



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA:

**“ELABORACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO PARA EL TREN DE POTENCIA DE BUSES
ELÉCTRICOS DE TRANSPORTE PÚBLICO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN SISTEMAS AUTOMOTRICES**

GUACHAMIN QUISHPE NELSON PAUL
nelson.guachamin@epn.edu.ec

SALAS HARO WALTER ADRIÁN
walter.salash@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. Ángel Adalberto Portilla Aguilar, Msc
angel.portilla@epn.edu.ec

Quito, junio de 2022

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores NELSON PAUL GUACHAMIN QUISHPE Y WALTER ADRIAN SALAS HARO bajo mi supervisión.

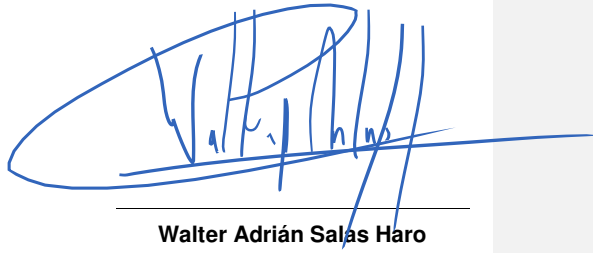
Ing. Ángel Adalberto Portilla Aguilar MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, Nelson Paul Guachamin Quishpe y Walter Adrián Salas Haro, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



**Nelson Paul Guachamin
Quishpe**

Walter Adrián Salas Haro

Dedicatoria

A mis padres, Nelson y María Luisa, por siempre apoyarme en cada decisión de mi vida, alentarme a perseguir mis sueños, enseñarme que no existen imposibles en la vida, y dejarme la mejor herencia, una buena educación. A mis hermanas Andrea y Camila, por estar siempre pendientes de mí y a pesar de las circunstancias siempre darme su cariño y apoyo. A María José, por haber sido mi compañera de vida, acompañándome durante este difícil camino, haberme apoyado incondicionalmente en los buenos y malos momentos durante todos estos años, alentarme a no rendirme jamás y haber contribuido a que este sueño se haya hecho realidad, sé que sin tu apoyo no lo hubiera logrado.

A mis abuelos, tíos, amigos y el resto de mi familia, por siempre haber creído en mí, este logro les pertenece.

Paul Guachamin

Dedicatoria

Con mucho amor para Karlita, el amor de mi vida, por todo el apoyo incondicional,

A mis padres por nunca dejar de alentarme,

A Elenis.

Walter A. Salas Haro

Agradecimientos

Primero que todo agradecer a Dios por haberme bendecido tanto y permitir que pueda cumplir una meta más en mi vida. A mis padres y hermanas por enseñarme que no hay imposibles. Un principal agradecimiento a Marco y Gladys, que supieron ayudarme y apoyarme durante estos años difíciles y contribuir en gran medida a que pueda salir adelante y hoy pueda cumplir con esta meta.

A Walter por el apoyo y compañerismo durante la maestría y al Ing. Ángel Portilla por habernos dado la apertura, apoyarnos y guiarnos durante el proceso de este trabajo de titulación.

Paul Guachamin

Agradecimientos

Ing. Ángel Portilla agradezco su dirección en este trabajo, la dedicación y tiempo que usted nos ha brindado es invaluable, he aprendido mucho bajo su tutoría y me llevo un grato recuerdo de su pasión como mi tutor.

Walter Salas Haro

ÍNDICE

Introducción	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
1 Marco Teórico	3
1.1 Arquitectura del tren de potencia de un bus eléctrico.....	3
1.2 Componentes y principios de funcionamiento del tren de potencia eléctrico...6	
1.2.1 Motor Eléctrico	6
1.2.2 Inversor.....	11
1.2.3 Control electrónico.....	13
1.2.4 Transmisión.....	25
1.2.5 Baterías de Almacenamiento de Energía	27
1.3 Mantenimiento.....	29
1.3.1 Mantenimiento preventivo	29
1.3.2 Mantenimiento en uso.....	30
1.3.3 Mantenimiento predictivo	30
1.4 Plan de mantenimiento	30
2 Metodología	32
2.1 Listado de componentes y codificación	32
2.2 Identificación de modos de fallo del tren de potencia	32

2.2.1	Fallas del Motor eléctrico	33
2.2.2	Fallas de la Transmisión	39
2.2.3	Fallas de la Batería.....	43
2.2.4	Fallas del inversor	52
3	Resultados	54
3.1	Plan de mantenimiento del tren motriz de buses eléctricos	54
3.2	Precauciones y consideraciones en la ejecución del plan de mantenimiento	58
3.2.1	Efectos en el cuerpo humano de las variables eléctricas	59
3.2.2	Componentes de alto voltaje.....	60
3.2.3	Relación entre sistemas del autobús eléctrico	60
3.2.4	Riesgos	60
3.2.5	Protocolo de seguridad	60
	Conclusiones	62
	RecomenDaciones.....	64
	Bibliografía.....	65
	Anexos.....	71
	Anexo A. Manual de procedimiento de inspección de motor eléctrico.....	71
	Anexo B. Manual de procedimiento de inspección de la transmisión	76
	Anexo C. Manual de procedimiento de inspección de baterías de almacenamiento	78

RESUMEN

El presente trabajo de titulación busca plantear una propuesta de mantenimiento preventivo para buses eléctricos de transporte público, esta necesidad nace debido a propuestas de eficiencia energética que incentivan la llegada de este tipo de vehículos al parque automotor del país en los próximos años. El mantenimiento preventivo de un bus eléctrico, tiene un campo de aplicación muy amplio, por lo que esta investigación se centra específicamente en el tren de potencia.

Antes de realizar esta propuesta de mantenimiento será importante conocer y comprender los componentes que conforman el tren de potencia de un bus eléctrico y una vez conocido su comportamiento, se procede a detectar las posibles fallas de estos elementos. Para la identificación de estas fallas se usó un árbol de fallas para identificar los posibles problemas que pueden experimentar cada uno de estos elementos. Luego se codificaron las fallas para un mejor reconocimiento y a partir de ello plantear actividades para que el bus eléctrico opere con normalidad dentro de su vida útil.

Al no tener estadísticas de fallas en los elementos del tren de potencia de vehículos eléctricos, el trabajo de titulación se basa en publicaciones científicas, documentación, y experiencias de otros países que ya cuentan con este tipo de vehículos, para luego relacionarlos con la realidad del Ecuador, plantear actividades y una planificación para la realización del mantenimiento preventivo, el cual constará de actividades específicas a realizar en cada uno de los componentes del tren de potencia.

Palabras clave: Bus eléctrico, mantenimiento preventivo, tren de potencia, plan de mantenimiento.

ABSTRACT

This work proposes a preventive maintenance plan for an electric public transport buses. Electric buses are going to replace the Internal combustion motor buses in the next years, due to energy efficiency Laws. Preventive maintenance of an electric bus has a very wide field of application, so this research focuses specifically on the power train.

Before carrying out this maintenance plan, components that make up the power train of an electric bus are studied and once their behavior is known, possible failures of these elements are detected. A fault tree was used to identify the possible problems that each of these elements may experience. Then the faults are codified for a better recognition. Finally, activities are proposed to reduce de failure of an electric bus.

There are not statistics of the power train failures at Ecuador; so this work is based on scientific publications, documentation, and experiences of other countries that already have this vehicle type. This information is used to relate the Ecuador reality, then maintenance activities are proposed and a plan is carried out for preventive maintenance, which will consist of specific activities to be carried out in each of the components of the power train.

Keywords: Electric bus, preventive maintenance, power train, maintenance plan.

Introducción

El Gobierno ecuatoriano, a través de la “Ley de Eficiencia Energética”, artículo 14, dispone que todos los vehículos nuevos que ingresen a partir del 2025 y presten servicio público utilicen como medio motriz, exclusivamente, motores eléctricos [7].

En este contexto, según proyecciones de un estudio publicado en la revista Energía del CENACE, considera el peor de los escenarios con una penetración del 25% de autobuses eléctricos para el 2025, lo que equivale a 31691 unidades de buses eléctricos en el país [14]. Por otro lado, los municipios de los diferentes sectores del país, y en específico el de la ciudad de Quito, integrarán unidades con tracción a través de sistemas eléctricos de forma paulatina en los siguientes años.

Se espera que a partir del mediados del 2022 ingresen las primeras unidades para dos Cooperativas de servicio de transporte público [15], esperando que 30 unidades sean eléctricas para una de las líneas concesionadas. El ingreso progresivo de unidades de transporte público con propulsión eléctrica generará requerimientos de mantenimientos preventivos de dicha flota vehicular.

En un bus eléctrico la energía fluye por cables eléctricos, por lo que, la propulsión puede proveerse por un motor o arreglos de varios motores con cajas reductoras o sin ellas. También se dispone de varias fuentes de energía como baterías o celdas de combustible, que tienen pesos y formas diversas, y su forma de recarga depende del hardware y de los mecanismos, por ejemplo: se puede recargar por conducción eléctrica o inducción eléctrica [1].

Actualmente, no existe personal técnico capacitado ni centros automotrices con la infraestructura específica de cómo realizarlo, surge la necesidad de realizar una investigación para entender el comportamiento y modos de fallo de los elementos que componen un bus eléctrico como sugiere el Banco Interamericano de Desarrollo en el eje de Educación y Comunicación de la Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador [17].

Objetivo general

Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para el tren de potencia de buses eléctricos de transporte público.

Objetivos específicos

- Describir los elementos del tren de potencia de buses eléctricos y sus principios de operación.
- Determinar los métodos para evaluar la operación de los sistemas de carga, inversor, motor eléctrico, transmisión y baterías de almacenamiento de energía de los buses eléctricos.
- Analizar los posibles modos de fallo del tren de potencia de los buses eléctricos.
- Proponer las tareas preventivas a realizarse para reducir la probabilidad de fallo del tren de potencia de los buses eléctricos.
- Describir las estrategias de manipulación de los elementos del tren de potencia de los buses eléctricos durante las tareas de mantenimiento preventivo propuestas.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Arquitectura del tren de potencia de un bus eléctrico

El tren de potencia es un sistema electromecánico que permite la transmisión de energía desde la fuente hasta las ruedas, para que el vehículo se desplace. Para ello este, convierte la energía eléctrica almacenada en la batería en energía cinética rotacional de las ruedas. El tren motriz debe cumplir 3 tareas [2]:

- Generar la potencia para cubrir los requerimientos de carga.
- Transmitir la energía para la conducción de una distancia determinada del bus
- Tener alta eficiencia

Para cumplir con la tarea descrita antes el tren de potencia, ver Figura 1, se compone de :

- Baterías donde se almacena energía eléctrica
- Inversor electrónico y control eléctrico que acondiciona la energía eléctrica para el motor
- Motor eléctrico que generará energía mecánica
- Transmisión que distribuye la energía mecánica a las ruedas

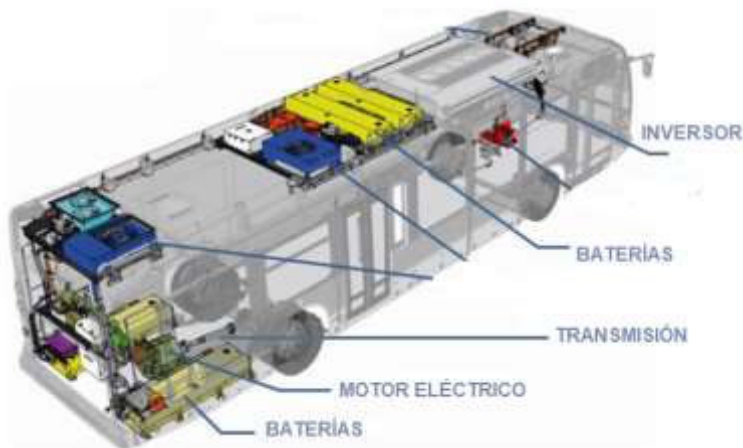


Figura 1 Partes del tren motriz de un bus eléctrico [3]

Los elementos antes descritos se pueden agrupar formando varias arquitecturas, las que se clasifican en función del número de motores, de un motor o múltiples motores. En la actualidad las arquitecturas de dos motores predominan el mercado de los buses eléctricos [1].

En la Figura 2 se muestra 4 tipos de arquitecturas alternativas, debido a la amplia variedad de dispositivos de propulsión, fuentes de energía y la flexibilidad de los enlaces eléctricos [1].

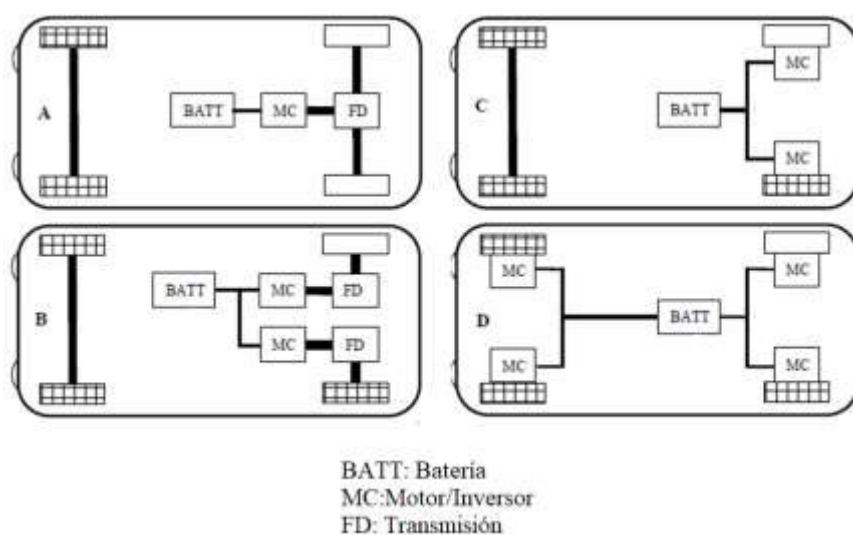


Figura 2 Arquitecturas de buses eléctricos [1]

La Figura 2 - A, se compone de sistema de baterías, un motor eléctrico con su inversor, un engranaje fijo como transmisión, o como transmisión puede tener embrague, caja de cambios y diferencial

La Figura 2 - B, tiene un sistema de baterías, dos motores eléctricos, con sus respectivos inversores y transmisiones. Este arreglo reemplaza la acción mecánica hecha por el diferencial, cada motor controla una rueda.

En la Figura 2 - C, la arquitectura cuenta con un sistema de baterías, dos motores eléctricos colocados directamente en las ruedas, reduciendo la necesidad de la transmisión y un inversor para cada motor.

Finalmente, en Figura 2 - D, es similar a la anterior con la diferencia de que cada rueda posee un motor.



Figura 3 Tren de Potencia [4]

Como se puede apreciar en la Figura 3, la arquitectura del tren de potencia ubica todos los elementos en la parte posterior del vehículo, de una manera compacta para optimizar el espacio, ubicando el inversor en la parte superior, y por debajo de dicho elemento se ubicará el motor eléctrico conjuntamente con la transmisión. La unidad electrónica de control se encontrará en la parte delantera del vehículo, mientras que las baterías de almacenamiento, dependerá del tipo de sistema de carga para su ubicación, todos estos elementos se encuentran conectados entre sí por una red CAN y un circuito de alta tensión, representado de color naranja.



Figura 4 Ubicación de baterías de almacenamiento [4]

Las baterías pueden estar ubicadas en la parte baja del chasis conjuntamente con los otros elementos del tren de potencia, como se observa en la Figura 3. Otra alternativa,

es que estén ubicadas en la parte alta de la carrocería como se puede apreciar en la Figura 4 [4].

1.2 Componentes y principios de funcionamiento del tren de potencia eléctrico

En esta sección se estudiarán los componentes del tren de potencia de un bus eléctrico, sus partes y su principio de operación. Ya que existe varios tipos de componentes se dará énfasis al tipo de componentes típicos que se encuentra en un auto bus eléctrico.

1.2.1 Motor Eléctrico

El motor eléctrico se encarga de generar la energía mecánica necesaria para poner en movimiento el vehículo, transformando la energía eléctrica en energía mecánica. El principio de funcionamiento de los motores eléctricos se basa en la interacción entre campos magnéticos; al disponer dos imanes fijos y acercarlos, los campos magnéticos de igual signo se repelerán mientras que los campos magnéticos de diferente signo se atraerán [5].

El motor eléctrico se constituye de un imán permanente y un electroimán; de tal manera que cuando los campos magnéticos se alinean, uno de los dos imanes cambia su polaridad y genera una fuerza de repulsión que da lugar al sentido de giro del motor.

Los motores equipados en los vehículos eléctricos cuentan con cuatro modos de funcionamiento que varían en función de torque y revoluciones, tal como se aprecia en la Figura 5; los modos de operación se describen a continuación:

Modo I: La velocidad de giro es positiva, es decir, el motor realiza una fuerza de empuje hacia delante. En este primer modo se obtiene un alto par motor pero una menor velocidad de giro (RPM).

Modo II: En este modo el par motor se ejerce en sentido contrario; por esto, este modo se utiliza cuando el vehículo necesita desacelerar. En esta función el conductor no acelera y la función de recuperación de energía del freno regenerativo se mantiene activa.

Modo III: Este modo complementa al modo II; pues el conductor debe accionar el acelerador para que el par motor se genere de manera negativa y el vehículo pueda moverse en reversa.

Modo IV: Este modo de trabajo consiste en obtener un alto régimen de velocidad (RPM) a la vez de un bajo par motor y se produce cuando se activa el modo de recuperación de energía con el vehículo en movimiento [5].

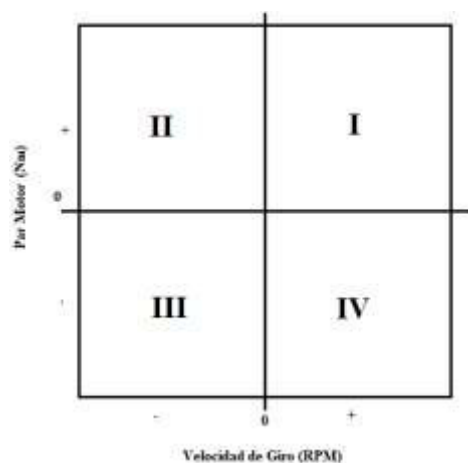


Figura 5 Diagrama de trabajo de motor eléctrico [5]

En aplicaciones automotrices existen diversas clases de motores eléctricos, todos ellos trifásicos y cada uno con ventajas y desventajas, los motores de corriente alterna, son los más utilizados en la actualidad. Los diferentes tipos de motores que han sido utilizados en los buses eléctricos como sistema de tracción de son:

- Síncronos
- Asíncronos
- De Reluctancia

1.2.1.1 Motores eléctricos Síncronos

Los motores sincrónicos tienen dos imanes; uno que permanece fijo, denominado "estator" y otro que tiene libertad para girar, denominado "rotor" como se visualiza en la Figura 6. Al cambiar la polaridad de los polos del estator, de tal manera que su campo magnético combinado rote, el campo magnético del rotor lo seguirá y se producirá un acoplamiento de los polos magnéticos. Los polos magnéticos de estator y rotor quedan bloqueados magnéticamente y con ello se consigue el giro mecánico del rotor [6].



Figura 6 Motor Síncrono [7]

El estator se conforma por tres bobinas inductoras (denominadas B1, B2 y B3); cada una de ellas se alimenta con una corriente eléctrica alterna. Una vez que el inversor entra en funcionamiento las bobinas generan un campo magnético que provoca que los polos magnéticos del rotor se atraigan y se repelan.

