



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS” ZACATENCO



**“ACCIONAMIENTO DE VELOCIDAD VARIABLE PARA
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTA

VICTOR HUGO PEREZ RODRIGUEZ

ASESORES

ING. JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

LIC. PAOLA VICTORIA MARTÍNEZ NIETO

CDMX, ENERO 2023

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA (N) DESARROLLAR C. VICTOR HUGO PEREZ RODRIGUEZ

“ACCIONAMIENTO DE VELOCIDAD VARIABLE PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS”

MODELAR UN ACCIONAMIENTO DE VELOCIDAD VARIABLE PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE 100
HP DE POTENCIA MECÁNICA


- ❖ INTRODUCCIÓN.
- ❖ FUNDAMENTOS TEÓRICOS.
- ❖ OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.
- ❖ ACCIONAMIENTO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.
- ❖ VENTAJAS COMPETITIVAS.

CIUDAD DE MEXICO, A 5 DE ENERO DE 2023

ASESORES


ING. JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ


LIC. PAOLA VICTORIA MARTÍNEZ NIETO


ING. BULMARO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA



Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe **VICTOR HUGO PEREZ RODRIGUEZ** manifiesto ser autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "**ACCIONAMIENTO DE VELOCIDAD VARIABLE PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**", en adelante "**La Tesis**" y de la cual se adjunta copia, **en un impreso y un cd** por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo al "**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**", en adelante **EL IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; para apoyar futuros trabajos relacionados con el tema, y como texto de consulta dentro del instituto de "**La Tesis**" por un periodo de **10 años** contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **EL IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **EL IPN** deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "**La Tesis**".

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de "**La Tesis**", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "**La Tesis**", por lo que deslindo de toda responsabilidad a **EL IPN** en caso de que el contenido de "**La Tesis**" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México., a 27 de junio de 2023.

Atentamente



VICTOR HUGO PEREZ RODRIGUEZ

Agradecimientos

A Dios: Porque gracias al señor he logrado llegar tan lejos y siempre ve por sus hijos, aunque en fallemos y nos sintamos retratados, nuestro señor siempre está al lado nuestro.

A mi madre: Porque siempre me ha brindado todo, comenzando por la vida, siendo en ocasiones la única que me ha apoyado en situaciones difíciles y que siempre me ayuda a superar creyendo en mí y dándome un lugar donde poder apoyarme en todos los sentidos.

A mi madrina: Que ha sido más que un familiar más ha sido una segunda madre que ha visto por mi bien en cada instante y sin importar la adversidad, me apoya incondicionalmente.

A mi tío: Porque me ha dado las bases para salir adelante cuando no hay nadie ahí que me pueda ayudar, y por brindarme su cariño y apoyo en situaciones difíciles que no puedo afrontar solo.

Al ingeniero José Antonio: Que realizo esta travesía junto a mí y me brindo el apoyo en todo momento, sin importar que fuera. Siendo mi pilar para llevar a cabo este trabajo de principio a fin, y en muchas ocasiones regalándome momentos de risas para hacer el proceso más ameno.

Índice

| | Página |
|--|--------|
| Índice | i |
| Índice de figuras | v |
| Índice de Tablas | vii |
| RESUMEN | viii |
| ABSTRACT | x |
| CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN | viii |
| 1.1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2. Objetivo General | 2 |
| 1.3. Objetivos Específicos | 2 |
| 1.4. Planteamiento del problema | 2 |
| 1.5. Justificación | 2 |
| 1.6. Antecedentes | 3 |
| 1.7. Metodología | 4 |
| 1.8. Alcance del proyecto | 4 |
| 1.9. Limitaciones | 5 |
| CAPÍTULO 2 FUDAMENTOS TEÓRICOS | 6 |
| 2.1. Introducción. | 6 |
| 2.2. Fuentes de energía | 6 |
| 2.3. Proceso de conversión de la energía | 8 |
| 2.3.1. Trasformaciones de la energía | 8 |
| 2.4. Motores de CD | 9 |
| 2.4.1. Estructura y modo de funcionamiento del motor CD | 9 |
| 2.4.2. Par de fuerzas desarrolladas en el inducido de un motor | 10 |
| 2.4.3. Tipos y características | 10 |
| 2.4.3.1. Motor Serie | 11 |
| 2.4.3.2. Motor conexión shunt | 12 |
| 2.4.3.3. Motor Conexión Compound | 12 |
| 2.4.4. Aplicaciones de los motores CD | 13 |
| 2.5. Arranque y frenado de motores de CD | 14 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.5.1. | Arranque de un motor de CD | 14 |
| 2.5.2. | Frenado de un motor de CD | 15 |
| 2.6. | Convertidores de CA a CD (rectificadores) | 16 |
| 2.6.1. | Funcionamiento del rectificador | 16 |
| 2.7. | Convertidores de CD a CD | 18 |
| 2.7.1. | Aplicación | 18 |
| 2.7.2. | Características | 18 |
| 2.8. | Convertidos de CA/CA (cicloconvertidores) | 20 |
| 2.8.1. | Aplicación | 20 |
| 2.8.2. | Representación | 20 |
| 2.9. | Variador de frecuencia | 21 |
| 2.10. | Controlador lógico programable (PLC) | 21 |
| 2.10.1. | Definición de Controlador lógico programable (PLC) | 21 |
| 2.11. | Transmisión mecánica de un vehículo | 22 |
| 2.11.1. | Partes constitutivas de la transmisión | 23 |
| 2.12. | Eficiencia energética | 24 |
| 2.12.1. | Definición de eficiencia energética | 24 |
| 2.12.2. | Ejemplos de aplicación de la eficiencia energética | 24 |
| 2.13. | Motores de inducción trifásicos | 24 |
| 2.13.1. | Funcionamiento del motor jaula de ardilla | 24 |
| 2.13.2. | Cambio de giro | 25 |
| 2.13.3. | Características de trabajo | 25 |
| 2.13.4. | Potencia Mecánica | 26 |
| 2.13.5. | Corriente de arranque | 26 |
| 2.13.6. | Par de arranque | 26 |
| 2.13.7. | Factor de potencia | 26 |
| 2.13.8. | Velocidad | 26 |
| 2.13.9. | Deslizamiento | 26 |
| 2.13.10. | Pérdidas eléctricas | 27 |

| | |
|---|-----------|
| 2.13.11. Rendimiento | 27 |
| 2.13.12. Ventajas y desventajas | 27 |
| CAPÍTULO 3 OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS | 28 |
| 3.1. Introducción | 28 |
| 3.2. Diferencias de transmisión | 28 |
| 3.3. Componentes del auto eléctrico | 29 |
| 3.3.1. Batería | 29 |
| 3.3.2. Motor eléctrico | 30 |
| 3.3.3. Sistema Regenerativo | 30 |
| 3.3.4. Sistema regulador | 30 |
| 3.3.5. Reductor de velocidad y diferencial | 31 |
| 3.3.6. Inversor y rectificador | 31 |
| 3.3.7. Controlador | 31 |
| 3.4. Gestión de la energía de un motor eléctrico | 31 |
| 3.4.1. Fase de aceleración | 32 |
| 3.4.2. Fase de retención | 32 |
| 3.5. Ventajas y desventajas | 32 |
| 3.5.1. Ventajas | 32 |
| 3.5.2. Desventajas | 33 |
| CAPÍTULO 4 ACCIONAMIENTO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICOS | 34 |
| 4.1. Introducción | 34 |
| 4.2. Potencia mecánica | 34 |
| 4.3. Corriente de arranque | 35 |
| 4.4. Par de arranque | 35 |
| 4.5. Velocidad | 39 |
| 4.6. Control de velocidad | 40 |
| 4.7. Regulación de la velocidad | 41 |
| 4.8. Frenado de la maquina | 42 |
| 4.8.1. Frenado por recuperación de energía (frenado regenerativo) | 42 |
| 4.8.2. Frenado por contracorriente | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 4.8.3. Frenado por inyección de corriente continua (frenado dinámico) | 42 |
| 4.9. Características del accionamiento. | 43 |
| 4.10. Inversor y rectificador | 44 |
| 4.11. PLC para el accionamiento. | 45 |
| 4.12. Sistema regenerativo. | 49 |
| 4.13. Variador de frecuencia. | 50 |
| 4.14. Softwares, Automation Studio y Yaskawa V1000 para simulación del accionamiento | 51 |
| CAPÍTULO 5 VENTAJAS COMPETITIVAS | 61 |
| 5.1. Introducción | 61 |
| 5.2. Accionamiento eléctrico y accionamiento mecánico | 61 |
| 5.3. Respuestas mecánicas en vehículos de combustión vs eléctricos | 62 |
| 5.4. Análisis costo beneficio | 64 |
| CONCLUSIONES | 65 |
| Apéndice A Vehículos en el mercado. | 67 |
| ANEXO | 73 |
| GLOSARIO | 74 |

Índice de figuras

| | Página |
|--|--------|
| Figura 2. 1. Par de fuerzas resultante en el inducido de un motor. | 10 |
| Figura 2. 2. Conexión Serie..... | 11 |
| Figura 2. 3. Motor Conexión Shunt..... | 12 |
| Figura 2. 4. Motor Conexión Compound | 13 |
| Figura 2. 5. Freno dinámico..... | 15 |
| Figura 2. 6. Estructura funcional básica de un convertidor CA/CD [10]..... | 16 |
| Figura 2. 7. Convertidor CD/CD elevador..... | 19 |
| Figura 2. 8. Convertidor CD/CD reductor. | 19 |
| Figura 2. 9. Circuito de un convertidor CA/CA monofásico. | 20 |
| Figura 2. 10. Diagrama de un variador de frecuencia. | 21 |
| Figura 2. 11. Esquema de trabajo del PLC. | 22 |
| Figura 2. 12. Transmisión de un auto [19]..... | 23 |
| | |
| Figura 3. 1. Estructura eléctrica de un auto eléctrico | 29 |
| | |
| Figura 4. 1. Curva característica Par-Corriente | 36 |
| Figura 4. 2. Gráfica Par vs velocidad | 38 |
| Figura 4. 3. Diagrama de cuerpo libre | 39 |
| Figura 4. 4. Curva característica Velocidad vs Carga | 40 |
| Figura 4. 5. Diagrama a bloques | 43 |
| Figura 4. 6 Inversor | 44 |
| Figura 4. 7. Rectificador. | 45 |
| Figura 4. 8. Diagrama de flujo de la programación..... | 46 |
| Figura 4. 9. Programación de escalera PLC | 47 |
| Figura 4. 10. Programación en funcionamiento..... | 47 |
| Figura 4. 11. Selección de marcha | 48 |
| Figura 4. 12. Selección de reversa..... | 48 |
| Figura 4. 13. Sistema de protección contra falla. | 49 |
| Figura 4. 14. Sistema regenerativo | 50 |
| Figura 4. 15. Función del variador de frecuencia [18]. | 51 |
| Figura 4. 16. Conexión control y fuerza..... | 52 |
| Figura 4. 17. Sistema energizado..... | 52 |
| Figura 4. 18. Marcha delantera | 53 |
| Figura 4. 19. Reversa..... | 54 |
| Figura 4. 20. Sistema de seguridad..... | 55 |
| Figura 4. 21. Interfaz variador Yaskawa..... | 56 |
| Figura 4. 22. Interfaz encendida..... | 57 |
| Figura 4. 23. Frecuencia variable creciente..... | 58 |
| Figura 4. 24. Frecuencia máxima entregada | 59 |

| | |
|--|----|
| Figura 4. 25. Frecuencia máxima para la reversa | 59 |
| Figura 4. 26. Sistema de precaución del variador | 60 |
| | |
| Figura 5. 1 Partes del accionamiento eléctrico para vehículo | 61 |
| | |
| Figura 5. 2 Partes del accionamiento mecánico..... | 62 |
| | |
| Figura A 1. Vista frontal del auto | 68 |
| Figura A 2. Vista trasera del auto | 68 |
| Figura A 3. Aceleración inicial del vehículo | 68 |
| Figura A 4. Aumento de velocidad | 69 |
| Figura A 5. Punto de velocidad cerca de la máxima velocidad | 69 |

Índice de Tablas

| | Página |
|--|--------|
| Tabla 2. 1. Fuentes renovables [1] | 7 |
| Tabla 2. 2. Fuentes no renovables [1] | 7 |
| Tabla 2. 3. Transformación de la energía [2]..... | 8 |
| Tabla 2. 4. Tipos de motores de CD [6]..... | 11 |
| Tabla 2. 5. Uso de los motores de CD [6] | 13 |
| | |
| Tabla 4. 1. Equivalencia de H.P y C.V [22] | 34 |
| Tabla 4. 2. Datos del motor | 37 |
| Tabla 4. 3. Par vs. velocidad | 37 |
| Tabla 4. 4. Parámetros del motor | 43 |
| Tabla 4. 5. Características del motor Yaskawa | 55 |
| | |
| Tabla 5. 1. Respuestas mecánicas motores de combustión vs motores eléctricos [26] | 63 |

RESUMEN

El avance y desarrollo tecnológico ha sido un factor clave para el bienestar y calidad de vida de las personas. Con el paso de los años nuevos inventos y descubrimientos tecnológicos han sido introducidos en la sociedad con el fin facilitar tareas que en el pasado eran complicadas de cumplir, véase el ejemplo de los motores, con una antigüedad bastante considerable, los motores han sido parte de los procesos industriales, ayudando principalmente en tareas donde es necesaria una capacidad de trabajo superior a la que posee cualquier ser humano, fue así como se introdujeron las máquinas de vapor, con el paso del tiempo estas máquinas evolucionaron hasta llegar a los motores que se conocen actualmente, y de los cuales dos han sido grandes protagonistas desde su creación hasta hoy en día, siendo estos; el motor de combustión interna y el motor eléctrico. Ambos grandes sistemas que están presentes casi en cualquier parte del mundo y que posiblemente se encuentren en cada hogar de cada familia. Sin embargo, ha sido crucial el tema de la contaminación y el calentamiento global, y es algo que ha tenido gran impacto principalmente por los sistemas de combustión interna, ya que estos hacen uso de combustibles fósiles para su funcionamiento y viendo que en cada ocho de diez hogares cuentan con un automóvil, el grado de contaminación se incrementa día a día. En la actualidad un automóvil ya no es un lujo, es una necesidad, y es por eso por lo que se busca la manera de reducir este impacto haciendo uso de las nuevas tecnologías. Es aquí donde entra el motor eléctrico, que es capaz de realizar las mismas acciones, pero sin la necesidad del uso de combustibles, puesto que este sistema usa electricidad y no emite humo a comparación de su hermano, sin embargo, el problema con las maquina eléctricas es su finalidad, puesto que no fueron construidos con la finalidad de trabajar en un sistema automovilístico, lo que ha sido un problema para la introducción de un motor eléctrico en el área automotriz. Es aquí donde el avance de la tecnología y el desarrollo de la electrónica de potencia entran en juego y ayudan a que estas máquinas puedan operar con las características necesarias que requiere un automóvil para operar correctamente, y no solo en el ámbito de ecología, el impacto de igual manera se ve en el mantenimiento del sistema, la constitución de este, los elementos requeridos para su operación y el costo del sistema.

Este trabajo tuvo como objetivo el modelar un variador de velocidad operado por un motor jaula de ardilla de 100 HP, el cual se pensó para su uso en sistemas vehiculares, haciendo uso de la metodología llamada, investigación-acción se pudo concretar que la mejor manera de lograrlo sería manipulando la tensión aplicada a través de la frecuencia, haciendo uso de un variador de frecuencia y de un PLC para su operación. Este trabajo fue desarrollado en su totalidad de manera digital haciendo uso de tres softwares para el modelaje, siendo el primero el programa computacional de simulación de la programación de escalera para PLC picosoft, el segundo siendo el programa Automation Studio, con el que se pudo poner en

práctica la programación de escalera y mostrarla junto con su diagrama de fuerza. Por último, el programa llamado Yaskawa V1000, con el que se representó el variador de frecuencia del sistema y como se varia la velocidad del motor.

Los resultados obtenidos son favorables para la construcción de sistemas vehiculares que usen esta estructura, sin embargo, quedaría realizar pruebas físicas con esta propuesta. Así como tomar en cuenta las ventajas que tiene contra los sistemas de combustión interna, aun así, existen algunas desventajas que presenta este modelo en comparación al anterior, pero que a largo plazo tienen un impacto importante en el ámbito ambiental.

ABSTRACT

Technological advancement and development have been a key factor for people's well-being and quality of life. Over the years, new inventions and technological discoveries have been introduced into society to facilitate tasks that in the past were difficult to accomplish, see the example of motors, with quite considerable antiquity, motors have been part of industrial processes, helping mainly in tasks where a work capacity greater than that of any human being is necessary. This is how steam engines were introduced, with the passage of time these machines evolved to reach the engines that are currently known, and of which two have been great protagonists from their creation until today, these being, the internal combustion engine and the electric motor. Both great systems that are present almost anywhere in the world and that are possibly found in every home of every family. However, the issue of pollution and global warming has been crucial, and it is something that has had a great impact mainly due to internal combustion systems, since they make use of fossil fuels for their operation and seeing that in every eight of ten households have a car, the degree of pollution increases day by day. At present, a car is no longer a luxury, it is a necessity, and that is why a way is sought to reduce this impact by making use of new technologies. This is where the brother of the internal combustion engine comes in, the electric motor, which is capable of performing the same actions, but without the need to use fuel, since this system uses electricity and does not emit smoke compared to its brother, However, the problem with electric machines is their purpose, since they were not built for the purpose of working in an automobile system, which has been a problem for the introduction of an electric motor in the automotive area. It is here where the advancement of technology and the development of power electronics come into play and help these machines to operate with the necessary characteristics that a car requires to operate correctly, and not only in the field of ecology, the impact. Similarly, it is seen in the maintenance of the system, its constitution, the elements required for its operation and the cost of the system.

The objective of this work was to model a variable speed drive operated by a 100 HP squirrel cage motor, which was intended for use in vehicular systems, using the methodology called action research, it was possible to specify that the best way to achieve this, it would be manipulating the voltage applied through the frequency, making use of a frequency inverter and a PLC for its operation. This work was developed entirely digitally using three software for modeling, the first being the ladder programming simulation computer program for picosoft PLC, the second being the Automation Studio program, with which it was possible to put Practice the ladder schedule and display it along with your force diagram. Finally, the program called Yaskawa V1000, with which the system's frequency inverter was represented and how the motor speed is varied.

The results obtained are favorable for the construction of vehicular systems that use this structure; however, it would remain to carry out physical tests with this proposal. As well as considering the advantages that it has against internal combustion systems, even so, there are some disadvantages that this model presents in comparison to the previous one, but that in the long term have a significant impact on the environment.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo científico y tecnológico, en tiempos contemporáneos, permite estimar y ver un mundo cada día más automatizado; en este sentido, el accionamiento eléctrico utilizado en sistemas industriales para el control y automatización de la maquinaria utilizada, juega un papel sobresaliente, pues presenta la parte electromecánica que responde a instrucciones específicas previamente programadas o percibidas de voz y datos de los usuarios para efectuar acciones específicas dictadas por los mismos.

Los vehículos eléctricos cada día se están posesionando más en el mercado, con la premisa de ser ante los ojos de los consumidores, vehículos ecológicos que no contaminan, aunque habría que hacer una valoración más precisa para relacionar el consumo de energía de éstos con el modo en que se genera la misma; sin embargo, se puede intuir que son vehículos más amigables con el medio ambiente. En la actualidad, tanto vehículos híbridos como totalmente eléctricos ya se están comercializando de manera importante y con tendencia alcista.

En este contexto, el presente trabajo se enfoca en relacionar el accionamiento electromecánico con el par motor (que es la fuerza requerida para realizar un trabajo extenuante), dicha relación es determinante en la tracción de los vehículos eléctricos, específicamente cuando se espera tener una respuesta mecánica equivalente a 100 HP de potencia mecánica, para ello la estructura del trabajo atiende el siguiente orden:

Inicia estableciendo los fundamentos requeridos para la descripción diseño y simulación del objeto de estudio partiendo de los tipos de fuentes de energía, proceso de conversión, motores, PLC y transmisión mecánica,

Continuando con la descripción de componentes electrónicos que permiten variar la velocidad de los motores que, para el caso de esta investigación, se tiene como respuesta la incidencia de ésta en la tracción mecánica.

La parte esencial se centra en el modelo analítico y descripción de la operación eléctrica a realizar para tener como respuesta una variación de la velocidad usando PLC y el software Automation Studio, para simular la respuesta operativa.

Finalmente, se analiza el costo beneficio que presenta este servomecanismo para evaluar su viabilidad económica.

1.2. Objetivo General

Modelar un accionamiento de velocidad variable para vehículos eléctricos de 100 HP de potencia de tracción mecánica.

1.3. Objetivos Específicos

1. Realizar una investigación bibliográfica de las diferentes fuentes y convertidores de los accionamientos de CA y CD.
2. Describir la operación de los dispositivos de electrónica de potencia utilizados en los accionamientos eléctricos para el control de la velocidad.
3. Relacionar el accionamiento eléctrico, controlador, frecuencia y velocidad.
4. Simular el accionamiento de motores de vehículos eléctricos.
5. Desarrollar la evaluación costo-beneficio del proyecto y determinar si existe viabilidad económica

1.4. Planteamiento del problema

El conocimiento de la forma de uso de la energía eléctrica en el accionamiento electromecánico que permita orientar y regular la velocidad de los motores, que a la vez puedan dar lugar a una respuesta de velocidad variables en la tracción mecánica, es una necesidad cada vez que la dinámica del desarrollo industrial se está orientando a la automatización de los procesos.

En este sentido, el accionamiento eléctrico para la transmisión de potencia y el equipo de control que regula las condiciones de operación respecto a la carga, constituyen el punto central de este tema de proyecto para tener aumento o disminución de la velocidad de los vehículos.

1.5. Justificación

En el contexto de los sistemas que hacen usos de accionamientos de velocidad variable existen tres componentes esenciales: el primo motor (motor eléctrico), la flecha o dispositivo transmisor de energía eléctrica a mecánica y el equipo de control que opera o regula las condiciones del trabajo deseado.

El presente proyecto se focaliza en conocer y analizar las formas en que se regula la velocidad del motor de Corriente Alterna para variar la velocidad de los motores que a la vez permiten la variación de la tracción mecánica que origina aumento o disminución de la velocidad de vehículos,

para este caso se considera a vehículos cuya tracción mecánica oscile entre 100 HP.

