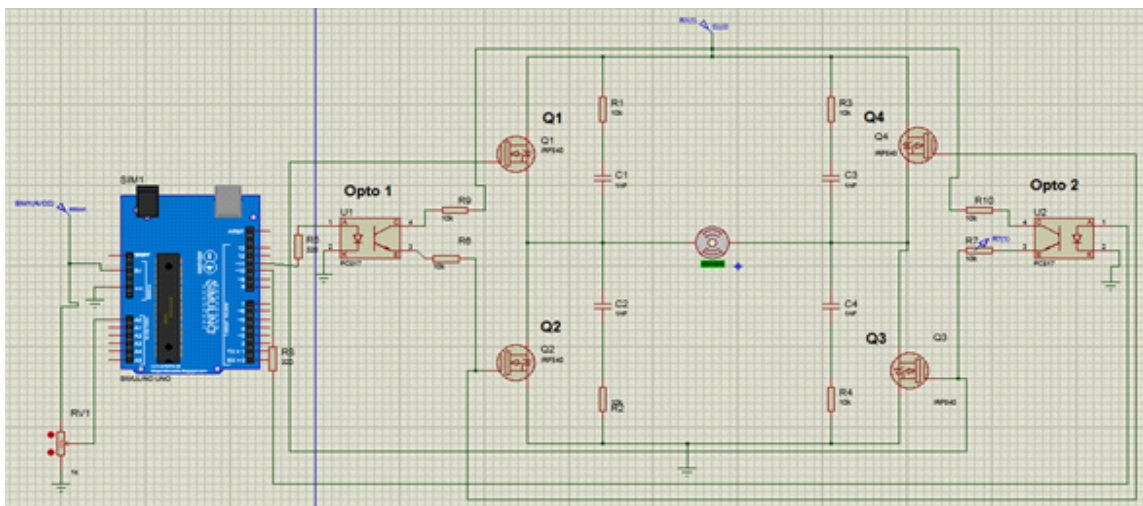


Figura 5.13: Puente H completo.

La función del puente H es poder cambiar la dirección de corriente en el motor DC y así su dirección giro, y la vez también se puede cambiar la potencia que se entrega sobre motor por medio de una señal PWM que activa los IGB's.

Cuando se escoge dirección derecha, el optoacoplador 1 (PC817) activa (el tiempo de activación depende de la señal pwm) con 10V a la puerta (G) del IGBT Q2 y Q4, es decir que hay conducción entre colector (C) a emisor (E) por tal motivo permanecen cerrados. Y el optoacoplador 2 (PC817) no activa, entonces no hay conducción entre colector (C) a emisor (E) del IGBT Q1 y Q3 por tal motivo permanecen abiertos.

Cuando se escoge dirección izquierda, el optoacoplador 1 (PC817) activa con 10V a la puerta (G) del IGBT Q1 y Q3, es decir que hay conducción entre colector (C) a emisor (E) por tal motivo permanecen cerrados. Y el optoacoplador 2 (PC817) no activa, entonces no hay conducción entre colector (C) a emisor (E) del IGBT Q2 y Q4 por tal motivo permanecen abiertos.

Mientras no exista un voltaje en la puerta (G) de los IGBT'S que están abiertos, no hay conducción de colector (C) a emisor (E), por lo tanto, se mantienen abiertos.

El periodo de la señal PWM que activa los IGBT's normalmente debe ser más pequeña que el tiempo de respuesta del motor para que el motor en realidad vea una señal constante.

Para activar el IGBT se realizó un divisor de voltaje, ya que como al optoacoplador lo alimentamos con 36V y para su activación del IGBT se requiere máximo de 20V, PARA hacer el divisor se puso una resistencia (R9) de 10k a la entrada del optoacoplador y otra resistencia (R6) de 10k a la salida, y se obtuvo un voltaje de activación de 10V para el IGBT.

$$V_s = \frac{R_9}{(R_9 + R_6)} \times V_{in}$$
$$V_s = \frac{10k\Omega}{(10k\Omega + 10k\Omega)} \times 36$$
$$V_s = 10V$$

Al hacer el diseño del puente H en Proteus y comprobar que funciono, se realizó el PCB a lo cual usamos el programa PCB layout como se muestra en la Figura 5.14.

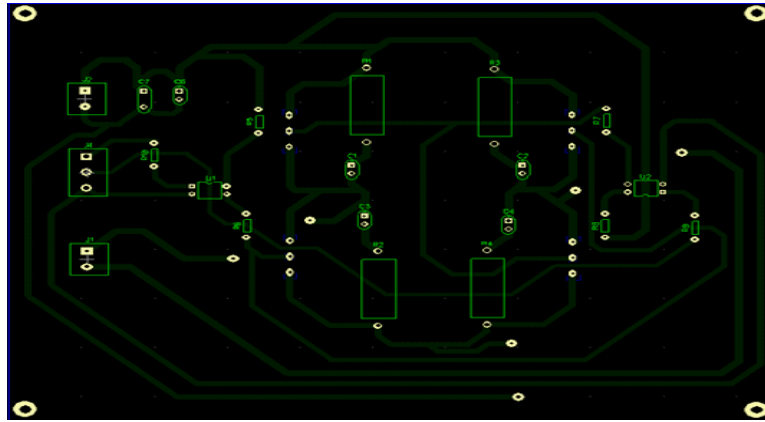


Figura 5.14: placa puente H completo.

### 5.4.3. Encoder Q9873 de resolución 400 ppr (pulsos por revolución)

Un sensor óptico se basa en el aprovechamiento de la interacción entre la luz y la materia para determinar las propiedades de ésta y comprende la utilización de la fibra óptica como elemento de transmisión de la luz.