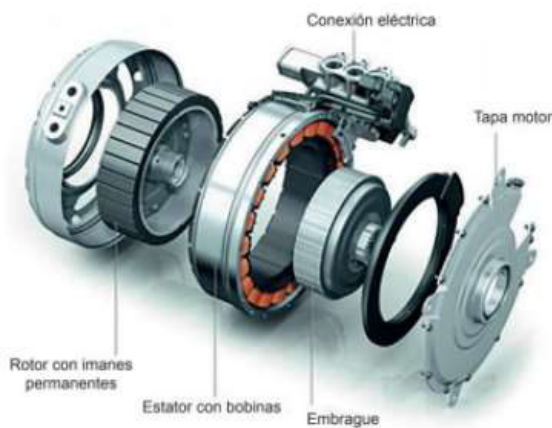


Figura 7 Estructura Estator – Rotor [8]

Las frecuencias de las ondas de corriente del estator determinan la velocidad de rotación del rotor; los bobinados, U_U, U_V, U_W , del estator permiten la conexión que se requiera (estrella o triángulo) donde, la velocidad de rotación se “sincroniza” con las corrientes y por ello se denominan motores síncronos.

Para garantizar que exista una sincronización perfecta los motores síncronos disponen de sensores en el rotor que ayudan a conocer una referencia de su posición y la

velocidad a la cual está girando [6], como se puede referenciar en la Figura 7, a mayor detalle el diseño de un motor síncrono.

1.2.1.2 Motores Eléctricos Asíncronos

Los motores eléctricos asíncronos, también conocidos como motores de inducción, basan su funcionamiento en el principio de inducción de Faraday; en estos motores, contrario a los motores sincrónicos, no existen imanes permanentes.

En estos motores la rotación es consecuencia de la acción del flujo giratorio que se genera en el circuito del estator por las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado del estator corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas [9] , en la Figura 8 se puede representar un modelo común de motor asíncrono.



Figura 8 Motor Asíncrono [10]

En los motores asíncronos el rotor está constituido por un circuito eléctrico que consta de dos anillos paralelos interconectados entre sí por un conjunto de conductores, también es conocido como "jaula", tal como se observa en la Figura 9.

La corriente alterna que recibe el estator varía en intensidad y sentido, dichas variaciones generan campos magnéticos en el interior que producen una corriente eléctrica en la jaula; esta corriente eléctrica, a su vez, produce nuevos campos magnéticos que interactúan con los campos magnéticos del estator y dan lugar a las fuerzas que mueven al rotor. Por este proceso se denominan de motores de inducción, ya que el campo magnético del rotor es el que llega a ser inducido por la variación del campo magnético producido por el estator [5].

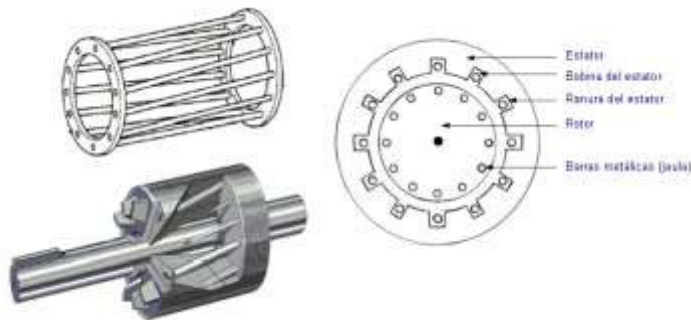


Figura 9 Estructura Rotor Tipo "jaula" [11]

Cabe destacar, que los motores con escobillas no se utilizan en vehículos eléctricos por problemas de fiabilidad y mantenimiento. Los motores de corriente alterna han desplazado a los motores de corriente continua por tener un mejor rendimiento y un mantenimiento más accesible.

1.2.1.3 Motores Eléctricos de Reluctancia

Al hablar de reluctancia se refiere a la resistencia de un tipo de material al paso de magnetismo a través del mismo, dependiendo de la resistencia que puedan oponer a la misma se hablara de un porcentaje alto o bajo de reluctancia. En los motores eléctricos de reluctancia, el rotor está fabricado de un material ferromagnético de reluctancia baja y así no posee ningún magnetismo en reposo, en este punto el rotor cuenta con dos alabes, ver Figura 10, los cuales están siempre en influencia del campo magnético producido por las bobinas del estator. a la par que estos campos magnéticos varían en términos de intensidad, los alabes se irán alineando para mejorar el flujo magnético entre las bobinas y de esta forma provocarán el giro del motor.



Figura 10 Motor de reluctancia [12]

1.2.2 Inversor

Los inversores eléctricos convierten las corrientes directas a corrientes alternas, o viceversa, según las necesidades del sistema; también, suministran la tensión de salida, sin oscilaciones o picos de tensión, para alimentar la batería convencional de 12V. Dependiendo la configuración del tren de potencia se puede encontrar dos tipos de inversores, los cuales pueden ser:

- Inversor de corriente directa a corriente alterna
- Inversor de corriente alterna a corriente directa



Figura 11 Inversor de Corriente [13]

Como se muestra en la Figura 11, el diseño del inversor es compacto y cuenta con una tapa protectora que está sellada de forma hermética; además, se pueden apreciar dos conexiones; una a alimentación de corriente continua y otra a corriente alterna trifásica respectivamente; dichas conexiones están identificadas con color naranja y corresponden a todos los circuitos de alta tensión, según el estándar ECE R100 para todos los vehículos eléctricos [14].

1.2.2.1 Inversor de Corriente Continua a Corriente Alterna

Este dispositivo tiene como entrada la corriente continua que suministran las baterías de alto voltaje y el dispositivo transforma esta entrada en corriente alterna para alimentar al motor eléctrico.

En la Figura 12, se muestra el diagrama de bloques de este inversor. Se ha dividido al inversor en una etapa de bajo voltaje y una de alto voltaje, separadas por aislamiento eléctrico. En la etapa de bajo voltaje se encuentra la función de control, mientras que en

la etapa de alto voltaje se encuentran las baterías de alto voltaje, los transistores de potencia IGBT con sus drivers (Insulated Gate Bipolar Transistor), el motor eléctrico y sensores [15].

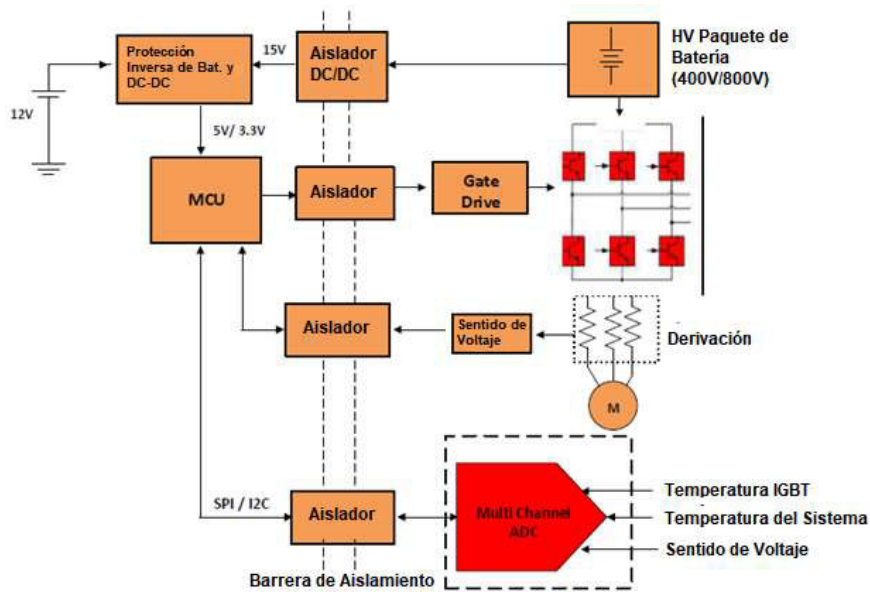


Figura 12 Componentes Inversor [15]

El inversor de un bus eléctrico, está conectado a tres módulos adicionales, para el funcionamiento del sistema eléctrico:

- El primer módulo es OBCM (On Board Charger Module) que se encarga de monitorear el estado de carga cuando el vehículo está conectado a la red eléctrica. Si se utiliza un puerto de carga rápida, ayuda al control del proceso de carga rápida.
- También cuenta conectado el módulo HPDM (High Power Distribution Module), encargado de distribuir la corriente al motor eléctrico, y cuando entra en funcionamiento el freno regenerativo, distribuye la corriente a las baterías de alto voltaje.
- Por último, se tiene al módulo APM (Accesory Power Module) que es el encargado de regular la carga eléctrica de la batería de accesorios y el resto de consumidores que funcionan con voltaje de 12 voltios en corriente alterna.

En los buses eléctricos, estos módulos se encuentran ensamblados en un solo bloque, conjuntamente con el inversor para crear un solo elemento, aunque cada uno de ellos mantiene su autonomía, se encuentran ubicados en un solo conjunto, como se puede apreciar en la Figura 13.



Figura 13 Estructura interna Inversor [16]

1.2.2.2 Inversor de Corriente Alterna a Corriente Continua.

Este transformador convierte la tensión alterna trifásica generada por los motores eléctricos, en el proceso de recuperación de energía del freno regenerativo, en corriente continua para realizar la carga de las baterías. Este tipo de inversor está constituido por un conjunto de seis tiristores que están comandados por un generador de impulsos PWM de 6 salidas [5].

1.2.3 Control electrónico

El control electrónico en un bus eléctrico es realizado por el conjunto formado por la unidad de control del vehículo (VCU), la unidad de control del motor (MCU) y el sistema de administración de batería (BMS). En la Figura 14 se muestra el diagrama de bloques del sistema eléctrico de potencia con sus controladores [15].

Las señales del pedal de aceleración y el pedal de freno son las entradas del sistema eléctrico de potencia, la VCU emite las instrucciones de control, y ajusta el flujo de potencia entre la VCU y la BMS. Por otra parte, la MCU se encargar de controlar al motor eléctrico[15].

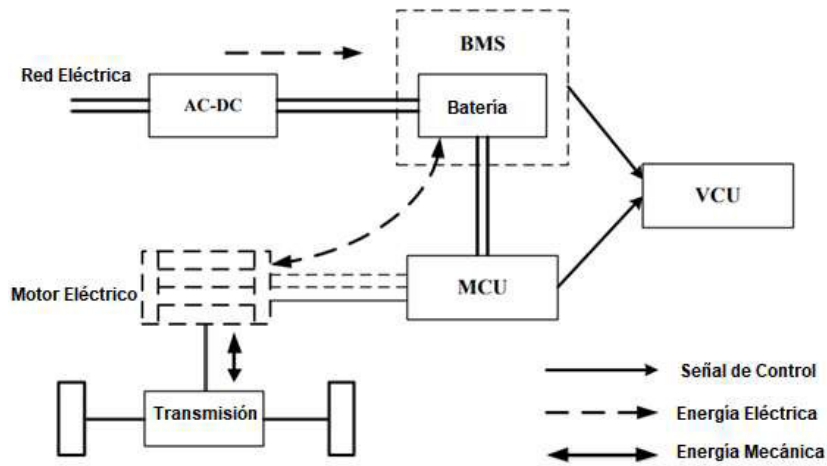


Figura 14 Diagrama de bloque del sistema eléctrico de potencia [15]

Después de que el pedal de aceleración es presionado, la VCU detecta el cambio y comunica a la MCU. La MCU convierte la intención del conductor en un requerimiento de torque para el motor, para ello controla la energía entregada por el inversor y en consecuencia el torque [15]. La MCU para realizar las acciones de control, toma las señales de los siguientes sensores, ver Figura 15:

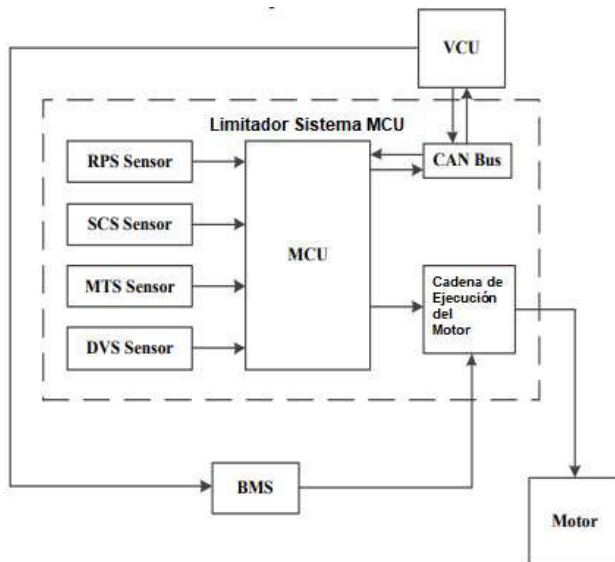


Figura 15 Sensores de la MCU [15]

- Sensor de posición del rotor del motor eléctrico (RPS)
- Sensor de corriente del estator del motor eléctrico(SCS)
- Sensor de temperatura del motor eléctrico (MTS)
- Sensor de alto voltaje DC del motor eléctrico (DVS)

➤ **Sensores del motor eléctrico**

Sensor de temperatura del estator: Es un sensor tipo termistor NTC, en forma de barra, como se puede ver en la Figura 16. Estos sensores son fabricados a base de materiales como el cobre, platino y níquel, los cuales estarán alojados en una coraza fabricada a partir de material epoxi.



Figura 16 Sensor de Temperatura de estator [12]

Este sensor cambia su resistencia al experimentar cambios de su temperatura, su resistencia está entre 50Ω a 1MΩ. En la Figura 17 se presenta curva característica de un sensor de temperatura tipo NTC.

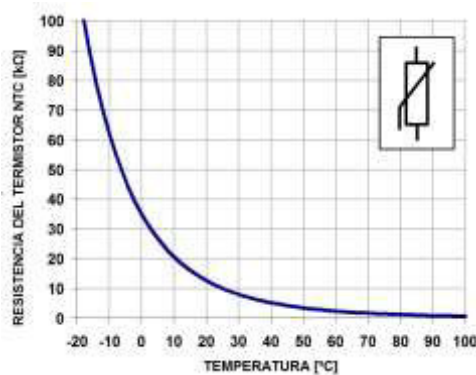


Figura 17 Comportamiento del termistor NTC [17]

Mediante un circuito de acondicionamiento, como se muestra en la Figura 18, la MCU calcula la temperatura de dicho elemento. Cuando la temperatura es baja el voltaje medido es de 5v, y a medida que esta aumente, el voltaje disminuye. [11]

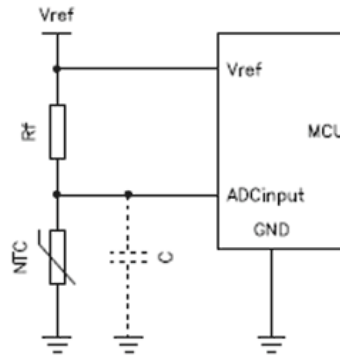


Figura 18 Circuito termistor [18]

Este sensor está conectado a la MCU, para establecer la acción de control sobre el motor eléctrico. Cuando la temperatura superara el límite de operación la MCU informa a la VCU para que se encienda el sistema de refrigeración. Si a la temperatura sigue aumentando, el vehículo limitará las revoluciones del motor, a lo que se le conoce como modo reducido. Si la temperatura supere el límite máximo, el vehículo se apagará[19].

Sensor de revoluciones: Este sensor mide la posición, se lo llama resolver. Físicamente es similar a un pequeño transformador. Este se compone de 3 bobinas, un primario y dos secundarios orientados a 90° cada uno como se ilustra en la Figura 19 [18].

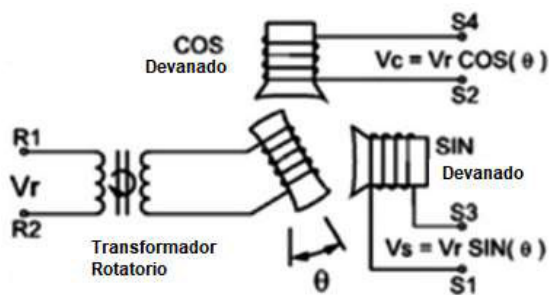


Figura 19 Estructura de resolver [18]

Se determina la posición angular del rotor, mediante la inducción de una señal alterna, que cambia en función de la posición angular del rotor. Este sensor entrega dos señales desfasadas 90° como se puede ver en la Figura 20. Las amplitudes de las señales indicaran la posición angular del rotor [18].

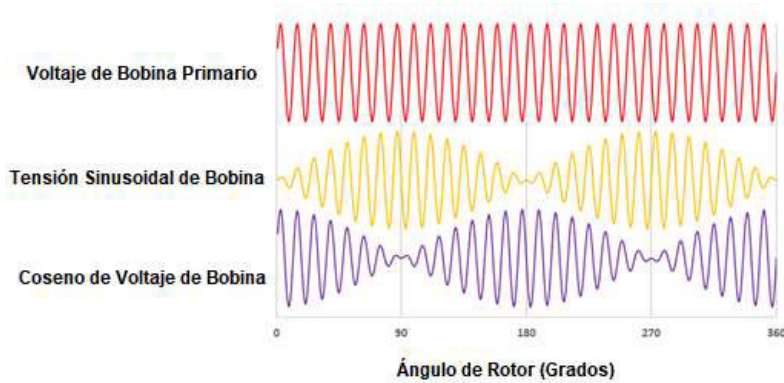


Figura 20 Señales obtenidos de un resolver [18]

Este sensor informa la posición angular del rotor a la MCU, para que esta controle el torque y la rapidez angular del motor eléctrico[15]. En la Figura 21, se presenta un modelo de sensor de posición angular del motor.



Figura 21 Sensor de revoluciones motor eléctrico [11]

Sensor de Posición de pedal del acelerador: este sensor es un potenciómetro, que varía su resistencia en función de la posición que tenga el pedal, trabaja en ángulos de operación de 0 a 60°. Con la variación de la resistencia, y un circuito

divisor de tensión como se muestra en Figura 22, la VCU detecta la posición del pedal de aceleración [20].

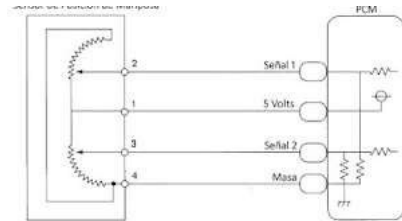


Figura 22 Esquema eléctrico módulo de aceleración [20]

Este sensor cuenta con doble potenciómetro, el cual posee una configuración inversa, mientras el primer potenciómetro empieza a aumentar su voltaje a medida que el pedal de aceleración es presionado, el segundo potenciómetro empezara a disminuir su señal de voltaje, como se aprecia en la Figura 23 [21].

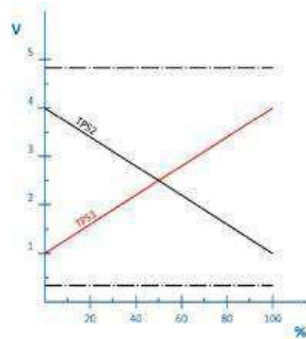


Figura 23 Forma de Onda Sensor de aceleración [21]

Este sensor informa a la VCU, la posición del pedal y con la información recibida del sensor la VCU informa a MCU, informa al MCU el requerimiento de aceleración para que este establezca la acción de control sobre el motor eléctrico. Si el comportamiento del sensor no es establecido el vehículo disminuye las revoluciones, a este estado se lo conoce como modo reducido [15].

➤ Sensores del inversor

Sensor de temperatura: es un sensor tipo NTC de aislamiento galvánico, ver Figura 24, el cual tiene como objetivo monitorear la temperatura del inversor,

trabaja en un rango de temperatura de entre -45 hasta 125° Celsius. En la Figura 25, se muestra el esquema eléctrico de este sensor.