El accionamiento eléctrico para la transmisión de potencia y el equipo de control que regula las condiciones de operación respecto a la carga, son elementos fundamentales para el análisis; es decir, partiendo de una fuente de energía de Corriente Directa CD, una batería del vehículo, y un Controlador Lógico Programable (PLC), como dispositivo de control que permite tener variaciones de tensión eléctrica y frecuencia del sistema, parámetros que permiten la variación de la velocidad del motor eléctrico, se regulará la potencia del dispositivo de transmisión de energía eléctrica a mecánica derivando en variaciones de velocidad del vehículo.

En el campo vehicular se está transitando al uso de los motores eléctricos que poco a poco están sustituyendo a los motores de combustión, esto se debe a dos situaciones en particular, la primera es que la disponibilidad y consumo de recursos naturales, tales como; los combustibles fósiles, gas, gasolinas, diésel, entre otros, poco a poco tienden a disminuir, debido a que su insumo principal, el petróleo, tiende al agotamiento. La segunda, y la más importante causa, radica en que el uso de combustibles fósiles está impactando de manera determinante en el cambio climático siendo un casual del calentamiento global que ya se vive y padece, siendo un factor utilitario para su control o retroceso un cambio en las condiciones de consumo de estos recursos ya que afecta directamente a todos los seres vivos del planeta.

En síntesis, este proyecto tiene tres aspectos sobresalientes

1. Regular la velocidad del accionamiento de acuerdo con los requerimientos de velocidad de un vehículo.
2. Establecer el equilibrio eléctrico de la potencia del accionamiento al par requerido para la tracción mecánica vehicular y
3. Mejora la eficiencia energética.

1.6. Antecedentes

Fabian Alberto García Quintero. Evaristo García García. Corporación Universitaria Autónoma De Occidente División De Ingenierías Programa De Ingeniería Eléctrica Santiago De Cali 1999. Desarrollaron un trabajo de desarrollo de un variador de velocidad de AC y CD. Obteniendo como resultado que actualmente los sistemas de corriente continua son poco utilizados por la razón de su alto costo de fabricación visto desde el motor, tanto como el convertidor ya que existen métodos para la variación de velocidad de menor costo.

Andrés Camilo Morales Palacios. Universidad de los Andes, facultad de ingeniería Bogotá. 2009. Realizó un estudio para las aplicaciones de la electrónica de potencia para el control de velocidad en diferentes tipos de motores eléctricos, donde concluyó que los motores de CD son de fácil aplicación, pero su inconveniente en la industria es su aplicación empresarial, debido al alto costo de producción de tensión de CD.

Joaquín Eduardo Ros Fernández. Universidad Politécnica de Cartagena 10 de marzo de 2015. Desarrolló un proyecto centrado en diseñar un controlador de velocidad de una máquina de continua, obteniendo como resultado un diseño funcional de un variador de velocidad, colocando los costos, los componentes a utilizar, y las normativas que este dispositivo cumple para operar de una manera segura y correcta.

Martínez Martínez S. Mendoza Delgado A. Campos Delgado D.U. CIEP, Facultad de Ingeniería UASLP. Sin fecha de realización. Desarrollaron un trabajo de investigación de un Variador de Velocidad para un Motor CD, obteniendo como resultado un sistema de control capaz de mantener un buen desempeño en cuanto a seguimiento y rechazo a perturbaciones, debido a la acción integral inducida.

Jaime Rodríguez Arribas y Marcos Lafoz Pastor. Industriales ETSII UPM Dpto. Ingeniería Eléctrica. Sin fecha de publicación. Realizaron un artículo donde hacen una introducción al tema de la tecnología de los motores eléctricos en vehículos. Donde se concluyó que, el proceso de transición de los vehículos eléctricos para sustituir al sistema clásico de combustión interna se verá un tanto afectado una temporada, puesto que el suministro de la alimentación (banco de baterías) aún no está en su máximo punto de eficiencia, por lo tanto, los autos híbridos serán lo más cercanos a lo que un sistema eléctrico actual se refiere.

1.7. Metodología

Investigación-acción, esto permitirá adecuar contenidos fundamentados en el desarrollo de las investigaciones e incorporarlos al desarrollo de contenidos.

Así mismo se fundamenta los accionamientos eléctricos desde un punto de vista teórico-analítico, para continuar con la descripción de los sistemas de control y simulación de la operación de estos.

1.8. Alcance del proyecto

Simulación de un accionamiento para vehículos eléctricos que desarrollen una tracción mecánica de 100 HP.

Relación de la operación del accionamiento eléctrico para la potencia de tracción mecánica especificada.

Relación del conocimiento de conversión de la energía con el ámbito de la formación profesional de la ingeniería eléctrica.

1.9. Limitaciones

Al ser un modelo analítico, los parámetros propuestos y el motor eléctricos son ideales.

En el modelo no se considera los factores externos al propio accionamiento, lo que indica que valores dependientes de otros factores son modificados manualmente.

Los resultados obtenidos en este trabajo son totalmente teóricos de un sistema ideal.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Introducción.

Los fundamentos teóricos en cualquier trabajo de investigación son esenciales para poder justificar todo el proceso llevado a cabo durante cualquier actividad realizada, es por ello que la teoría tiene un papel importante.

En este capítulo se encuentran los fundamentos teóricos necesarios para poder entender los procesos de la conversión de la energía, desde las fuentes existentes, como los tipos de motores existentes y sus características, algunos tipos de convertidores y rectificadores, el variador de frecuencia y las partes de la transmisión de un automóvil.

2.2. Fuentes de energía

Hoy en día, un tema del que se habla muy comúnmente es el de la obtención o conversión de la energía, puesto que los sistemas que se utilizan diariamente hacen uso de algún tipo de energía. Estas energías se diferencian en dos grupos, los cuales son conocidos como; energías renovables y no renovables, de las cuales se harán mención algunas de las energías renovables en la tabla 2.1.

La tabla 2.1 muestra una lista de energías renovables usadas para la transformación de esta en su mayoría a energía eléctrica, estas energías son principalmente: la energía solar, eólica, química, nuclear y térmica, siendo las principales para la generación de la energía eléctrica y el suministro eléctrico. Siendo en México la energía térmica la utilizada para la generación y distribución de la energía eléctrica a nivel nacional.

Tabla 2. 1. Fuentes renovables [1]

| Energías renovables | |
|----------------------------|--|
| Energía solar | Proveniente de la radiación solar. |
| Energía eólica | Producida por la fuerza del viento. |
| Energía geotérmica | Proveniente del interior del planeta. |
| Energía nuclear | Producida por la fusión de átomos de uranio. |
| Energía hidráulica | Producida por la caída de las aguas, como las cascadas. |
| Energía mareomotriz | Proveniente de las olas generadas en los mares de manera natural. |
| Energía química | Generada por alguna reacción química y la cual afecta a la materia de manera permanente. Tal es el caso de la combustión de alguna sustancia inflamable. |
| Energía térmica | Proveniente de las fuentes generadoras de calor. |

Estas fuentes renovables reciben el nombre por el hecho ser energía limpias o recuperables, puesto que el impacto ambiental que representan es mínimo y, por lo tanto, no existe una contaminación al hacer uso de ellas para la conversión de la energía.

Por otro lado, las energías no renovables presentadas en la tabla 2.2, son aquella que, al contrario de las energía renovables, no se pueden volver a utilizar para el mismo proceso dos veces, como es el caso de la quema de los combustibles, como puede ser; petróleo, carbón mineral o gas natural, los cuales no se pueden recuperar.

Estas energías son muy comúnmente usadas en la generación de la energía eléctrica y van de la mano con la generación por el método térmico, puesto que para generar ese calor necesario se hace el uso de combustibles fósiles.

Tabla 2. 2. Fuentes no renovables [1]

| Energías no renovables | |
|-------------------------------|--|
| Petróleo | Lo común de estos tres ejemplos es, una vez usados para la transformación de la energía no se pueden recuperar, para otro proceso igual. |
| Carbón mineral | |
| Gas natural | |

El caso con estas energías no renovables aparte de no ser recuperables es el impacto ambiental que generan, porque al ser usados

principalmente para la quema de estos elementos, los humos que emiten la combustión de estas hacen que el medio ambiente se vea afectado por el recubrimiento de estos y, por lo tanto, existan consecuencias en el propio planeta.

2.3. Proceso de conversión de la energía

Tal y como postula la Ley de Conservación de la Energía, o el primer Principio de la Termodinámica, la energía no se crea ni se destruye, simplemente se transforma [2]. Toda la energía es capaz de transformarse de diferentes maneras, pero quedándose solo como una transformación, un ejemplo de esta es la conversión de la energía mecánica a energía eléctrica, o la energía química que puede transformarse en energía térmica, sin importar que proceso sea, la cantidad de energía transformada será la misma.

2.3.1. Transformaciones de la energía

Los diferentes cambios que puede tener la energía al transformarse de una a otra son variados, puesto que no siempre se obtiene el mismo resultado en dicho proceso, al menos que se tenga planeado un cambio específico para la transformación de la energía, algunos ejemplos se muestran en la tabla 2.3, como lo es química a eléctrica, mecánica a eléctrica. Siendo estos los procesos más comunes en el ámbito eléctrico, puesto que estas transformaciones se encuentran en las pilas y baterías (química a eléctrica), en los generadores que giran constantemente y producen la energía (mecánica a eléctrica) y en las plantas nucleares usando la energía para generar calor y hacer girar las turbinas de los generadores (nuclear a mecánica).

Tabla 2. 3. Transformación de la energía [2]

| Energía | Transformación |
|------------------|-----------------------|
| Química | Eléctrica |
| Química | Térmica |
| Eléctrica | Mecánica |
| Eléctrica | Calorífica |
| Mecánica | Eléctrica |
| Nuclear | Mecánica |
| Térmica | Cinética |

Existen una cantidad innumerable de transformaciones que posee la energía, por lo que no tiene caso mencionar más, lo importante de esto es la relación de la cantidad de energía, ya que como se mencionó en el punto 2.3, la cantidad de energía es la misma independiente del tipo al que se transforme.

2.4. Motores de CD

El motor eléctrico es un dispositivo electromecánico cuya finalidad es la transformar energía eléctrica a mecánica.

El principio de funcionamiento establece que cuando un conductor por el que circula una corriente y se encuentra dentro de un campo magnético, tendrá a desplazarse en sentido normal a las líneas del campo magnético [6].

2.4.1. Estructura y modo de funcionamiento del motor CD

La constitución de los motores de CD es algo particular, gracias a sus pocos componentes es una máquina confiable y sencilla. Sus partes constitutivas son dos, siendo éstas el rotor (parte móvil del motor) y el estator (parte fija del motor) este segundo suele ser construido con un electroimán o en su defecto de un imán permanente. Dentro del propio estator se encuentra un componente más que igualmente es construido con un electroimán. Estos motores de corriente continua con la denominación de estator y rotor se denominan de rotor interior o central, mientras que la estructura contraria se corresponde al denominado motor de rotor o inducido exteriores [4].

Los embobinados del rotor conectados mediante un conmutador, sirven como un alternador de polos, lo que conlleva contactos que rozantes que toman la forma tipo cepillo, los cuales están fabricados de un material conductor. Los materiales más comunes para este tipo de aplicaciones son el grafito, y dependiendo para que tipo de servicio se requiera el motor, se enriquecen con otros tipos de metal. Una vez que la corriente recorre en los embobinados del rotor, el propio motor pasa a ser un electroimán por sí mismo, el cual funciona y trabaja gracias a las fuerzas magnéticas generadas, las cuales interactúan con la parte estática, el estator, esto se debe a la repulsión de polos de misma polaridad, los cuales se repelen y de esta manera se genera el movimiento rotatorio que se produce el motor. Para garantizar una rotación continua debe producirse una reversión periódica de la dirección de la corriente [4]. Para esto se emplea el uso de escobillas, con las cuales ayudan al acumulador del motor a que estas inversiones periódicas de los polos sucedan.

2.4.2. Par de fuerzas desarrolladas en el inducido de un motor

Cuando en lugar de una sola espira, se hace una configuración de varias, logrando un embobinado, hecho de conductores es expuesta a la circulación de una corriente, y estas son puestas sobre la armadura del motor y en este mismo se encuentra un gran campo eléctrico, por ende, se desarrolla una fuerza "F" en cada lado del embobinado, pero en sentido contrario, las cuales sumadas se obtiene el dichoso par de fuerzas resultante, figura 2.1. Esto provoca que el motor gire en el mismo sentido en que la corriente lo hace.

La figura 2.1 muestra el ejemplo de una espira donde pase una corriente eléctrica que se encuentra en medio de dos imanes con sus respectivas polaridades positiva (N) y negativa (S) y esto se convierte en un electroimán, en las que ambas contienen cargas negativas como positivas, estas cargas interactúan con la espira, realizando una acción de atracción repulsión, haciendo que esté en movimiento constantemente formando el par generado y así el principio de trabajo del motor.

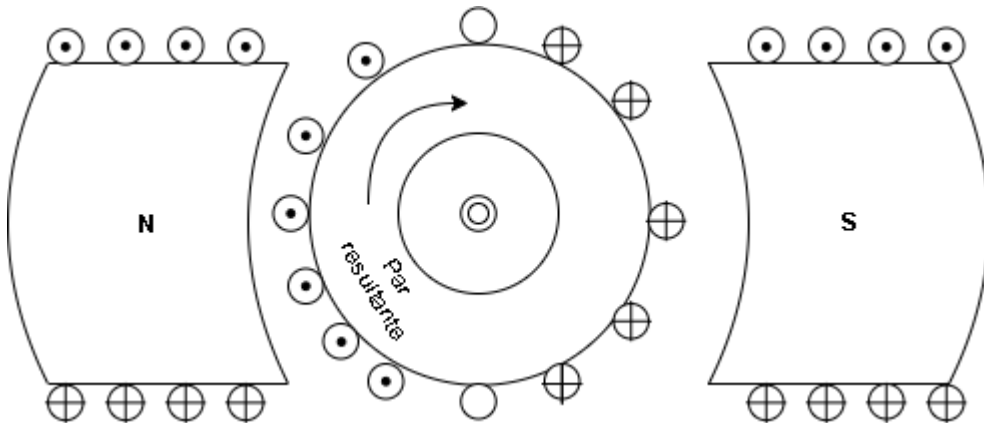


Figura 2. 1. Par de fuerzas resultante en el inducido de un motor.

Ahora si lo que se requiere es que este par resultante conserve su mismo sentido de trabajo, va a ser necesario que la dirección de la corriente y la de los conductores del embobinado sea la misma y para esto se debe hacer uso de un conmutador, para que este pueda realizar la conmutación correspondiente de la corriente suministrada, y de esta manera siempre lleve una sola dirección en un solo sentido.

2.4.3. Tipos y características

De la misma manera que los generadores de CD, el devanado de campo de los motores igualmente de CD se conecta con respecto

a su armadura quedando las siguientes configuraciones mostradas en la tabla 2.4.

Esta tabla muestra los tres tipos de motores de CD existentes y los cuales reciben estos nombres debido a su conexión de su devanado de campo con su armadura.

Tabla 2. 4. Tipos de motores de CD [6]

| Motores de CD |
|------------------------|
| Motor Serie |
| Motor Shunt |
| Motor Mixto o Compound |

2.4.3.1. Motor Serie

Esta clase motor tiene la peculiaridad de que su devanado de campo (Campo serie) se conecta en serie con su armadura (M), ver figura 2.2. En esta configuración el devanado de campo cuenta con pocas espiras en su embobinado y de un calibre que permita el paso de la corriente de régimen que requiere el inducido, la cual por lo habitual es muy grande si se compara con la corriente absorbida por los sistemas de CD.



Figura 2. 2. Conexión Serie

Cuando este sistema se conecta con la tensión de trabajo correcta, la gran cantidad de corriente que se absorbe en ese momento del arranque se limita por la resistencia del reóstato, la cual se encuentra conectada en serie con el propio devanado de campo y con el devanado de la armadura, esto con el fin del proteger a la máquina de algún daño que se pueda causar al momento el arranque. Una vez que se disminuye la resistencia que proporciona el reóstato del campo, de poco en poco la corriente recorre los embobinados, lo que hace que el motor genere el par de arranque necesario, y haciendo girar la maquina hasta alcanzar su velocidad máxima.

2.4.3.2. Motor conexión shunt

Este motor tiene la característica de que su devanado de campo (Campo derivado) está conectado en paralelo con la armadura (M), es por lo que es llamado motor paralelo o shunt por su conexión (ver figura 2.3.) Con esta conexión se logra que la corriente que recorre el sistema sea independiente de la corriente de excitación la cual llega a ser controlada por un reóstato de campo.

Entre las virtudes que posee esta máquina se puede destacar su constante velocidad, ya que esta no se afecta cuando el motor trabaja con carga, lo cual hace que estas máquinas sean precisas y con una gran estabilidad. Algunas otras cualidades por resaltar serian; posee buena regulación de velocidad, trabaja sin la necesidad de carga y su par es moderado.

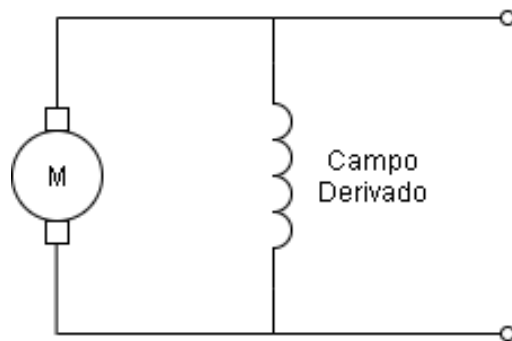


Figura 2. 3.Motor Conexión Shunt

2.4.3.3. Motor Conexión Compound

Si el motor paralelo se le conecta otro devanado en serie, se convierte en un motor compuesto, tal como se muestra en la figura 2.4.

Posee dos embobinados con el rotor o armadura (M), siendo una en serie y otra en paralelo (Campo serie y derivado). Estos motores son una combinación de los dos anteriores, esto con el objetivo de mejorar algunas características como lo son; velocidad/carga y par/carga. Este sistema se caracteriza por su elevado par de arranque, sin embargo, esto no es un indicador de riesgo por trabajo inestable en caso de que trabaje en vacío, lo que si ocurría en la conexión serie. Lo que sí se puede mencionar es su muy alto número de revoluciones que está máquina puede llegar a adquirir.

Otras características son: Posee un par constante y cuenta con un amplio rango de velocidades.

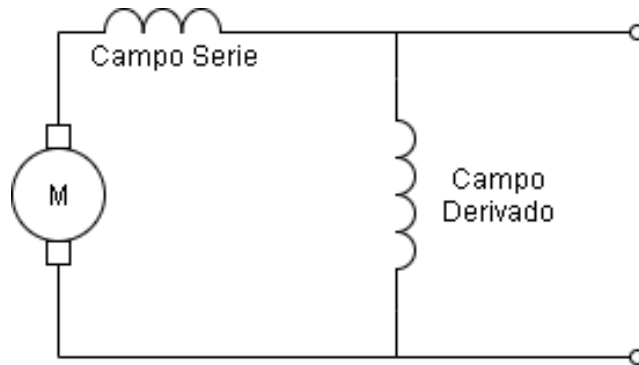


Figura 2. 4. Motor Conexión Compound

El devanado se conecta de manera que la acción de su campo magnético se suma a la del devanado paralelo en cuyo caso, se dice que es un motor compuesto integral, y cuando estos se retiran, se dice que es un motor compuesto diferencial.

2.4.4. Aplicaciones de los motores CD

Gracias a las características que poseen los motores de CD, estos son empleados en un gran número de aplicaciones, de las cuales se nombran algunas de ellas en la tabla 2.5, donde se encuentran usos cotidianos y comunes como son los elevadores y ferrocarriles.

Tabla 2. 5. Uso de los motores de CD [6]

| Aplicaciones |
|---|
| Trenes de laminación reversibles |
| Cizallas en trenes de laminación en caliente |
| Maquinas herramientas |
| Maquinas extractoras |
| Elevadores |
| Ferrocarriles |
| Trefiladoras |

2.5. Arranque y frenado de motores de CD

2.5.1. Arranque de un motor de CD

El arranque de una maquina es aquel donde inicia en un estado de reposo y comienza a trabajar. Durante este proceso el motor general el par resistente, el cual consiste en vencer las resistencias debida a la inercia y a los rozamientos de sus partes móviles del motor [8], este par resistente no debe superar al par de arranque del sistema, ya que, de ser así, arrancar sería una tarea imposible para el motor.

Este punto es importante a la hora del arranque, principalmente por la corriente de la línea, la cual puede llegar a ser muy elevada, y si no se toma en consideración podría causar daños a la línea y al propio motor quemando los embobinados.

Al momento del arranque el sistema está totalmente en estado de reposo, lo cual significa que su velocidad es cero. Es por esto, que la tensión de la alimentación llega al devanado, por lo que al momento del arranque las corrientes que recorren los embobinados del motor sean muy elevada llegando a superar diez veces su corriente nominal del sistema, esto ocurre, ya que el par motor y el par resistente de la carga están equilibrados [8].

La corriente que llega al devanado se representa por medio de la ecuación (2.1):

$$I_r = \frac{U - v}{R_i} \quad (2. 1)$$

Donde:

I_r : Es la corriente de arranque (A)

U : La tensión de alimentación (V)

v : La tensión presente en el sistema (V)

R_i : Resistencia del devanado de campo (Ω)

Para evitar los daños en el sistema y así mismo limitar la corriente de arranque a valores más comprensibles, se debe de instalar una resistencia en serie con el inducido. Esta resistencia tiene el mismo principio de un reóstato de campo, con el cual poco a poco se varia la corriente de entrada. De principio este reóstato debe estar colocado en su valor máximo, para que en pequeños intervalos se reduzca la resistencia que esta entrega, hasta llegar a un punto de estabilización y que los valores de trabajo del motor sean los nominal. Esta actividad puede realizarse manualmente o si se desea automatizarlo con elementos de electrónica. Las características de este reóstato dependerán directamente del tipo de motor con el que se esté trabajando.

2.5.2. Frenado de un motor de CD

No existen muchos métodos para frenar los motores, los más conocidos y aplicados son los frenos dinámicos, por recuperación o regeneración y el de Prony.

El freno dinámico y el de recuperación se fundamentan en el mismo principio; la energía almacenada en un motor debido a la inercia de sus partes giratorias, si la consume o la disipa en su carga o en sus resistencias, se dice que el motor se comporta como generador, pero si la devuelve a la línea de alimentación entonces se le denomina freno regenerativo [6].