El encoder Q9873 son módulos de codificador óptico que se alimentan a 5v, estos sensores son capaces de detectar diferentes factores a través de un lente óptico y tiene una resolución de 400 ppr (pulsos por revolución).

En la Figura 5.15 se muestra las conexiones del encoder Q9874 como canal A y B, su alimentación que de 5V y su tierra (GND).

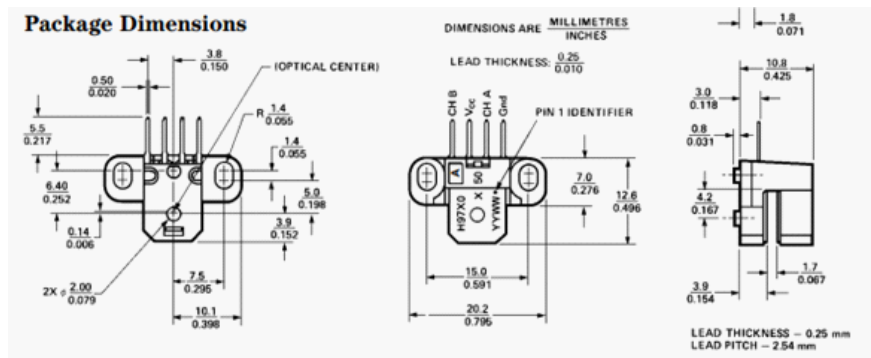


Figura 5.15 Encoder Q9873. Tomada de [34]

En la Figura 5.16 se muestran las características eléctricas del encoder Q9873 con una resolución de 400 ppr (pulsos por revolución).

**Electrical Characteristics**  
Electrical Characteristics over Recommended Operating Range, Typical at 25°C.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Supply Current	$I_{CC}$		17	40	mA	
High Level Output Voltage	$V_{OH}$	2.4			V	$I_{OH} = -40 \mu A$
Low Level Output Voltage	$V_{OL}$			0.4	V	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$
Rise Time	$t_r$		200		ns	$C_L = 25 \text{ pF}, R_L = 11 \text{ k}\Omega$
Fall Time	$t_f$		50		ns	$C_L = 25 \text{ pF}, R_L = 11 \text{ k}\Omega$

Figura 5.16 Características del encoder Q9873. Tomada de [34]

## 5.5. Batería

En esta sección se hablará de la batería que se utilizó para para poner en marcha el motor de corriente directa, se pusieron en serie tres baterías de ácido recargable selladas de 12 Voltios a 7 amperios de la marca MITZU, para que nos suministre un voltaje de 36 Voltios,

Especificaciones:

Marca: Mitzu

Modelo: MBR-1005

Baterías portátiles recargables de Ácido-Plomo para uso en UPS - No Breaks, lámparas de emergencia, alarmas, etc.

Totalmente selladas para evitar derrames de ácido. Soportan temperaturas de hasta 300° C.

DESCRIPCION:

- Corriente: 7 A
- Voltaje: 12 Vcc
- Vida útil: hasta 10 000 recargas



Figura 5.17. Batería MITZU – MBR1005 Tomada de [35].

## Capítulo 6

# Pruebas y Resultados de desempeño del carro eléctrico

En este se mostrarán los resultados obtenidos a las pruebas realizadas al carro eléctrico, en cada uno de los sistemas antes expuestos, como por ejemplo las pruebas que se realizaron al panel de control en su modo manual y automático, se ilustran los resultados obtenidos en la LCD.

También se hablará de la señal de la tarjeta electrónica Arduino uno, la señal del sensor Q9873 con encoder de resolución 400 ppr (pulsos por revolución) y la Graficas de desempeño de modo automático y manual que se obtuvieron, el desempeño que tiene el carro eléctrico con carga y sin carga, para determinar qué mejoras se podrían realizar a futuro al diseño del carro.

Todas estas pruebas se presentan paso a paso con fotografías tomadas para que el lector tenga una idea clara y concisa de cómo es el funcionamiento mecánico y eléctrico del carro.

## 6.1. Pruebas de tablero de control manual y automático

El panel de control es donde el usuario controla el carro eléctrico, como encendido y apagado, reversa y adelante, modo que quiere manejar el auto eléctrico, en caso de que elija modo automático se fija la velocidad con un potenciómetro y al fijar la velocidad se presiona el botón de inicia automático.

En la Figura 6.1 se muestra los botones del panel de control del carro eléctrico.



Figura 6.1 Panel de Control.

### 6.1.1. Modo manual

En la pantalla LCD se despliega la leyenda que el auto eléctrico esta apagado, para encenderlo se Activa Interruptor (+5V) de encendido y apagado, como se muestra en la Figura 6.2.



Figura 6.2 Pantalla LCD (Apagado).

En la Figura 6.3 se muestra que, al prender el carro, en la pantalla LCD se despliega la leyenda modo manejo.



Figura 6.3 Modo manejo.

Para activar el modo manual el usuario tiene que presionar el botón verde como se muestra en la Figura 6.4.

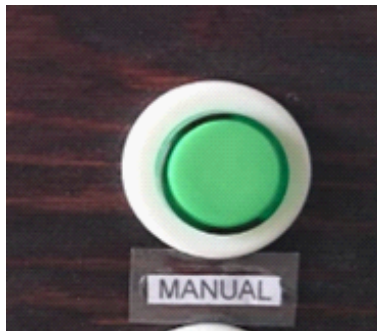


Figura 6.4 Botón Manual.