Figura 24 Sensor de Temperatura del inversor [11]

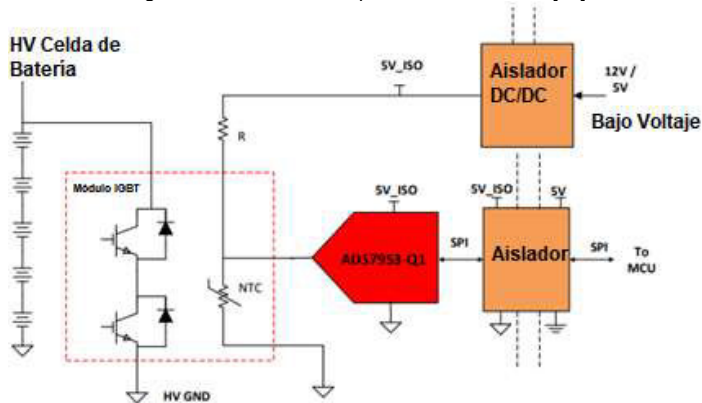


Figura 25 Circuito eléctrico de sensor de temperatura del inversor [22]

Este sensor se encuentra ubicado en las paredes o conjunto a las placas electrónicas del inversor. El sensor de temperatura informa a la VCU, la temperatura de trabajo del inversor, y activa al sistema de refrigeración para mantener la temperatura del mismo en un rango entre 32° a 40° Celsius. Si la temperatura sigue aumentando, esta pone en modo reducido al vehículo y si supera el límite apaga al bus [19].

Sensor de corriente: este mide la corriente que circula, tanto de entrada como de salida del inversor, ver Figura 26. Este sensor es de efecto Hall, el efecto Hall permite cuantificar la corriente que circula por un conductor primario con la diferencia de potencial que se genera en un conductor auxiliar enrollado sobre el primero, en la Figura 27, se muestra la relación entre corriente y voltaje generador.



Figura 26 Sensor de corriente [11]

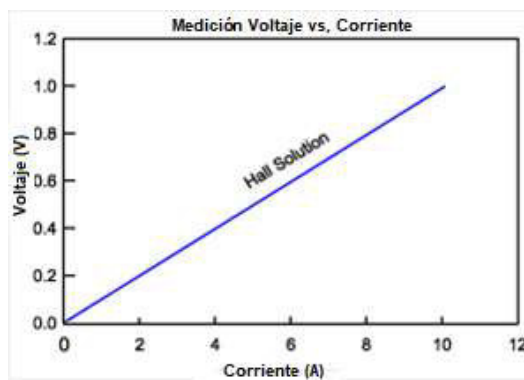


Figura 27 Gráfica de Voltaje vs Corriente en sensor de corriente efecto Hall [18]

Cuando circula corriente por un conductor, se genera un campo magnético alrededor de este, luego el flujo de campo magnético genera una diferencia de potencial sobre un conductor auxiliar enrollado alrededor del conductor que se desea conocer la corriente, como se puede ver en la Figura 28 [15].

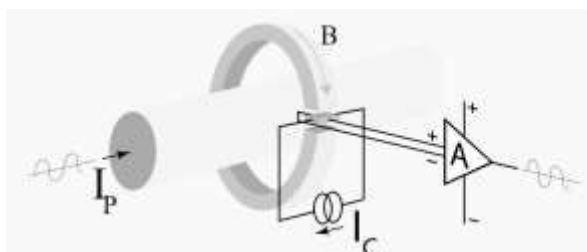


Figura 28 Sensor de corriente de efecto Hall [18]

Este sensor se comunica con la MCU, para controlar el torque o la rapidez del motor eléctrico en función de la energía entregada por el inversor [15].

➤ **Sensores de la transmisión**

Sensor de bloqueo de estacionamiento: es un sensor de posición tipo interruptor, suelen ser interruptores de efecto Hall. Se emplea el efecto hall en conjunto con circuito de acondicionamiento para generar dos estados. Ante la presencia de un campo magnético estos generan un voltaje (estado encendido), cuando el campo magnético es ausente el voltaje es cero (estado apagado). Este sensor trabaja en un rango de 9 a 16 voltios, Figura 29.



Figura 29 Sensor de bloqueo de estacionamiento [23]

Este sensor se compone de tres pines, ya que integra un circuito de acondicionamiento, en la Figura 30, se muestra el diagrama eléctrico de este.

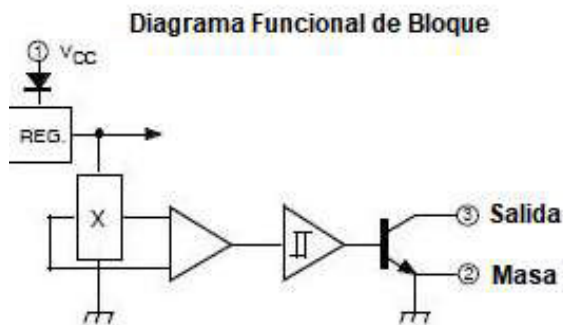


Figura 30 Circuito eléctrico de interruptor efecto hall [18]

Al ser un interruptor solo presentará dos estados, encendido o apagado, como se muestra en la Figura 31

Al accionar el pulsador que se encuentra ubicado cercano a la palanca selectora de marcha, se envía una señal a la VCU, que imposibilitara el movimiento del Bus.

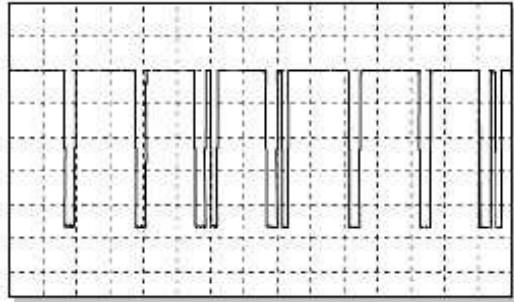


Figura 31 Señal de sensor de bloque de parqueo [14]

- **Sensor de módulo de conducción:** es un sensor de posición, tipo interruptor de efecto hall, cuenta con 3 posiciones, drive, neutro y reversa, ver Figura 32.



Figura 32 Sensor de módulo de conducción [18]

La función de este sensor es identificar la marcha seleccionada por la palanca selectora y a partir de eso enviar la información a la VCU y que esta a su vez comunica a la MCU que debe ponerse en movimiento, reversa, o neutro al bus, dependiendo la marcha seleccionada [21].

➤ **Sensores de las baterías de almacenamiento**

Sensor de temperatura de celdas: Es un sensor resistivo, tipo NTC que se encarga de monitorear la temperatura de las. En la Figura 33 se presenta a este sensor.

Este sensor informa a la temperatura a la BMS, para controlar la corriente que circula por estas, si la temperatura supera los límites se limita la corriente, para proteger a la batería [19].

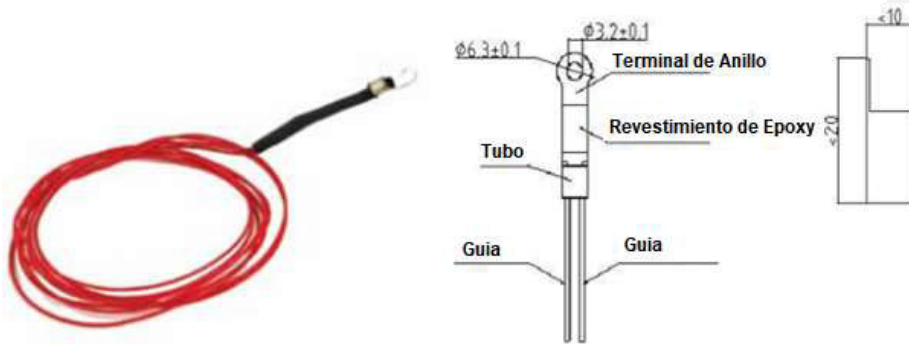


Figura 33 Sensor de temperatura de celda de batería [24]

- Sensor de índice de humedad de batería:** este sensor mide el porcentaje de vapor de la reacción química de las celdas de las baterías de almacenamiento. Este sensor es de carácter capacitivo, donde la capacitancia del mismo cambia ante la presencia de humedad, el circuito de acondicionamiento de la Figura 34, hace que el sensor entregue un voltaje en función de voltaje de alimentación de 5v. El porcentaje de humedad guarda una relación lineal creciente con el voltaje entregado, donde el porcentaje de voltaje medido es el porcentaje de humedad.

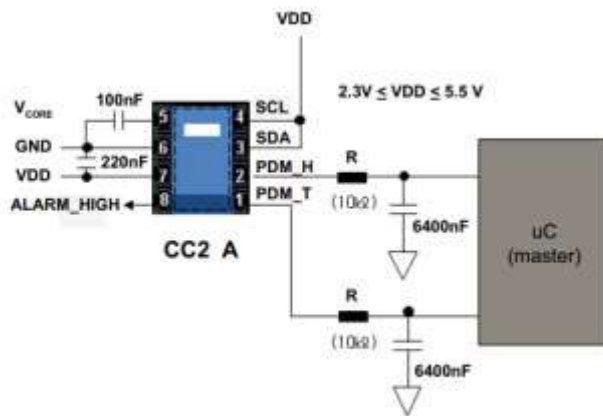


Figura 34 Circuito de sensor de humedad [25]

Como se puede evidenciar en la Figura 35, se compone de alimentación y tierra y una salida analógica del porcentaje de humedad.

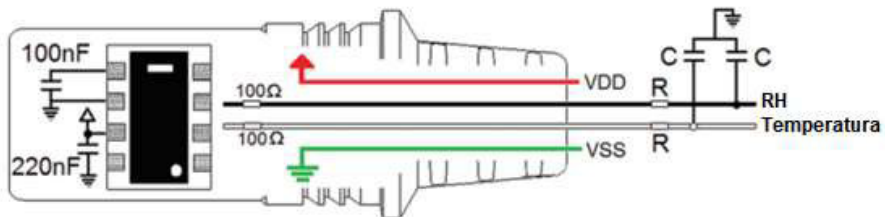


Figura 35 Diagrama eléctrico del sensor de humedad [25]

Este sensor informa a la BMS, y esta limita la corriente que circula por la batería para disminuir la temperatura. En la Figura 36, se muestra al sensor de humedad.



Figura 36 Sensor de humedad [25]

- **Sensor de flujo de corriente de batería:** este sensor de efecto hall, que está ubicado en uno de los cables de alta tensión de la batería, similar al sensor de corriente del inversor, ver Figura 37 [12].



Figura 37 Sensor de corriente de batería [26]

1.2.4 Transmisión

En los vehículos eléctricos la transmisión se encarga de transferir la energía cinética rotacional desde el motor eléctrico a las ruedas. La diferencia en un sistema de transmisión de vehículos de combustión interna es que la variación entre velocidad y torque se genera de forma mecánica, es decir, a través de un conjunto de engranajes que permiten modular las revoluciones de las ruedas; en cambio, en un bus eléctrico esta función se lleva a cabo por el inversor que a partir de la señal del módulo de aceleración y el módulo selector de marcha, varía la frecuencia del voltaje que llega al motor eléctrico.

En función del grado de tecnología del vehículo eléctrico, se puede optar por tres configuraciones de transmisión:

1. Conexión indirecta mediante eje cardan.
2. Conexión directa al motor eléctrico mediante mecanismo diferencial.
3. Conexión directa de motor eléctrico con engranaje fijo

1.2.4.1 Conexión indirecta mediante eje cardan

En esta configuración se transmite la energía del motor eléctrico hacia las ruedas motrices mediante un eje cardan. El eje cardan es un eje móvil que transmite el movimiento de rotación desde el eje conductor del motor eléctrico al eje conducido del mecanismo diferencial [15], tal como se muestra en la Figura 38. Este tipo de sistemas se utiliza en buses eléctricos de tracción posterior dotados de un solo motor eléctrico.

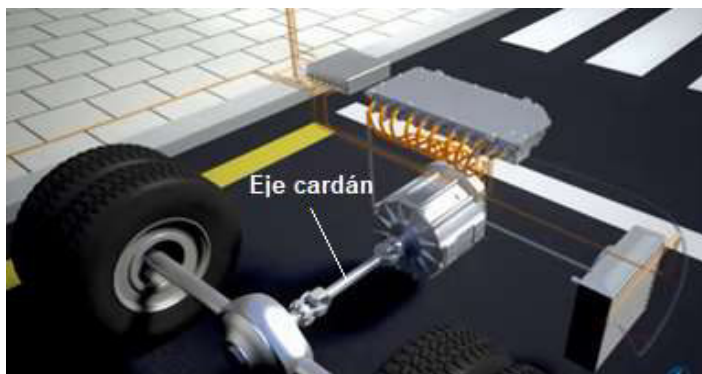
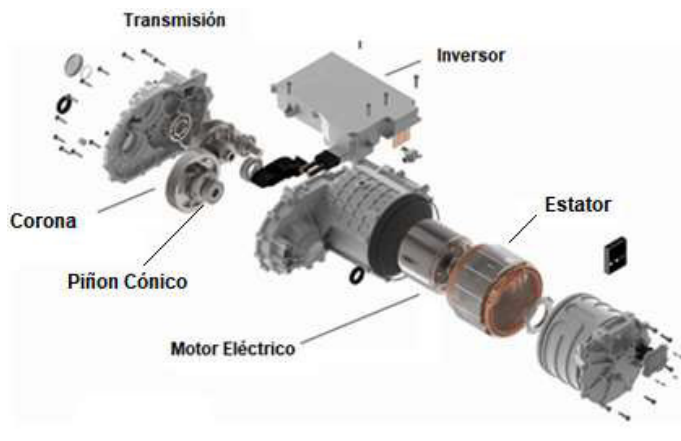


Figura 38 Configuración Motor – Cardan [16]

Comentado [KR1]: Eje conducido ; eje conductor, motor

1.2.4.2 Conexión directa al motor eléctrico mediante mecanismo diferencial

En esta transmisión el motor eléctrico está conectado directamente al eje motriz, a través de un conjunto doble de piñón y corona, tal como se muestra en la Figura 39. En esta transmisión según el modo de funcionamiento del motor eléctrico el acople permitirá reducir la velocidad o la transmisión directa de la misma.



Comentado [KR2]: Jaula/ transmisión.

Figura 39 estructura transmisión - motor eléctrico [18]

La conexión directa al motor eléctrico tendrá una coraza sellada herméticamente para impedir la filtración de objetos extraños o la pérdida de aceite lubricante del mecanismo diferencial, como se puede apreciar en la Figura 39.

En esta transmisión, un actuador electromecánico selecciona la configuración de engranes, con base a la señal que envía la VCU. Previamente, la VCU toma la información del módulo selector de marcha, para conocer la posición de la palanca de velocidad y, la señal del sensor de aceleración; con ambos datos, la VCU determina la señal que enviará al actuador para modificar la conexión entre engranes. Esta transmisión permite dos relaciones:

- Relación de transmisión de 1:1.
- Relación de transmisión con reducción de velocidad.

Se debe resaltar que, para el movimiento de reversa no existe un piñón específico. La acción de reversa es realizada por el inversor, este invierte la alimentación de dos fases

de las tres fases del motor eléctrico, y VCU limita el torque y velocidad de desplazamiento en este modo de operación.

1.2.4.3 Conexión directa de motor eléctrico con engranaje fijo

La acción del diferencial es sustituida por un motor que es acoplado a cada rueda mediante un engranaje fijo; por lo tanto, las velocidades de las ruedas dependen directamente de las revoluciones del motor acoplado. A cada motor le corresponderá un variador de velocidad, como se aprecia en la Figura 40. Los variadores de velocidad recalcularán la velocidad y torque en función de la actualización de información de los sensores.

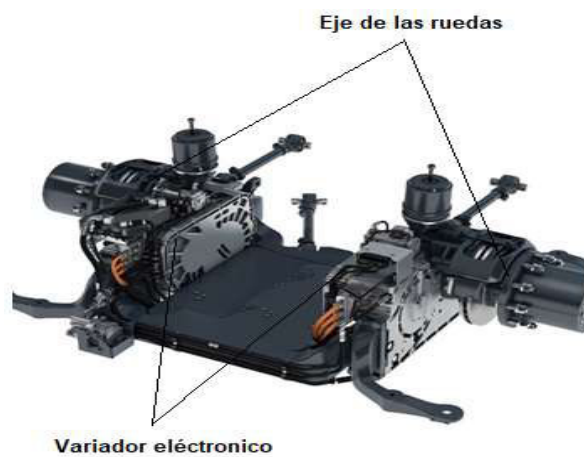


Figura 40 Variador de Velocidad electrónico [27]

1.2.5 Baterías de Almacenamiento de Energía

La batería es un acumulador de la energía química que será transformada en energía eléctrica para luego entregarla al motor y lograr el movimiento del vehículo. Las baterías se componen por un conjunto de celdas unitarias conectadas entre sí, como se aprecia en la Figura 41.

Se han desarrollado varios tipos de baterías que se pueden clasificar como:

- Baterías de ácido de plomo.
- Baterías a base de níquel.
- Baterías a zinc halogenado.

Comentado [KR3]: Quitar variador, señalar motores acoplados.

- Baterías de metal aéreo.
- Baterías de sodio beta.
- Baterías de litio a temperatura ambiente.



Figura 41 Batería Bus Eléctrico [28]

En este documento se analizarán las baterías de ion de litio, porque es la tecnología que se usa en la mayoría de buses eléctricos por su alto potencial electroquímico y proveen de una alta densidad energética para su peso.

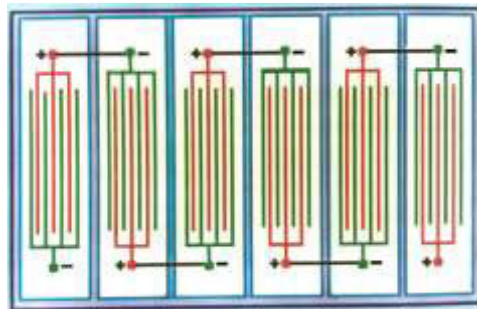


Figura 42 Estructura de una batería [5]

Las celdas constan de láminas de aluminio y cobre que funcionan como colectores de corriente. En su interior las celdas tienen una placa positiva (o ánodo), fabricada a base de litio, que cede electrones; y una placa negativa (o cátodo), fabricada a base de carbono que recepta electrones. Los ánodos y cátodos de una celda están separados entre sí por una membrana permeable de electrolito que permite el paso de electrones

por un circuito exterior. Finalmente, las celdas se conectan en serie para crear una batería como muestra la Figura 42.

Las baterías de almacenamiento de los vehículos eléctricos se caracterizan mediante los siguientes parámetros:

- **Densidad energética:** se refiere a la capacidad que tiene la batería de almacenar y suministrar kilovatios por hora.
- **Capacidad de almacenamiento de energía:** es la cantidad de amperios/hora que es capaz de suministrar o soportar energía la batería.
- **Potencia:** es la capacidad de almacenar energía en el proceso de carga, se mide en vatios y cuanto más alto sea el valor, mayor potencia tendrá el vehículo.
- **Estado de carga (State of charge - SOC):** es la relación entre la carga disponible y la máxima carga que puede tener la batería.
- **Estado de salud (State of health - SOH):** se define como la razón entre la batería cargada al máximo y su capacidad nominal.
- **Eficiencia:** es la capacidad de almacenar la energía eléctrica sin que la misma llegue a perderse inesperadamente, para medir la eficiencia de una batería será necesario referenciar los valores de SOC y SOH.
- **Ciclo de vida:** es la capacidad de ciclos de carga y descarga que soporta una batería, mientras mayor cantidad de ciclos de carga resista, tendrá mayor autonomía de funcionamiento [29].

Dependiendo de la marca del vehículo la capacidad de las baterías varían en el rango de entre 324 – 350 KWH [30]. Por otro lado, los ciclos de carga se encuentran en un promedio de 3 mil ciclos y alrededor de 8 años de tiempo de vida útil; y se espera en un futuro contar con 10 mil ciclos de carga, lo que ampliaría el tiempo de vida útil hasta 25 años.