El freno dinámico o por recuperación, está constituido por un solenoide intercalado en serie con el inductor (campo serie) y con el inducido (M) (ver figura 2.5), que atrae y suelta unas zapatas de freno y suelta a un tambor montado en la flecha del motor, deteniendo o dejándolo funcionar.

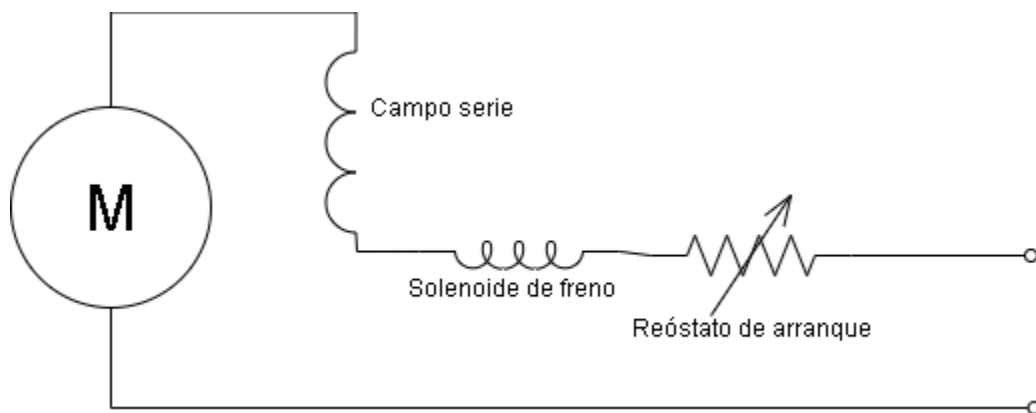


Figura 2. 5. Freno dinámico

El sistema de arranque, frenado y cambio de giro es controlado por medio de un combinador de resistencia exterior que se intercala o se separa por medio de más contactos. Así mismo, el cambiador va provisto de un sistema de contactos para producir los necesarios e invertir el sentido de giro, además tiene un reóstato de arranque más robusto que los conocidos reóstatos de arranque.

Para frenar, el combinador desconecta la línea, cesando automáticamente la corriente y por lo tanto el campo magnético del solenoide de freno, suelta de inmediato a las zapatas de freno, que por medios electromagnéticos las había atraído, frenando al motor casi

instantáneamente. Estos tipos de frenados son muy usuales en elevadores y grúas.

El frenado de Prony, llamado así debido a su inventor, el ingeniero francés Gaspard de Prony, se basa en el sencillo principio de detener la marcha del motor mediante una polea colocada alrededor de un volante que se encuentra sobre la flecha del motor y una palanca que sirve para tensar dicha polea. Haciendo presión con la palanca de manera que la polea se haga más tensa y la fricción que haga sobre el volante hará que se detenga el giro del motor [6].

Métodos más evolucionados se vienen desarrollando hoy en día para detener o frenar los motores sirviendo de base los principios de frenado presentados, sin embargo, éstos tienen todavía mucha utilización.

Actualmente el control de motores de CD, especialmente el que se conecta en paralelo, desde el arranque, marcha y paro, se realiza mediante el empleo del rectificador de silicio (RCS) a partir de una fuente de energía de C.A.

2.6. Convertidores de CA a CD (rectificadores)

Los convertidores CA/CD, denominados también rectificadores, son aquellos arreglos de electrónica de potencia capaces de convertir una señal senoidal de corriente alterna (CA) en una señal constante de corriente continua (CD)

2.6.1. Funcionamiento del rectificador

Su función básica de estos sistemas se muestra en la figura 2.6, donde una señal de corriente alterna es la entrada (señal senoidal), después el rectificador realiza el proceso correspondiente (dispositivo electrónico compuesto por un puente de diodos), por lo que en la salida se obtiene la señal de corriente continua.

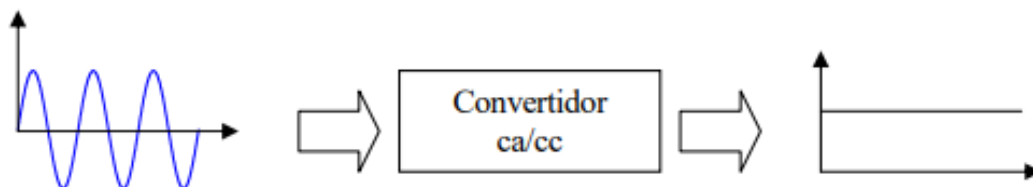


Figura 2. 6. Estructura funcional básica de un convertidor CA/CD [10]

Se deben de tener en cuenta varios aspectos al momento de usar un sistema de rectificación, pues, aunque su finalidad es la de convertir una señal de corriente alterna en una señal de corriente continua, pueden existir algunos problemas si no se tiene presente estos aspectos que permiten hacer un uso correcto de estos dispositivos. Primeramente, el rendimiento del rectificador, el cual es medido mediante las pérdidas generadas durante la rectificación como se muestra en la ecuación (2.2) [10].

$$P_p = P_e - P_s \quad (2.2)$$

Donde:

P_p : Potencia de pérdidas (W)

P_e : Potencia activa consumida (W)

P_s : Potencia activa cedida (W)

Si P_e es la potencia activa consumida por el convertidor y P_s es la potencia activa cedida a la carga, se define la potencia de pérdidas de convertidor P_p como [10]:

El rendimiento del convertidor η se define en la ecuación (2.3)

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} = \frac{P_e - P_p}{P_e} = 1 - \frac{P_p}{P_e} \quad (2.3)$$

Donde:

P_p : Potencia de pérdidas (W)

P_e : Potencia activa consumida (W)

P_s : Potencia activa cedida (W)

η : Rendimiento del convertidor (%)

1 : multiplicador para obtener el resultado en porcentaje

Visto esto, se determina que el rendimiento en un rectificador es un punto importante, pues un rectificador siempre funcionará de

mejor manera cuando mayor rendimiento posea, en otras palabras, se refiere a que las pérdidas durante el proceso sean mínimas.

Sin embargo, es verdad que el rendimiento de un rectificador es muy importante, pero existe un segundo factor a considerar. Ya en la práctica un rectificador siempre tendrá un desperfecto en la señal de salida, puesto que esta no es totalmente continua, existiendo algunos puntos con rizados, los cuales distorsionan esta corriente continua.

2.7. Convertidores de CD a CD

Estos convertidores tienen la misma función que los transformadores, sin embargo, en este caso el proceso realizado será totalmente con corriente continua. Entrando un valor de tensión y obteniendo una salida distinta, ya sea reducida o aumentada.

2.7.1. Aplicación

Como se comentó su forma de operar es similar a la de los transformadores, con la singularidad de usar únicamente corriente continua. Sus aplicaciones son tan bastas como las de los rectificadores (convertidores de CA/CD). Si se busca una aplicación práctica, estos sistemas de conversión son normalmente vistos en accionamientos embarcados. Y son fácilmente vistos en sistemas tan comunes como lo son: automóviles, en los motores para los parabrisas, en los motores de arranque, sistemas de aviones, barcos, etc., así mismo aplicaciones más cotidianas sería en los sistemas reproductores de música y sistemas portátiles.

2.7.2. Características

Visto desde la parte puramente técnica se establece que este tipo de convertidores poseen ventajas en comparación a otras maneras de regulación de la tensión cuando es aplicado a los accionamientos de CD, tales como:

- Proporcionar continuamente una variación de salida, lo que igualmente reduce la aceleración constante presente en el accionamiento.
- La respuesta dinámica presentada es muy rápida.
- Poseen una eficiencia potencialmente elevada.

Viendo estos sistemas desde un punto de vista arquitectónico, se observa que estos dispositivos se agrupan dependiendo su

capacidad para realizar las transformaciones de la tensión de entrada, pues depende de cómo será la salida, si es que esta tensión se eleva o se reduce. Es por eso que estos convertidores se presentan en dos variantes, siendo estas: convertidor de CD/CD elevador, figura 2.7, y el convertidor de CD/CD reductor, figura 2.8.

La figura 2.7, muestra un convertidor de CD/CD elevador, el cual consiste en un interruptor (S) y una resistencia (R), en el cual pasa una tensión de entrada (V_e) que cuando el interruptor está abierto no hay corriente por el circuito, pero cuando se cierra aparece una tensión en la resistencia en función del tiempo ($V_s(t)$), y como se observa en la parte derecha, el dispositivo funciona cuando el interruptor cierra, teniendo un periodo de actividad (On) y una de inactividad (Off).

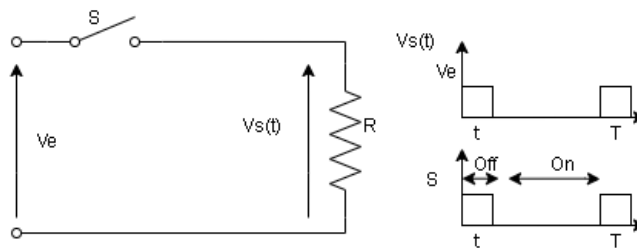


Figura 2. 7. Convertidor CD/CD elevador.

La figura 2.8 muestra un convertidor de CD/CD reductor que es un tanto similar a un convertidor elevador, sin embargo, este contiene dos elementos más, los cuales con una bobina o inductor (L) y un diodo (D), en conjunto con los elementos anteriores, como el interruptor (S) y su resistencia (R). La diferencia es su conexión, pues cuando se acciona el interruptor la tensión de entrada (V_s) se ve disminuida por el inductor, y el diodo tiene la tarea de evitar un regreso de la corriente y provocar un corto circuito. Al ser un circuito transitorio la tensión ($V(s)$) es en función del tiempo y esto se verá con el uso del interruptor.

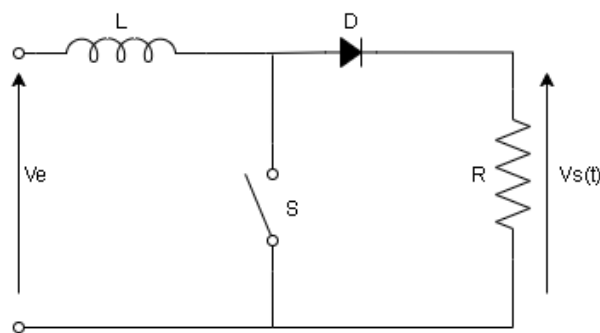


Figura 2. 8. Convertidor CD/CD reductor.

2.8. Convertidos de CA/CA (cicloconvertidores)

De una manera simple el convertidor de CA/CA o también llamado cicloconvertidor permite la conversión de corriente alterna a corriente alterna.

2.8.1. Aplicación

Su uso de estos dispositivos es particular y su transformación se basa principalmente en la reducción de las tensiones de entrada con valores eficaces y en algunas ocasiones en la reducción de la frecuencia con la que trabaja el sistema y la cual solamente puede tomar algunos valores. Su uso es habitualmente visto en los dispositivos electromecánicos como lo son: arrancadores suaves, reguladores de varios tipos, calentadores y en otras aplicaciones que son de grado industrial.

2.8.2. Representación

En la figura 2.9 se muestra el circuito eléctrico de un convertidor CA/CA monofásico [10]. En la figura 2.9 se observa que este circuito se conforma de dos tiristores conectados en una configuración antiparalelo. Sus aplicaciones en sistemas de poca potencia es posible encontrar configuraciones con TRIAC's sustituyendo a los tiristores. Pero para aplicaciones de media y alta potencia, los tiristores son los protagonistas puesto que son más robustos y al mismo tiempo más fiables.

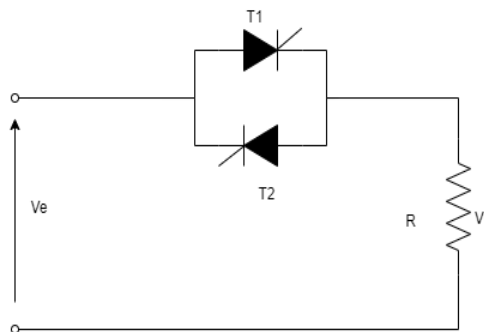


Figura 2. 9. Circuito de un convertidor CA/CA monofásico.

Desde una vista lógica, el resultado del control de la tensión que se entrega en la salida se realiza mediante los ángulos de encendido de los tiristores T1 y T2 [10]. Este control se realiza de dos maneras:

- Un control todo o nada. Siendo este una activación o desactivación del sistema, ya que no existen opciones intermedias e igual a un sistema binario solo hay dos estados.

- El control de fase [10]. Que consiste en recortar las señales provenientes de la entrada, reduciendo su valor eficaz.

2.9. Variador de frecuencia

Los variadores de frecuencia son dispositivos capaces de modificar los ciclos de la señal senoidal de la tensión suministrada a un sistema. Este siempre se encuentra entre la fuente que alimenta al sistema y la máquina que trabajará, su principal función es la de variar la frecuencia para cambiar la velocidad de giro de los motores de CA.

Su función es un tanto particular, ya que la señal pasa por varias etapas. Primeramente, esta pasa por un rectificador, lo cual transforma la corriente alterna en continua, para después pasa por los capacitores del sistema, los cuales reducirán el rizo las ondas resultantes del proceso anterior, y por último pasa por el inversor, donde se transforma la corriente continua en corriente alterna y el cual ya envía la tensión de salida lista para poder poner a trabajar el motor. Esta constitución del circuito se observa en la figura 2.10.

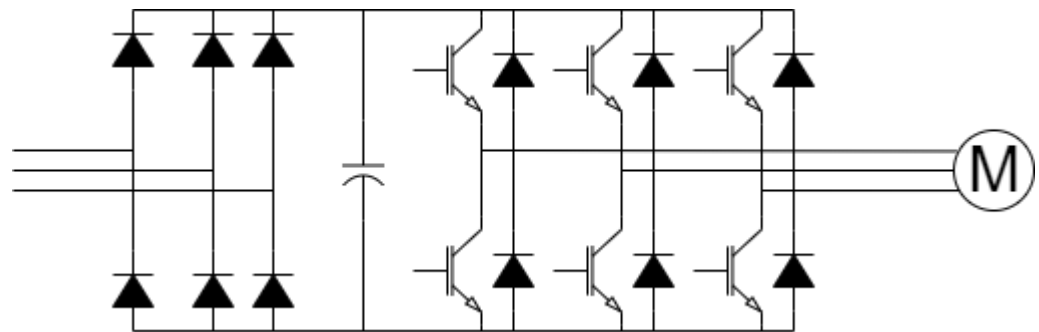


Figura 2. 10. Diagrama de un variador de frecuencia.

2.10. Controlador lógico programable (PLC).

2.10.1. Definición de Controlador lógico programable (PLC).

Un controlador lógico programable o PLC (Programmable Logic Controller) [13], es un dispositivo el cual es programado para realizar una serie de tareas de manera simultánea y de forma automática, su uso es normalmente visto en un ambiente industrial para maquinaria, la cual se necesita de trabajo continuo y que realiza diferentes procesos. Sus características se observan en sus funcionalidades, ya que puede ser programado con funciones lógicas, temporizadores, sensores (en caso de ser necesario), secuencias, etc. Siguiendo un proceso como el que se muestra en la figura 2.11.

La figura 2.11 muestra un esquema de secuencia de trabajo del PLC donde inicia con el proceso que manda una señal a los sensores donde esa información se procesa hacia las entradas, esto hace accionar al PLC y mandar la orden hacia la salida, donde los dispositivos conectados al mismo actuarán mandado la señal de orden y repitiendo el proceso hasta finalizar la tarea.

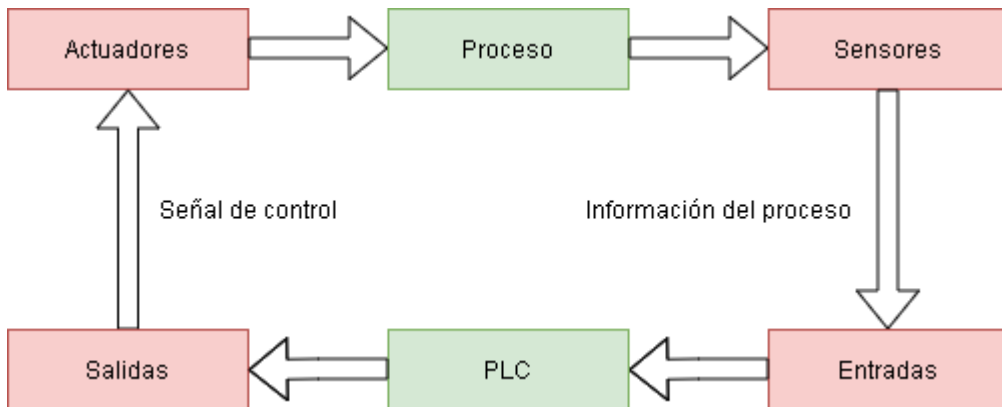


Figura 2. 11. Esquema de trabajo del PLC.

En pocas palabras este dispositivo es un centro de mando, el cual sirve como cerebro en un sistema, coordinando una serie de procesos que son ejecutados de una manera cíclica, y donde la intervención humana podría entorpecer el ritmo de dicho proceso.

Los PLC's cuentan con diversos tipos de programación. Para su programación se definen varios lenguajes en el estándar internacional IEC 61131-3 [13]. Estos lenguajes son distintos en cuanto a los algoritmos se refiere, pero aun así todos tienen la misma función, los lenguajes son los siguientes:

- Programación tipo escalera.
- Programación por diagramas de bloques.
- Lista de comandos.
- Texto estructurado (Como la programación convencional).

2.11. Transmisión mecánica de un vehículo.

Se encuentra debajo de la estructura del vehículo, figura 2.12, y es la encargada transmitir el movimiento que genera el motor hacia una serie de engranajes, los cuales comienzan a moverse y por ende la energía generada hace que las ruedas comiencen a girar haciendo que el vehículo se desplace.

La figura 2.12 muestra un ejemplo de la transmisión mecánica de automóvil, la cual tiene como tarea principal lograr el movimiento de los neumáticos gracias a la energía mecánica generada por el motor y que esta directamente a este sistema, el cual se compone de; el embrague, la caja de velocidades, el árbol de transmisión, el grupo cónico-diferencial y los semiarboles.

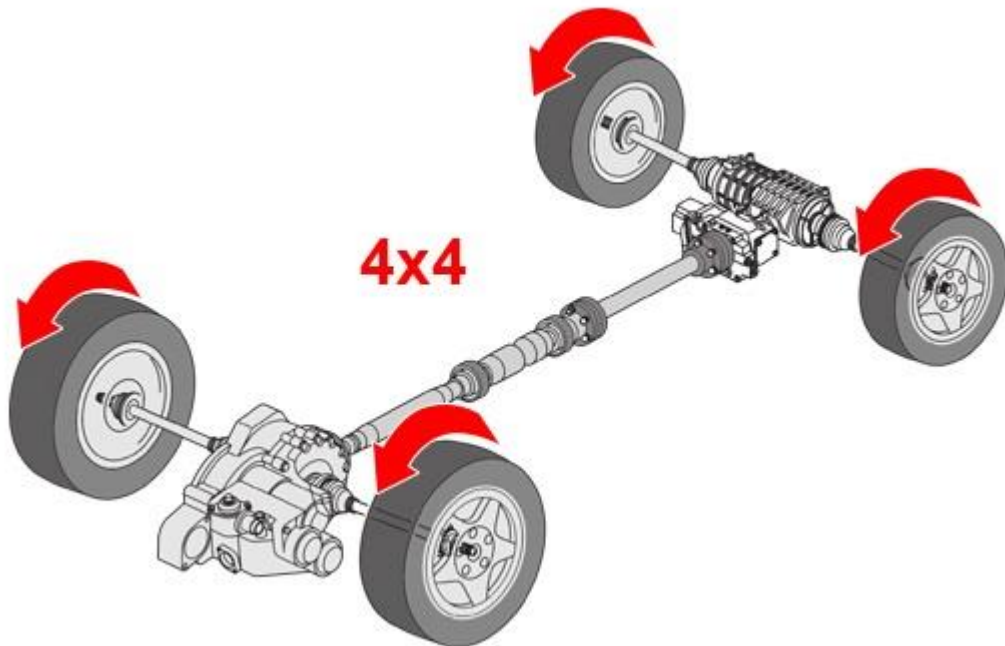


Figura 2. 12. Transmisión de un auto [19].

2.11.1. Partes constitutivas de la transmisión

- **Embrague:** Es la pieza responsable de enviar la energía generada en el sistema hacia las ruedas.
- **Caja de velocidades:** Es aquella caja que se compone por una serie de engranajes encargados de hacer que el automóvil pueda moverse.
- **Árbol de transmisión:** Es el eje giratorio, el cual funciona como transmisor de la fuerza rotativa llevada al diferencial.
- **Diferencial:** Es el mecanismo encargado de distribuir la energía giratoria desde el árbol de transmisión hacia las llantas, de esta manera se genera la tracción que es necesaria para que el vehículo se ponga en marcha.

2.12. Eficiencia energética

2.12.1. Definición de eficiencia energética

La eficiencia energética consiste en hacer mejorar el uso de las fuentes de energía, haciendo que sean más eficientes consumiendo menos recursos.

Para el uso correcto de las energías se requiere de una mejor organización y distribución de estas, esto es a lo que se le llama la eficiencia energética. Esto con el objetivo de realizar una actividad que conlleve a un cierto resultado. Por definición, la eficiencia energética es la relación entre la cantidad de energía utilizada en una actividad y la prevista para su realización [12].

2.12.2. Ejemplos de aplicación de la eficiencia energética

Alumbrado:

Este es el ejemplo más sencillo puesto que la tecnología led es ahora una de las tecnologías más usadas en los sistemas de iluminación, y puesto que una lampara Led de 3 Watts puede reemplazar a una de 25 watts fluorescente, es aquí donde se observa la eficiencia energética y un ahorro en la misma energía consumida.

Motores:

El avance de las tecnologías ha hecho que las máquinas eléctricas también evolucionen y por ende la llegada de los famosos motores de alto rendimiento, lo cuales tienen una mejor eficiencia en trabajo, lo que por ende significa un ahorro en la energía consumida, recordemos que un motor eléctrico es una de las cargas más grandes de consumo energético.

2.13. Motores de inducción trifásicos.

Los motores de inducción son aquellos que trabajan por efectos de inducción, y por lo mismo su estator, crea un campo magnético giratorio cuya velocidad síncrona es mayor que desarrolla el rotor. Los motores trifásicos que más se utilizan en la industria por su sencillez en su diseño, más barato y por tener menor posibilidad de dañarse menos, son los que tienen como rotor, el tipo jaula de ardilla también conocido como rotor en cortocircuito.