En la pantalla LCD se va a desplegar la velocidad en rpm a la que el usuario prefiera ir en el carro esto se realiza por medio del pedal o potenciómetro, como se muestra en la Figura 6.5.



Figura 6.5 Velocidad (rpm).

Si el usuario necesita ir en reversa tendrá que poner la velocidad en 0 rpm y activar el Interruptor negro de adelante y reversa, como se muestra en la Figura 6.6.



Figura 6.6 Interruptor de reversa.

De igual manera en la pantalla LCD se desplegará la velocidad en rpm y se va a controlar por medio del mismo pedal o potenciómetro como se muestra en la Figura 6.7.



Figura 6.7 Velocidad rpm.

### 6.1.2. Modo automático

En la pantalla LCD se despliega la leyenda que el auto eléctrico está apagado, para encenderlo se Activa Interruptor (+5V) de apagado y prendido, como se muestra en la Figura 6.8.



Figura 6.8 Pantalla LCD (Apagado).

En la Figura 6.9 se muestra que, al prender el carro, en la pantalla LCD, se despliega la leyenda modo manejo.



Figura 6.9 Modo manejo.

Para activar el modo automático el usuario tiene que presionar el botón azul como se muestra en la Figura 6.10.



Figura 6.10 Botón Automático.

Para fijar la velocidad deseada por el usuario se usará el potenciómetro y se mostrará en la pantalla LCD como se muestra en la Figura 6.11.



Figura 6.11 Potenciómetro para fijar velocidad.

Para que el carro empiece a avanzar tendrá que presionar el botón amarillo de iniciar modo automático como se muestra en la figura 6.12.



Figura 6.12 Botón inicia automático.

En la Figura 6.13 se muestra en la pantalla LCD que se desplegará la velocidad deseada y la velocidad medida por el sensor Q9873.



Figura 6.13 velocidad deseada y medida.

Si se necesita ir en reversa el usuario tendrá que presionar el botón azul (automático) y poner la velocidad rpm en 0 con el potenciómetro de fijar velocidad y activar el Interruptor negro como se muestra en la figura 6.14.



Figura 6.14 Interruptor de reversa.

.Para que el auto empiece hacer la función de moverse en reversa el usuario tendrá que presionar el botón amarillo (iniciar automático) y de igual manera en la pantalla LCD se va a desplegar la velocidad deseada en rpm y la velocidad sensada, como se muestra en la Figura 6.15.



Figura 6.15 Reversa.

### 6.1.3. Señales PWM de la tarjeta electrónica Arduino uno

La señal PWM pertenece a la salida del sistema que genera la tarjeta Arduino uno. La señal PWM (Modulación por ancho de pulso) con una frecuencia de 500Hz y un voltaje máximo de 5V, se conectan a los optoacopladores (PC817) del puente H completo para poder controlar la velocidad y el sentido del carro eléctrico.

En el modo manual la señal PWM se controla por medio de un potenciómetro que actúa como el acelerador del carro eléctrico.

En el modo automático se fija la señal PWM con la que el usuario quiera que vaya el carro eléctrico por medio de un potenciómetro que se encuentra en el tablero de control.

### 6.1.4. Señales PWM en modo manual

En la Figura 6.16 se muestra la señal PWM (Modulación por ancho de pulso) que sale de la tarjeta Arduino uno, está en 0V y la pantalla LCD que muestra la velocidad de 0 RPM (revolución por minuto).



Figura 6.16 Señal PWM 0 V y velocidad 0 RPM.

En la figura 6.17 se muestra la señal PWM (Modulación por ancho de pulso) con un voltaje de 1,40 V y la pantalla LCD muestra la velocidad del carro eléctrico que es de 20.10 RPM (revolución por minuto).

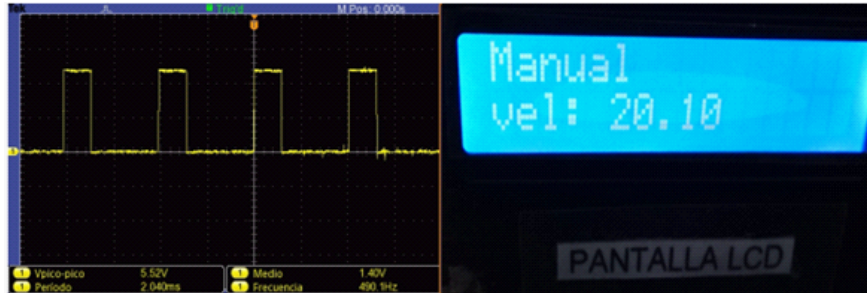


Figura 6.17 Señal PWM 1.14 V y velocidad 20.10 RPM.

En la figura 6.18 se muestra la señal PWM (Modulación por ancho de pulso) con un voltaje de 2.36 V y la pantalla LCD muestra la velocidad del carro eléctrico que es de 40.05 RPM (revolución por minuto).

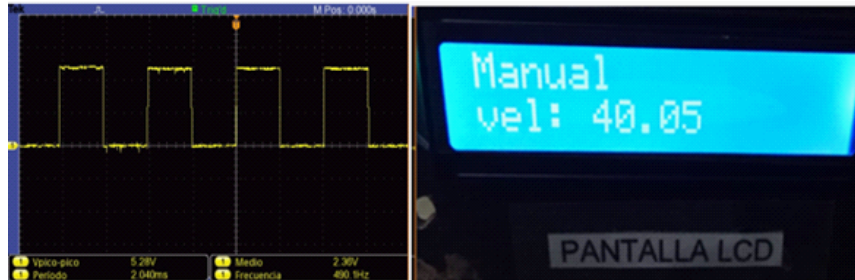


Figura 6.18 Señal PWM 2.36 V y velocidad 40.05 RPM.