1.3 Mantenimiento

El mantenimiento es el grupo de técnicas y actividades necesarias para preservar el funcionamiento de los diferentes sistemas y subsistemas del bus eléctrico, para obtener el máximo rendimiento, un periodo de tiempo prolongado [31].

1.3.1 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo busca prevenir fallas que pueden presentar los sistemas mediante intervenciones programadas, bajo condiciones controladas [31].

En este mantenimiento las tareas se programan y se atienden los sistemas, subsistemas o elementos con mayor probabilidad de fallo, para garantizar un nivel de servicio y es sistemático, interviniendo a pesar de que no existan fallas.

1.3.2 Mantenimiento en uso

Las actividades de esta estrategia de mantenimiento son ajustes y cambios previstos por el fabricante, que son realizadas por el usuario [32].

1.3.3 Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento pronostica el punto futuro de una falla de un elemento del sistema, para realizar las actividades de mantenimiento, con base en un plan y justo antes de que falle. Esto disminuye el tiempo de parada del equipo, y se maximiza el tiempo de vida útil[31].

Para implementar esta técnica, se requiere la medición de los parámetros que se relacionen con el ciclo de vida del componente o sistema. Los parámetros pueden ser: temperatura, presión, consumo energético, vibraciones, etc.

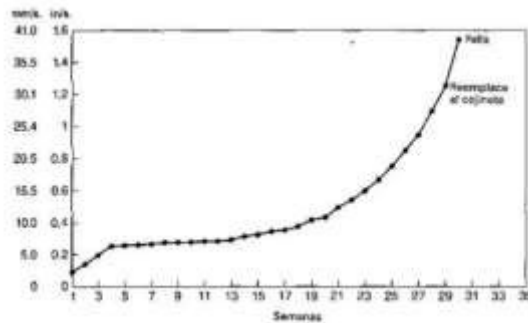


Figura 43 Curva de comportamiento de elemento[31]

En la Figura 43 se muestra una curva que resulta de graficar la variable medida como función del tiempo. Como la curva lo sugiere, deberán realizarse las actividades de mantenimiento, cuando alcance un punto límite [31].

1.4 Plan de mantenimiento

El objetivo del plan de mantenimiento es maximizar la disponibilidad y el tiempo de funcionamiento del sistema en corto, mediano y largo plazo, con el menor gasto posible. El plan de mantenimiento se constituye de las recomendaciones del fabricante o

instrucciones generales para el tipo de equipo, marco legal y experiencia; además, contendrá un conjunto de actividades individuales agrupadas por tipos, con base a los posibles fallos [33]. Para su elaboración se debe tener en cuenta las etapas mostradas en la Figura 44.



Figura 44 Etapas del plan de mantenimiento

2 METODOLOGÍA

Este trabajo se enfoca en generar un plan de mantenimiento para el tren de potencia de un bus eléctrico. La estrategia de mantenimiento elegida es preventiva, apoyada con actividades de mantenimiento predictivas y se seguirá el esquema que se muestra en la Figura 45.

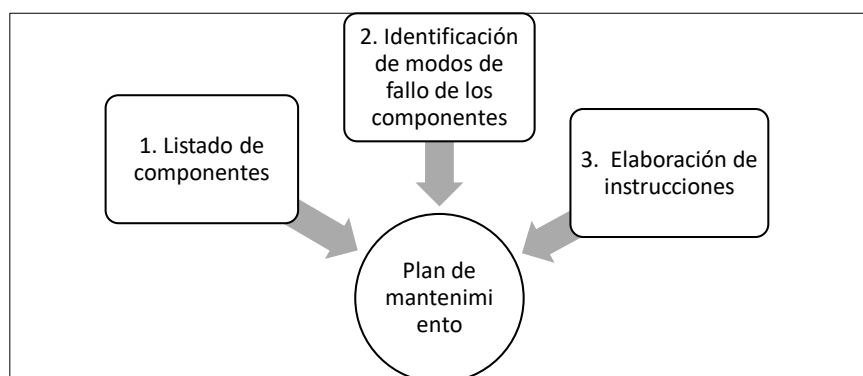


Figura 45 Esquema para la elaboración del plan de mantenimiento

2.1 Listado de componentes y codificación

Como primer paso se establece un listado con una codificación de los componentes en del tren de potencia, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1 Listado de componentes

Componente	Codificación del componente
Motor Eléctrico	ME
Mecanismo de Transmisión	MT
Unidad Electrónica de Control	ECU
Baterías de almacenamiento de energía	BT
Inversor	IV

2.2 Identificación de modos de fallo del tren de potencia

Previo a la elaboración de las instrucciones se analizará las causas de fallas de cada elemento, para posteriormente elaborar un árbol de fallas. Esta metodología identifica las fallas potenciales y permite establecer las causas que los provocan. Para elaborar un árbol de fallos se deben realizar los siguientes pasos:

1. Identificar el evento principal.
2. Identificar los eventos que originan el evento principal.
3. Establecer si se sigue abriendo el árbol de fallos.
4. Analizar los resultados para establecer acciones

Una vez realizadas estas actividades, se detallará la manera de prevenir dichos fallos con diversas intervenciones preventivas. Se realiza un árbol de fallos por componente, como se muestra a continuación:

2.2.1 Fallas del Motor eléctrico

En promedio los motores eléctricos están diseñados para tener un tiempo de vida entre 15 a 20 años o, su equivalente en kilometraje de aproximadamente 640.000 km [34]. En un motor eléctrico se pueden clasificar los fallos como eléctricos y mecánicos. Los principales fallos que puede sufrir un motor eléctrico puede ser:

- Sobre calentamiento (motor y cables de alimentación)
- Falta de Energía eléctrica
- Falta de Rotor
- Falta Enmallado Estator
- Exceso de Vibraciones
- Desgaste de Materiales (Fisura de cubierta protectora, bases de sujeción y cables de alimentación)

Los buses eléctricos están equipados con motores asíncronos que trabajan a temperaturas alrededor de 40°C, un exceso de los límites de la temperatura de trabajo puede causar la falla del motor; la referencia es que por cada 10°C que aumente la temperatura de trabajo, restará en promedio la mitad de tiempo de vida útil del motor eléctrico [35].

Sobrecalentamiento del motor: Puede originarse por dos factores, el primero el entorno operativo y, el segundo, debido a factores de ubicación, condicionantes que impiden una correcta refrigeración del motor. Los inconvenientes con una correcta refrigeración del motor se provocan debido a las condiciones extremas que deben resistir como son altas temperaturas, poca ventilación y exceso de contaminación (polvo, impurezas) impiden una correcta disipación del calor.

En cuanto a los factores operativos, puede deberse a problemas en los sensores de temperatura, revoluciones, flujo de voltaje o inconvenientes de la unidad electrónica de control, los cuales no permiten el correcto funcionamiento del motor, al momento de establecer el modo de trabajo en el cual funciona el motor eléctrico. Adicional a ello habrá que tomar en cuenta que no exista un exceso de fricción entre los elementos móviles que pueda provocar un aumento de temperatura en el motor eléctrico. También se deberá tomar en consideración el estado de funcionamiento del sistema de refrigeración del motor, ya que además del exceso de contaminación, si el líquido refrigerante ha perdido sus propiedades o su nivel no es el correcto incidirá en la temperatura a la que trabaje el motor.

Fallas de energía: Este fenómeno dependerá directamente el estado de sensores administradores de energía, la VCU, además del estado de los arneses de alimentación hacia el motor; también se deberá considerar el estado del estator, rotor y del circuito de protección de energía eléctrica para descartar elementos. En cuanto a la pérdida de torque instantáneo, esto sucede cuando al accionar el pedal la respuesta del motor no es inmediata. El origen de este fallo está en el bobinado o enmallado del estator; rozamiento del rotor o inconvenientes con el módulo selector de marcha; además, este fallo puede afectar el estado de rodamientos y cojinetes, debido a un exceso de oscilaciones en momentos de alto torque [36]. Para detectarlo se deberá tomar como referencia la cantidad de energía que llega al motor y la velocidad de reacción del mismo, refiriéndonos al porcentaje de energía que es utilizado por el motor.

Falla de Rotor: Generalmente está relacionado con un exceso de juego axial por parte del rotor, dado por inconvenientes en los rodamientos, lo cual provoca un contacto con las paredes del estator, generando un aumento de amperaje del motor, que como consecuencia final puede provocar un atascamiento del mismo.

Falla Enmallado Estator: Se debe en mayor parte a inconvenientes relacionados con índices de humedad y fricción fuera de rangos, en el primer caso un exceso de humedad generara un bajo valor en Ohmios, lo cual limitara el rendimiento del motor eléctrico, en cuanto a problemas de fricción se debe como se mencionó anteriormente a un contacto entre el enmallado y el rotor [5].

Exceso de Vibraciones: Un factor que incide a este fallo es el estado de elementos móviles, cuyo deterioro genera un exceso de fricción y movimiento axial que por ende

Comentado [AEPA4]: Referencia

aumenta el porcentaje de vibraciones del motor hasta el punto de generar un desprendimiento de material debido a problemas de rodamientos desbalanceo del rotor.

Desgaste de Materiales: Se refiere al desgaste de materiales en función de factores contaminantes (polvo, remanentes de aceite o refrigerante que provocan corrosión), cambios bruscos de temperatura o sobreesfuerzo (restricción de movimiento) que provocan fatiga del material y por consiguiente pueden provocar fisuras o desprendimiento, este desgaste se da tanto en elementos metálicos (cubiertas protectoras, borneras, eje, rotor, estator), así como en material aislante (aislamiento de cable y arnés) o en absorbedores de vibraciones (bases de sujeción) tanto en elementos fijos así como en elementos móviles.

En la Figura 46 se presenta el árbol de fallas del motor eléctrico, donde se detalla las causas de las fallas antes mencionadas, y en la Tabla 2 se presenta una codificación de las fallas identificadas a partir de este desarrollo.

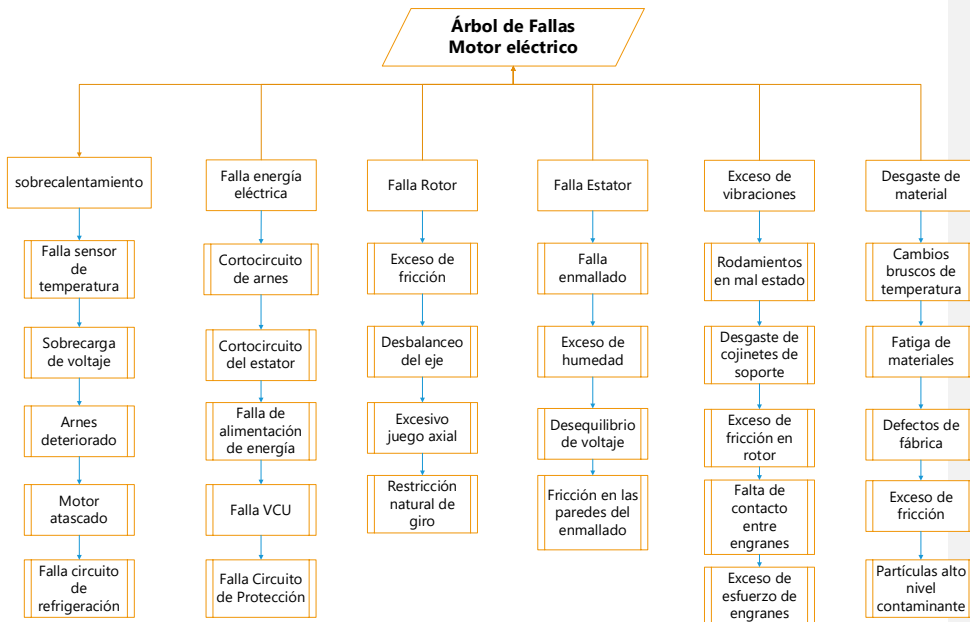


Figura 46 Árbol de fallas de motor eléctrico

Comentado [AEP5]: Explicar que es la figura 46

Tabla 2 Fallas Motor Eléctrico

Modo de fallo	Código de fallo
Sobrecalentamiento de motor	FME-1
Exceso de Vibraciones	FME-2
Falta de Energía eléctrica	FME-3
Falla Rotor	FME-4
Falla Enmallado Estator	FME-5
Fisura de Cubierta Protectora	FME-6
Sobrecalentamiento de cables de alimentación	FME-7
Desgaste aislamiento de cables de alimentación	FME-8

Una vez determinadas las principales fallas que puede presentar un motor eléctrico se describen inspecciones a realizarse para evitar los fallos expuestos en el árbol de falla del motor eléctrico:

- De manera visual se puede realizar una inspección periódica en la cual se chequee que las conexiones hacia el motor eléctrico estén correctamente sujetadas, además que estructuralmente no presencia rastros de desgaste ni muestras de sustancias extrañas (corrosión, remanente de líquidos) y una vez realizado dicho procedimiento proceder a encender el vehículo y de igual manera cerciorarse que el mismo no emita algún ruido extraño, ya que el mismo no debe emitir ningún sonido cuando entra en funcionamiento.
- En cuanto a problemas de sobrecalentamiento es importante verificar el estado del sensor de temperatura, de forma visual apreciar que el o los mismos se encuentren correctamente sujetados y de igual forma los cables de alimentación y señal no se encuentren deteriorados, además de constatar que el circuito de refrigeración se encuentre completamente hermético, es decir sin rastros de fugas, realizar esta verificación por lo menos una vez al mes.
- Para evitar problemas de sobrecarga de voltaje será importante revisar el estado de cables y arnés de alta tensión, constatando que los mismos no presenten grietas o rastros de sobrecalentamiento en el material aislante del cable, también será importante verificar que todos los bornes se encuentren debidamente

ajustados y sin rastros de sulfatación. Es recomendable realizar un reajuste de los mismo cada 60.000 Km [37].

- En el caso del rotor, se puede realizar una inspección con la ayuda de un medidor de intensidad de sonido y someter al motor eléctrico a un intervalo de arranques sucesivos y apreciar que no exista sonido alguno en el momento de accionarlo. Se recomienda realizar esta verificación cada 60.000 Km [37].
- En caso de verificación visual, se deberá desmontar del motor eléctrico y revisar que el mismo no presente rastros de recalentamiento o contacto con el enmallado del estator, lo recomendable es realizar esta inspección cada 120.000 Km [37].
- Para evitar que exista un deterioro del enmallado del estator sin desmontarlo se deberá constatar que la cubierta del motor se encuentre herméticamente sellada, es decir que los pernos que sujetan al mismo se encuentre correctamente ajustados. Adicionalmente se puede verificar la resistencia del enmallado utilizando un multímetro (Ver Anexo 1 para realizar procedimiento). Se recomienda realizar esta verificación cada 60.000 Km [37].
- Para conocer visualmente el estado del enmallado del estator será necesario desmontar el motor eléctrico, su cubierta y revisar que el mismo no presente rastros de fricción con el rotor, además de revisar que el enmallado no presente huellas de sobrecalentamiento, posterior a esta inspección visual se procederá a realizar un rebarnizado del enmallado, con el fin de protegerlo y mantenerlo aislado. Se recomienda realizarlo cada 300.000 km [37] .
- El exceso de vibraciones se puede evitar realizando un reajuste de todos los puntos de sujeción que tiene el motor, además de ello será importante tener una referencia del estado de los rodamientos, en cuanto al reajuste de puntos de sujeción la recomendación es realizarla la primera vez a los 10.000km, y a partir de ello cada 20.000km [38].

En cuanto a la verificación del estado de rodamientos, se deberá desconectar el motor eléctrico del eje de transmisión, girar manualmente y en caso de presentar algún ruido al momento de girar o exceso de juego axial reemplazarlos, aproximadamente la inspección se realizará cada 300.000 km y cambio cada 5 años o 640.000 km [5] lo que suceda primero de acuerdo a las indicaciones del fabricante.

Para prevenir el desgaste, es importante inspeccionar el estado de la carcasa protectora, cerciorarse que no presente altas concentraciones de polvo o que se encuentren en contacto de materiales abrasivos, además de verificar el estado de la pintura, para evitar problemas de deterioro y corrosión. Se recomienda realizar una limpieza utilizando aire comprimido cada 6 meses.

En la Tabla 3 se presenta una propuesta de inspección a realizarse en el motor eléctrico, tanto visuales como operativas, siendo para estas últimas necesario manipular el motor eléctrico, así como sus conexiones, por lo cual es importante utilizar equipo de protección personal con material aislante, además de tener un entrenamiento previo para realizar esta manipulación y realizar la desconexión del circuito de alta tensión antes de intervenirlos y aislar todos los cables para evitar que exista contacto entre ellos. Los procesos recomendados por el fabricante para la verificación del motor eléctrico se muestran a continuación, el procedimiento detallado de los mismos se encuentra detallado en el Anexo 1.

Tabla 3 Verificaciones motor eléctrico [37]

Elemento	Verificación
Cableado	Continuidad: estado del cobre y resistencia interna del conductor.
	Aislamiento: ausencia de deterioro en la funda aislante. Ausencia de rozamiento con piezas externas.
Conexiones	Buen estado de las conexiones de los cables de alimentación del motor.
	Ausencia de impurezas, oxidación, agrietamiento.
Estator	Verificación de las resistencias de los bobinados.
	Aislamiento a masa. (correcta sujeción)
	Propiedades magnéticas de los núcleos de las bobinas.
	Ausencia de impurezas, oxidación, agrietamiento
Rotor	Propiedades magnéticas del rotor dependiendo el tipo de motor. (Imanes permanentes, reluctancia, inducción, etc.)
	Verificación de los bobinados (motores de inducción o CC)
	Aislamiento de los bobinados a masa
	Alineación de eje y contrapesos
	Ausencia de impurezas, oxidación, agrietamiento
Rodamientos	Buen estado de rodamientos y retenes
	Ausencia de impurezas, oxidación, agrietamiento
Carcasa	Correcto funcionamiento del sistema de refrigeración: palas de ventilador, rejilla de circulación de aire, circuito de líquido refrigerante, etc.
	Ausencia de impurezas, oxidación, agrietamiento
Soportes	Alineación del motor en sus soportes

Ausencia de impurezas, oxidación, agrietamiento, desgaste

2.2.2 Fallas de la Transmisión

Como se comentó en el marco teórico, los vehículos eléctricos no cuentan en si con una configuración de varias velocidades, sino que se limitan en función de la tecnología que se cuente (sea esta mediante accionamiento mecánico o eléctrico) en el cual el rango de torque o revoluciones estará regulado por un variador de velocidad única. Enfocándonos en el accionamiento eléctrico, las fallas a tratar serán las siguientes:

- Falla de comunicación
- Sobrecalentamiento
- Exceso de Vibraciones
- Problemas de lubricación
- Desgaste de elementos (fisuras de elementos)

Falla de comunicación: Este inconveniente se da en el módulo selector de marcha, lo cual generara una incorrecta o insuficiente relación de torque o revoluciones, lo que generara cambios bruscos de velocidad: o a su vez, que el motor trabaje a altas revoluciones sin modificar la relación de transmisión, es decir, que el motor realice un esfuerzo, o torque, en lugar de dar un alto nivel de revoluciones.

Sobrecalentamiento: Tendrá un alto grado de incidencia el estado del sensor de temperatura, provocando que la transmisión trabaje a temperaturas que superen las permitidas por el fabricante, además que también pueden estar relacionados a problemas de sobrevoltaje o atascamiento, debido a una incorrecta relación de transmisión. También se debe tomar en consideración el estado del circuito de refrigeración, ya que al igual que en los otros elementos que lo poseen, si el mismo no funciona de una manera eficiente incrementara la temperatura de funcionamiento. También hay que considerar que en configuraciones que trabajan con aceite, si el mismo se encuentra en un nivel inferior al establecido, generara sobrecalentamiento.