2.13.1. Funcionamiento del motor jaula de ardilla.

La conexión estrella o delta que realiza a estos motores impone que se tengan que conectar necesariamente a una fuente de energía eléctrica trifásica de tensión apropiada, al energizarse el motor instantáneamente circulará una corriente por los devanados de las tres

fases del estator, que entra desfasada en cada uno de ellos con 120° de diferencia, creando de inmediato un campo magnético giratorio, dicho magnético al incidir sobre las barras que constituyen el devanado del rotor hace que se induzca en él, una fuerza electromotriz que da origen una corriente eléctrica que de inmediato circula por las barras del rotor por estar éstas en corto circuito, desarrollándose en los extremos de él, un par de fuerzas que hacen que empiece a girar.

2.13.2. Cambio de giro.

Cuando se requiere que el motor cambie de sentido de giro, lo único que debe hacerse, es intercambiar entre sí, dos de las conexiones de cualquiera de las fases del motor con las de las líneas, permaneciendo siempre una inalterable.

2.13.3. Características de trabajo.

El motor trifásico de inducción con rotor jaula de ardilla crea un campo magnético giratorio natural y uniforme con base a que tiene tres devanados monofásicos desfasados 120° eléctricos lo que permite que desarrolle mayor capacidad de trabajo que cualquier motor monofásico y de que ello dependa sus características.

2.13.4. Potencia Mecánica.

Los motores trifásicos son en su mayoría fabricados de un H.P. hasta 2500 o más H.P., se les conoce con el nombre de motores integrales aun cuando también se fabrican de menos de un H.P.

2.13.5. Corriente de arranque.

La corriente de arranque que toman estos motores es grande aproximadamente de a 4 a 7 veces la corriente nominal o corriente de carga.

2.13.6. Par de arranque.

Los motores trifásicos con rotor jaula de ardilla, no desarrollan un par de arranque muy grande de acuerdo con la cantidad de corriente de arranque que toman.

2.13.7. Factor de potencia.

El motor trifásico con rotor jaula de ardilla, constituye una carga inductiva cuyo factor de potencia es bajo cuando es poca y aumenta cuando la carga es grande, sin embargo, su factor de potencia es mayor que la de los motores de rotor devanado.

2.13.8. Velocidad.

La velocidad de los motores jaula de ardilla es casi constante para cualquier carga que mueva.

2.13.9. Deslizamiento.

El deslizamiento de los motores trifásicos con rotor jaula de ardilla, varía de 1 a 3%, sin embargo, pueden soportar hasta un 15% de deslizamiento.

2.13.10. Pérdidas eléctricas.

Este tipo de motor tiene relativamente pocas pérdidas que aumentan a medida que rebasa sus condiciones nominales.

2.13.11. Rendimiento.

Su rendimiento no es muy alto, pero si es mejor que el que desarrollan los motores de motor devanado.

2.13.12. Ventajas y desventajas.

Las ventajas y desventajas de los motores trifásicos con rotor jaula de ardilla se determinan en comparación con las de los motores de rotor devanado.

Ventajas:

- Velocidad casi constante para cargas diferentes.
- Soportan grandes sobrecargas.
- Construcción sencilla y práctica.
- Sencillez para arrancarlos.
- Posibilidad de controlarlos automáticamente.
- Factor de potencia más alto que el de rotor devanado.
- Rendimiento más alto que el de rotor devanado.

Desventaja:

- Toma un corriente muy alta en el arranque.
- Factor de potencia bajo cuando mueve cargas ligeras.
- Es muy sensible a variaciones de tensiones.

CAPÍTULO 3

OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

3.1. Introducción

Como se ha ido expresando con el pasar de los años, los vehículos eléctricos son cada vez más una tendencia y tema que del que se habla de una manera más formal, y que es algo que se ha debatido en el cuidado del medio ambiente. Una de las principales causas que ha desatado esta contaminación ambiental es la quema de combustibles fósiles, y los vehículos convencionales son una de las principales fuentes de este proceso, pues los motores utilizados en este tipo de vehículos son motores de combustión interna.

En este capítulo se verá la operación de los vehículos eléctricos realizando algunas comparaciones con base a los sistemas de combustión interna, así como los componentes que constituyen a los vehículos eléctricos y su funcionamiento, así como algunas ventajas y desventajas respecto a los motores de combustión interna.

3.2. Diferencias de transmisión.

Como su nombre lo dice un vehículo eléctrico es aquel que funciona con energía eléctrica suministrada por baterías recargables, a diferencia de los automóviles convencionales con motores de combustión interna que su principal fuente de energía son los combustibles fósiles.

Los autos eléctricos dependen completamente de las baterías suministradoras de energía, si estas baterías se llegasen a descargar por el continuo uso del vehículo, están se tendrán que recargar haciendo uso de una fuente de energía externa. En el caso de los motores convencionales, si estos se quedasen sin combustible tendrían que ir a una estación de recarga (una gasolinera) para llenar el tanque con más combustible.

Dado que un motor eléctrico puede entregar su máximo par a velocidades extremadamente bajas [15], o sea que ejercen un mayor trabajo para realizar una actividad extenuante, en este caso mover el propio automóvil junto con los demás componentes que lo constituyen, los vehículos eléctricos emplean una transmisión de una velocidad [15], puesto que para variar la velocidad de este dispositivo no es necesaria una caja de velocidades, ya que esta variable depende directamente de otras variables como lo es la frecuencia del sistema y no tanto de la transmisión múltiple, en contraste con los autos convencionales que necesitan múltiples velocidades.

Un motor tradicional produce su potencia en una banda estrecha de velocidad del motor, por lo que se requieren muchos engranajes para mantener la velocidad del motor en el rango de su mejor eficiencia [15]. Caso contrario al motor eléctrico que sin necesidad de muchos componentes es capaz de mantener una velocidad constante y su eficiencia, puesto que su funcionamiento se basa en la inducción magnética, lo que significa un movimiento del sistema provocado por la acción de campos magnéticos interactuando entre sí. De esta manera se obtiene un sistema menos complejo y con mayor confiabilidad de eficiencia y rendimiento.

3.3. Componentes del auto eléctrico.

Los elementos que componen el sistema son esencialmente cuatro, siendo estos: Las baterías, que suministraran la energía, el sistema de inversión y rectificación de la energía, el control de velocidad y giro del motor, y el propio motor que permitirá el movimiento del vehículo (ver figura 3.1).

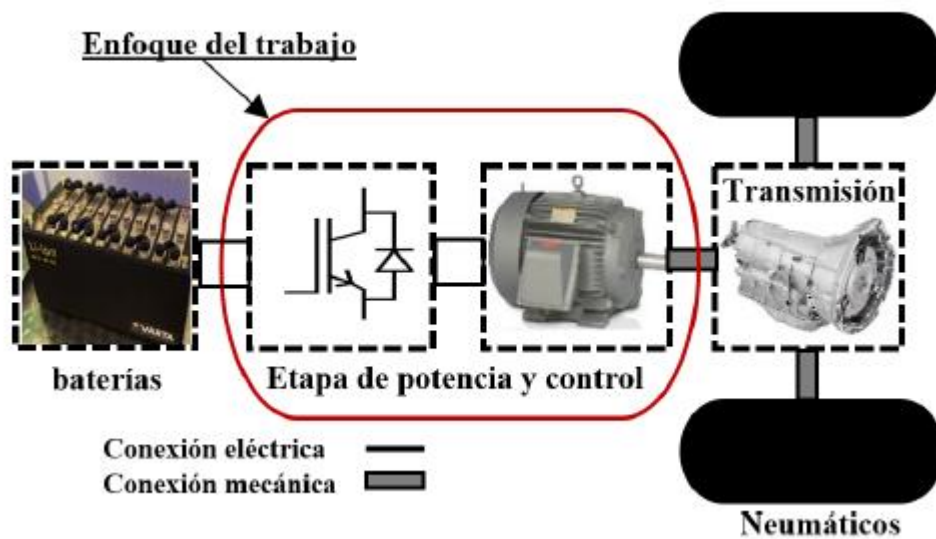


Figura 3. 1. Estructura eléctrica de un auto eléctrico

3.3.1. Batería.

Siendo un componente fundamental en la construcción del auto eléctrico, este es el elemento que almacenará la energía, y la cual será utilizada para hacer funcionar el motor. Como se mencionó con anterioridad, los vehículos con motores de combustión interna usan

gasolina o diésel, y es almacenado en un tanque de reserva. En el vehículo eléctrico pasará lo mismo, pero sustituyendo el combustible que será usado para generar la energía calorífica, y por su defecto utilizando las baterías que por medio *de un proceso químico* generará energía eléctrica.

3.3.2. Motor eléctrico.

Quizá el elemento protagonista en este tema, pues será el encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica (que es la función de un motor eléctrico) y el cual provoque el movimiento del automóvil. Por otro lado, también tendrá la función de alternador (generador de CA), esto gracias al llamado freno regenerativo, el cual consiste en generar energía eléctrica mientras el sistema desacelera, ya sea porque el usuario necesita hacer un paro del sistema o porque se dejó de presionar el acelerador, en cualquier caso mientras el motor continúe en movimiento y a este no se le inyecte una tensión que haga elevar la velocidad del sistema este podrá generar energía eléctrica y por ende guardar dicha generación de vuelta en las baterías.

3.3.3. Sistema Regenerativo.

En este caso, el motor trabajará en forma de alternador, el motor se sirve del freno regenerativo para invertir su funcionamiento y generar electricidad cuando el vehículo se encuentra en fase de frenada o desaceleración, aumentando así la autonomía y eficiencia energética [16].

Aunque este proceso pueda ser conveniente para almacenar la energía que genere el motor eléctrico durante su fase de reposo, no significa que el automóvil no necesite ser recargado posteriormente en una fuente de energía eléctrica externa al sistema, para almacenar más energía en las baterías. Pero sí impacta, reduciendo el uso de la fuente externa.

3.3.4. Sistema regulador.

Dicho sistema tiene la función de gestionar los flujos de corriente que existieran durante el proceso de uso y funcionamiento del motor eléctrico en el sistema del vehículo. Como se menciona en el sistema regenerativo, habrá dos maneras en las que el motor trabaja, una consumiendo la energía eléctrica que las baterías suministra y otra donde el motor suministra corriente alterna de vuelta,

la cual será rectificada para ser convertida en corriente directa y de esta forma se pueda almacenar en las baterías.

3.3.5. Reductor de velocidad y diferencial.

Es similar a una caja de cambios, pero de una única velocidad [16]. Esta caja la cual será el único componente el cual contenga engranajes, en su interior funciona como la caja de velocidades de un vehículo convencional, sin embargo, su operación es distinta puesto que la acción que realiza es la de aumentar la velocidad a la que se mueve el sistema de tracción o las llantas. ¿Por qué se menciona que es de una sola velocidad?, puesto que el motor eléctrico es el que controla esto, y como se había dicho un motor eléctrico no necesita una caja de velocidades, por lo que este elemento trabaja a la par del motor eléctrico adoptando la velocidad que el mismo motor lleva en cualquier instante.

3.3.6. Inversor y rectificador.

Estos dispositivos de electrónica de potencia serán los auxiliares para que el sistema de transmisión del vehículo eléctrico funcione de un modo correcto. El inversor se encarga de transformar la corriente continua que es proporcionada por las baterías en corriente alterna. Para ello se sirve de un interruptor electrónico que cambia la polaridad de manera constante [16]. Mientras el rectificador se encarga de hacer la acción contraria convirtiendo la corriente alterna que entrega el motor cuando este se encuentre en estado de reposo o desaceleración.

3.3.7. Controlador.

Es el dispositivo electrónico utilizado para gestionar las órdenes del usuario, juntamente con los demás dispositivos anteriormente mencionados. Así se garantiza la perfecta sincronización y la máxima eficiencia y rendimientos de todos los elementos que hacen funcionar a los automóviles eléctricos.

3.4. Gestión de la energía de un motor eléctrico.

Dependiendo del estado en la que el vehículo eléctrico esté, el motor y los diferentes elementos que participan en dicho funcionamiento, actuarán de un cierto modo determinado, y a grandes rasgos se encuentran dos estados del motor eléctrico en este proceso.

3.4.1. Fase de aceleración.

En esta fase el motor comienza a trabajar dando el siguiente proceso: Desde las baterías (fuente de alimentación) se suministra la energía eléctrica requerida para que el sistema trabaje, pasando por el inversor (convertidor de CD a CA), el cual realiza el proceso de transformar la corriente continua en corriente alterna la cual es necesaria para hacer que el motor funcione correctamente y de esta manera este pueda ser accionado, realizando el movimiento del sistema haciendo que las llantas se pongan en marcha.

3.4.2. Fase de retención.

Aquí se muestra llamado de otra manera al freno regenerativo, que como se mencionó en el punto 3.3.3, el usuario no acelera el vehículo o desea realizar un frenado total, lo cual conlleva a la desaceleración, pero en ese proceso de frenado el motor continúa trabajando, lo que genera resistencia y convierte la energía cinética en corriente alterna [16]. Una vez que sucede esto, la energía generada por este proceso pasa por el rectificador (convertidor de CA a CD), el cual realiza la acción contraria al inversor (convertidor de CD a CA) y de esta manera transformar la corriente alterna entregada por el motor a corriente continua la que es almacenada en las baterías del sistema.

3.5. Ventajas y desventajas.

Como bien se sabe los vehículos eléctricos aún está en transición de circular en su totalidad y de esta forma reemplazar a los vehículos convencionales de combustión interna, sin embargo, existen varios puntos a remarcar de gran importancia.

3.5.1. Ventajas.

- El costo energético por kilómetro de la carga eléctrica es más barato que el litro de combustible de un motor de combustión interna [17].
- Su construcción no requiere una cantidad excesiva de componentes, por ende, su mantenimiento menos necesario.
- Al no generar humos por la quema de algún combustible puede circular libremente sin temor a sufrir de alguna multa por restricciones de circulación.

3.5.2. Desventajas.

- Momentáneamente su precio es elevado principalmente por el motor eléctrico.
- Por su temprana introducción y el no haber puntos de carga intermedios tan comunes como una gasolinera, se imposibilita la idea de viajes extensos.
- Es indispensable contar con un punto de recarga, en la ubicación donde el vehículo sea estacionado.
- Su recarga puede ser un tanto variada, siendo; seis u ocho horas en un centro de recarga especializado e incluso más de diez horas si lo cargas en un contacto convencional y con un tiempo estimado de treinta minutos lo que a una recarga rápida se refiere.

Quizá por el momento pareciese que los vehículos eléctricos serán difíciles de comercializar y utilizar, pero la verdad es que aún siguen en desarrollo. Pero sin duda alguna este será el futuro que sustituirá a la quema de combustibles fósiles en el área de transporte.

CAPÍTULO 4

ACCIONAMIENTO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

4.1. Introducción.

Si bien los avances en ingeniería son cada vez más sorprendentes y abarcan más y más áreas donde se quizá estos temas no tenían nada que ver, sucede esto mismo con la introducción de los sistemas totalmente eléctricos a los ámbitos automovilísticos, puesto que estos sistemas eléctricos eran utilizados para otros fines, y como tal no había una manera de adaptar un motor eléctrico a un sistema el cual necesita de variar la velocidad de manera continua, y sobre todo el cómo alimentar dicho motor si la capacidad de las baterías no era suficiente.

En este capítulo se aborda el modelaje analítico del sistema eléctrico propuesto para su uso en un automóvil, comenzando por los parámetros necesarios para su estudio tales como son su modelo matemático y los diagramas de los elementos propuestos. Seguido por las simulaciones y sus resultados obtenidos durante la simulación, comenzando por la programación del PLC, siguiendo con su modelo en diagramas de fuerza, y finalizando con la variación de la frecuencia.

4.2. Potencia mecánica.

La potencia mecánica es la energía que transmite un motor a una carga para moverla, está dada en **H.P.** (caballos de potencia) o en **C.V.** (caballos de potencia).

La tabla 4.1 muestra la equivalencia en potencia mecánica de un caballo de potencia y un caballo de vapor. Un caballo de potencia es diferente de un caballo de vapor pues la cantidad de fuerza aplicada por segundo, es decir la fuerza generada en un H.P. es 1.39% más poderosa que la de un C.V.

Tabla 4. 1. Equivalencia de H.P y C.V [22]

| Unidad | Equivalencia |
|--------|--------------|
| 1 H.P. | 746 W |
| 1 C.V. | 736 W |

Los motores monofásicos por su potencia mecánica generalmente pertenecen al grupo de motores fraccionarios, es decir, a aquellos que son menores de un H.P. Por lo que se refiere a los motores trifásicos, son aquellos cuya potencia mecánica es igual o mayor a un H.P. Aun cuando los caballos de potencia de un motor es un dato nominal, se puede determinar

para cualquier carga que se mueva en determinado momento, por la siguiente expresión [21]:

$$H.P. = \frac{1.59 * T * S_r}{10^5} \quad (4. 1)$$

Donde:

H.P.: La potencia mecánica (caballos de potencia)

T: es el par que desarrolla el motor cuando mueve una carga (kilogramo-centímetro)

S_r: es la velocidad con que gira el rotor (r.p.m.)

1.59: es una constante que depende de las características físicas y efectos magnéticos del motor.

10⁵: es una constante que depende de las unidades adoptadas.

4.3. Corriente de arranque.

Es aquella corriente que demanda un motor eléctrico cuando este comienza a trabajar, y existen dos tipos de variante; con carga y en vacío, siendo la primera cuando el motor comienza a trabajar con algún objeto que mover, el cual se denomina carga y es externo al sistema del motor. Por otro lado, el arranque en vacío se refiere a que el motor está libre de cargas u objetos por mover y por ende su esfuerzo que realiza es menor.

Generalmente la corriente de arranque en vacío es menor que la corriente nominal, pero con carga siempre será mayor aproximadamente de 2 a 4 veces mayor [21].

4.4. Par de arranque.

El par que desarrollan los motores en el momento de arranque, en vacío o con carga, se le conoce como par de arranque.

El par de arranque será mayor a medida que la carga aumenta, exactamente igual que la corriente, por lo tanto, el par y la corriente son directamente proporcionales (ver figura 4.1).

La figura 4.1, muestra una gráfica Par contra Corriente, ejemplificando el trabajo de un motor eléctrico, donde a más trabajo mecánico el motor tenga que realizar, más corriente eléctrica el motor va a demandar, a lo que significa que más energía eléctrica se consumirá si la carga a mover es muy pesada. Es así como la grafica muestra un aumento cuando alguno de los dos factores aumenta.

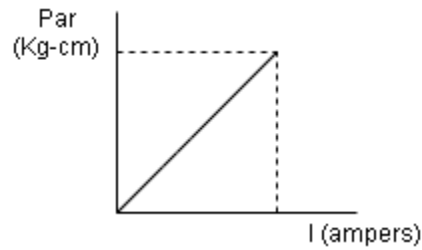


Figura 4. 1. Curva característica Par-Corriente

El par se representa por la letra T, sus unidades son el kilogramo-centímetro. Para determinar el par que desarrolla un motor en cualquier instante, se utiliza la ecuación (4.2) en donde se despeja T, por lo que [21]:

$$T = \frac{(H.P)100000}{(1.59)S_r} [Kg - cm] \quad (4.2)$$

Donde:

H.P. La potencia mecánica (caballos de potencia)

T: es el par que desarrolla el motor cuando mueve una carga (kilogramo-centímetro)

S_r: es la velocidad con que gira el rotor (r.p.m.)

1.59: es una constante que depende de las características físicas y efectos magnéticos del motor.

100000: es una constante que depende de las unidades adoptadas.

La diferencia entre par y potencia mecánica es muy simple, pues el par es la fuerza o la capacidad de realizar un trabajo, mientras la potencia es la rapidez con la que esta se realiza una tarea extenuante. Como se puede observar en la ecuación (4.2) el par es directamente proporcional a la potencia, por lo que entre más potencia exista en el sistema, más par podrá generar este, y viceversa.

Pero si se habla entre la diferencia entre el par y la velocidad, la cosa cambia pues la velocidad es inversamente proporcional al par, por lo que entre más par se requiera, menos velocidad existe en el sistema, y esto se puede observar en la tabla 4.2, donde se observa la modificación de los valores de par y como esto afecta a la velocidad.

Para ello se hará uso de la ecuación (4.3) y los siguientes datos para este ejemplo, mostrados en la tabla 4.2, donde se visualizan los datos que, encontrados en la placa de datos de un motor eléctrico, mostrando su potencia mecánica, su velocidad máxima y el par al que trabajaría sin exceder su capacidad.

Tabla 4. 2. Datos del motor

| Datos del motor | |
|-------------------|----------|
| Potencia mecánica | 100 HP |
| Velocidad | 3600 rpm |
| Par | 1747.03 |

Despejando la ecuación, se obtiene [21]:

$$Sr = \frac{(H.P)100000}{(1.59)T} [r.p.m.] \quad (4.3)$$

Donde:

H.P.: La potencia mecánica (caballos de potencia)

T: es el par que desarrolla el motor cuando mueve una carga (kilogramo-centímetro)

Sr: es la velocidad con que gira el rotor (r.p.m.)

1.59: es una constante que depende de las características físicas y efectos magnéticos del motor.

100000: es una constante que depende de las unidades adoptadas.

Y haciendo uso de estos datos, se sustituye en la ecuación (4.3), obteniendo:

$$Sr = \frac{(100)100000}{(1.59)1747.03} = 3600 [r.p.m.]$$

La tabla 4.3 muestra los diferentes valores de par contra velocidad en algunos ejemplos de trabajo de un motor eléctrico. Comenzando con una velocidad de 3600 rpm y un par inicial de 1747.03 kg-cm, y cada vez que se aumenta la carga de trabajo el par aumenta y la velocidad de giro disminuye, colocando como últimos datos una velocidad de 1800 rpm (la mitad de la inicial) y un par de 3434.06 (el doble del par inicial).

Tabla 4. 3. Par vs. velocidad

| Par (kg-cm) | Velocidad (rpm) |
|-------------|-----------------|
| 1747.03 | 3600 |
| 1800 | 3494.06 |
| 1850.5 | 3398.7 |
| 1975 | 3184.45 |
| 2569.3 | 2447.86 |
| 3434.06 | 1800 |

La figura 4.2 presenta una grafica par contra velocidad, la cual se relaciona directamente con la ecuación 4.3, y muestra la forma de trabajo del motor eléctrico dependiendo de la carga que se tenga que mover. Es así como la velocidad se verá afectada pues a poca carga, menor par y mayor velocidad en el motor y caso contrario a mayor carga, el trabajo aumenta y el par será mayor y la velocidad disminuye.