En la figura 6.19 se muestra la señal PWM (Modulación por ancho de pulso) con un voltaje de 3.32 V y la pantalla LCD muestra la velocidad del carro eléctrico que es de 61.05 RPM (revolución por minuto).

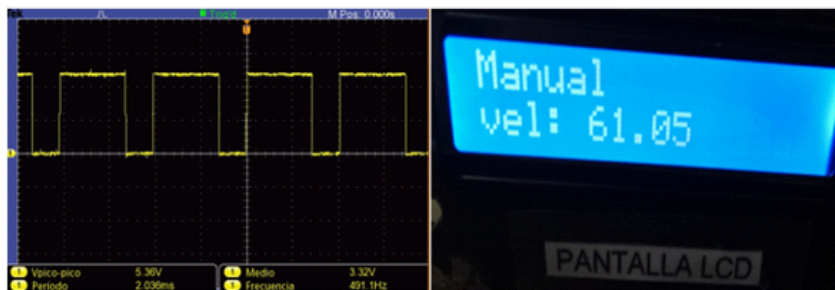


Figura 6.19 Señal PWM 3.32 V y velocidad 61.05 RPM.

En la figura 6.20 se muestra la señal PWM (Modulación por ancho de pulso) con un voltaje de 4.79 V y la pantalla LCD muestra la velocidad del carro eléctrico que es de 85.05 RPM (revolución por minuto).

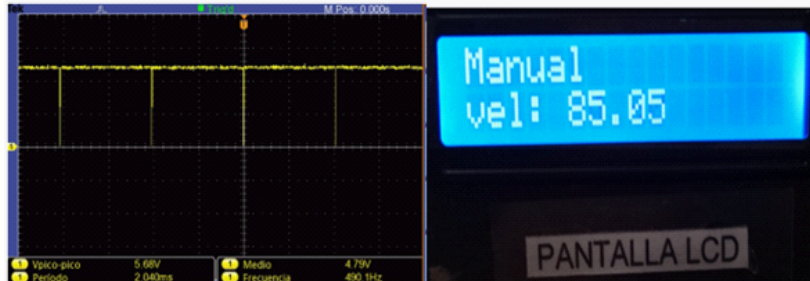


Figura 6.20 Señal PWM 4.79 V y velocidad 85.05 RPM.

### 6.1.5. Respuestas del carro eléctrico con carga en modo automático

En la Figura 6.21 se muestra la respuesta del carro eléctrico con carga a una velocidad deseada de 50 (rpm), se observa que en 30 segundos el carro llega a la velocidad deseada y se comprueba que el control PID funciona correctamente.

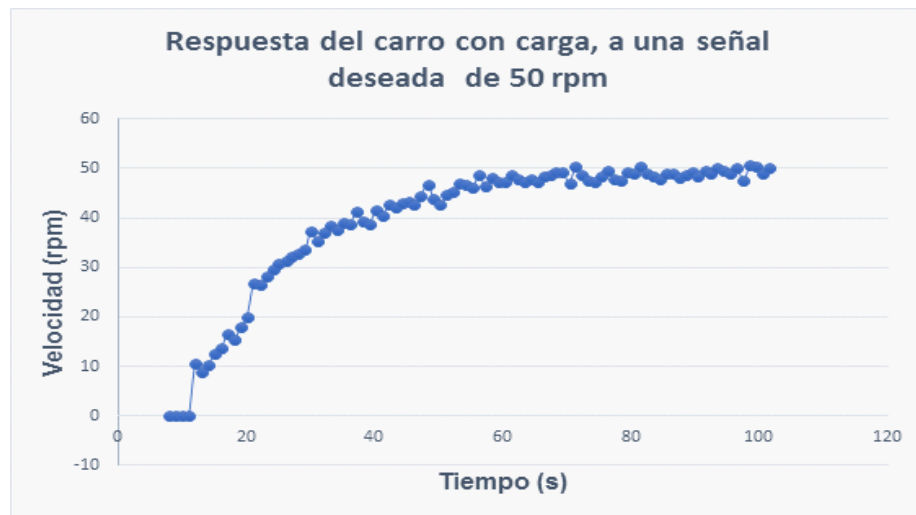


Figura 6.21 Respuesta del carro con carga, a una señal deseada de 50 rpm.

En la figura 6.22 se muestra diferentes respuestas del carro eléctrico con carga, Las primeras tres velocidades deseadas que se eligieron fueron en aumento las cuales son de

30 (rpm), 40 (rpm) y 60 (rpm). Las últimas tres velocidades fueron disminuyendo las cuales fueron de 50 (rpm), 20 (rpm) y 0 (rpm) a lo que se comprueba que el control PID funciona correctamente.