Exceso de Vibraciones: Este inconveniente puede presentarse debido a problemas de acoplamiento de elementos móviles de la transmisión, como lo son los engranes, cojinetes y rodamientos. Ante un excesivo juego axial el fenómeno de vibraciones se incrementará provocando inestabilidad en el sistema, además de una clara señal sonora

por el exceso de contacto que existe entre dichos elementos, lo cual puede tener incidencia en un atascamiento del mismo. También se puede presentar este inconveniente debido a una falta de contacto entre los piñones de conexión entre el rotor y la transmisión hacia los ejes, provocando un exceso de revoluciones por parte del motor eléctrico y una nula movilidad por parte de los ejes.

Problemas de lubricación: Esta falla está relacionado a una fuga de aceite lubricante o que el mismo haya cumplido su tiempo de vida útil, lo que provoca una mayor fricción entre los elementos móviles del mecanismo generando un desgaste de los mismos o inclusive un atascamiento de dichos elementos.

Desgaste de elementos: Esta se relaciona de principio con la calidad de los materiales, y también debido al desgaste que los mismo pueden llegar a sufrir por factores externos como lo son el sobrecalentamiento, agentes contaminantes o exceso de fricción.

En la Tabla 4 se presentan las fallas de la transmisión con su codificación y en la Figura 47 se presenta el árbol de fallas de la transmisión.

Tabla 4 Fallas mecanismo de Transmisión

Modo de fallo	Código de fallo
Sobrecalentamiento	FMT-1
Exceso de Vibraciones	FMT-2
Ruidos extraños en el mecanismo	FMT-3
Falta de aceite lubricante	FMT-4
Fisura cubierta protectora	FMT-5
Desgaste Elementos de Sujeción	FMT-6

Al estar controlado el comportamiento de la transmisión mediante sensores eléctricos, la manera de prevenir el comportamiento del mismo será a través de la intervención de un escáner automotriz y de esta forma revisar el comportamiento de los elementos electrónicos, principalmente del comportamiento del módulo selector de marcha, señales del sensor de temperatura, además de revisar el estado de vibraciones del mismo.

A partir de las fallas mostradas en el árbol, se puede definir inspecciones (periódicas o por kilometraje) y definir estrategias que ayuden a prevenir las fallas, a continuación, se definen algunas estrategias:

- Para evitar fallos de comunicación será importante verificar la correcta sujeción de arnés y cables de comunicación hacia la transmisión, además de cerciorarse que el módulo selector de marcha funcione correctamente, es decir que la

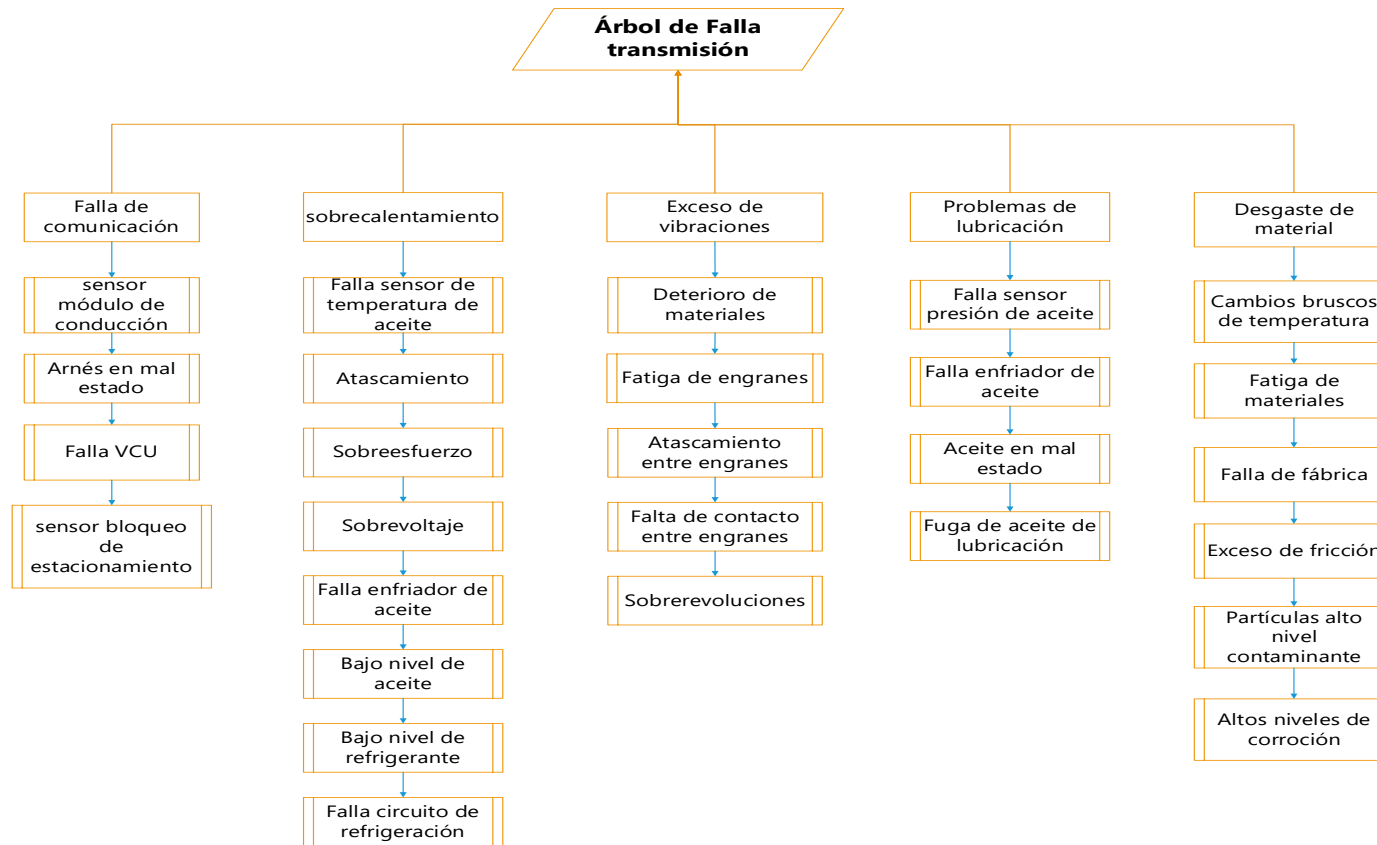


Figura 47 Árbol de fallas de transmisión

marcha seleccionada por la palanca, sea la misma que se visualiza en el tablero de instrumentos. Realizar esta verificación cada 60.000 km [38].

Adicionalmente se puede optar por realizar una prueba de ruta para verificar el correcto desempeño del sistema. Se recomienda realizar esta inspección cada 120.000 km [38].

- Para evitar sobrecalentamiento, será importante constatar el correcto funcionamiento del sensor de temperatura, que sus conexiones se encuentren en buen estado, cerciorarse en la lectura que aparece en el panel de instrumentos se mantenga en un punto medio (mitad entre temperatura caliente y fría). Se recomienda realizar esta inspección cada 70.000 km [38].

Además, si se cuenta con una cámara térmica, realizar una inspección visual del enfriador de aceite (en caso de estar instalado en el mecanismo) y constatar que el mismo funcione correctamente; en caso de ser conexión indirecta (diferencial o cardan) se debe revisar el nivel de aceite para evitar fallas de lubricación. Si la transmisión es mediante conexión directa se deberá revisar el circuito de refrigeración y constatar que no existan fugas en el sistema, que generen un aumento temperatura de los variadores de velocidad. Las inspecciones antes marcadas se las puede realizar recomendablemente cada 120.000 km [38].

- En cuanto a la prevención de vibraciones, será importante de igual forma constatar que todos los pernos de sujeción se encuentren correctamente ajustados. Además, se podrá realizar una inspección cuando el sistema esté en funcionamiento, ayudado por un medidor de vibraciones y de esta manera medir tolerancias. Esta revisión es recomendable realizarla cada 40.000 km [38]
- Para evitar desgaste de la estructura externa de los elementos de transmisión es importante revisar que no estén en contacto con factores contaminantes. Fallas de lubricación o refrigeración inciden de igual manera, ya que tendrán una tendencia a un rápido deterioro por exceso de fricción. La recomendación es vaciar y reponer refrigerante o aceite(según corresponda) cada 60.000 km [38].

2.2.3 Fallas de la Batería

La batería es un componente relevante de los buses eléctricos, por su costo, por lo que es importante monitorear su estado y vida útil restante [39]. En general, se debe resaltar que la celda más débil determina el rendimiento general de todo el sistema, por lo que para el diagnóstico de la batería se debe analizar a nivel de la celda [40].

Dos conceptos importantes relacionados con la vida útil de la batería son:

- Envejecimiento por calendario: ocurre siempre, sin importar si la batería opera o no, y depende de la temperatura de almacenamiento [41].
- Envejecimiento por ciclo: depende del uso de la batería.

La vida útil de la batería, para aplicaciones vehiculares, se define en función de la capacidad de carga, la batería ha cumplido con su vida útil cuando solo se alcanza el 80% de su capacidad de carga inicial [42].

Las fallas posibles por envejecimiento se pueden agrupar en:

- Envejecimiento del ánodo,
- Envejecimiento del cátodo,
- Envejecimiento del separador electrolítico,
- Envejecimiento de los componentes externos de la celda.

El envejecimiento del ánodo: Se debe a la corrosión de la lámina colectora de corriente, que puede conducir a la pérdida de contacto y posteriormente a un incremento en la resistencia, se debe resaltar que los ánodos de cobre son susceptibles al agrietamiento por contacto con el ambiente [43]. Otro tipo posible de envejecimiento es el cambio de morfología del ánodo, que se debe a dos razones, desorden estructural que se debe a la estructura interna de las partículas del ánodo por estrés mecánico, como la carga y descarga, variaciones de temperatura y vibraciones; y la segunda razón posible es el cambio morfológico en la superficie de las partículas de grafito, que se debe a la co-intercalación de solvente, ya que las reacciones secundarias de los componentes intercalados en el grafito pueden desordenar la estructura de la superficie [44].

Una tercera alternativa para el envejecimiento del ánodo es el revestimiento de litio, que típicamente se da cuando las corrientes de carga son altas a bajas temperaturas. Los iones de litio positivos no se pueden intercalar lo suficiente dentro del material del ánodo y se deposita en la superficie de grafito [41]. Un crecimiento del depósito y la formación

de dendritas pueden destruir el separador y finalmente producir un corto circuito en la celda, que es a menudo una razón de fuga térmica [45].

Finalmente, la última forma de envejecimiento del ánodo, se debe a los cambios en la capa de interface de electrolítico sólido (SEI), los ánodos de grafito requieren una capa de SEI de grosor definido para proteger las partículas de la superficie. Existe dos problemas con la capa SEI: La descomposición del SEI y un ensanchamiento en el grosor de la capa. Si la capa de SEI crece el movimiento de los iones de litio se ve retardado haciendo que la resistencia interna aumente [46]. Por último la descomposición también es un problema porque se pierde la función protectora que es crucial para la funcionalidad de la batería, ya que genera corrosión del litio, y pérdida de energía [47]. Se debe recalcar que a temperaturas elevadas la capa de SEI se empieza a descomponer a causa de la pasivación del ánodo.

El envejecimiento del cátodo: Se debe principalmente a la corrosión por corriente en el colector, debido a la vulnerabilidad del material empleado. Los cambios en la morfología del cátodo originan cambios en la superficie. Descomposición del aglutinante provoca una reducción acelerada en la vida útil. Disolución de las especies solubles, cuando el hierro contenido en el cátodo se puede separar y moverse haciendo que electrolito se disuelva. Finalmente la humedad reduce la eficiencia de la celda [48].

Envejecimiento del separador electrolítico: Por otro lado, el electrolito sirve como conductor iónico mientras garantiza el aislamiento electrónico. Existe una gran variedad de electrolitos, que se lo puede clasificar en: electrolitos orgánicos, electrolitos de estado sólido y electrolitos iónicos líquidos. En las celdas comerciales a gran escala, solo se usa electrolitos orgánicos a base de sales de LiPF_6 [46]. El envejecimiento del electrolito y del separador es otro factor de falla típico por disolución.

Envejecimiento de los componentes exteriores de la celda: Juegan un papel importante en el envejecimiento de la batería, como elementos aislantes, terminales de la celda, carcasa de la celda.

Acompañado al envejecimiento, es pueden presentar otro tipo de fallas como: Falla del hardware del sistema de gestión de baterías (BMS), fallas del conector, fallas por corto circuito interno (ISC), fallas por corto circuito externo (ESC), fallas por sobrecarga, fallas por sobre descarga, fallas por inconsistencia en la batería, fallas de conexión, fallas de aislamiento, fallas del sistema de administración térmica, y falla de sensores [29].

La falla por cortocircuito interno: Es el fenómeno de descarga ocasionado por la diferencia de potencial, acompañado por la generación de calor, cuando los electrodos positivo y negativo se conectan. Este evento es muy peligroso, y las estadísticas indican que más del 40% de los incendios en vehículos se debe a esta falla. Cuando se presenta esta falla se libera súbitamente una gran cantidad de energía que produce un incremento brusco en la temperatura, generando una descomposición del electrolito, reduciendo la capacidad de la batería y en el peor de los casos puede generar fuego. Existen desencadenadores internos y externos para este tipo de falla, dentro de los internos tenemos a las impurezas en los materiales o rebabas generadas en el proceso de manufactura, y la sobre carga y sobre descarga genera dendritas dentro del electrolito que penetran el separador ocasionando cortocircuito. En los desencadenadores externos tenemos la extrusión, deformación y punción de la batería generada por colisiones generan un cortocircuito [49].

El mecanismo de falla por corto circuito externo: Se debe a la deformación de la carcasa del sistema de baterías, inmersión en agua, y fallas en las líneas de conexión que puedan generar un corto circuito en los electrodos positivo y negativo de la batería. El 20% de los incendios en vehículos eléctricos se debe a esta falla. Cuando se da esta falla la energía almacenada en la batería se libera en forma de calor, haciendo que la temperatura incremente drásticamente [50].

La falla por sobre carga: Se refiere a la carga continua de la batería después de que se ha cargado completamente, que es una falla común y peligrosa en el sistema de baterías, esto se debe a un mal funcionamiento del cargador, o del sistema de administración de la batería. Los modos de carga rápidos y alta tasa de carga al final aumenta la posibilidad de la sobre carga. Las sobre cargas ligeras no reducen significativamente la capacidad de la batería, pero, si generan problemas en la polarización disminuyendo el voltaje de polarización en la descarga. Mientras que la sobrecarga excesiva si genera una reducción en la capacidad de la batería [51].

La falla por sobre descarga: Se debe a falla en los sensores o inconsistencias en la batería, esta falla genera un incremento en la resistencia interna y una disminución en la capacidad de la batería. La sobre descarga a largo plazo disminuye la vida útil de la batería[52].

Falla por inconsistencia en la batería: Se dice que existe inconsistencia en el paquete de batería si las celdas individuales de la batería tienen inconsistencias entre ellas, este

tipo de falla se debe a las fallas en el proceso de manufactura, que se manifiestan en la resistencia interna de la batería y la capacidad de esta. Y las inconsistencias por el ambiente de trabajo, ya que las celdas ocupan diferentes posiciones de trabajo y la disipación de calor no es la misma ocasionando diferencias de corriente y de temperatura de la batería. La primera genera diferencias en la temperatura de trabajo, la tasa de corriente de carga y descarga, y por otra parte el ambiente de trabajo cambia la resistencia interna, y la capacidad de la batería [53].

Las fallas en las conexiones: Se debe a que las celdas individuales de un bus eléctrico se conectan entre sí, por pernos soldados. Las vibraciones en un vehículo aflojan a los pernos y soldaduras, incrementando la resistencia de los contactos eléctricos, que genera un incremento de calor. Afectando la seguridad térmica de las celdas, por otra parte, existirá una diferencia en las corrientes, disminuyendo el rendimiento, y acelerando la degradación de la batería [54].

Las fallas por aislamiento: Se debe a que los Buses eléctricos contienen sistemas eléctricos de alto voltaje, y requiere aislamiento de alto voltaje, su rendimiento se relaciona directamente con la seguridad de los pasajeros, y puede causar reducciones anormales de la potencia de la batería y reduce el rendimiento del autobús. La falla en el aislamiento se refiere a fugas en el electrolito, líquido externo ingrese a la batería, y la capa de aislamiento se destruye, aprovechando la conductividad de la batería y de la celda. También se puede originar por unión de los cables de alto voltaje, las vibraciones pueden generar un comportamiento anómalo en el módulo de la batería, fallas en el aislamiento entre el sistema de administración y la caja de distribución [55].

Fallas del sistema de administración térmica: La temperatura ambiental índice en la operación y ciclo de vida de la batería. Ya que existe una gran densidad de celdas en la batería y estas generan calor, esto genera un incremento de la temperatura del sistema de batería. El rango de operación de la batería es de 25°C a 40°C. Para garantizar esta temperatura de operación se puede usar enfriamiento por aire o por líquido o materiales de cambio de fase. Como es de esperar si el sistema de enfriamiento falla se traduce en un incremento en la temperatura, que acelera las reacciones químicas dentro de las celdas y reduce el rendimiento de la batería. Esto también hace que el electrolito se degrade, reduciendo la capacidad de la batería, y pérdida de potencia de la misma. Por otra parte, las bajas temperaturas también pueden dañar la batería, causando daños irreversibles, por lo que se requiere un sistema de precalentamiento [56].

Las fallas en los sensores: Se deben principalmente defectos propios del sensor, envejecimiento, ambiente de trabajo extremo, generando corrimiento o retrasos en las señales generadas, disminuyendo la precisión de las mediciones. Por otra parte, si los sensores trabajan en altas temperaturas por un tiempo prolongado existe una degradación en los componentes internos del mismo. Las fallas en estos generan impacto directo sobre el sistema de administración de la batería, mandando señales de control incorrectas, acelerando la degradación de la batería [57].

Falla del sistema de gestión de baterías: El sistema de administración de la batería recibe varios parámetros de la batería mediante sensores para realizar sus funciones, como la estimación del estado, control de temperatura, diagnóstico de fallas. Este elemento tiene un número grande de elementos. Si existen fallas en este, no se podrá controlar la eficiencia de la batería y se generaran accidentes de seguridad. Las fallas que se pueden dar en este son: fallas en la comunicación de la red CAN, fallas por retardo, interferencia electromagnética, fallas en los cables debido a vibraciones [29].

Por último, los contactores se emplean para controlar los circuitos de alto voltaje entre la batería y los motores. Cuando se dan fallas serías la unidad de control de vehículo desconecta los contactores de alto voltaje del vehículo. Cuando se conecta o desconecta un contactor se genera un arco eléctrico, generando una reacción química en la superficie desgastando los contactos. Por otra parte, el impacto de los contactos los deforma reduciendo su eficiencia. Por ultimo estos también se pueden pegar, haciendo que no se pueda desconectar el circuito de alto voltaje [58]. En las Figuras 48 y 49 se presenta el árbol de fallas para las baterías y en la Tabla 5 se presenta la codificación de fallas de la batería.