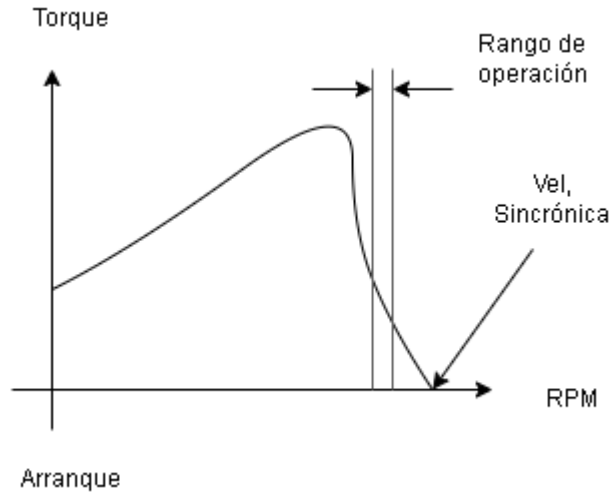


Figura 4. 2. Gráfica Par vs velocidad

Una manera sencilla de explicar lo anteriormente planteado, es con el ejemplo de la bicicleta, pues si bien no se trata de un motor eléctrico o uno de combustión interna que mueva al sistema, si existe una conversión de energía para el mismo propósito.

Una persona entre más rápido pedalee, genera un aumento en la velocidad que adquiere la bicicleta a medida que esto sucede el pedaleo se vuelve menos constante, la velocidad aumenta y el par disminuye. Pero, lo contrario ocurre cuando la persona sube una pendiente, figura 4.3, el trabajo es más pesado y la velocidad disminuirá, la persona tiene que pedalear más y conforme más suba la pendiente, hasta llegar a un terreno plano nuevamente, o en caso contrario donde se encuentre bajando la pendiente, pues ahora en lugar de pedalear más, no habrá necesidad de hacerlo, pues la gravedad y la inercia harán el trabajo. La velocidad aumentará y el par se volverá nulo en este escenario.

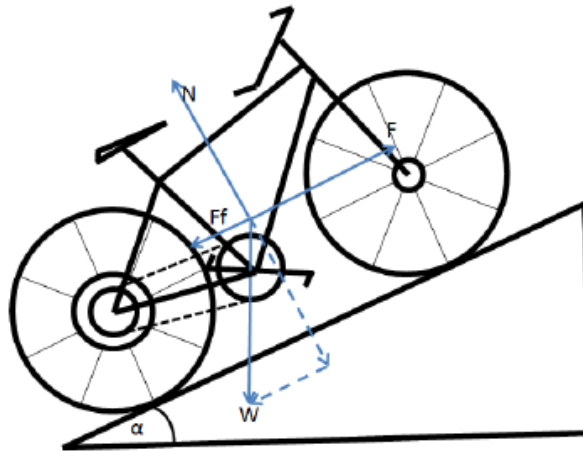


Figura 4. 3. Diagrama de cuerpo libre

4.5. Velocidad.

La velocidad del rotor de un motor **de CA** depende del número de polos y de la frecuencia directamente [21].

$$S_r = S_s(1 - S)[r.p.m.] \quad (4.4)$$

Donde:

S_r : es la velocidad a la que gira el motor (r.p.m.)

S_s : es la velocidad síncrona (r.p.m.)

S : es el deslizamiento del motor (%)

I : constante necesaria para tomar en cuenta el deslizamiento.

$$S_s = \frac{120 f}{P} [r.p.m.] \quad (4.5)$$

Donde:

S_s : es la velocidad síncrona (r.p.m.)

P : es el número de polos del motor.

f : es la frecuencia del sistema (Hz)

120 : es una constante que depende de las unidades adoptadas.

El número de polos y la frecuencia entrante de un sistema de CA puede ser un tanto complicado de variar sin las herramientas necesarias, por lo que la velocidad de estos motores es constante y no es posible regularse con facilidad. Sin embargo, con el uso de las herramientas adecuadas se modifican estos parámetros, y así modificar la velocidad a la que el sistema trabaja, ya sea haciendo un cambio en el número de polos o haciendo usos de dispositivos que puedan hacer un cambio constante en la frecuencia del sistema.

En vacío, la velocidad del rotor es prácticamente igual a la velocidad síncrona, o sea, que $S_s = S_r$, sin embargo, cuando trabaja con carga, la velocidad del rotor disminuye de tal manera que $S_s > S_r$ originándose una diferencia de velocidad llamada deslizamiento figura 4.4.

La figura 4.4 muestra una grafica presentando la velocidad contra la carga y esto esta relacionando directamente con el efecto de deslizamiento del motor el cual es causado debido a la carga del trabajo para el motor y por el roce interno de las partes mecánicas del motor, generando pérdidas de trabajo las cuales no deben de superar un 15% en motores trifásicos de inducción [21].

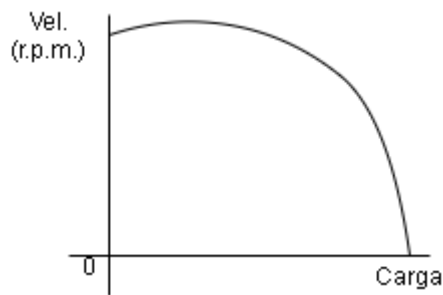


Figura 4. 4. Curva característica Velocidad vs Carga

4.6. Control de velocidad.

El motor asíncrono o de inducción se adapta perfectamente al accionamiento de máquinas cuya velocidad debe ser sensiblemente constante [23]. El hecho de ser un motor con características tales como lo es su simplicidad, su costo de fabricación, la seguridad que supone y el excelente rendimiento de este sistema, lo sitúan entre los primeros lugares de los motores eléctricos, siempre y cuando el servicio requerido sea a una velocidad constante. Por otro lado, el hablar de variación de velocidades es un tema distinto, puesto que para este tipo de actividades se sigue prefiriendo el uso de motores de corriente continua por la facilidad con la que se puede variar la velocidad de estos mismos. En la actualidad y con el rápido desarrollo de la electrónica de potencia, es posible ver más a menudo el uso de máquinas asíncronas fuera de las áreas que se acostumbran a operar.

Los métodos de regulación o control de la velocidad derivan de la expresión [23]:

$$n = n(1 - s) = \frac{60 f}{p}(1 - s) \quad (4. 6)$$

Donde:

n : la velocidad a la que gira el motor (r.p.m.)

s : es el deslizamiento del motor (%)

f : es la frecuencia del sistema (Hz)

p : es el número de polos del motor.

60 : es una constante que depende de las unidades adoptadas.

1 : constante necesaria para tomar en cuenta el deslizamiento.

Control de la velocidad cambiando el número de polos.

Haciendo uso de una frecuencia constante en el sistema, la velocidad de sincronismo del campo magnético giratorio excitado por el estator se modifica en razón inversa al número de pares de polos. Con este método se obtiene fácilmente dos velocidades, lo cual indica que el número de pares de polos se obtienen de un mismo devanado están relación de 1 a 2 [23].

Control de velocidad mediante variación de la tensión aplicada al estator.

Para regular la velocidad de un motor con base al deslizamiento normalmente se hace controlando la tensión de entrada del estator. La proporcionalidad entre el par y el cuadrado de la tensión aplicada a estator indica que la reducción de la tensión aplicada incide notablemente de la curva par-deslizamiento [23], de esta manera un punto de estabilización completamente nuevo de la velocidad en el sistema motor-carga se determina por debajo de la velocidad nominal.

4.7. Regulación de la velocidad.

La relación existente entre la velocidad de un sistema asíncrono y la frecuencia aplicada es una manera directa y simple para la variación de la misma velocidad, una manera fiable y sencilla, siempre y cuando se cuente

con los componentes necesarios para lograrlo, como lo es; una fuente variable, o un convertidor de frecuencia

Este sistema de control consiste en variar la frecuencia del sistema, ajustando el ciclo de las corrientes del estator, lo que provocará la variación de la velocidad a la que trabaja el sistema. Para lograr esto es necesario de un equipo capaz de modificar dicha frecuencia como lo es un variador de frecuencia, el cual puede modificar este parámetro de forma continua y así mismo lograr una variación de velocidad más sencilla.

4.8. Frenado de la maquina

Se entiende que una maquina eléctrica funciona como freno cuando ejerce un par en sentido contrario a su velocidad [23]. Para este proceso hay varios métodos los cuales son efectivos y con el mismo resultado.

4.8.1. Frenado por recuperación de energía (frenado regenerativo).

Se trata de hacer funcionar el motor como generador, utilizando la energía cinética para generar energía eléctrica haciendo uso de la energía mecánica que hace que el sistema continúe en movimiento sin existir una inyección de tensión al estator. Para este fin se debe conseguir que la velocidad del motor logre superar a la velocidad de sincronismo, bien aumentando la primera o disminuyendo la segunda [23].

4.8.2. Frenado por contracorriente.

Este proceso consiste en invertir el sentido de giro del campo magnético con respecto al de giro del rotor, de esta manera el motor comienza a funcionar con un deslizamiento superior a 1, lo cual genera un par de frenado en el sistema [23]. En este proceso el motor trabaja con corrientes muy elevadas (más grandes que las de arranque) lo que provoca que el sistema se caliente y esto puede provocar daños en el mismo motor.

4.8.3. Frenado por inyección de corriente continua (frenado dinámico).

Este tipo de frenado el estator se alimenta con corriente continua. De esta manera en el entrehierro del motor se genera un campo magnético el cual es fijo, este campo induce fuerzas electromotrices en los conductores del rotor cuando el motor está en movimiento. Las corrientes rotoricas producidas por las fuerzas electromotrices se combinan con el campo magnético, lo cual produce

un par que trata de evitar las variaciones de flujo sobre el devanado del rotor [23].

4.9. Características del accionamiento.

El accionamiento tendrá la finalidad de variar la velocidad de un motor de inducción jaula de ardilla mediante el uso de un variador de frecuencia, el cual permitirá que el usuario acelere o desacelere el automóvil según sea requerido.

Para la realización de este proyecto, se hará uso de un motor de inducción jaula de ardilla de 4 polos y 100 HP de tracción mecánica, un variador de frecuencia para la misma capacidad, un controlador lógico programable (PLC) para el control de dichos dispositivos.

Las características del motor de 100 HP se presentan en la tabla 4.4, el cual será utilizado para las pruebas en los simuladores.

Tabla 4. 4. Parámetros del motor

| Características |
|------------------------------|
| 4 polos. |
| 100 HP de tracción mecánica. |
| 220 V CA |
| 60 Hz |
| 1800 r.p.m. |
| 3494.06 kg-cm |

El diagrama de conexión se muestra en la figura 4.5; la alimentación, en este caso el banco de baterías, el cual alimenta a todo el sistema; de este se conecta al convertidor que se encarga de convertir de corriente continua a directa y viceversa el controlador (PLC), el cual enviará las señales al resto del sistema; el variador de frecuencia, que de igual manera actuará como control de velocidad para el motor; y por último el protagonista del sistema, que es el motor.

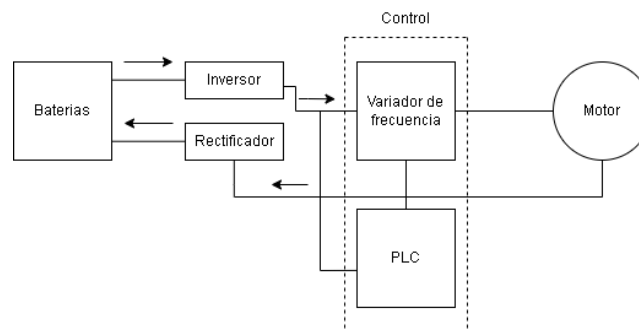


Figura 4. 5. Diagrama a bloques

4.10. Inversor y rectificador

Este apartado consiste en dos dispositivos capaces de convertir la corriente continua entregada por las baterías en corriente alterna que será la utilizada para que el motor opere. Así como de transformar la corriente alterna que entregará el motor cuando este funcione como generador, gracias al sistema regenerativo (punto 4.11), en corriente continua y almacenarla nuevamente en las baterías.

El inversor será el encargado de convertir la corriente directa entregada por las baterías (300 V CD.) a corriente alterna CA, compuesto por dos transistores 2N3055. Así manera el resto del sistema trabajará con CA, haciendo accesible la variación de velocidad del motor de inducción trifásico con el que opera el vehículo (ver figura 4.6).

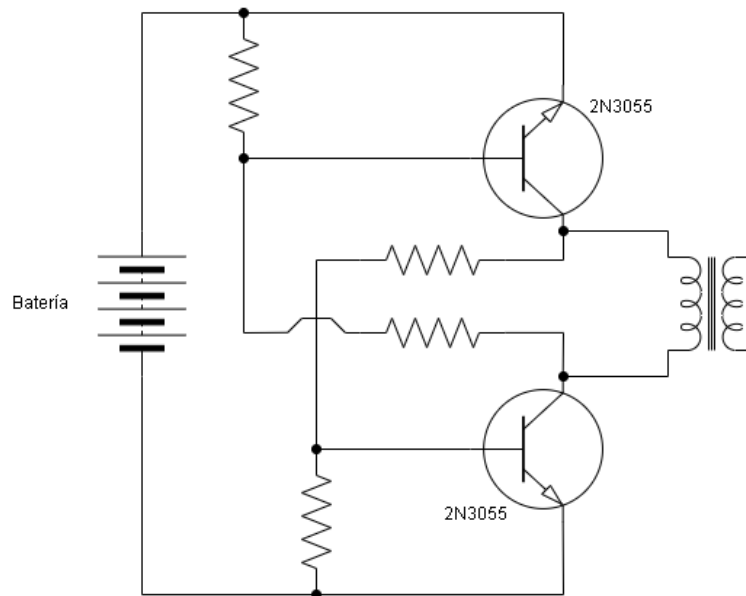


Figura 4. 6 Inversor

Por otra parte, el rectificador tiene la función convertir la corriente alterna que entregará el motor en su estado de desaceleración y gracias al freno regenerativo existente gracias a la energía cinética de las llantas del vehículo eléctrico. Realizando el proceso inverso y transformando la CA en CC, con la ayuda del puente rectificador de seis diodos que rectificará la señal de CA entrante convirtiéndola en CC y así pudiéndose almacenarse esta energía de vuelta a las baterías (ver figura 4.7).

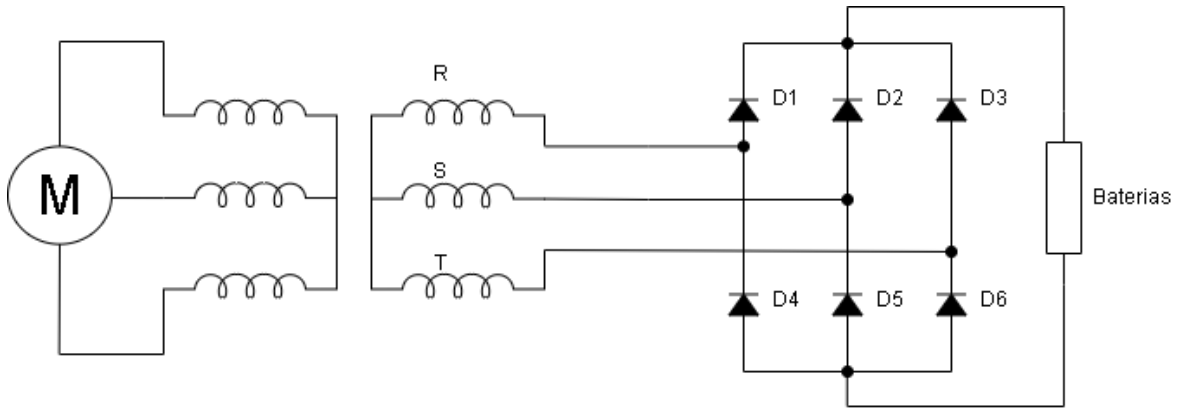


Figura 4. 7. Rectificador.

4.11. PLC para el accionamiento.

Una parte del control de este sistema es el controlador lógico programable (PLC), haciendo uso de la programación en escalera, el control del sistema será llevado con este dispositivo. Esta programación permite introducir indicaciones en el dispositivo, las cuales permiten operar el sistema de manera remota y ahorrando el uso de un complejo arreglo de componentes electromecánicos como vendrían siendo relevadores y contactos independientes.

Tal y como se muestra en la figura 4.5 el PLC tendrá comunicación directa con el variador de frecuencia, permitiendo a este mandar las indicaciones que el usuario emita dependiendo de la acción que quiera ejecutar. En este caso siendo avanzar o retroceder como se puede observar en la figura 4.8. La programación es sencilla lo que facilita su función, la figura 4.8 muestra el diagrama de flujo de las dos opciones que se puede seleccionar para que el accionamiento opere, que como se comenta se puede elegir entre dos opciones: avanzar o retroceder.

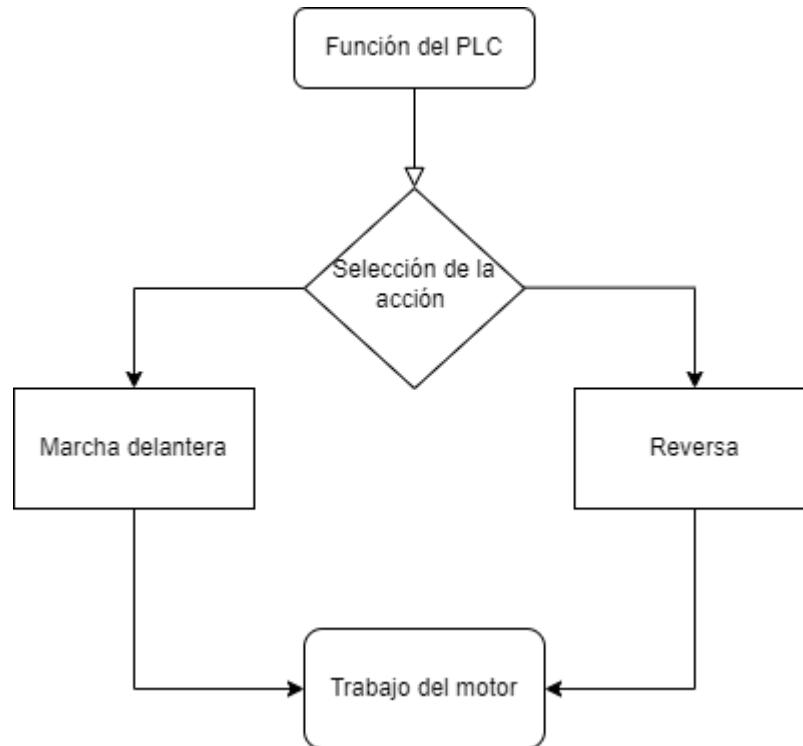


Figura 4. 8. Diagrama de flujo de la programación

En la figura 4.9 se muestra la interfaz de programación, haciendo uso del software PicoSoft, con la configuración ya construida, contando con; 7 contactos, el cual uno es para el encendido y apagado (I1) del sistema, dos pertenecientes a la salida auxiliar (Q1), uno para avanzar (marcha delantera) (I2) y otro para retroceder (reversa) (I3) y los dos restantes que servirán como medida preventiva en caso de existir alguna falla en los comandos. También se cuenta con tres salidas, las cuales son para realizar las acciones anteriormente mencionadas (Q2 y Q3), y la auxiliar (Q1) que sirve para mantener el sistema encendido, pero sin realizar una acción en concreto hasta que el usuario lo especifique.

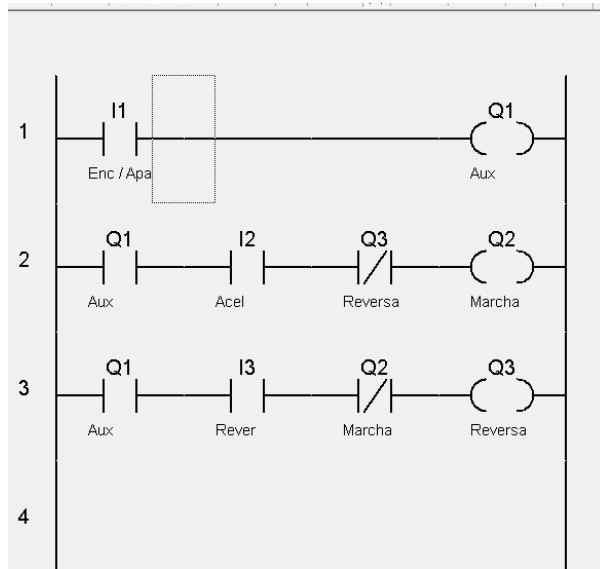


Figura 4. 9. Programación de escalera PLC

En la figura 4.10 se muestra el sistema activo, teniendo la salida auxiliar en funcionamiento, pero sin activar las funciones del propio accionamiento, a la espera de que el usuario elija la acción que el motor realizará a continuación.

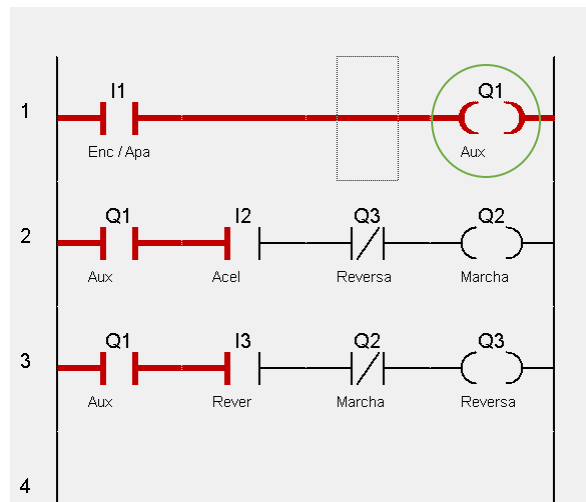


Figura 4. 10. Programación en funcionamiento

La figura 4.11 muestra la etapa donde el usuario selecciona la opción de avance, por lo cual se activa la salida “Marcha”, esto dará la indicación para que el motor comience a trabajar en un sentido y de esta manera el vehículo avance hacia adelante.