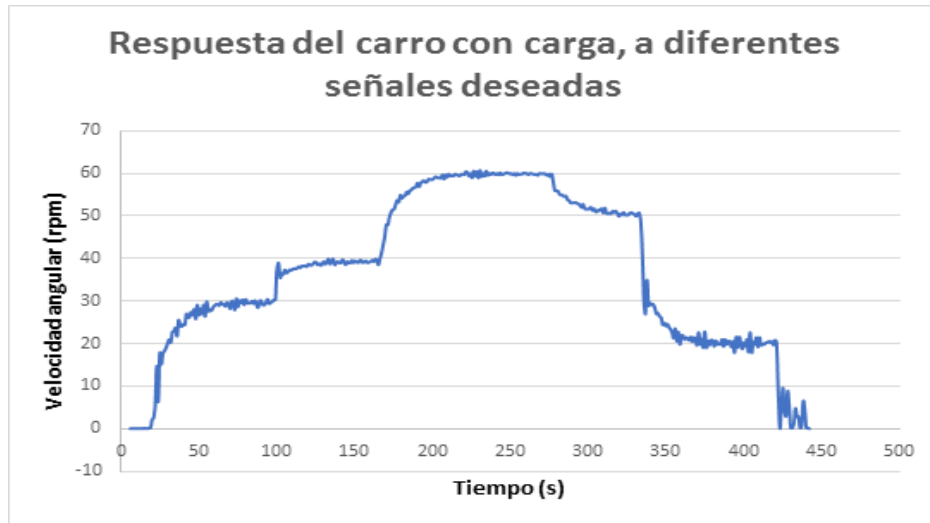


Figura 6.22 Resposta del carro con carga, a una señal deseada de 50 rpm.

### 6.1.6. Características generales del carro eléctrico

En la Tabla 6.1 se muestra las características generales del carro eléctrico.

Parámetros	Rango
Voltaje (V)	36 V
Corriente (A)	10 A
Velocidad máxima (rpm)	100 rpm
Velocidad mínima (rpm)	0 rpm
Altura del carro eléctrico (m)	1.80 m
Ancho del carro eléctrico (m)	1.0 m
Largo del carro eléctrico (m)	1.95 m
Peso del Carro eléctrico (Kg)	70 kg
Motor del carro eléctrico	Ametek de imán permanente de 40V
Tarjeta de control	Arduino uno Truper Neumáticas
Llantas	Truper Neumáticas 4.10/3.50-4, con cámara de 35 Psi
Modo Manual	100 rpm
Modo automático	100 rpm

Tabla 6.1: Características generales del carro eléctrico

# Capítulo 7

## Conclusión

De acuerdo con los objetivos planteados y a los resultados obtenidos durante el desarrollo de este proyecto se expone la siguiente conclusión general.

Para el diseño general del carro eléctrico se utilizó un programa de diseño gráfico y modelado que se llama solidword, en tres dimensiones (3D), para tener el diseño completo se fue realizando pieza por pieza y se fue ensamblando hasta obtener el diseño completo que se obtuvo al final.

El chasis metálico que se fabrico es sólido, este puede sostener a los elementos que le conforman como las llantas delanteras y traseras, asiento, baterías, caja de control, motor con su sistema de transmisión, techo, etc. El estudio de las baterías nos llevó a la selección de baterías selladas para fines prácticos, ya que no son pesadas y no tienen un elevado costo.

Se selecciono un motor de C.D, ya que estos motores transforman la energía eléctrica en energía mecánica, el motor fue conectado a un motorreductor con una relación 10:1 y un sistema de engranes con una relación de 2:1 para que el carro eléctrico tenga un mayor torque.

También se logró diseñar dos tipos de modo manejo, uno que es el modo Manual, que funciona como cualquier otro vehículo que el usuario puede acelerar y desacelerar como él quiere y en el modo automático el usuario elige su velocidad constante con la que quiere

justificar que avance el carro eléctrico, en este modo es donde entra el control PID, que su función es que el carro se mantenga en la velocidad deseada, para poder observar que en realidad se mantiene la velocidad se mide mediante el encoder Q9873 de resolución 400 ppr (pulsos por revolución).

Para poder realizar este objetivo se utilizó la Tarjeta de Arduino Uno, fue programado satisfactoriamente para que sea capaz de realizar los dos modos de manejo del carro, el modo manual y el modo automático, este último se pudo observar en la pantalla LCD, que el control PID funcionó correctamente al leer el encoder Q9873 y mantener el carro a la velocidad deseada. Todo esto mediante un tablero de control.

La asignatura de Electrónica de Potencia nos fue útil para poder realizar el diseño del puente H mediante el uso de IGBT's y optoacopladores que son activados por el software de control, que se ejecutan en la tarjeta Arduino uno. Los componentes antes mencionados ocupan diferentes niveles de energía, así que se realizó un circuito para alimentar la tarjeta Arduino uno a 5V y para alimentar los otros componentes se hizo arreglos en el puente H para poder alimentar cada uno de sus componentes con la fuente de 36V.

Los diseños antes mencionados se desarrollaron para fines prácticos en dos tarjetas, la primera es la parte de control y la segunda es la parte de potencia que es el driver. La experimentación del driver con el sistema de control se efectuó generando señales y observando su comportamiento en un osciloscopio. El puente H presentó algunas fallas, ya que las pistas y los IGBT's no soportaban la corriente que demandaba el carro eléctrico con carga, para solucionar este problema se tuvo que poner una red snubber a cada IGBT para así poder soportar la demanda de corriente.

Las pruebas realizadas en modo manual fueron hechas con éxito logrando ver el comportamiento del carro eléctrico, así como el funcionamiento de los componentes, el encoder Q9873, sistema de control, el motor y su sistema de transmisión. Y las pruebas realizadas en modo automático también fueron hechas con éxito ya que se pudo demostrar que el control PID alcanzaba la velocidad deseada, demostrando en las gráficas obtenidas la

velocidad medida alcanzaba la velocidad deseada.

La electrónica que se aplicó durante el proyecto, fue la que se aprendió y se desarrolló a lo largo de la carrera de ISEI, realizando diseños y construcción de circuitos impresos. Como el puente H, que nos ayuda para cambiar el sentido del carro hacia adelante o hacia atrás dependiendo lo que el usuario quiera.