Tabla 5 Fallas baterías de almacenamiento

Modo de fallo	Código de fallo
Falla por cortocircuito interno	FBT-1
Falla por cortocircuito externo	FBT-2
Falla por sobre carga	FBT-3
Falla por sobre descarga	FBT-4
Falla por inconsistencia de la batería	FBT-5
Falla en los sensores	FBT-6
Falla en las conexiones	FBT-7
Falla por aislamiento	FBT-8
Falla en el sistema de administración térmica	FBT-9

Modo de fallo	Código de fallo
Falla en el sistema de gestión de la batería	FBT-10
Falla por envejecimiento	FBT-11

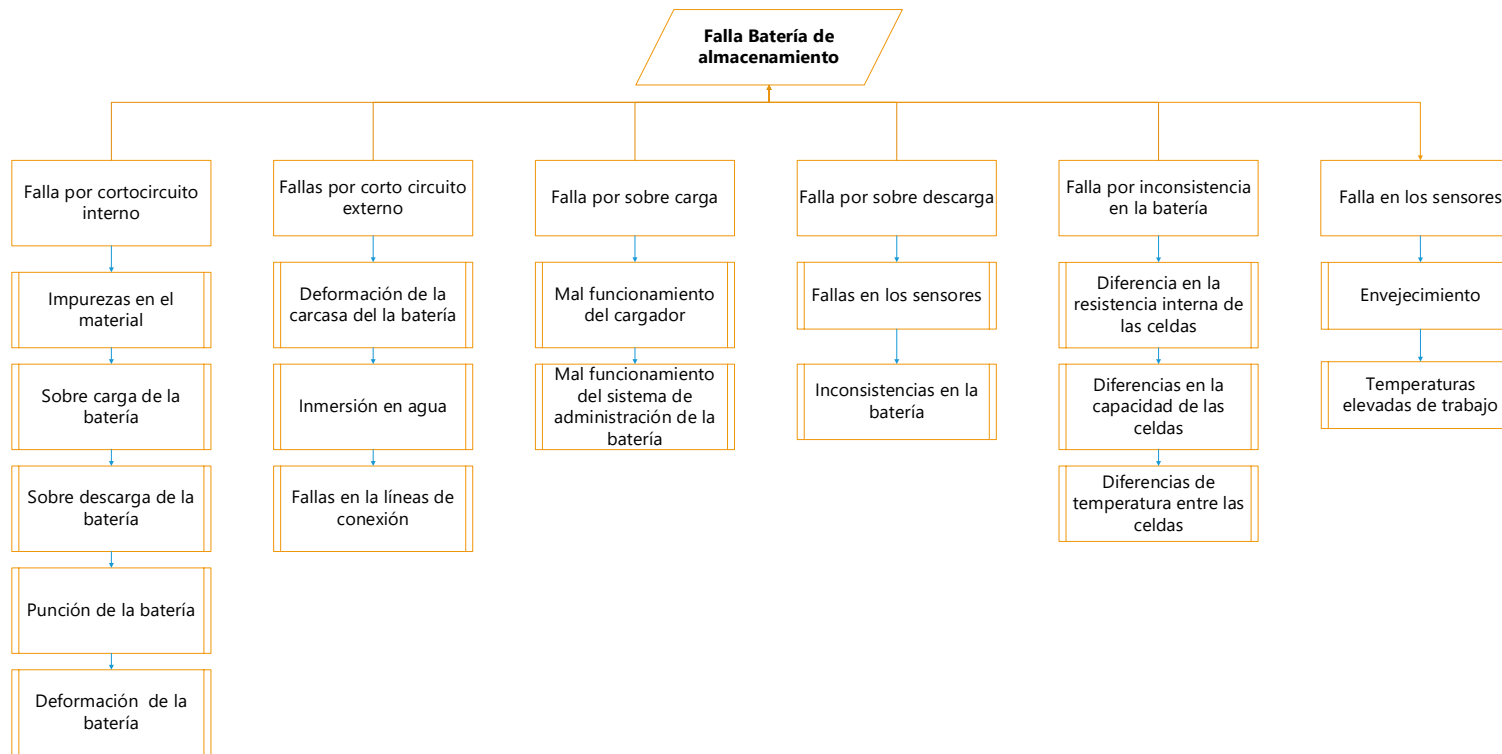


Figura 48 Árbol de fallas de batería, parte 1

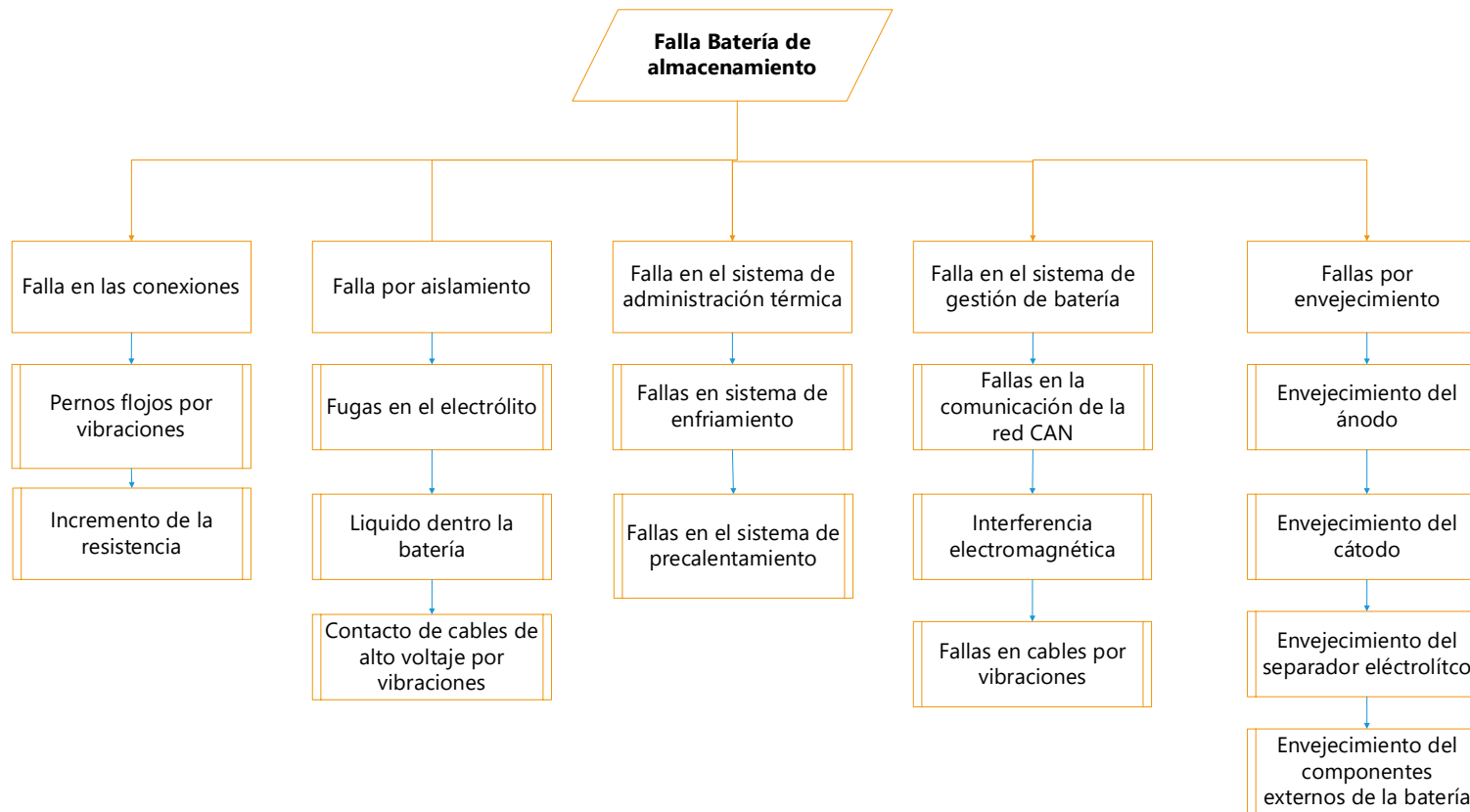


Figura 49 Árbol de fallas de batería, parte 2

2.2.4 Fallas del inversor

Las fallas en los inversores se las puede clasificar por fallas en hardware y software [59], dentro de las fallas en hardware se pueden dividir en las fallas de circuito abierto y fallas por corto circuito [60]. Se estima que el 38% de las fallas en el inversor se deben a los dispositivos de potencia, en la mayoría de casos los IGBTs, son empleados como dispositivos de potencia. Si se toma en cuenta la fallas por los circuitos de control el porcentaje aumentaría, ya que los IGBTs pueden presentar fallas de circuito abierto por interferencias electromagnéticas o defecto en los circuitos de control haciendo que esté presente intermitencias en la operación. Por otra parte, estos elementos son robustos, ya que presentan estrés eléctrico y térmico excesivo en un ambiente automotriz [61]. En la Figura 50 se resumen las fallas típicas en el inversor.

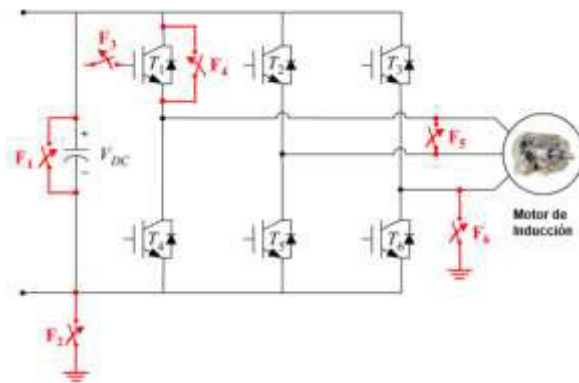


Figura 50 Fallas típicas en el inversor (referencia: [61])

La falla más frecuente en el inversor de buses eléctricos es la sobre corriente, que se puede definir como la corriente que ingresa al inversor (DC) o sale del inversor (AC) supera los límites de diseño del módulo o de un componente en particular. Cuando esto sucede la temperatura de los IGBTs aumenta rápidamente ocasionando daños permanentes de los mismos. Haciendo que al principio se pongan en corto circuito, y si la sobre corriente continua se cortocircuitan permanentemente. Basados en la evidencia experimental cuando el fenómeno sobre corriente ocurre por lo menos una fase del inversor sufre de daño por cortocircuito, haciendo que el motor no funcione con normalidad. Y en el peor de los casos puede ser que el resto de fases también sufran el mismo tipo de daño [59]. Haciendo que no se genere torque en el motor. Las causas posibles de la sobre corriente se pueden resumir en:

- Una de las fases está en cortocircuito ocasionando un corto circuito de alto voltaje.
- Las tres fases están en cortocircuito
- Cualquiera de las tres fases está aterrizada a tierra por cortocircuito
- Carga alta del bus por un tiempo prolongado
- Aceleración o desaceleración abrupta.
- Las mediciones de corriente son incorrectas.

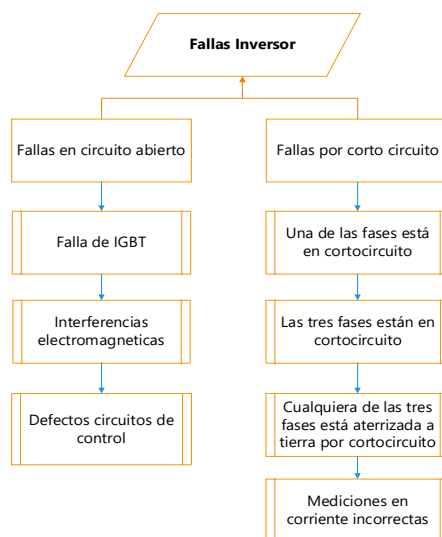


Figura 51 Árbol de fallas del inversor

En la Figura 51 se presenta el árbol consolidado de las fallas que se puede presentar en el inversor, en la Tabla 6 se presenta la codificación de las fallas extraídas del árbol de fallas.

- Tabla 6 Fallas en el inversor

Modo de fallo	Código de fallo
Fallas en circuito abierto	FIV-1
Fallas por corto circuito	FIV-2

3 RESULTADOS

3.1 Plan de mantenimiento del tren motriz de buses eléctricos

Una vez comprendido el funcionamiento, modos de falla y formas de inspeccionar los elementos del tren de potencia de un bus eléctrico, se establece el plan de mantenimiento para para los 4 componentes que comprenden al tren de potencia independientemente de la potencia del motor eléctrico o de la capacidad de carga de las baterías de almacenamiento.

Para la elaboración se tomó en cuenta recomendación del fabricante, este tipo de vehículos requiere un mantenimiento preventivo entre 10.000 km y 70.000 km de manera selectiva, es decir no todos los elementos; además de una inspección general al menos cada año y una completa cada 2 años [37].

A continuación, se expone la tabla referencial con cada una de las actividades a realizarse en el tren de potencia del bus eléctrico, con motor eléctrico asíncrono, una transmisión con conexión directa de motor eléctrico con engranaje fijo, sistema de baterías de litio.

Tabla 7 Calendario de mantenimiento preventivo motor eléctrico [37]

Plan de Mantenimiento Motor eléctrico		
Falla	Actividad	Frecuencia de Mantenimiento (Km o meses)
Falla de energía	Inspección arnés de alta y baja tensión	Cada 120.000 km
	Inspección bornes y comprobación de fases motor eléctrico	Cada 60.000km
Vibraciones	Inspección soportes de motor y carcasa	Cada 60.000 km
Falla enmallado estator	Comprobación de polaridad negativa de conexiones eléctricas	Cada 60.00km
Falla enmallado estator: vibraciones	Inspección hermeticidad motor eléctrico	Cada 60.000 km

Vibraciones; Falla de energía	Reajuste pernos de sujeción, coraza y bornes de motor eléctrico	Primera vez 10.000 km posteriormente cada 20.000 km
Falla de energía	Revisión tarjeta de control electrónico	120.000 km
	Verificación Resistencia enmallado estator	Cada 120.000 km
Falla enmallado de estator	Verificación Resistencia de aislamiento de enmallado estator	Cada 120.000km
Vibraciones; Falla rotor	Verificación estado de rodamientos y cojinetes	Cada 300.000 km Reemplazo 640.000 km o 5 años
Falla rotor; Falla enmallado estator	Inspección estado rotor, estator, bobinas y barnizado	Cada 300.000 km
Desgaste de materiales	Inspección estado carcaza protectora	Cada 60.000km
Sobrecalentamiento	Verificación temperatura de trabajo motor eléctrico	Cada 50.000 km
Falla de energía	Prueba de torque y potencia (ciclo estático o dinámico)	Cada 120.000 km

Tabla 8 Calendario de mantenimiento preventivo transmisión [24]

Plan de Mantenimiento Transmisión		
Falla	Actividad	Frecuencia de Mantenimiento (Km o meses)
Desgaste de elementos	Inspección visual estado de transmisión	Cada 60.00 km
Problemas de lubricación	Verificación nivel de aceite de lubricación	Cada 120.000 km
Sobrecalentamiento	Inspección enfriadora de Aceite	Cada 120.000km
	Inspección bomba de aceite	Cada 70.000 km

	Inspección líneas de refrigeración	Cada 120.000 km
	Reposición líquido refrigerante	Cada 60.000 km
Falla de comunicación	Diagnostico eléctrico variador de velocidad	Cada 70.000 km
	Respuesta de cambio de Marcha (D, N y R)	Cada 40.000 km
Vibraciones	Inspección de vibración en funcionamiento	Cada 40.000 km
Problemas de lubricación	Revisión de estanqueidad (fugas de aceite)	Cada 120.000 km

Tabla 9 Plan de mantenimiento de baterías de almacenamiento [37]

Comentado [AEPA6]: referencia

Plan de Mantenimiento Baterías de almacenamiento		
Falla	Actividad	Frecuencia de Mantenimiento (Km o meses)
Falla por corto circuito interno	Revisar la carcasa de la batería en búsqueda de deformaciones o punciones de la batería, olores extraños, incremento del volumen del paquete de baterías.	Cada 10.000 km
	Inspección pernos de sujeción de celdas	Cada 200.000 km
	Comprobar los pernos de sujeción del paquete de baterías al marco (42 Nm).	Cada 10.000 km
Falla por corto circuito externo	Verificación visual del arnés de baja y alto voltaje, en búsqueda de daños.	Cada 10.000 km

	Verificación que los conectores estén fijos y no flojos.	Cada 10.000 km
	Verificación que no exista presencia de agua dentro del paquete de baterías.	Cada 10.000 km
	Inspección índice de humedad conjunto de baterías.	Cada 120.000 km
Falla por sobre carga	Inspección de estado carga	Cada 120.000 km
Falla por inconsistencia de en la batería	Comprobación voltaje promedio de las celdas.	Cada 120.000 km
	Medición rangos de entrada y salida de voltaje	Cada 60.000 km
	Verificación de temperaturas promedio de las celdas.	Cada 120.000 km
Fallas en el sistema de administración térmica	Reemplace el refrigerante.	Cada 120.000 km
Fallas en las conexiones	Medición de continuidad (resistencia menor a 1 ohm) entre celdas y pines	Cada 180.000 km
	Inspección de estado arnés de conexión, en búsqueda de cambios físicos en los cables, como pérdida de flexibilidad, cambio de color.	Cada 120.000 km
Falla por envejecimiento	Comprobación Perdida de voltaje	Cada 120.000 km
	Procedimiento de Descarga de baterías	Cada 200.000 km
	Inspección estado de vida útil de baterías (SOH)	Cada 120.000 km
	Inspección estado de carga de baterías (SOC)	Cada 120.000 km

Tabla 10 Plan de mantenimiento del inversor [37]

Comentado [AEP7]: referencia

Plan de Mantenimiento Baterías de almacenamiento		
Falla	Actividad	Frecuencia de Mantenimiento (Km o meses)
Falla por corto circuito	Verificación de continuidad eléctrica de las fases al motor eléctrico. Comprobar que las fases del motor eléctrico no estén cortocircuitadas entre si. Comprobar que no las fases no estén conectadas a tierra.	Cada 120.000 km
	Inspección visual del cableado y las conexiones eléctricas	Cada 120.000 km
	Medición rangos de entrada y salida de corriente	Cada 60.000 km

3.2 Precauciones y consideraciones en la ejecución del plan de mantenimiento

Los procedimientos de seguridad en el trabajo son importantes en todos los sistemas de un Bus eléctrico, para la protección de las personas que ejecuten las actividades de mantenimiento. Dado que existen dispositivos que operan con alto voltaje es necesario conocer que actividades se puede hacer durante su operación.

Una de las características de los Buses eléctricos y vehículos eléctricos en general es el uso de celdas de alto voltaje, que un tiempo corto puede transferir energía al motor o se puede almacenar energía reciclada. Típicamente, los buses eléctricos están diseñados para trabajar con voltajes entre 700 V a 800V [62], cuando se trata con este tipo de vehículos, es evidente que se presentaran problemas con la seguridad eléctrica.

Las baterías y los motores eléctricos trabajan con campos eléctricos y magnéticos, que de no ser tratados de forma adecuada pueden generar lesiones graves e incluso la muerte. Se recomienda y es necesario estar capacitado o monitoreado por un profesional antes de realizar algún trabajo concreto en un bus eléctrico.

Se recomienda revisar los manuales de marca para realizar cualquier trabajo de forma segura, así como el equipo de protección personal, y colocar al bus en modo seguro para realizar todos los trabajos con seguridad [63].

3.2.1 Efectos en el cuerpo humano de las variables eléctricas

En la industria de los vehículos eléctricos se caracteriza al alto voltaje por voltajes en rangos de 30 a 1000 VAC o 60 a 1500 VDC. Se debe resaltar que voltajes superiores a 50V pueden causar fibrilación cardiaca, y si el conductor eléctrico penetra la piel, la fibrilación se produce a voltajes mejores.

Por otra parte, es importante resaltar que la corriente eléctrica importa, ya que al ingresar al cuerpo humano esta produce daños físicos, mientras mayor sea la corriente mayor será el daño. Una corriente mayor a 0.5 mA AC o 2 mA DC, causan daños físicos en el cuerpo.

Por ejemplo, un vehículo con una batería de 600V, que puede almacenar 300kW, puede producir una corriente de 500 A. En la Tabla 11 se muestran los daños que puede producir la corriente eléctrica en los órganos.