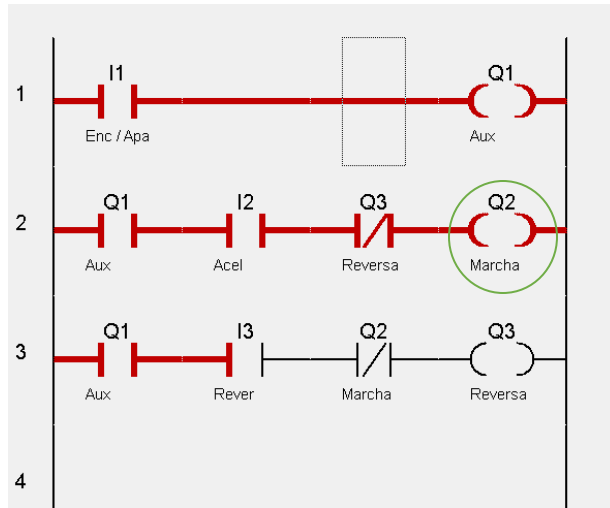


Figura 4. 11. Selección de marcha

En la figura 4.12 se muestra la opción para la reversa, la cual por obvias razones es contraria a la opción de marcha, esta opción dicta al sistema para que el motor haga el cambio de giro y por ende el auto pueda retroceder tal y como sucede en los sistemas convencionales de combustión interna cuando se quiere dar marcha atrás.

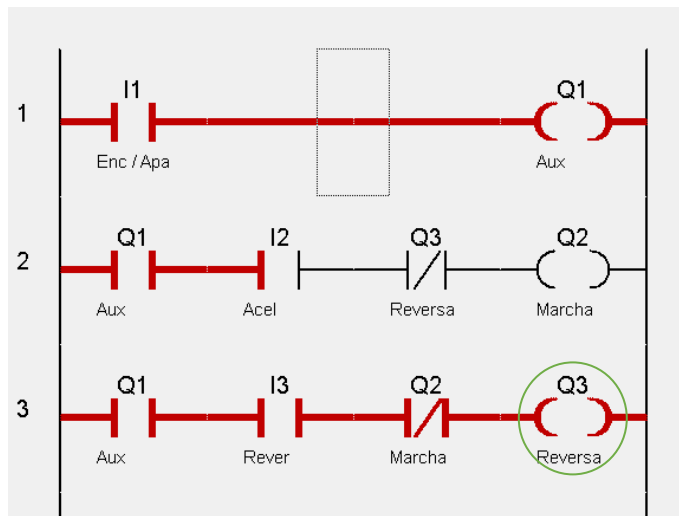


Figura 4. 12. Selección de reversa

Por último, tenemos el sistema de prevención de errores, consiste en dos contactos cerrados colocados estratégicamente entre los contactos de selección de acción y las salidas de marcha y reversa. Suponiendo que algo ocurre en la programación o algún fallo en el sistema y ambas opciones tanto de marcha como reversa quieran entrar en acción, estos contactos impedirán

que haya algún accidente por fallas en los comandos. Tal y como se muestra en la figura 4.13 mientras la opción marcha está activa el contacto cerrado en la línea de Reversa se abre, y sin importar que ambas opciones estén activas solo una se ejecuta a la vez. Para poder solucionar estos problemas será necesario hacer un chequeo al sistema para poder saber que ocurrió durante el fallo.

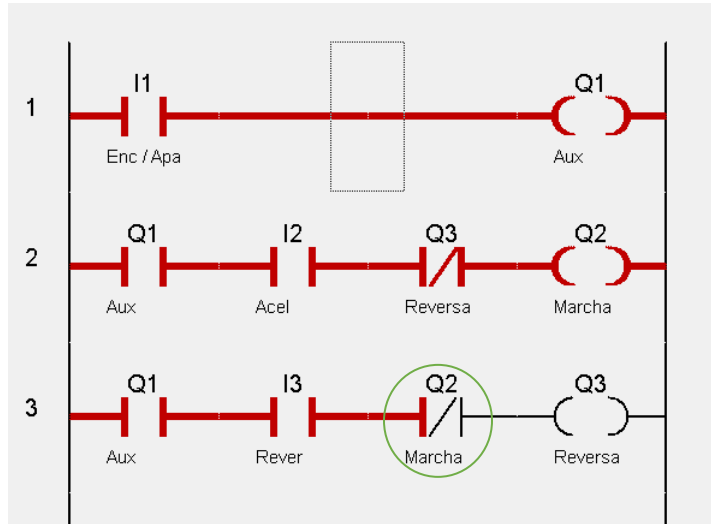


Figura 4. 13. Sistema de protección contra falla.

4.12. Sistema regenerativo.

Tal como se mencionó el punto 4.7.1, el freno regenerativo es una virtud con la que este sistema cuenta y la cual va a ser aprovechada durante todo el tiempo en el cual el motor trabaje, al hacer uso de la inercia cuando el automóvil continúa avanzando sin la necesidad de que al motor se le inyecte una tensión. Cuando esto sucede, el rotor gira gracias al movimiento de las llantas, de manera que el motor no consume energía durante este periodo de inercia, sino, comienza a actuar como generador eléctrico. Esto puede ser visto en el diagrama que aparece en la figura 4.14.

La figura 4.14 presenta un ejemplo del sistema regenerativo, pasando por dos momentos, uno siendo el avance del vehículo, donde consume energía que se suministra desde las baterías, y el segundo escenario donde el motor desacelera y la energía cinética provocada por el movimiento del motor, genere energía eléctrica, la cual se almacena de vuelta hacia las baterías.

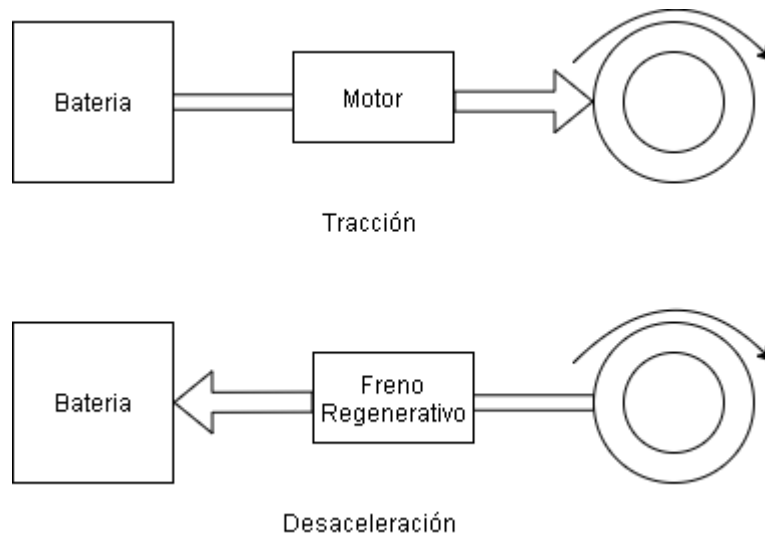


Figura 4. 14. Sistema regenerativo

De esta manera es posible generar y recuperar una porción de la energía consumida con este método y almacenarlo de nuevo en el banco de baterías con el que el automóvil trabaja.

Queda aclarar que el sistema regenerativo no funcionará si el automóvil no está en movimiento, ya que el motor no consumirá, ni generará energía eléctrica, a excepción de los elementos externos, como el sistema de audio, luces, etc.

4.13. Variador de frecuencia.

Como se ha comentado y como en el capítulo 2 en el apartado 2.9 se ha explicado el variador de frecuencia, tiene como objetivo el variar la frecuencia para poder variar la tensión que se suministra al motor, y de esta manera mantener un control sobre la velocidad que el motor entregará dependiendo de lo que el usuario desee hacer durante el trayecto. Conforme la frecuencia se mantenga en un nivel bajo, la velocidad será baja, y cuando la frecuencia se aumenta paulatinamente la velocidad del sistema aumenta de la misma manera, hasta poder alcanzar su valor máximo, (ver figura 4.15).

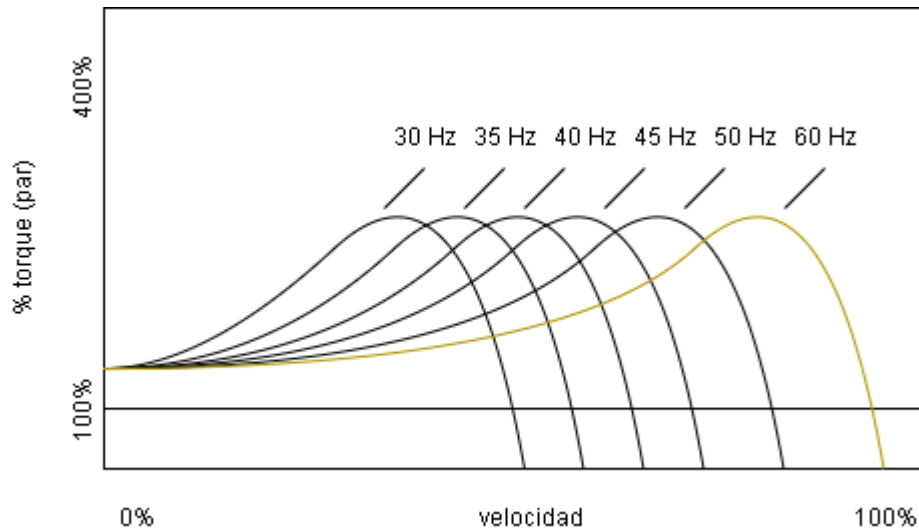


Figura 4. 15. Función del variador de frecuencia [18].

De esta manera se varia la velocidad del motor haciendo uso de una señal analógica que el conductor enviará al variador conforme pise más a fondo el acelerador, así es como la frecuencia aumentará parcialmente, hasta alcanzar su máximo. Igualmente, si el conductor decide bajar la velocidad del automóvil, bastará con dejar de presionar el acelerador, pues al igual que un potenciómetro, reducirá la señal y la frecuencia de entrada disminuirá hasta el punto donde el motor se detenga en su totalidad.

Y como todo dispositivo electrónico, este variador recibirá su programación para que pueda tener comunicación con el PLC, puesto que un variador de frecuencia se puede operar tanto de forma remota como de forma manual, por lo cual en este proyecto se operará de manera remota.

4.14. Softwares, Automation Studio y Yaskawa V1000 para simulación del accionamiento.

Ya se ha mostrado la programación para el control del sistema haciendo uso del PLC, sin embargo, quedan puntos sin abarcar como el de comprobar que esta programación funcione a la hora de accionar el motor para su función, es por eso por lo que se hace el uso de dos softwares más, siendo estos; el paquete Automation Studio y el simulador del variador de frecuencia Yaskawa V1000, con los que se podrá dar una visión más acertada a lo que se desea analizar con este sistema

Tal y como se mostró en la programación del PLC en este diagrama, (ver figura 4.16), es la misma representación del control que lleva a cabo el mismo dispositivo, haciendo uso de los mismos interruptores y contactos, con la diferencia que, en esta representación, se agrega el diagrama de fuerza,

donde se verá cómo opera el motor, tanto para la elección de marcha como para la reversa.

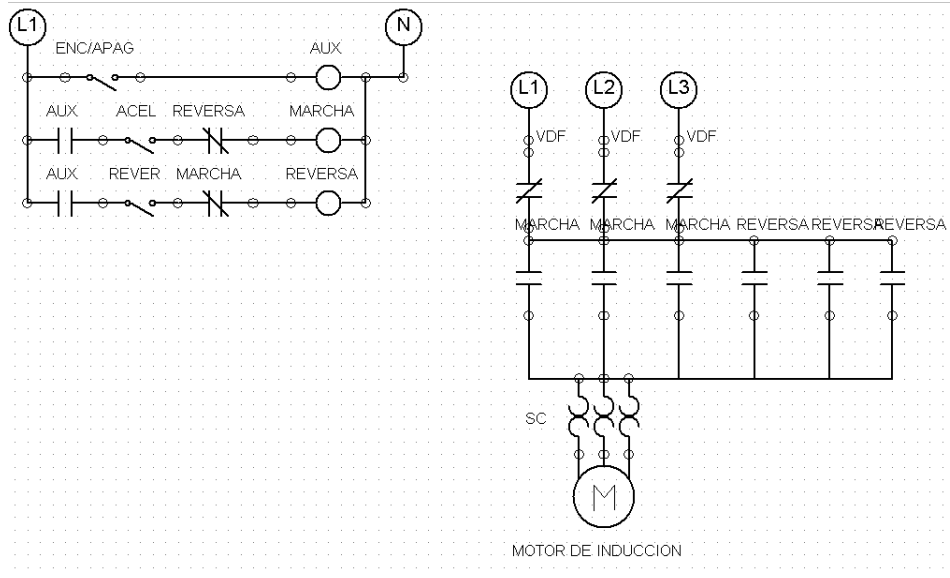


Figura 4. 16. Conexión control y fuerza

En esta fase el sistema está encendido, (ver figura 4.17), pero como se ha explicado no realiza una acción en concreto, ya que este estado el automóvil está en estado neutral sin movimiento alguno del automóvil, sin embargo, en este estado el variador de frecuencia ya está listo para recibir órdenes que el usuario dicte y el PLC entrará en acción para acatar dicho comando para poner en marcha al motor.

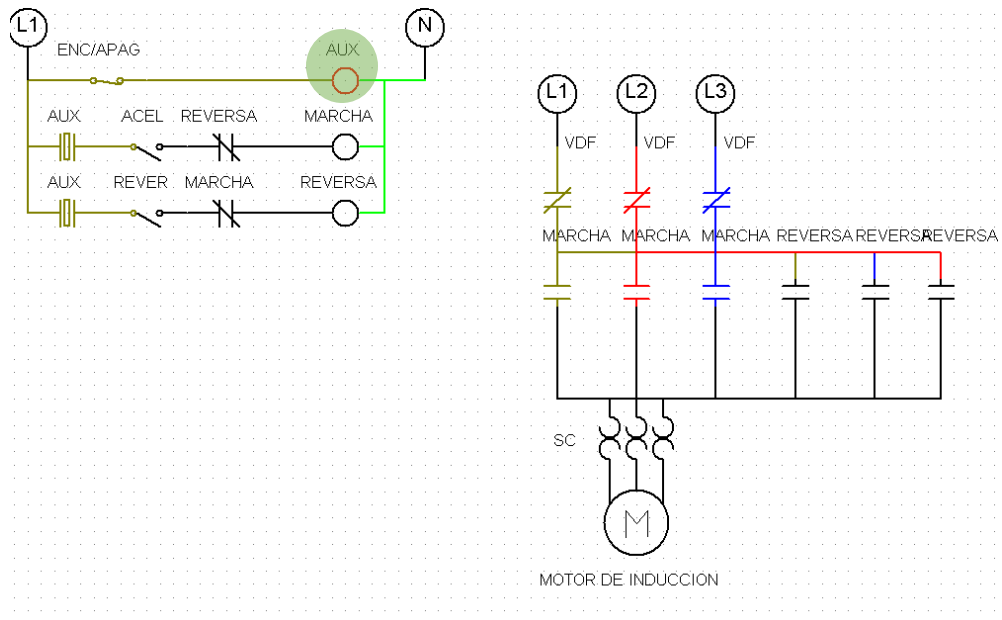


Figura 4. 17. Sistema energizado

Para esta etapa el conductor ha seleccionado avanzar con la opción de marcha, (ver figura 4.18), de esta manera cuando el conductor comience a acelerar, el variador de frecuencia efectuará su trabajo variando la velocidad del motor mediante la variación la frecuencia desde 0 hasta los 60 Hz, o si se necesita una velocidad intermedia el usuario puede controlar esto manteniendo el pedal en una cierta posición, pues el pedal tiene la misma función que un potenciómetro en un circuito eléctrico, y este va conectado directamente al variador de frecuencia, lo que permite lograr esa acción de la variación.

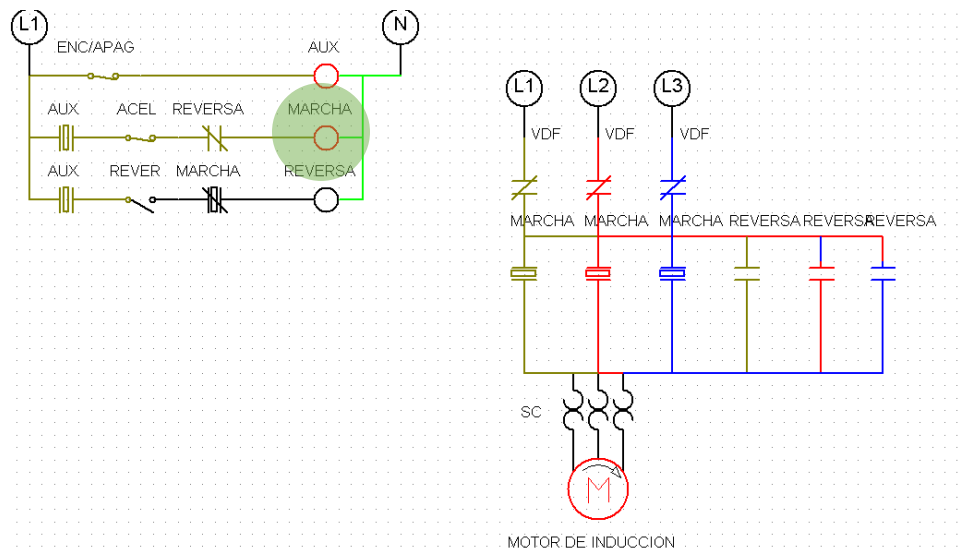


Figura 4. 18. Marcha delantera

En la segunda selección que es la opción de reversa, donde de la misma manera la velocidad es controlada variando la frecuencia y haciendo uso del pedal, solo que en esta ocasión se efectúa un cambio de giro para poder llevar a cabo esta acción de reversa del automóvil, (ver figura 4.19).

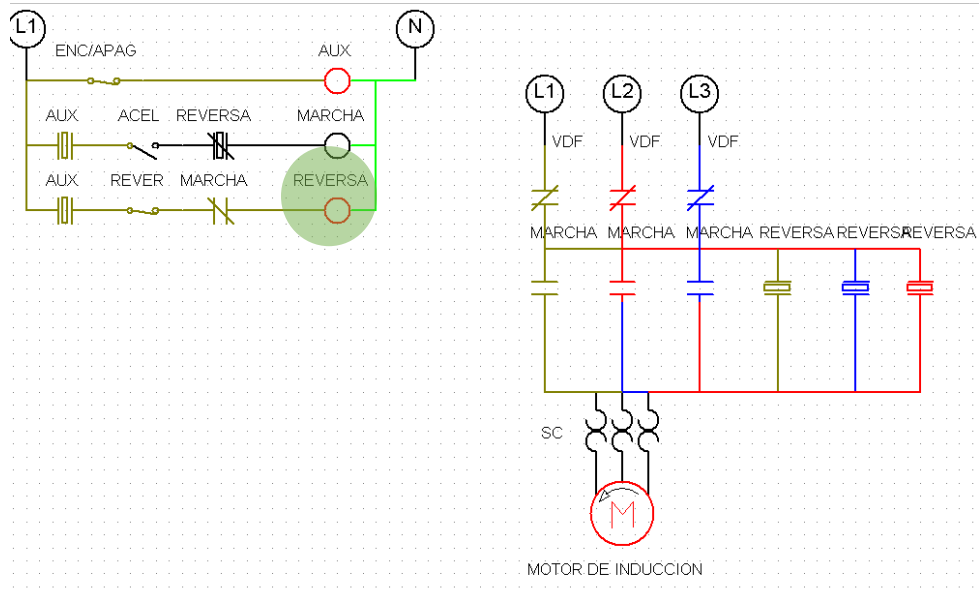


Figura 4. 19. Reversa

Y como último punto el sistema de seguridad contra falla, figura 4.20, esto con el fin de evitar que exista un doble comando efectuado y exista confusión de ordenes en el PLC y por obvias razones en el propio variador de frecuencia, tomando la precaución de que cuando una opción de operación este en fusión, la segunda no se active por error o por algún tipo de falla en el sistema. Como se mostró en la programación del PLC, solo se coloca un contacto normalmente cerrado que se abrirá cuando una de las dos opciones se seleccione.

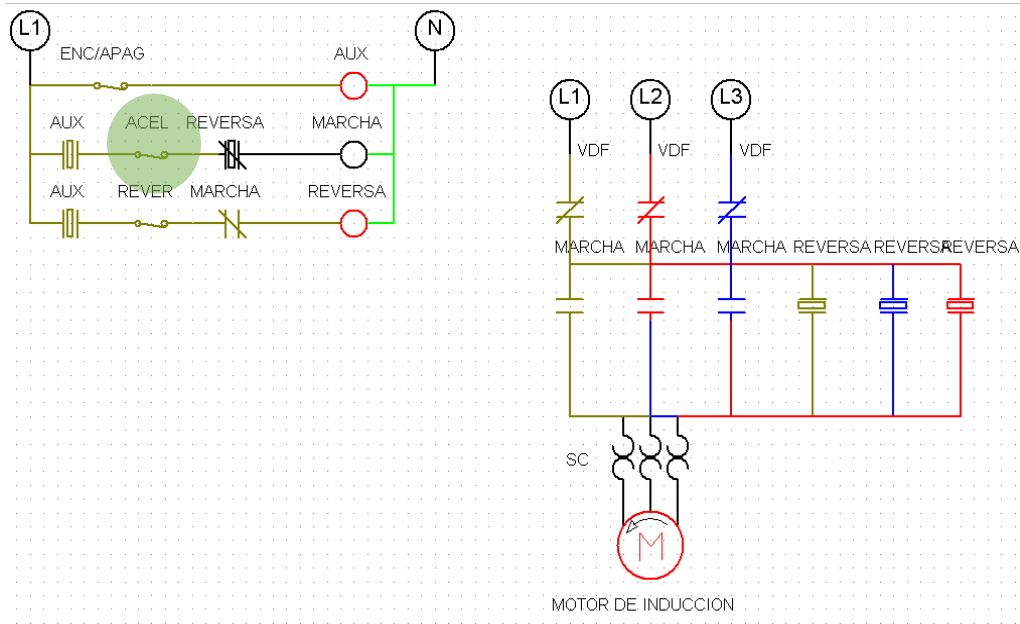


Figura 4. 20. Sistema de seguridad

Este estudio de respuestas es hecho en el software Automation Studio, arrojando resultados positivos a la programación propuesta para el PLC y funcionando correctamente en cuanto al motor se refiere.

Sobra por mostrar la última función y quizá la más importante de estas simulaciones, pues es el objetivo buscado desde un inicio, variar la velocidad, para lo cual se presenta a continuación el simulador del variador de frecuencia Yaskawa V1000.