Como se mencionó durante el proyecto, los automóviles eléctricos tienen una gran ventaja sobre los automóviles de combustión interna, la principal ventaja es el ahorro de combustible y el beneficio que se tiene al medio ambiente.

## **7.1. Limitaciones**

- Una de la limitación fue la velocidad que alcanza el carro eléctrico.
- La estructura esta pesada para tipo de motor.
- Tener un sistema de dirección más eficiente.
- Que el motor no tenga el suficiente torque para el carro eléctrico.

## **7.2. Trabajo a futuro**

Como trabajo futuro se plantea:

- Usar un motor de mayor potencia u otro tipo de motor más eficiente para aumentar el torque y la velocidad máxima de motor y que puede ser útil comercialmente, para que puedan subirse hasta cuatro personas.

- Mejorar su estructura con materiales más ligeros como el aluminio como lo usan las bicicletas. Para reducir su peso y aumentar la eficiencia.

- Mejorar el sistema de dirección, ya que actualmente es mecánico.
- Colocar un sistema de frenos mecánico.
- Agregar sensores de temperatura y sensores de proximidad
- Agregar un indicador de cargar del banco de baterías.

- Agregar un sistema de recarga del banco de baterías por medio de celdas solares y energía eólica.
- Otro sistema que se podría agregar es un sistema carga de batería por medio de un pedaleo.

# Capítulo 8

## Referencias

- [1] <http://electromovilidad.net/historia-del-vehiculo-electrico/>, [09.11.2018]
- [2] <http://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/el-coche-electrico>, [09.11.2018]
- [3] [www.aire.cdmx.gob.mx/default.php](http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php), [20.11.2018]
- [4] <https://datos.bancomundial.org/indicador/en.co2.tran.zs> [22.11.2018]
- [5] <http://www.amia.com.mx/ventas.html> [23.11.2019]
- [6] [www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico) [22.11.2018]
- [7] <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/39/posts/el-coche-elctrico-y-el-hidrgeno-reviven-12698> [24.02.2019]
- [8] <https://www.recargacocheelectricos.com/que-es-un-vehiculo-electrico/>, [26.11.2018]
- [9] <https://www.renault.com.mx/vehiculos/autos-particulares/twizy.html>, [10.03.2019]
- [10] <https://zacua.com/>, [10.03.2019]
- [11] <https://www.nissan.com.mx/leaf/>, [10.03.2019]
- [12] <https://www.chevrolet.com.mx/autos-electricos/bolt-ev-coche-electrico>, [10.03.2019]
- [13] <https://www.bmw.com.mx/es/modelos/bmw-i/i3/2017/de-un-vistazo.html>, [10.03.2019]
- [14] [https://www.tesla.com/es\\_MX/](https://www.tesla.com/es_MX/), [10.03.2019]
- [15] <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/2016/como-se-recarga-la-bateria-de-un-hibrido>, [10.03.2019]

- [16] <https://www.honda.mx/autos/civic/>, [10.03.2019]
- [17] <https://www.autofacil.es/honda/cr-z/>, [10.03.2019]
- [18] <https://www.infiniti.mx/vehiculos/vehiculos-nuevos/q50.html>, [10.03.2019]
- [19] <http://toyota.mx/modelo/prius?gclid=EAIaIQobChMI78eakqD4QIVeBnACh1RaAegEAAYA>  
[10.03.2019]
- [20] <https://www.pinterest.es/pin/462322717981742524/> [10.03.2019]
- [21] Wyman Street. Introducción al Solidworks. Pág 9. Dassault Systems Solidworks Corporation S.A 2015.
- [22] Wyman Street. Introducción al Solidworks. Pág 12. Dassault Systems Solidworks Corporation S.A 2015
- [23] Benjamin C. Kuo. Sistemas de control Automático. Pág. 150. Séptima edición.
- [24] Katsuhiko Ogata. Ingenieria de control moderna. Tercera edición Pág 670. Pearson Educación S.A 1998.
- [25] Karl J. Astrom, Tore Haggund. Control PID avanzado. Pág 67,68. Pearson Educación S.A 2009.
- [26] <https://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary/>, [10.03.2019]
- [26] Brett Beauregard, Arduino PID – Guía de uso de librería, 2011
- [27] Roberto Carlos Gusman 15 de febrero del 2119, página 14, ca<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/4736/4736.pdf>
- [28] Roberto Carlos Gusman 15 de febrero del 2119, página 15, ca<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/4736/4736.pdf>
- [29] <https://www.importitall.co.za/Ametek-PermanentMagnet-40volt-DC-Servo-Motor-DC-Electric-Wind-Turbine-Generator-ap-B00HNJPG9G.html> [14.03.2018]
- [30] <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet/view/121732/FAIRCHILD/FGA25N120AN.html>.  
Página 1y 2, [4.01.2019].
- [31] <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet/view/121732/FAIRCHILD/FGA25N120AN.html>.  
Página 1,2 [4.01.2019].
- [32] <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/43371/SHARP/PC817.html> [28.05.2019]

[33] [https://issuu.com/josimar.gomez/docs/mantenimiento.electronico-e-instrumental\\_indu](https://issuu.com/josimar.gomez/docs/mantenimiento.electronico-e-instrumental_indu), [28.05.2019]

[34] <https://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/021/QEDS-9871-pdf.php>, [28.05.2019]