Tabla 11 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo [64]

Corriente [mA]	Efectos en el cuerpo
1	Cosquilleo leve
5	Ligero choque, no doloroso.
6-30	Choque doloroso, se pierde el control muscular.
50-150	Choque extremadamente doloroso, para respiratorio, contracción muscular severa, y posible muerte
1000 – 4300	Ocurre fibrilación ventricular, los músculos se contraen, se produce daño nervioso. La muerte es probable.
10000	Se produce paro cardíaco y quemaduras graves. La muerte es probable.

3.2.2 Componentes de alto voltaje

Cuando es necesario inspeccionar las componentes de alto voltaje se debe asumir que el alto voltaje está presente todo el tiempo de la intervención [63]. El alto voltaje está presente por lo menos en los siguientes componentes:

- Batería
- Inversor
- Motor eléctrico

Comentado [AEPA8]: FALTAN ALGUNAS ACTIVIDADES

3.2.3 Relación entre sistemas del autobús eléctrico

Las intervenciones sobre cualquier componente del auto bus eléctrico pueden afectar sobre otros componentes si no se toman las precauciones. Esta relación es particularmente más relevante en dispositivos de alto voltaje, por lo que se debe considerar las interfaces con otros dispositivos, por ejemplo: Si la batería de bajo voltaje (12 V) se retira, la batería de alto voltaje y el inversor DC-DC aun estarán en funcionamiento, entregando energía a los terminales de la batería de bajo voltaje [63].

Comentado [AEPA9]: FALTAN ALGUNAS ACTIVIDADES

3.2.4 Riesgos

Los riesgos que se pueden presentar al realizar las intervenciones son:

- Quemaduras: cuando se presenta un arco eléctrico, se genera temperaturas extremas.
- Proyección de metales: cuando se presenta un arco eléctrico puede producirse la explosión de metales, y se generaran esquirlas en todas las direcciones.
- Explosión: La explosión que produce un arco eléctrico puede empujar varios metros a una persona.

3.2.5 Protocolo de seguridad

Primero se debe aislar la fuente de alto voltaje, mediante la des energización, usar el equipo de protección personal (guantes, multímetro digital CATEGORIA III, herramientas para acceder a componentes de alto voltaje) y confirmar el aislamiento eléctrico[64].

3.2.5.1 Des energización

La mayoría de las marcas establecen un método, que no necesariamente es el mismo entre marcas, para la des energización del sistema de alto voltaje. Se recomienda

revisar, la información de fabricante para procedimientos específicos. Sin embargo, a continuación, se presenta un ejemplo genérico [63]:

Comentado [AEPA10]: FALTAN ALGUNAS ACTIVIDADES

1. Parquee el bus en un lugar seguro
2. Conecte el equipo de diagnóstico
3. Seleccione el modo de diagnóstico y corra el diagnóstico
4. Escoja la opción de prueba de plan
5. Busque la opción des energizar el Sistema de alto voltaje.

Después de realizar los pasos anteriores, se debe extraer el conector de mantenimiento del módulo de alto voltaje. Este elemento es un puente entre dos conectores de alto voltaje y la batería como se muestra en la Figura 52.

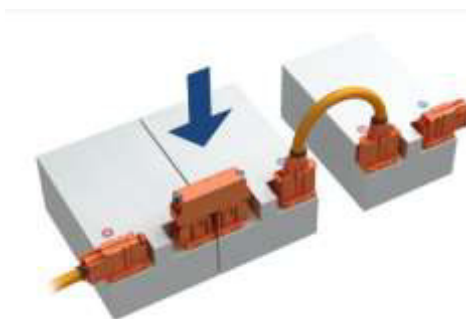


Figura 52 Conector de mantenimiento de módulo de HV [65]

CONCLUSIONES

- Para realizar una propuesta de mantenimiento preventivo es necesario comprender el principio de funcionamiento de cada uno de los elementos que componen el tren de potencia de un bus eléctrico, por lo cual fue importante recopilar información bibliográfica de alto impacto que permita brindar un correcto y sencillo entendimiento sobre el tema.
- Ajustándose a la realidad del parque automotriz de Ecuador, se comprendió la importancia de plantear un plan de mantenimiento preventivo para buses eléctricos, tomando en cuenta que al ya contar actualmente con leyes relacionados con electromovilidad e incentivos que promueven la llegada de buses eléctricos de transporte público en los próximos años, nace la necesidad de realizar esta investigación, que permitirá crear las bases de futuros planes de mantenimiento para este tipo de vehículos.
- Se comprendió el principio de funcionamiento de la transmisión de un bus eléctrico, además de las diferentes variantes de configuraciones que posee, las cuales dependerán del grado de tecnología del vehículo para su aplicación, con lo cual fue mucho más sencilla su codificación, en cuanto a identificación de los elementos, así como de posibles fallas.
- Este trabajo de titulación planteo diferentes estrategias para la identificación de fallas, pero al no contar con datos reales de incidentes del tren motriz de buses eléctricos, se optó por elegir un escenario que permita identificar fallos, y a partir de ello crear diagrama de fallas, el cual permitió identificar las principales fallas a las cuales están expuestos los elementos del tren motriz, y a partir de ello crear clasificar los mismos, como es el proceso de codificación de fallas, para luego plantear propuestas en las cuales como primer punto se definía porque los elementos podían experimentar estos inconvenientes y finalmente plantear acciones preventivas que eviten que esas fallas se produzcan.
- Los buses de transporte público, son vehículos que están expuesto a una alta demanda de trabajo por lo cual es sumamente importante contar con una referencia de mantenimiento preventivo a aplicar y tomando en cuenta que este tipo de vehículos recién se están incorporando al parque automotor no existe información ni conocimiento necesario para intervenir correctamente esta clase

Comentado [AEPA11]: RESUMIR Y UNIR ESTAS DOS CONCLUSIONES

de vehículos, por lo cual este trabajo de investigación brinda una referencia para realizar las intervenciones preventivas dentro del periodo de vida útil del vehículo y así evitar que los problemas se agraven provocando la salida de circulación del bus eléctrico.

- El enfoque de investigación del presente trabajo, permite que el manual de mantenimiento preventivo planteado no sea utilizado solamente para buses eléctricos, sino que el mismo también podrá ser aplicado en vehículos eléctricos livianos, ya que al tratar medidas preventivas las mismas son ejecutables en este tipo de vehículo, ya que comparten el mismo principio de funcionamiento.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el presente trabajo de investigación como referencia para futuros trabajos. El mismo puede ser modificado o actualizado, ya que debido a la naturaleza de los avances tecnológicos las propuestas preventivas deben ser renovadas a la par de las nuevas tecnologías
- Se recomienda realizar todas las tareas preventivas expuestas en esta investigación y cuantificar indicadores de mantenimiento para de esta forma realizar actualizaciones en plan.
- Se recomienda fomentar la creación de carreras técnicas con un alto contenido electrónico y electromecánico automotriz, ya que no se cuenta con profesionales que puedan solventar las fallas que presentarán este tipo de vehículos.
- Se recomienda generar un plan de mantenimiento predictivo, cuando exista mayor penetración en parque automotor ecuatoriano, dado que estos vehículos disponen de instrumentación electrónica, y con la información se puede analizar el estado de los componentes del tren de potencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Lajunen, "Comparison of different powertrain configurations for electric city bus," *2014 IEEE Veh. Power Propuls. Conf. VPPC 2014*, 2015, doi: 10.1109/VPPC.2014.7007032.
- [2] M. Mahmoud, R. Garnett, M. Ferguson, and P. Kanaroglou, "Electric buses: A review of alternative powertrains," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 673–684, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.05.019.
- [3] N. Farooqi, "Lima eBus Intro to Electric Buses," Canada, 2019.
- [4] D. Gutierrez, "hibridosyelectricos.com," 2021. <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/mercado/volvo-presenta-nuevo-chasis-autobuses-electricos/20210928144603049664.html> (accessed Apr. 01, 2022).
- [5] J. A. Ros Martín y Ó. Barrera Doblado, *Vehículos Eléctricos e Híbridos*. Madrid: Parainfo, 2017.
- [6] J. R. V. Sancho, "Automatismoindustrial.com," 2019. <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/motores/motores-sincronos/>.
- [7] Motorex, "motorex.com.pe," 2020. <https://www.motorex.com.pe/blog/motor-trifasico-asincrono-partes-principales-y-ventajas/> (accessed Apr. 06, 2022).
- [8] G. M. (Xiamen) E. Co, "greatmagtech.com," 2020. <http://es.greatmagtech.com/magnetic-assembly/magnetic-components/magnetic-stator.html> (accessed Apr. 06, 2022).
- [9] J. C. y E. Marrufo, *Motores Eléctricos*. Barcelona: McGraw Hill, 2018.
- [10] O. Planas, "demotor.net," 2021. <https://demotor.net/motores-electricos/motores-corriente-alterna/motor-sincrono>. (accessed Apr. 06, 2022).
- [11] ESIME, "Apuntes de Maquinas Eléctricas," 2019. http://ramonmar.mex.tl/844572_ROTOR-JAULA-DE-ARDILLA.html (accessed

Comentado [AEPA12]: REVISAR QUE COINCIDAN LAS REFERENCIAS.

Apr. 06, 2022).

- [12] J. Trashorras, *Vehículos Eléctricos*. Madrid: Parainfo, 2019.
- [13] B. Inc., “borgwarner.com,” 2021. <https://www.borgwarner.com/technologies/highlight/all-in-one-box-solution> (accessed Apr. 06, 2022).
- [14] H. Mertens, “Draft Proposal ECE-R 100 protection against electric shock,” vol. 28, no. May, pp. 25–29, 2009.
- [15] H. P. Li and Y. W. Li, “The research of electric vehicle’s MCU system based on ISO26262,” *2017 2nd Asia-Pacific Conf. Intell. Robot Syst. ACIRS 2017*, pp. 336–340, 2017, doi: 10.1109/ACIRS.2017.7986119.
- [16] D. T. Inc, “danatm4.com,” 2020. <https://www.danatm4.com/products/electric-motors/sri-300/> (accessed Apr. 08, 2022).
- [17] C. Pardo, “Sensor de temperatura,” 2022. [o.com/es/control-sensor-temp.html](https://www.o.com/es/control-sensor-temp.html).
- [18] S. Bhattacharya, A. K. Agarwal, O. Prakash, and S. Singh, *Sensors for Automotive and Aerospace*. 2018.
- [19] L. Xiamen Golden Dragon Bus Co., *Repairing Manual Electric Bus*, vol. 1. 2019.
- [20] R. Flores, “Electro Educar,” 2020. <https://comohacerunainstalacionelectrica.blogspot.com/2020/04/como-diagnosticar-el-sensor-de-posicion.html> (accessed Apr. 24, 2022).
- [21] I. Mecánica, “ingenieriamecanicaautomotriz.com,” 2021. <https://www.ingenieriamecanicaautomotriz.com/1959-2/> (accessed Apr. 24, 2022).
- [22] T. Instruments, S. A. R. Adcs, S. A. R. Adcs, and T. Hv, “Temperature Monitoring in HEV and EV Traction Inverter Systems Using ADS795x-Q1,” no. June, 2018.
- [23] T. Conectivity, “Sensors for electric vehicles: a glimpse into the critical role of sensors in the electric powertrain,” 2020. 6 abril 2022.
- [24] Amphenol, “Battery pack temperature sensor.”

- [25] Telaire, "Telaire ChipCap 2 humidity and temperature sensor," no. February, 2018.
- [26] "LEM: Leading technologies for automotive applications," 2021. [Online]. Available: www.lem.com.
- [27] T. Carretero, "www.transportecarretero.com.uy," 2019. <https://www.transportecarretero.com.uy/noticias/energias-alternativas/allison-transmission-ha-presentado-la-nueva-serie-de-ejes-abe.html> (accessed May 21, 2022).
- [28] J. Carey, "EV Central," 2021. <https://evcentral.com.au/why-do-ev-battery-packs-need-a-cooling-system/> (accessed Apr. 07, 2022).
- [29] R. Xiong, W. Sun, Q. Yu, and F. Sun, "Research progress, challenges and prospects of fault diagnosis on battery system of electric vehicles," *Appl. Energy*, vol. 279, no. 2, p. 115855, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115855.
- [30] E. Irene, J. Farnham, J. María, and L. Martínez, "Análisis Comparativo De Elementos Del Tren De Potencia De Vehículos Electricos De Clase M Y N," 2019.
- [31] S. García, *Organización y Gestión del Mantenimiento de instalaciones*. 2012.
- [32] E. D. Villanueva, *La productividad en el Mantenimiento Industrial*, 3°. Mexico, 2014.
- [33] J. Díaz, "Técnicas de Mantenimiento Industrial," p. 235, 2010.
- [34] A. Callejo, "forococheselectricos.com," 2020. [https://forococheselectricos.com/2020/06/que-vida-util-tiene-un-motor-electrico.html#:~:text=A pesar de ello%2C y,%2C6 millones de kilómetros.](https://forococheselectricos.com/2020/06/que-vida-util-tiene-un-motor-electrico.html#:~:text=A%20pesar%20de%20ello%20y,%20C6%20millones%20de%20kil%C3%B3metros.)
- [35] A. J. International, "Acorn Industrial Services," 2021. .
- [36] N. Mehala, *Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Induction Motor Using Motor Current Signature Analysis*. Electrical Engineering Department National Institute Of Technology Kurukshetra, 2010.
- [37] J. J. V. Cristobal, "Mejoramiento En Los Procesos De Operación Y Mantenimiento De Buses Eléctricos Como Una Opción De Transporte Público Ecológico En La

Ciudad De Arequipa 2021," Universidad Nacional Del Centro Del Perú, 2021.

- [38] R. Group, *Z.E Powertrain*. Z.E Technology, 2018.
- [39] M. Knowles, "Through-life management of electric vehicles," *Procedia CIRP*, vol. 11, pp. 260–265, 2013, doi: 10.1016/j.procir.2013.07.074.
- [40] C. Schlasza, P. Ostertag, D. Chrenko, R. Kriesten, and D. Bouquain, "Review on the aging mechanisms in Li-ion batteries for electric vehicles based on the FMEA method," *2014 IEEE Transp. Electrifi. Conf. Expo Components, Syst. Power Electron. - From Technol. to Bus. Public Policy, ITEC 2014*, pp. 1–6, 2014, doi: 10.1109/itec.2014.6861811.
- [41] J. Li, J. Zhang, X. Zhang, C. Yang, N. Xu, and B. Xia, "Study of the storage performance of a Li-ion cell at elevated temperature," *Electrochim. Acta*, vol. 55, no. 3, pp. 927–934, 2010, doi: 10.1016/j.electacta.2009.09.077.
- [42] R. Hein, P. R. Kleindorfer, and S. Spinler, "Valuation of electric vehicle batteries in vehicle-to-grid and battery-to-grid systems," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 79, no. 9, pp. 1654–1671, 2012, doi: 10.1016/j.techfore.2012.06.002.
- [43] X. Zhang, B. Winget, M. Doeff, J. W. Evans, and T. M. Devine, "Corrosion of Aluminum Current Collectors in Lithium-Ion Batteries with Electrolytes Containing LiPF₆," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 152, no. 11, p. B448, 2005, doi: 10.1149/1.2041867.
- [44] P. Verma, P. Maire, and P. Novák, "A review of the features and analyses of the solid electrolyte interphase in Li-ion batteries," *Electrochim. Acta*, vol. 55, no. 22, pp. 6332–6341, 2010, doi: 10.1016/j.electacta.2010.05.072.
- [45] D. Doughty and E. P. Roth, "A general discussion of Li Ion battery safety," *Electrochem. Soc. Interface*, vol. 21, no. 2, pp. 37–44, 2012, doi: 10.1149/2.F03122if.
- [46] M. Park, X. Zhang, M. Chung, G. B. Less, and A. M. Sastry, "A review of conduction phenomena in Li-ion batteries," *J. Power Sources*, vol. 195, no. 24, pp. 7904–7929, 2010, doi: 10.1016/j.jpowsour.2010.06.060.
- [47] M. Broussely *et al.*, "Main aging mechanisms in Li ion batteries," *J. Power Sources*, vol. 146, no. 1–2, pp. 90–96, 2005, doi: 10.1016/j.jpowsour.2005.03.172.

- [48] S. Bourlot, P. Blanchard, and S. Robert, "Investigation of aging mechanisms of high power Li-ion cells used for hybrid electric vehicles," *J. Power Sources*, vol. 196, no. 16, pp. 6841–6846, 2011, doi: 10.1016/j.jpowsour.2010.09.103.
- [49] H. Maleki and J. N. Howard, "Internal short circuit in Li-ion cells," *J. Power Sources*, vol. 191, no. 2, pp. 568–574, 2009, doi: 10.1016/j.jpowsour.2009.02.070.
- [50] L. Zhang *et al.*, "Effect of short-time external short circuiting on the capacity fading mechanism during long-term cycling of LiCoO₂/mesocarbon microbeads battery," *J. Power Sources*, vol. 318, pp. 154–162, 2016, doi: 10.1016/j.jpowsour.2016.03.087.
- [51] L. Zhang and Y. Ma, "Degradation mechanism during cycling of over-charged LiCoO₂ / mesocarbon microbeads battery."
- [52] L. Zhang *et al.*, "Capacity fading mechanism during long-term cycling of over-discharged LiCoO₂/mesocarbon microbeads battery," *J. Power Sources*, vol. 293, pp. 1006–1015, 2015, doi: 10.1016/j.jpowsour.2015.06.040.
- [53] F. Feng, X. Hu, L. Hu, F. Hu, Y. Li, and L. Zhang, "Propagation mechanisms and diagnosis of parameter inconsistency within Li-Ion battery packs," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 112, no. May, pp. 102–113, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.05.042.
- [54] B. Wu, V. Yufit, M. Marinescu, G. J. Offer, R. F. Martinez-Botas, and N. P. Brandon, "Coupled thermal-electrochemical modelling of uneven heat generation in lithium-ion battery packs," *J. Power Sources*, vol. 243, pp. 544–554, 2013, doi: 10.1016/j.jpowsour.2013.05.164.
- [55] L. Vegas, "(12) United States Patent (10) Patent No .: MEASUREMENT METHODS , INSULATION," vol. 2, no. 12, 2017.
- [56] M. Chen *et al.*, "Experimental analysis on the thermal management of lithium-ion batteries based on phase change materials," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 20, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/app10207354.
- [57] R. Xiong, Q. Yu, and W. Shen, "Review on sensors fault diagnosis and fault-tolerant techniques for lithium ion batteries in electric vehicles," *Proc. 13th IEEE Conf. Ind. Electron. Appl. ICIEA 2018*, pp. 406–410, 2018, doi:

10.1109/ICIEA.2018.8397751.

- [58] D. D. Larson, Geoffrey; Holmes, Curtis; Smith, Brandon; Wilson, "(12) Patent Application Publication (10) Pub . No . : US 2013 / 0344194A1," vol. 1, no. 19, pp. 2–6, 2013.
- [59] Y. C. Wang, C. S. Lee, P. C. Kuo, and Y. L. Lin, "Overcurrent protection design, failure mode and effect analysis of an electric vehicle inverter," *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, vol. 2016-May, pp. 1287–1292, 2016, doi: 10.1109/ICIT.2016.7474940.
- [60] S. S. Moosavi, A. Kazemi, and H. Akbari, "A comparison of various open-circuit fault detection methods in the IGBT-based DC/AC inverter used in electric vehicle," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 96, no. September 2018, pp. 223–235, 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2018.09.020.
- [61] B. Tabbache, M. Benbouzid, A. Kheloui, J. M. Bourgeot, and A. Mamoune, "An improved fault-tolerant control scheme for PWM inverter-fed induction motor-based EVs," *ISA Trans.*, vol. 52, no. 6, pp. 862–869, 2013, doi: 10.1016/j.isatra.2013.07.004.
- [62] S. Rothgang, M. Rogge, J. Becker, and D. U. Sauer, "Battery design for successful electrification in public transport," *Energies*, vol. 8, no. 7, pp. 6715–6737, 2015, doi: 10.3390/en8076715.
- [63] I. Komlósi, T. Z. Varga, J. Menyhárt, P. V. De Souza Araujo, and P. Araújo, "Maintenance of Electric and Hybrid Vehicles," *Int. J. Eng. Manag. Sci.*, vol. 5, no. 3, pp. 37–46, 2020, doi: 10.21791/ijems.2020.3.5.
- [64] J. Schiavone, *High Voltage Safety-Battery Electric Bus Familiarization*, no. March. Silver Spring: Transportation Learning Center, 2020.
- [65] "Battery module connectors." <https://www.kostal.com/en-gb/innovation/hv-batteriemodulverbinder/> (accessed Mar. 25, 2022).