Yaskawa es una empresa japonesa fabricante de sistemas de control, en la que se incluyen los motores eléctricos, por lo que este simulador es parte de sus productos que se ofrecen. En todo caso el software viene programado para ser usado al instante, tomando en cuenta un motor con las siguientes características presentadas en la tabla 4.5.

Tabla 4. 5. Características del motor Yaskawa

| Motor Yaskawa | |
|---------------|------------|
| Velocidad | 1800 r.p.m |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Polos | 4 |
| Tensión | 10 V |

Como se nota en los datos de la tabla 4.5, estos varían con relación al motor propuesto del proyecto, sin embargo, esto solo es en la tensión, puesto

que los demás datos son los mismos, esto da pauta a poder utilizar estos datos de entrada para llevar a cabo la simulación sin problema alguno.

Como se observa, en la figura 4.21 se muestra la interfaz del software que se utiliza para la representación de la variación de velocidad, el tablero presentando es que se usa para poder hacer todas las conexiones necesarias para hacer funcionar el sistema, pues la zona con los conectores verdes localizada a la derecha de la figura 4.20 representa las entradas y salidas físicas del variador de frecuencia, obviamente al tratarse de un software, no es necesario realizar ningún tipo de conexión.

Pero entrando en cuestión de conexiones, la comunicación para este dispositivo será remota, como se había comentado el PLC será el que envíe las órdenes para que el variador pueda trabajar, para ellos se toma en cuenta que si se tuviese que realizar alguna conexión física entonces se usan las entradas S1 y S2 de la figura 4.20 para generar una comunicación remota con el variador de frecuencia.

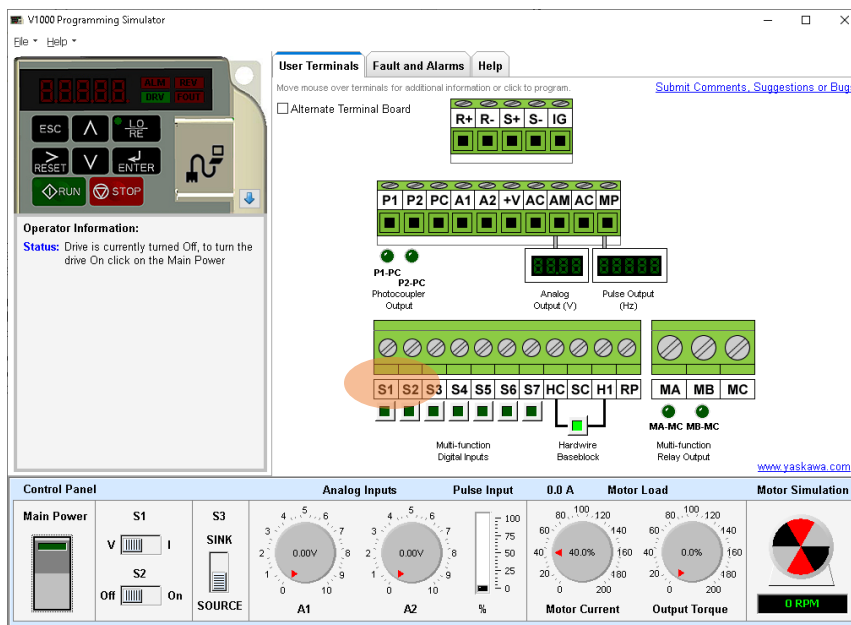


Figura 4. 21. Interfaz variador Yaskawa

El uso de este simulador es sencillo, para poder encender el sistema se usa el interruptor Main Power de la parte inferior izquierda como se puede ver en la figura 4.22. Ahora como todo es una comunicación remota se debe indicar que este trabajo es así, por lo que se debe presionar el botón LO/RE y observar que el led no este encendido figura 4.21, de esta manera se observa que el sistema se controla de una manera remota.

Hecho esto ahora se realiza la simulación de aplicando la lógica de programación del PLC, dos entradas que se utilizarán indicando “marcha” y “reversa” S1 y S2 respectivamente y haciendo uso de las perillas A1 y A2,

como se muestran en la figura 4.22 las cuales servirán como los potenciómetros o de otra manera el pedal del sistema automovilístico.

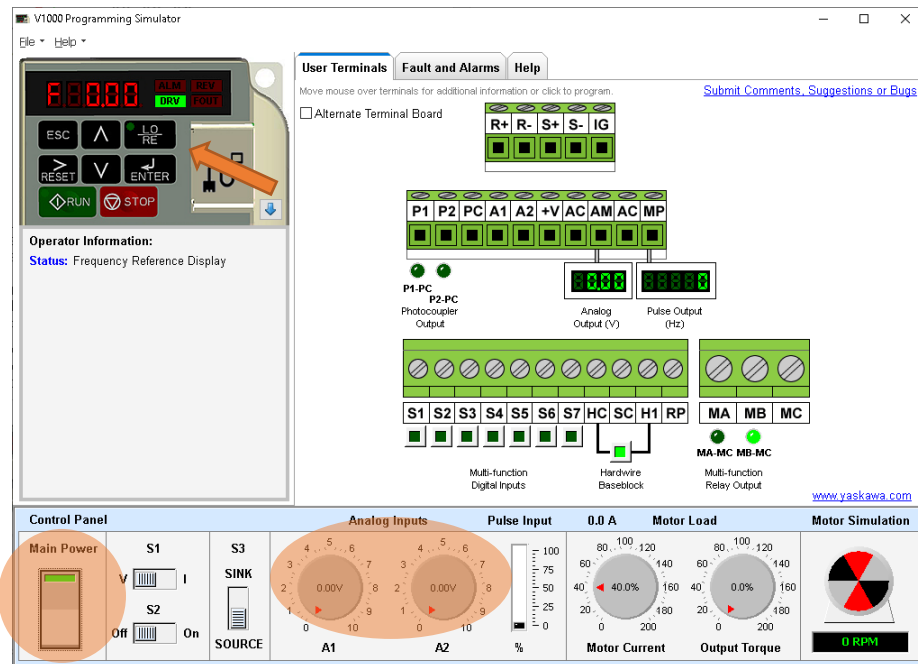


Figura 4. 22. Interfaz encendida

Repasando un poco, en la programación de escalera del PLC, figura 4.8, se disponen de dos salidas, una para marcha y otra para reversa, como se comentó estas salidas ahora serán S1 y S2. Al presionar S1 se le asigna la marcha al motor por lo cual trabajará en un sentido, y haciendo uso del pedal, o el potenciómetro del sistema A1, figura 4.23, que en este caso es el control analógico donde se controla la tensión inyectada al rotor, variando la frecuencia en el sistema. Como se observa en este caso el sistema trabaja a **12.25 Hz**, por lo cual el motor adopta una velocidad de 368 r.p.m, (ver figura 4.23).

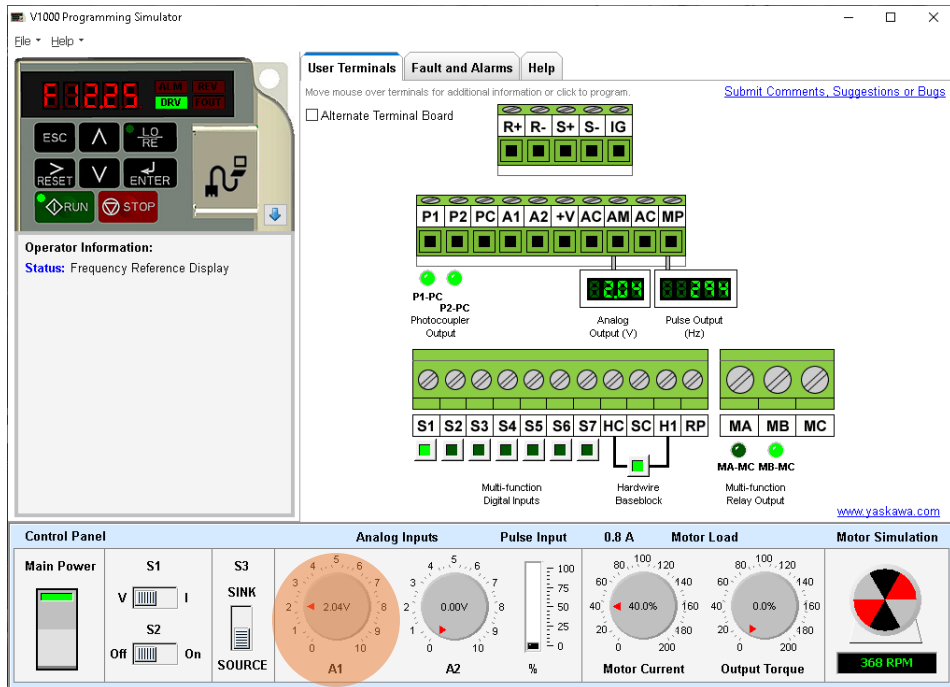


Figura 4. 23. Frecuencia variable creciente

Este simulador se basa totalmente de las ecuaciones presentadas en los puntos 4.4 y 4.5, puesto que, al variar la frecuencia, la velocidad también se ve afectada esto se observa tanto en el display del variador, como en el pequeño motor de la figura 4.24, si se varía la tensión en intervalos intermedios de 0 a 60 HZ para la frecuencia y se toma la velocidad que marca el simulador, se obtienen los mismos resultados que realizando la operación matemática correspondiente ecuación (4.5). Ahora se muestra el sistema trabajando a su máxima condición, solo que en este caso se toma un sistema que trabaja sin carga, ya que como se sabe esto también está en términos del peso que represente el mismo automóvil y el demás peso que se incluya con cada viaje, si un motor no cuenta con la capacidad de par necesaria para realizar esta acción, simplemente el motor no podrá trabajar en ningún momento.

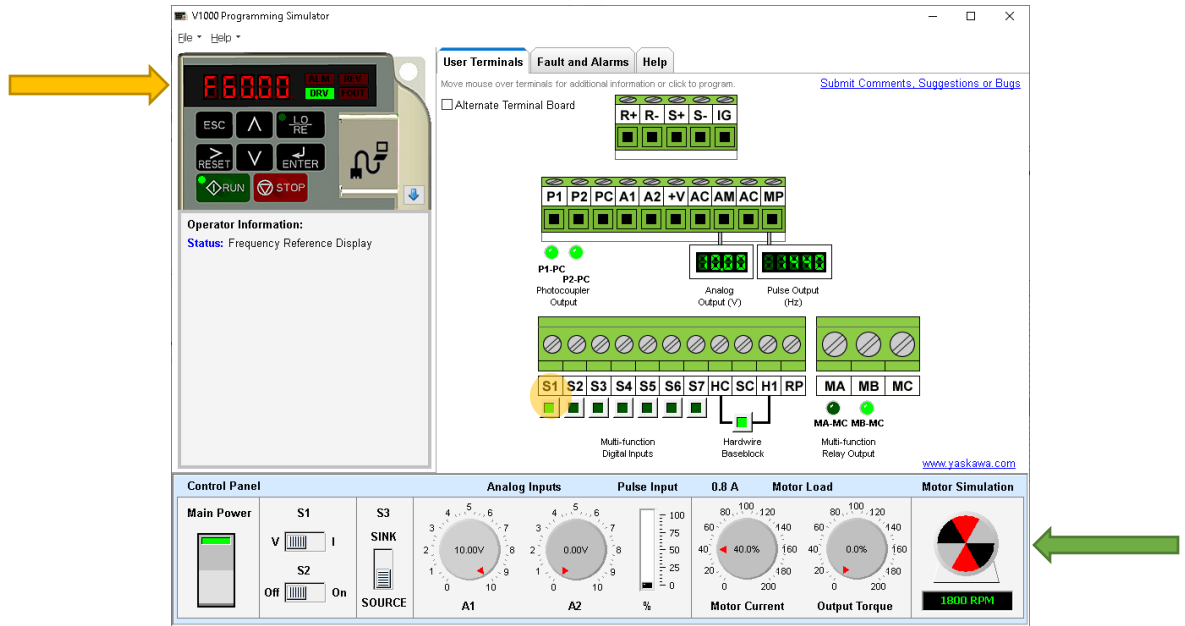


Figura 4. 24. Frecuencia máxima entregada

En esta figura 4.25, se muestra la selección de la reversa o el cambio de giro que el motor si se ve desde un término más técnico y por medio del PLC que enviará la señal, y se activará la salida dos del programa de escalera, figura 4.7, la cual está conectada a la entrada S2 del variador de frecuencia, y de este modo al igual que en la marcha regular, la frecuencia se podrá variar de 0 a 60 Hz según el usuario lo requiera.

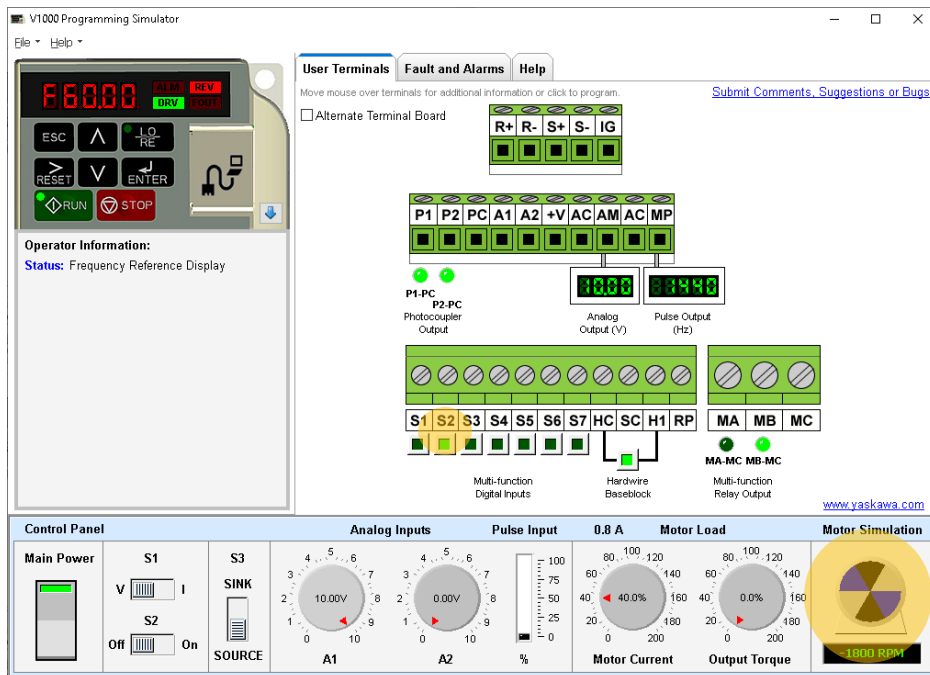


Figura 4. 25. Frecuencia máxima para la reversa

Y por su puesto en todo caso que la carga sobrepase las capacidades del motor, pues este no podrá trabajar con normalidad, ya que el torque con el que opera no es el suficiente y por lo tanto es una carga excesiva para que el motor pueda trabajar, por lo que en un inicio el motor realiza el esfuerzo por trabajar con dicha carga, pero después de un corto periodo de tiempo perderá velocidad gracias a esta acción que no le permite funcionar en condiciones normales, y como se muestra en la figura 4.26

El display del variador de frecuencia salta una alarma de un mal funcionamiento en el sistema debido a una sobrecarga y por ende el paro del propio motor por la excesiva carga que existe.

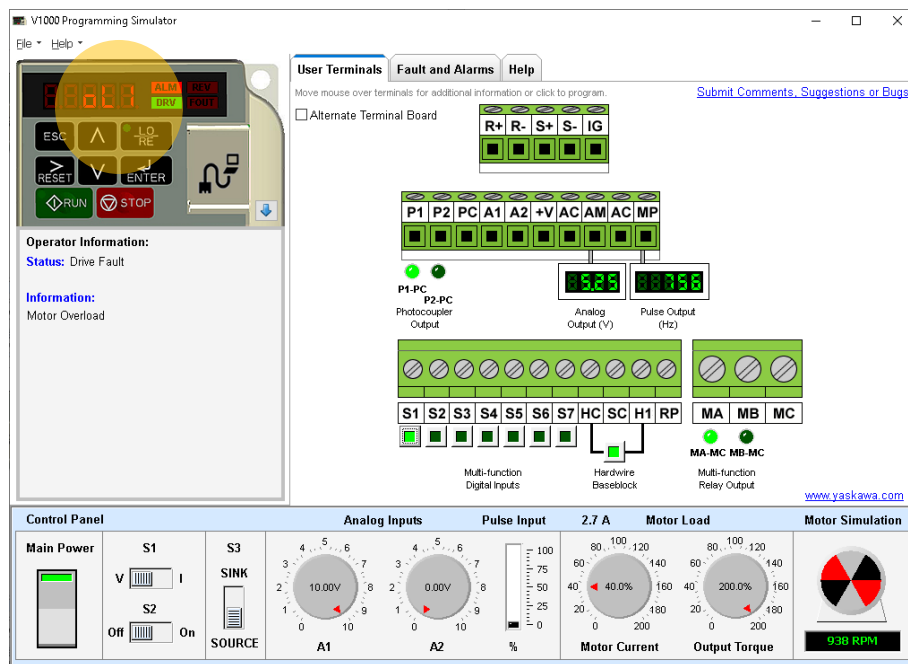


Figura 4. 26. Sistema de precaución del variador

CAPÍTULO 5

VENTAJAS COMPETITIVAS

5.1. Introducción

El precio de inversión y costos de un sistema totalmente eléctrico es un tema del cual aún se podrían tener duda, sin embargo, algunos sistemas de estos ya están disponibles en el mercado. La tendencia de estos sistemas y el tema de transición de autos convencionales a autos eléctricos puede parecer un tanto desbalanceado en cuanto a costos se refiere, pero, existen ciertos puntos a tomar en cuenta que podrían marcar la diferencia entre ambos sistemas.

En este capítulo se tratan los temas relacionados con las ventajas que tiene el sistema eléctrico con su contraparte de combustión interna, donde se hace una comparación un tanto más profunda y se muestran las virtudes y los defectos de ambos tipos de estructura, desde sus constitución, hasta su coste en el mercado.

5.2. Accionamiento eléctrico y accionamiento mecánico

Como se ha mencionado en este proyecto, el sistema del accionamiento eléctrico para vehículos básicamente se compone de cuatro partes: la fuente de energía (baterías), el convertidor (convertidor de CD a CA y viceversa), el motor (accionamiento) y el control (PLC), (ver figura 5.1) y, desde el punto de vista energético, convierte la energía eléctrica a energía mecánica para el desplazamiento o paro de un vehículo en diversas condiciones. La figura 5.1 muestra un diagrama de bloques de un accionamiento para un vehículo eléctrico.

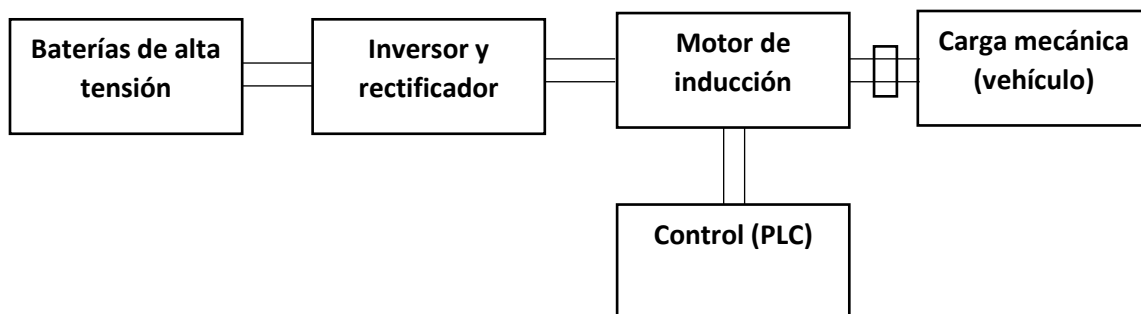


Figura 5. 1 Partes del accionamiento eléctrico para vehículo

En el caso de los motores de combustión estos convierten la energía química (gasolina, diésel, turbosina u otros) en energía mecánica. Los motores de gasolina, cuando la gasolina se mezcla con el aire, dentro de la cámara de combustión, una chispa eléctrica originada en la bujía provoque el encendido creando un vacío que jala a los pistones para originar el movimiento y los de diésel la alta compresión dentro de la cámara el combustible da lugar al encendido para crear el vacío en los pistones, sin necesidad de una chispa (ver figura 5.2). La figura 5.2 muestra un diagrama a bloques de un accionamiento mecánico de combustión interna.

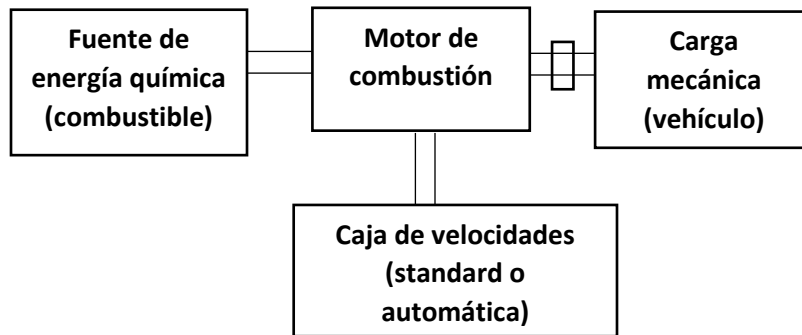


Figura 5. 130 Partes del accionamiento mecánico

5.3. Respuestas mecánicas en vehículos de combustión vs eléctricos

Independientemente del tipo de accionamiento de los vehículos, mecánico o eléctrico, para tener elementos de juicio que permitan compararlos, se debe de considerar las siguientes variables: par motor, velocidad, potencia, eficiencia, ruido, dimensiones, peso, robustez, mantenimiento, fabricación y costo. En la tabla 5.1 se muestra un cuadro comparativo de la respuesta mecánica de los vehículos con motores de combustión y con motores eléctricos.

En la tabla 5.1 se muestra una comparativa entre los motores de combustión interna y los motores eléctricos, con respecto a sus respuestas en un ámbito automovilístico y el impacto que tiene cada uno en una serie de especificaciones mostradas en la tabla.