[35] <https://www.mitzu.com/producto/baterias-recargable-sellada-de-acido-corriente-4-a-voltaje-6-vcc-vida-util-hasta-10000-recargas-manual-mbr-1005-pdf/>, [5.02.2019]

# Parte I

## Anexo

```

#include <PID_v1.h> // manda a llamar la libreria PID
#include <LiquidCrystal.h> // manda a llamar lcd shiel
const int boton_on_of=13; // es el baton on_off switch
const int boton_manual=12; // baton manual
const int boton_automatico=0; // baton automatico
const int boton_inicio=1; // botón inicio automático
const int boton_reversa=A4; // botón reversa
const int sensor = 2; // El interruptor a utilizar será el 0 es decir el pin digital 2
const int sen_tem=A3; // sensor de temperatura
const int sen_vel_manual=A1; //velocidad modo manual
const int sen_vel_auto=A2; //velocidad modo automático
const int pwm_salida_L=3; //es la salida-L que va al motor
const int pwm_salida_R=11; //es la salida-R que va al motor
float hall_thresh = 100.0;
int pulsos=0; // variable para contar los pulsos en 1 segundo
int resolucion = 400; // pulsos por revolución del encoder
int tiempo; // variable para el tiempo para calcular la velocidad rpm
/////////////////////////////////CONTROL PID GANACIAS/////////////////////////////////
double rpm,error,Output,veldeseada; // variables rpm, error, velocidad deseada al-
macenadas
double Kp=1, Ki=10, Kd=0; // ganancias del control PID almacenadas
extern volatile unsigned long timer0_millis; // contador en milisegundos
unsigned long new_value = 0;
PID myPID(&rpm, &Output, &veldeseada, Kp, Ki, Kd, DIRECT); // configuración
de la biblioteca PID
/////////////////////////////////SE DEFINEN LOS ESTADOS DEL PROGRAMA/////////////////////////////////
#define APAGADO 0 // se define modo apagado
#define MODO 1 // se define modo 1

```

```

#define MODOMANUAL 2 // se define modo manual
#define AUTOMATICO 3 // se define automático
#define AUTOMATICO_INI 4 // se define automático inicio
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); // se declaran los pines de la pantalla LCD
int fsm_state = APAGADO; // Declara una variable y le asigna apagado
////////// SE DECLARAN LOS BOTONES COMO ENTRADAS Y SALIDAS
//////////
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  pinMode(boton_on_of, INPUT); // declaramos el boton on_of como entrada
  pinMode(boton_manual, INPUT_PULLUP); // declaramos el botón manual como
entrada
  pinMode(boton_automatico, INPUT_PULLUP); // declaramos el botón automático
como entrada
  pinMode(boton_inicio, INPUT_PULLUP); //declaramos el botón inicio automatico
como entrada
  pinMode(boton_reversa, INPUT); //declaramos el botón reversa como entrada
  pinMode(sensor, INPUT); //declaramos el botón rpm como entrada
  pinMode(sen_tem, INPUT); //declaramos el botón sensor temperatura como entrada
  pinMode(sen_vel_manual, INPUT); //declaramos el botón sensor velocidad manual
como entrada
  pinMode(sen_vel_auto, INPUT); //declaramos el botón sensor velocidad automático
como entrada
  pinMode(pwm_salida_L,OUTPUT); //declaramos la señal pwm_L como salida
  pinMode(pwm_salida_R,OUTPUT); //declaramos la señal pwm_R como salida
  myPID.SetSampleTime(20); //

```

```

myPID.SetMode(AUTOMATIC); //
myPID.SetOutputLimits(0,255); //
myPID.Compute(); //
}
void loop() {
switch(fsm_state) { // inicia variable a comparar en los casos
/////////////////////// CASO: APAGADO /////////////////////////////////////////
case APAGADO:
apagado(); // manda a llamar a modo apagado
if ( digitalRead(boton_on_of)==HIGH){ // se activa botón encendido en modo
apagado
lcd.clear();
fsm_state=MODO; // variable que compara caso modo
}
break;
/////////////////////// CASO: MODO /////////////////////////////////////////
case MODO:
lcd.print("Modo manejo"); // escribe en la pantalla la leyenda modo manejo
lcd.setCursor(0,0);
if ( digitalRead(boton_manual)==HIGH){ // se activa botón modo manual en caso
modo
lcd.clear();
fsm_state=MODOMANUAL; // variable que compara caso modo manual
}
if ( digitalRead(boton_automatico)==HIGH){ // se activa botón modo automático
en caso modo
lcd.clear();
fsm_state=AUTOMATICO; // variable que compara caso modo automático

```

```

}
if ( digitalRead(boton_on_of)==LOW){ // se activa botón apagado en caso modo
lcd.clear();
fsm_state=APAGADO; // variable que compara caso modo apagado
}
break;
//////////////////////////////////// CASO: MANUAL //////////////////////////////////////
case MODOMANUAL:
manual(); // manda a llamar modo manual
velocidadrpm();
if (digitalRead(boton_on_of)==LOW){ // se activa botón manual en caso manual
lcd.clear();
fsm_state=APAGADO; // variable que compara caso modo apagado
}
if ( digitalRead(boton_automático)==HIGH){ // se activa botón automático en caso
manual
lcd.clear();
fsm_state=AUTOMATICO; // variable que compara caso modo automático
}
break;
//////////////////////////////////// CASO: AUTOMATICO //////////////////////////////////////
case AUTOMATICO:
automatico();
if ( digitalRead(boton_inicio)==HIGH){ // se activa botón inicio automático en caso
automatico
lcd.clear();
fsm_state=AUTOMATICO_INI; // variable que compara caso modo automático
inicia

```

```

    }
    if ( digitalRead(boton_on_of)==LOW){ // se activa botón apagado en caso au-
tomático
    lcd.clear();
    fsm_state=APAGADO; // variable que compara caso modo apagado
    }
    if ( digitalRead(boton_manual)==HIGH){ // se activa botón manual en caso au-
tomático
    lcd.clear();
    fsm_state=MODOMANUAL; // variable que compara caso modo manual
    }
    break;
    //////////////////////////////////// CASO: ATOMATICO INICIO ////////////////////////////////////
    case AUTOMATICO_INI:
    automatico_ini();
    if ( digitalRead(boton_on_of)==LOW){ // se activa botón de encendido en caso
automático inicia
    lcd.clear();
    fsm_state=APAGADO; // variable que compara caso modo apagado
    }
    if ( digitalRead(boton_manual)==HIGH){ // activa botón modo manual en caso
automático inicia
    lcd.clear();
    fsm_state=MODOMANUAL; // variable que compara caso modo manual
    }
    break;
} // fin swicth
}

```

```

//////////////////////////////////// MODO APAGADO //////////////////////////////////////7//
void apagado(){
lcd.setCursor(0,0); // posición de escritura de la cd
lcd.print(".^pagado"); // se escribe en la pantalla apagado
analogWrite(pwm_salida_L,0); // establece la salida L
analogWrite(pwm_salida_R,0); // establece la salida R
}

//////////////////////////////////// MODO MANUAL //////////////////////////////////////
void manual(){
lcd.setCursor(0,0); // Posición donde desplegara mensaje
lcd.print("Manual"); // escribe en la LCD
int velocidad=analogRead(sen_vel_manual); // Manda la medición de la velocidad
velocidad=map(velocidad,0,1024,0,255);
if(digitalRead(boton_reversa)==HIGH) // si reversa está en 5V sigue el if
// si reversa está en bajo 0v se va al else
{
analogWrite(pwm_salida_L,velocidad); // manda un alto 5V y activa pwm_salida_L
digitalWrite(pwm_salida_R,LOW); // se le manda un 0V para desactiva pwm_salida_R
}
else
{
analogWrite(pwm_salida_R,velocidad); // manda un alto 5V y activa pwm_salida_R
digitalWrite(pwm_salida_L,LOW); // se le manda un 0V para desactiva pwm_salida_L
}
}

//////////////////////////////////// MODO ATOMATICO //////////////////////////////////////
void automatico(){
analogWrite(pwm_salida_L,0); // salida pwm_salida_L en 0 no está activada

```

```

analogWrite(pwm_salida_R,0); // salida pwm_salida_R en 0 no está activada
veldeeseada=analogRead(sen_vel_auto); // lee velocidad de deseada
veldeeseada=map(veldeeseada,0,1024,0,255); // potenciómetro
lcd.setCursor(0,0); // escribe la velocidad
lcd.print(".Escoge velocidad"); // se escribe la velocidad deseada
lcd.setCursor(8,1); // posición donde escribe la velocidad deseada
lcd.print(veldeeseada); // se escribe la velocidad medida
}
//////////////////////////////////// MODO AUTOMATICO INICIO //////////////////////////////////////
void automatico_ini(){
velocidadrpm(); // imprime la velocidad
veldeeseada=analogRead(sen_vel_auto); // lee velocidad deseada
veldeeseada=map(veldeeseada,0,1024,0,255);
myPID.Compute(); // se activa el control PID
if(digitalRead(boton_reversa)==HIGH) //si reversa está en 5V sigue el if
{
analogWrite(pwm_salida_L,Output); //manda un alto 5V y activa pwm_salida_L
digitalWrite(pwm_salida_R,LOW); //manda un bajo 0V y desactiva pwm_salida_R
}
else //si reversa está en bajo 0v se va al else
{
analogWrite(pwm_salida_R,Output); //manda un alto 5V y activa pwm_salida_R
digitalWrite(pwm_salida_L,LOW); //manda un bajo 0V y desactiva pwm_salida_L
}
lcd.setCursor(0,0); // posición de la lcd
lcd.print("velde:"); // se escribe en la lcd
lcd.setCursor(8,0); // posición donde escribe la lcd
lcd.print(veldeeseada); // se escribe velocidad deseada

```

```

myPID.Compute();
}
//////////////////////////////////// MEDICION DE VELOCIDAD //////////////////////////////////////
void velocidadrpm(){
int pulsos=0; // asigna a la variable pulsos el valor cero
boolean bandera=LOW;
unsigned long currentTime=0; // tempo
unsigned long startTime=millis();
while(currentTime<=1000)
{
if(digitalRead(sensor)==HIGH) // si sensor esta en alto
{
bandera=HIGH; // bandera esta en alto
}
if(digitalRead(sensor)==LOW && bandera==HIGH) // sensor bajo y bandera alto
{
pulsos++; //aumenta pulsos en 1
bandera=LOW; // bandera está en bajo
}
currentTime=millis()-startTime;
}
rpm=((double)pulsos/resolucion)*60; // formula para calcular rpm
lcd.setCursor(0,1); // posición de leyenda
lcd.write("vel:"); // escribe leyenda
lcd.setCursor(5,1); // posición de leyenda
lcd.print(rpm); // escribe valor de rpm
Serial.println(rpm);
}

```

```
void setMillis(unsigned long new_millis){ // función para reiniciar el tiempo a cero
uint8_t oldSREG = SREG;
cli();
timer0_millis = new_millis;
SREG = oldSREG;
}
```