Tabla 5. 1. Respuestas mecánicas motores de combustión vs motores eléctricos [26]

| VARIABLES | DEFINICIÓN | MOTOR DE COMBUSTION | MOTOR ELÉCTRICO |
|----------------------|--|---|---|
| Par motor | Fuerza con que gira el eje del motor | Desde 700 rpm | Desde 0 rpm |
| velocidad | rpm de operación | 700 a 5000 rpm | 0 a 10000 rpm |
| potencia | 0-100 HP | Es máxima a 6000 rpm y luego descende | Se mantiene constante desde 5000 rpm hasta 10000 rpm |
| Transmisión | Caja de velocidades manuales o automáticas | Necesaria | Indistinto |
| Eficiencia | Potencia de salida/potencia de entrada | Energía mecánica obtenida/ Energía química del combustible | Energía mecánica obtenida/ Energía requerida de las baterías |
| ruido | | Mucho (90 dB) | Poco (50 dB) |
| Consumo | Energía requerida para realizar el mismo trabajo | Entre 200-220 MJ/100 km | De 66 a 70 MJ/100km |
| dimensiones | Medidas del motor, largo, ancho y alto | Para 100HP =.5-0,6 m ² | Para 100HP 0,3-0,4 m ² |
| peso | kg | 70 kg | 26 kg |
| mantenimiento | Servicio | Cada 5000 km | Cada 50000 km |
| Fabricación | Proceso | Más de 100 componentes | Inducido, inductor y flecha |
| Costo | Precio del mercado | \$45,000.00 | \$89,092.00 |

El inconveniente del motor eléctrico es que necesita almacenar energía en baterías; mismas que, requieren de un espacio considerable,

Sin embargo, como se observa en la tabla 5.1, un motor eléctrico tiene una eficiencia superior al 90% lo que nos indica un mayor rendimiento; esto es con menos kWh (Joules) puede recorrer más distancia.

Los comparativos establecen que un tanque de gasolina de 44 litros corresponde al desarrollo de 420 kWh y una batería de elevada capacidad

de almacenamiento de energía alcanza 50 kWh lo que se puede interpretar como desventaja, nada comparable con que es 100% amigable con el medio ambiente.

5.4. Análisis costo beneficio

Ya visto una estimación de ambos sistemas y de poder hacer una comparación entre ambos, se podría decir de primera instancia que el motor de combustión interna por obvias razones (presentadas en la tabla 5.1) es más conveniente debido a que cuesta menos producirlo y por ende el precio de venta también será reducido, con lo que el precio de venta del automóvil convencional contra el precio de venta del automóvil eléctrico tiene una diferencia bastante considerable pues de los precios de cada motor son poco menos de diferencia.

De una manera temprana se puede decir que el sistema eléctrico no es viable para sacarlo al mercado, pues el simple hecho del precio del motor ya es una inversión fuerte, sin embargo, existen varios factores que son clave para entender por qué este sistema es bastante rentable. Primeramente, un sistema de combustión interna puede ser más barato de producir y su precio de venta igualmente es menor, pero hay un factor que puede desbalancear estas cifras, y como se sabe un automóvil con motor de combustión interna necesita de muchos componentes extra para poder operar como es debido y esto significa una cosa de mucho peso; “servicio y mantenimiento”, el mantenimiento es un factor que puede significar un costo extra y el cual estará presente durante toda la vida útil del automóvil, lo cual si se hace una suma de lo que se invierte en mantenimiento, el costo final se verá elevado en una cantidad mucho mayor al original.

Ahora por parte del sistema eléctrico, el precio inicial puede ser bastante elevado y por lo tanto la inversión inicial se verá reflejada en una cifra más elevada de lo esperado, sin embargo, esto no se verá afectado por un mantenimiento extenso y costoso como en el sistema anterior, puesto que para un motor eléctrico la necesidad de elementos externos es casi nula, y en cuanto a un mantenimiento del propio motor se puede decir que no es necesario en una medida tan cíclica como para el sistema de combustión interna.

Como se puede ver, la diferencia de precios aun es un tema debatible y por el momento los sistemas eléctricos pueden ser más caros por introducción y por su rareza o escasez, pero, en un futuro no lejano estos sistemas serán más comerciales y por lo tanto su precio se verá disminuido por la producción y demanda que existirá en ese momento. Los sistemas eléctricos poco a poco llegan al mercado y dentro de unos años estarían reemplazando a los sistemas de combustión interna.

CONCLUSIONES

El avance de la tecnología es cada vez más rápido, día a día hay nuevos inventos y descubrimientos que ayudan con la actualización de los dispositivos que se usan diariamente, y en este caso los automóviles no son la excepción, puesto que las investigaciones en energías limpias han contribuido en la construcción de vehículos capaces de funcionar sin la necesidad del uso de combustibles ni motores de combustión interna, dando paso a los motores eléctricos para entrar en este campo por lo que se ha observado el impacto de estos, tanto en la sociedad como al medio ambiente.

En este estudio se observan las ventajas que presentan los vehículos eléctricos, como, así como el funcionamiento del sistema a la hora de operar, dando una impresionante vista de cómo la complejidad de los vehículos con motores de combustión interna desaparece en comparación a un vehículo eléctrico, pues la mayoría de los requerimientos para la correcta operación de un motor de combustión interna, que en la mayoría son de categoría mecánica, en la categoría eléctrica desaparecen, puesto que la parte mecánica es mínima a comparación del sistema anterior. Pues tal y como es visto en el capítulo 4 de este trabajo, los elementos básicos, se limitan a 4, siendo estos; el motor, el convertidor, el control y las baterías. Con estos elementos el sistema es funcional en su totalidad. Teniendo una respuesta eficiente entre ellos, desde la alimentación con las baterías de alta tensión, el convertidor que hace las conversiones entre CA y CD e inversamente, la programación del PLC que funciona como el cerebro del sistema, el variador de frecuencia que hará la acción para variar la velocidad motor, y el propio motor con sus características capaz de cumplir el objetivo de ser usado en un sistema automotriz. Estos 4 elementos al haber sido ejecutados en simuladores vistos en el capítulo 4, arrojan resultados gratificantes, con lo que de manera teórica se puede decir que este sistema es viable para su uso en automóviles.

Es cierto que la transición de un sistema a otro aún no está cerca de completarse, pues las empresas continúan en el proceso de adaptación a este nuevo sistema, aparte de lo más cuestionado hasta el momento, que sería, los puntos de recarga de este sistema, ya que como se explicó en el capítulo 3, las baterías necesitan ser recargadas después de un tiempo de uso, siendo la cuestión principal, ¿Qué ocurre si esta recarga necesita ser fuera del punto de carga principal del vehículo?, y es algo que por el momento no se puede solucionar, sin embargo, no es algo que cause problemas en un futuro, ya que como en las gasolineras donde uno puede hacer una compra de combustible para el vehículo convencional, existirán puntos de recarga con el mismo propósito pero para la recarga de las baterías de estos sistemas eléctricos.

Algo que se puede decir del sistema propuesto en este proyecto, es la cuestión de la viabilidad, ya que esto es factible, sin embargo, el avance de las

nuevas tecnologías, los motores de inducción convencionales, como es el caso del motor de inducción jaula de ardilla, ya no es tan conveniente colocarlo a trabajar para estos sistemas, puesto que ya se han creado nuevos sistemas, igualmente de inducción, que cubren algunas características necesarias para los requerimientos dirigidos a los sistemas automotrices y los puntos que deben de cubrir para poder igualar incluso mejorar el rendimiento que un motor de combustión interna puede entregar. Puede que en un principio el costo sea elevado, pero es una inversión que a la larga se verá reflejado en un gran ahorro en mantenimiento.

Apéndice A Vehículos en el mercado.

Descripción dinámica del accionamiento (Need for speed: Most Wanted).

Algunos sistemas completamente eléctricos ya están en funcionamiento y los cuales son posible de simularlos hoy en día. Un claro ejemplo sucede con el software de entretenimiento llamado; Need for speed: Most Wanted, en cual incluye un automóvil eléctrico entre su catálogo de automóviles. Este auto es el Tesla Roadster Sport, un modelo deportivo de dicha marca y el primer auto totalmente eléctrico que se tiene registrado por parte de esta marca.

Al ser de los primeros modelos, este tipo de vehículos cuentan con un motor de inducción jaula de ardilla, el cual como se ha comentado es un motor que es versátil y con un fácil mantenimiento, aparte de que permite tener un buen par de arranque y una velocidad final para este modelo de 200 km/h, quizá este punto no es su fuerte en este modelo en velocidad, pero para ser el primero de su clase es bastante rápido en este aspecto.

A continuación, se puede observar el automóvil que presenta este sistema de entretenimiento, un modelo que se mira elegante y moderno figura A1.

Una de las diferencias entre una automóvil convencional y este modelo bastante notable, es el sonido generado en cada tipo de automóvil, ya que en un auto convencional de combustión interna se podrá escuchar el trabajo que se lleva a cabo en su motor en todo momento, y es más notorio entre mayor velocidad adquiera este, ahora, esto en un auto eléctrico en mucho menos notable, pues el ruido generado por el motor eléctrico si es notable a una distancia cercana, y de una misma manera el ruido aumenta con relación a la velocidad, la diferencia esta que en cuanto el motor eléctrico llega a su velocidad máxima, el sonido generado es casi nulo, lo que también es amigable con el medio ambiente pues reduce la contaminación acústica.

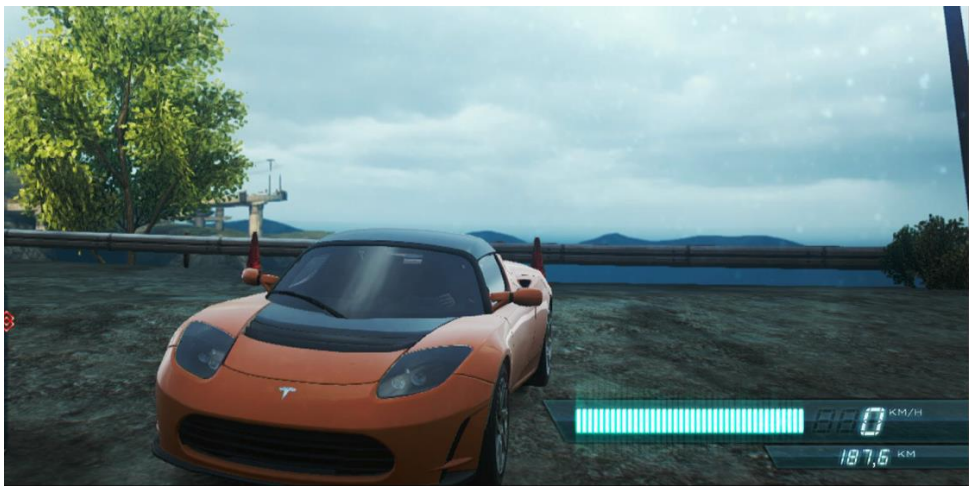


Figura A 1. Vista frontal del auto

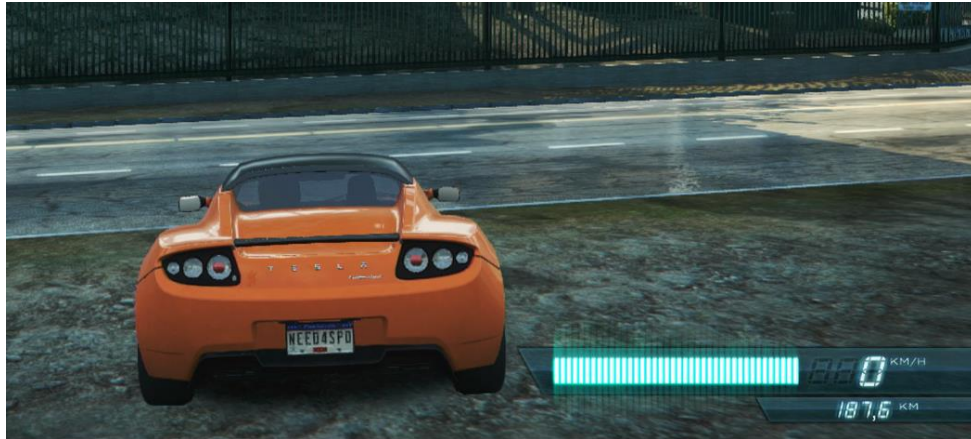


Figura A 2. Vista trasera del auto

En la simulación se realizaron pruebas de velocidad para el auto, observando el comportamiento de este en cada tipo de escenario, pues la simulación permite el terreno llano, inclinado, terroso y demás escenarios, permitiendo tener una vista del trabajo que realiza el motor para poder superar estas condiciones.



Figura A 3. Aceleración inicial del vehículo

Este modelo puede llegar de 0 al 100 km/h en 5.7 segundos figura A3, trabajando con un motor de inducción jaula de ardilla. Este fue la primera limitante para que el auto obtuviera una velocidad superior a un automóvil convencional, sin embargo, no fue para nada lento en sus inicios.



Figura A 4. Aumento de velocidad

Ahora bien, el auto al igual que cualquier auto puede hacer un cambio de velocidad en cualquier momento, pero como se ha mencionado no es necesario una caja de velocidades para lograr esto figura A 4.



Figura A 5. Punto de velocidad cerca de la máxima velocidad

Como tal se puede observar que los autos eléctricos ya están en circulación y por lo tanto serán los sucesores directos de los autos convencionales y tal como se muestra en las imágenes, estos autos cumplen con las características que una auto convencional entrega.

Fuentes de consulta

[1] Grupo EPM. (s. f.). *¿Cuáles son las fuentes de energía?* ENSO. Recuperado 23 de febrero de 2021, de

<https://www.ensa.com.pa/preguntas-frecuentes/energia/cuales-son-las-fuentes-de-energia#:~:text=Casi%20toda%20la%20energ%C3%ADa%20que,descomposici%C3%B3n%20de%20organismos%20animales%2C%20etc.>

[2] A. (2018, 11 abril). *Conversión de la energía*. Ambientum Portal del Medioambiente. Recuperado 23 de febrero de 2021, de

https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/conversion_de_energia.asp#:~:text=Tal%20y%20como%20postula%20el,o%20de%20color%20a%20electricidad.&text=La%20conversi%C3%B3n%20de%20la%20energ%C3%ADa,tiene%20lugar%20en%20la%20biosfera.

[3] Hidalgo, U. A. D. E. (s. f.). Utilización de fuerza mecánica para generar electricidad. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. Recuperado 23 de febrero de 2021, de

<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/atotonilco/n7/p1.html#:~:text=Cualquier%20motor%20el%C3%A9ctrico%20que%20tiene,esto%20induce%20una%20corriente%20el%C3%A9ctrica.>

[4] Harmonic Drive SE. (s. f.). *Motor DC: el pionero de los electromotores*. Recuperado 23 de febrero de 2021, de

<https://harmonicdrive.de/es/glosario/motor-dc-el-pionero-de-los-electromotores>

[5] Chester L. Dawes, "Tratado de electricidad 1. Corriente Continua. 14 edición 1992 México Editorial GG pp 537-540.

[6] Ing. Gallegos Quiroz, R. (1988). *Generadores y Motores de Corriente Continua* (1.ª ed., Vol. 1). Instituto Politécnico Nacional. Pp 113, 118-119, 128-129, 132-133, 137-138, 153-155.

[7] León Ledesma, M. C., Guadalupe, A. F., & Correa Betanzo, J. (2015, junio). *Motores de Corriente Alterna síncronos y Corriente Directa* (N.º 111). Instituto Tecnológico de Celaya. <https://www.itcelaya.edu.mx>

[8] Ing. Angarita, P. (s. f.). *MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA*. seuv. Recuperado 23 de febrero de 2021, de

<https://selectromecanicosu.wixsite.com/seuv/motores-de-corriente-continua#:~:text=El%20arranque%20de%20un%20motor,la%20velocidad%20ambi%C3%A9n%20es%20nula.>

[9] Global, D. L. (s. f.). *Conversión CA-CC*. De Lorenzo Group. Recuperado 26 de febrero de 2021, de <https://www.delorenzoglobal.com/es/electronica-de-potencia/diodos-conversion/>

[10] Mañana Cantel, M. (s. f.). *REGULACIÓN, CONTROL Y PROTECCIÓN DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS* (1.^a ed.). Universidad de Cantabria DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA. Pp. 22, 33-35, 39-40.

[11] Orozco, G. M. G. (2016, 19 mayo). *Transmisión mecánica de un automóvil* | *Pruebaderuta.com*. Pruebaderuta.com | Más que un blog de automóviles. Recuperado 26 de febrero de 2021, de <https://www.pruebaderuta.com/transmision-mecanica-de-un-automovil.php#:~:text=La%20transmisi%C3%B3n%20mec%C3%A1nica%20o%20caja,con%20este%20sistema%20de%20transmisi%C3%B3n>.

[12] Empresas de servicio de conservación de la energía. (s. f.). *¿Qué es la Eficiencia Energética? (EE)*. ABESCO. Recuperado 26 de febrero de 2021, de <http://www.abesco.com.br/es/que-es-la-eficiencia-energetica-ee/>

[13] José Manuel Piñero Rueda. (2015). *Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. Pp. 8, 32.

[14] C. (2021). *Maquinas Eléctricas* (5.a ed.). MCGRAW HILL EDUCATION. Pp. 348-349, 356-358.

[15] *¿Cómo funcionan los autos eléctricos?* (s. f.). Kia Motors Costa Rica. Recuperado 5 de mayo de 2021, de <https://www.kia.com/cr/discover-kia/ask/how-do-electric-cars-work.html#:~:text=%E2%80%9CLos%20autos%20el%C3%A9ctricos%20funcionan%20con,par%20m%C3%A1ximo%20a%20velocidades%20extremadamente.%E2%80%9D>

[16] Plaza, D. (2020, 2 junio). *¿Cómo es el motor de un coche eléctrico? Funcionamiento, partes y tipos*. Motor.es. <https://www.motor.es/noticias/motor-coche-electrico-202067941.html>

[17] RACE. (2020, 4 noviembre). *¿Cómo funciona un coche eléctrico?* <https://www.race.es/como-funciona-coche-electrico>

[18] *Automatización + control industrial*. (s. f.). [Grafico]. Desarrollos digitales. https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.webddigital.com%2Farticulos_variadores.aspx&psig=AOvVaw1mIVwpqPmhMvBWwZyWM_mi&ust=1628721037429000&source=images&cd=vfe&ved=0CAoQjRxqFwoTCPD9kunAp_ICFQAAAAAdAAAAABAh

[19] Sistema de transmisión. (s. f.). [Ilustración]. Motores y más. <https://motoresymas.com/cont-tecnico/sistema-de-transmision-mecanica/>

[20] S. (2020, 8 enero). *¿Qué es y para qué sirve un variador de frecuencia?* / S&P. S&P Sistemas de Ventilación. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/>

[21] Ing. Gallegos Quiroz, R. (1986). Generadores y motores de corriente alterna (1.a ed., Vol. 1). Instituto Politécnico Nacional. Pp. 80-84

[22] Martín, J. (2019, 22 enero). *Cuál es la diferencia entre kW, CV y HP.* Motorpasion. Recuperado 28 de noviembre de 2021, de

<https://www.motorpasion.com/revision/cual-diferencia-kw-cv-hp#:~:text=1%20CV%20%3D%200%2C986%20HP,1%20HP%20%3D%201%2C014%20CV>

[23] Molina Martínez, J. M., Cánovas Rodríguez, F. J., & Ruiz Vila, F. A. (2014). Motores y Maquinas eléctricas (1.a ed., Vol. 1). Alfaomega. Pp. 217-220

[24] Foro Coches Eléctricos (2011), *Motor eléctrico versus motor de combustión: Par, potencia y eficiencia.* [En línea] Disponible en: <https://forococheselectricos.com/2011/11/motor-electricoversus-motor-de.html>

[25] EcoInventos (2019), *Estos son los motivos por los que un motor eléctrico supera a uno de combustión.* [En línea] Disponible en: <https://ecoinventos.com/motor-electrico-vs-motor-combustion/>

[26] MotorPasion (2012), *Hablemos de eficiencia: coche de combustión vs coche eléctrico.* [En línea] Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridosalternativos/hablemos-de-eficiencia-coche-de-combustion-vscoche-electrico/>

[27] SpritMonitor (2020), *Consumos reales de vehículos.* [En línea] Disponible en: <https://www.spritmonitor.de/en/>

[28] Instituto Tecnológico de Apizaco. (2016, noviembre). *DISEÑO DE UN INVERSOR TRIFÁSICO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL ESCALAR PARA ACCIONAR UNA MÁQUINA DE INDUCCIÓN CON APLICACIONES EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (N.º 1).*

<https://www.researchgate.net/publication/311666957>

ANEXO

Precio de los motores:

Motor Completo
Elantra 2017-2020 2.0 Nuevo
Original



\$ 45,000

en 24x \$ 2,640³⁷
IVA incluido

A7B10001014970

SKU#: A7B10001014970

\$89,092.00

MXN



Con carcasa de hierro fundido, flexibilidad de forma constructiva, patas macizas de apoyos y niveles de ruido y temperatura de operación reducidos, los motores W22 son perfectamente adecuados para las más diversas aplicaciones industriales.

Resumen de las características técnicas

| | | | |
|---------------------|-----------|-------------------------------|--------------|
| Norma | NEMA MG-1 | Potencia | 100 HP |
| Frecuencia | 60 Hz | Fijación | Con pies |
| Tensión | 460 V | Brida | Sin |
| Numero de polos | 4 | Forma constructiva | F-3 |
| Grado de protección | IP55 | Caja de conexión ¹ | Superior |
| Rotación sincrona | 1800 rpm | Refrigeración | IC411 - TEFC |

USD\$12,040.00

GLOSARIO

CD: Término para referirse a la corriente directa, también expresada como CC.

CA: Término para referirse a la corriente alterna.

Dispositivo electromecánico: Dispositivo que combina partes eléctricas y mecánicas para conformar su mecanismo, tales como los motores eléctricos.

Energía cinética: Energía que se refiere al movimiento.

Energía potencial: Es la energía almacenada en un objeto debido a su posición.

Conductor: Material que ofrece una baja oposición al paso de la corriente eléctrica.

Estator: Parte fija del motor, el cual también funciona como soporte para el mismo.

Rotor: Parte móvil del motor, el cual será el que realice el trabajo.

Bobina: Conductor enrollado en forma de cilindro y el cual almacena energía en forma de campo eléctrico a través del fenómeno de inducción.

Campo eléctrico: Campo de fuerza creado por la atracción y repulsión de cargas eléctricas.

Electroimán: Elemento con efectos magnéticos, pero dependiente de una fuente eléctrica.

Par: Fuerza ejercida por un motor para realizar un trabajo extenuante.

RPM: Revoluciones por minuto.