Comentado [AEPA13]: REVISAR EL FORMATO DE LETRA

ANEXOS

Anexo A. Manual de procedimiento de inspección de motor eléctrico

Comentado [AEPA14]: REVISAR LA FORMA DE IDENTIFICAR LOS ANEXOS. SIN SON NUMERO O LETRAS

A.1 Procedimiento inspección arnés de conexión motor eléctrico

- Este proceso permite prevenir perdidas intermitentes tanto de comunicación como de energía, además de constatar de forma visual el estado físico de los elementos. (Fallas a prevenir sobrecalentamiento, desgaste de materiales)
- Previo a intervenir es importante utilizar equipo de seguridad personal para manipulación de elementos de alta tensión
- Cerciorarse que el motor eléctrico se encuentre des energizado
- Retirar tapas protectoras de tren de potencia
- Inspección visual del estado del aislamiento
- Constatación flexibilidad de material aislante
- Constatación de correcta sujeción de arneses

A.2 Procedimiento Verificación Resistencia Enmallado Estator

- Este procedimiento permite conocer el estado del enmallado del estator. (Fallas a prevenir: falla enmallado estator, desgaste de materiales)
- Desconectar conexiones de motor eléctrico
- Constatar que los bornes se encuentren sin rastro de sulfatación y completamente fijos
- Identificar las líneas de alimentación (fase, neutro y masa)
- Verificar que ninguna de las líneas de fase del motor tenga continuidad entre sí.
- Utilizar un multímetro en escala de continuidad (alerta sonora)
- Identificar la línea de fase del estator y ubicar una de las puntas del multímetro
- Ubicar la otra punta del multímetro en una superficie metálica(conexión a masa) si no se acciona la alerta sonora(continuidad) será sinónimo que el enmallado no se encuentra aterrizado, caso contrario será un indicativo que el mismo se encuentra en cortocircuito, por lo cual será necesario rebobinarlo para que el motor pueda funcionar,
- De no obtener continuidad en la prueba anterior, se procederá a cambiar la graduación del multímetro, en escala de resistencia (Ω) y se medirá el valor del enmallado, los valores varían en relación a las prestaciones del motor, pero la referencia que hay que tomar en cuenta es que un motor en perfecto estado

tendrá una resistencia en kilo ohmios($K \Omega$), mientras que si tiene una resistencia baja, será un indicativo que el motor eléctrico está próximo a quedar inoperativo. Esto se traduce que el estado de vida útil de un motor eléctrico será directamente proporcional al valor de resistencia, mientras este sea más alto, el motor estará en mejores condiciones.

A.3 Procedimiento verificación de resistencia de aislamiento del enmallado de estator

- Este procedimiento nos permite conocer en base a la resistencia el estado general de motor eléctrico, previniendo un sobreesfuerzo del mismo. (fallas a prevenir: falla estator, desgaste de materiales)
- Desconectar conexiones de motor eléctrico
- Constatar que los bornes se encuentren sin rastro de sulfatación y completamente fijos
- Identificar las líneas de alimentación (fase, neutro y tierra)
- Verificar que ninguna de las líneas de fase del motor tenga continuidad entre sí.
- Utilizar un megóhmetro en escala de $K \Omega$
- Ubicar la punta positiva y negativa del megóhmetro en el motor eléctrico respectivamente
- Dependiendo del tipo de megóhmetro se dará los intervalos de tiempo en los cuales se generará voltaje, los cuales estarán en un promedio de entre 2 a 60 segundos
- Para la primera prueba se suministrará un voltaje de 250, posterior de 500 y dependiendo la escala del megóhmetro y el voltaje con el que trabaja el motor eléctrico de 1000 hasta 5000GV
- Al realizar esta medición, el valor de la resistencia puede variar, lo que dará una referencia del estado real del enmallado. Dependiendo del valor reflejado podremos tomar como referencia el estado del enmallado, pudiendo clasificarse de la siguiente manera:
 - Ohmios(Ω): enmallado en mal estado
 - Kilo ohmios($K\Omega$): estado normal
 - Mega o Giga Ohmio ($K-G \Omega$): Excelente estado
- De reflejar un valor de resistencia baja, inspección el estado de la estructura del motor eléctrico, ya que si el mismo no se encuentra sellado herméticamente y presenta alguna fisura puede ser que el bajo valor de resistencia se deba a la

presencia de humedad, lo que puede generar una alta posibilidad de generar un cortocircuito a futuro.

- Como adicional se puede desacoplar el motor eléctrico y revisar de manera visual el estado del enmallado y constatar que el mismo no cuente con señales de fricción con el rotor, al a vez se deberá realizar un barnizado del mismo, para garantizar que el mismo permanezca aislado y prevenir un cortocircuito.

A.4 Procedimiento Verificación estado de rodamiento

- Este procedimiento nos permite conocer el estado de rodamientos a partir de pruebas de funcionamiento, donde se preverá constatar el estado de los mismos, a la vez de evitar un excesivo juego axial por su desgaste. (Fallas a prevenir: Exceso de vibraciones, falla de rotor, desgaste de material)
- Utilización scanner automotriz
- Seleccionar opción Knock sensor (sensor de golpeteo)
- Encender el vehículo
- Realizar prueba de ruta
- Inspeccionar los valores que genera el sensor (referirse al manual de mantenimiento para obtener referencia de valores) al tener un alto voltaje de referencia será un indicativo de un exceso de vibraciones en el motor, pudiendo atribuirlo al estado de los rodamientos
- Tomar referencia del kilometraje de funcionamiento del vehículo y el año de fabricación del mismo, a manera referencial los rodamientos de uso industrial, tiene un promedio de tiempo de vida útil de aproximadamente 10 años (revisar patente de motor)
- De ser el caso realizar una prueba dinámica, y de manera auditiva percibir si existe algún ruido extraño cuando el motor eléctrico entra en funcionamiento, para este punto se puede utilizar herramientas de medición, tanto auditiva como de vibraciones y referenciarse en el manual de fabricante para saber si los valores dados se encuentran dentro de las tolerancias del vehículo.

A.5 Procedimiento verificación visual estado carcasa protectora

- Este procedimiento nos permite prevenir el deterioro de la estructura externa del motor eléctrico. (Fallas a prevenir: Desgaste de materiales, exceso de vibraciones)
- Utilización equipo de seguridad personal para manipulación de elementos de alta tensión

- Cerciorarse que el motor eléctrico se encuentre desenergizado
- Retirar tapas protectoras de tren de potencia
- Inspección visual del estado de la carcasa del motor eléctrico
- Constatación de presencia de corrosión o fisuras alrededor de la estructura
- Inspección del torque de pernos de sujeción de carcasa protectora (referirse a manual de mantenimiento para aplicar torque referencial)
- Utilización de equipo de medición de vibraciones y sonidos para una constatación que el mismo funcione dentro de los rangos correctos.

A.6 Procedimiento verificación visual estado soportes de apoyo motor eléctrico y mecanismo de transmisión

- Este procedimiento nos permite prevenir un exceso de vibraciones en el sistema, además de prevenir el deterioro total de soportes de apoyo, lo que servirá para reemplazarlos en caso de presentar alguna anomalía. (Fallas a prevenir: Desgaste de elementos, exceso de vibraciones)
- Ubicar el vehículo en una fosa a desnivel
- Apagar el vehículo
- Ingresar a la fosa e inspección ayudado de una linterna
- Visualizar presencia de cristalización, fisuras o desgaste completo de elementos de apoyo de motor eléctrico
- Visualización presencia de cristalización, fisura o desgaste completo de elementos de apoyo mecanismo de transmisión (en caso de montarlo)
- Inspección de torque de pernos de sujeción (referirse al manual de mantenimiento para conocer torque específico a aplicar)
- Utilización de barra, aplicar leve presión a los elementos de sujeción, y apreciar si los mismos llegan a ceder o permanecen fijos.
- De ser el caso ubicar el vehículo para realizar una prueba dinámica, y cerciorarse que no exista un exceso de movimiento del motor eléctrico en funcionamiento, de presenciar un exceso de vibraciones, realizar acciones correctivas.

A.7 Procedimiento verificación funcionamiento sensores motor eléctrico

- Este procedimiento nos permite prevenir problemas de comunicación de los sensores, a la vez que se evite fallos de energía relacionados con conexiones flojas. (Fallas a prevenir: falla de comunicación, falla de energía, exceso de vibraciones, falla de rotor, falla enmallado estator, sobrecalentamiento)

- Ubicar el vehículo en contacto (verificar que todas las luces en el tablero de instrumento se encuentren encendidas)
- Utilizar scanner automotriz (dependiendo la marca variará la denominación) seleccionar la opción diagnóstico de todos los sistemas.
- Verificar la existencia de códigos DTC (presentes o pasivos), en el caso de encontrar algún código DTC se deberá realizar un diagnóstico más profundo para identificar la falla de dicho inconveniente (acción correctiva)
- De no encontrar ningún código DTC presente se deberá seleccionar la opción datos en tiempo real, para de este modo observar las señales que emiten los sensores que monitorean el motor eléctrico (sensor de temperatura, revoluciones y módulo de aceleración) y realizar una comparativa de los valores que deben emitir estos sensores (en cuanto a rangos de funcionamiento, los mismos serán específicos de cada marca de vehículo y serán los valores que sebera referenciar).

Anexo B. Manual de procedimiento de inspección de la transmisión

B.1 Procedimiento verificación estado caja reductora

- En el caso de utilizar una configuración por eje cardan, se deberá referenciar el juego axial que podría existir en el semi eje, además de verificar el estado de las crucetas y bujes del mismo, para realizar dicha prueba bastara con manipular con la mano el eje, de apreciar que no existe resistencia al momento de realizar el movimiento, será un indicativo que el elemento debe ser reemplazado, de igual forma si presenta ruidos o vibraciones al momento de entrar en funcionamiento será un indicativo que debe ser inspeccionado y reemplazado.
- Dependiendo del kilometraje del vehículo, se optará por realizar el cambio de aceite del mecanismo reductor.
- Revisar el estado del elemento enfriador de aceite, observar si el mismo no se encuentra deformado o con señales de filtración. Forzar el encendido de la bomba de aceite y notar la existencia de algún ruido anormal, de ser el caso desmontar la bomba y reemplazar.
- Inspeccionar el estado del cojinete de eje transversal y horquilla del eje de transmisión, si presenta ruidos extraños al momento de realizar movimiento deberán ser lubricados (utilizar grasa lubricante de uso automotriz, capaz de soportar altas temperaturas)
- Posterior a ello realizar prueba de ruta, evaluar rendimiento de cambio de velocidad (referirse al tablero de vehículo y referenciar calores de velocidad y revoluciones) si se llega a apreciar sacudones o sonidos extraños al realizar el cambio de velocidad será un indicativo de algún inconveniente en el mecanismo.
- Verificar que el vehículo trabaje en un rango aceptable de revoluciones (entre 3500 a 4000 RPM) posterior a este rango puede existir presencia de algún inconveniente con el mecanismo reductor.

B.2 Procedimiento verificación Variador de Velocidad

- Este procedimiento nos permitirá constatar el estado de reacción del variador de velocidad, y prevenir problemas de sobrecalentamiento provocado por revoluciones o torque fuera de rangos. (Fallas a revenir: sobrecalentamiento, desgaste de elementos)
- Utilización de escáner automotriz, seleccionar prueba de sensores y actuadores en tiempo real. (sensor de temperatura, bloqueo de estacionamiento, módulo selector de marchas, ABS)

- Realizar prueba de ruta, monitorear el intervalo de reacción del variador de velocidad, en función de la velocidad y las revoluciones, si se experimenta que el vehículo trabaja a un alto rango de revoluciones (4000 a 4500 RPM) será una referencia que existe algún inconveniente con el variador de velocidad y deberá ser inspeccionado y reemplazado de ser el caso (referenciar valores del sensor en el manual de mantenimiento del vehículo), al ser un motor eléctrico insonoro, si se logra apreciar alguna señal sonora, será un indicativo que el mismo se encuentra trabajando al límite de capacidad.

B.3 Procedimiento verificación sistema de refrigeración

- Este procedimiento permite prevenir fallas por sobrecalentamiento del sistema, seas estas relacionadas con el líquido refrigerante o aceite de lubricación (según tecnología del vehículo) lo que a la vez permita mitigar problemas de desgaste de los elementos móviles. (Fallas a prevenir: Sobrecalentamiento, falla de lubricación, desgaste de elementos)
- Como primer punto Deberá constatar el kilometraje del vehículo para referenciarse si se cumple con el intervalo requerido para la intervención preventiva o de igual forma si amerita realizar un recambio de líquido refrigerante o aceite lubricante según corresponda. (dependerá de la tecnología montada en el sistema para aplicar cualquiera de estos dos casos)
- Realizar una inspección visual del estado del circuito de refrigeración, a fin de constatar que todo el sistema se encuentre herméticamente sellado, ante la presencia de algún rastro de fuga de refrigerante realizar acciones correctivas.
- Mediante la utilización de un escáner automotriz, seleccionar la opción diagnóstica de sistemas (elegir la opción de la transmisión) y referenciar el valor de presión al que está trabajando la bomba de aceite y de igual manera monitorear la presión a la que está trabajando el enfriador de aceite. También se puede realizar una constatación de la temperatura a la que se encuentra el enfriador, mediante la utilización de una cámara térmica, si se constata que no existe un cambio en la temperatura del mismo, será un indicativo que el mismo presenta algún inconveniente de funcionamiento.

Comentado [AEPA15]: Referenciar

Anexo C. Manual de procedimiento de inspección de baterías de almacenamiento

C.1 Comprobación operación módulo controlador de baterías de almacenamiento

Esta actividad se propone para la falla FBT-10.

- Seleccionar la posición del botón de encendido en contacto, esperar un intervalo de aproximadamente 10 segundos antes de ingresar el escáner de diagnóstico
- Indistinto a la marca del bus eléctrico, seleccionar la opción del escáner que referencie la función de autodiagnóstico de acumuladores de alta tensión, refiriéndose a las baterías de almacenamiento
- Una vez ingresado a ese módulo de información, revisar datos relacionados a la temperatura (la cual deberá tener un rango que no sobrepase los 30°C), estado de carga (la referencia de capacidad de almacenamiento de las baterías) y rangos referenciales de entrada y salida de voltaje de las baterías de almacenamiento de energía (referencialmente trabajan en rangos de 360 a 400 Voltios). En el caso del estado de carga el valor será referencial, pues se deberá realizar otro procedimiento para diagnosticar correctamente si las celdas de las baterías están reteniendo la carga eléctrica.
- De observarse valores irregulares la primera opción será revisar el estado del sensor de temperatura de batería, el sensor de capacidad de carga se encuentre operando correctamente, de ser que funcionen correctamente, el inconveniente estará relacionado con el módulo controlador de baterías, el cual deberá ser reemplazado para garantizar un correcto funcionamiento.

C.2 Verificación estado de carga y descarga baterías de almacenamiento

Actividad propuesta para las fallas FBT-3 y FBT-4.

- Con el vehículo en contacto, utilizar el escáner automotriz y seleccionar la opción acumulador de alta tensión (refiriéndose a baterías de almacenamiento), en esta sección se podrá analizar el voltaje de cada una de las celdas, a la vez de poder tener una referencia si las mismas están funcionando correctamente o a su vez si existe algún historial de DTC relacionado con las celdas.
- En el caso que presente algún código DTC, ubicar la opción monitor de datos en el escáner automotriz e ir verificando el voltaje de cada una de las celdas, además será importante el poder relacionar la fluctuación que se da entre las

mismas, e identificarlas para conocer el estado de las mismas. Dentro de las fluctuaciones más convencionales pueden darse en un patrón de escalera (a una secuencia de cada 3 celdas que existirá la fluctuación) o que la diferencia de voltaje entre las celdas adyacentes fluctuó asimétricamente.

- De darse este último paso la acción a seguir es inspeccionar internamente el grupo de celdas, antes de realizar dicha acción será importante desconectar el circuito de alta tensión tomando en consideración todas las precauciones al momento de manipular un circuito de alta tensión.
- Una vez desenergizado el circuito y desmontado la tapa protectora, proceder a revisar si el arnés de conexión se encuentra conectado correctamente, a la vez de revisar que el mismo no presente rastro de polvo o partículas extrañas que impidan conexión correcta, adicional a ello inspeccionar el estado de pernos de sujeción de cada una de las celdas, con el fin de ir descartados criterios.
- En el caso de que no se encontró nada extraño en el proceso anterior, revisar la continuidad del conector de la batería de almacenamiento y el módulo controlador de baterías, referenciarse en el manual de servicio para ubicar cada uno de los pines del conector en referencia a las celdas, en el caso de que no exista continuidad en alguno de los pines, reparar el elemento defectuoso o de ser el caso reemplazar el arnés de conexión, si se encuentra que existe continuidad en todos los pines e optara por reemplazar el módulo de baterías de almacenamiento por completo, ya que el problema de fluctuación puede desembocar en fallas de retención de carga por parte de la celdas, o inclusive que el inconveniente sea más agudo, provocando que una mayor cantidad de celdas empiecen a fluctuar sus valores.

C.3 Comprobación de voltaje de baterías de almacenamiento de energía

Actividad propuesta la para las fallas FBT-5 y FBT-6.

- Seleccionar el vehículo en la posición de contacto, posterior ello utilizar el escáner automotriz en la opción de Comprobación de datos pantalla congelada
- Posterior a ello evidenciar la prevenida de códigos DTC, sea en estado activo o pasivo
- De manera manual calcular el estado de voltaje referencial promedio de cada una de las celdas, para realizar esta acción se debe realizar una ecuación matemática:

$$\text{Voltaje de celda promedio} = \frac{\text{Voltaje baterías de almacenamiento}}{\text{Número de Celdas}}$$

en donde se dividirá el voltaje total del conjunto de baterías de almacenamiento para el número de celdas que existan en el conjunto (referencialmente la tendencia de los fabricantes es de dotar de 96 celdas por unidad acumuladora).

- Realizada esta operación Matemática se deberá identificar el voltaje promedio tanto mínimo como máximo de las celdas. Realizar una comparativa entre estos dos resultados y determinar cuál promedio tiene mayor fluctuación. Adicionalmente será importante revisar el historial de reparación, con el fin de constatar si en algún momento existió un reemplazo de alguna celda.
- De ser el caso que exista una pronunciada tendencia a no estar en tantos promedios de voltaje, se deberá reemplazar todo el conjunto de baterías de almacenamiento.

C.4 Inspección perdida de voltaje de celdas

Actividad propuesta la para las fallas FBT-7 y FBT-8

- Seleccionar el vehículo en posición de contacto, es decir que todos los testigos del tablero de instrumentos se encuentren encendidos
- Utilizar el escáner automotriz y seleccionar la opción soporte de trabajo (dependiendo la marca de vehículo puede cambiar la denominación de esta opción), a continuación, seleccionar la opción Inspección de pérdida de voltaje y seleccionar la opción empezar, en donde se realizará un análisis de estado de las baterías de almacenamiento para encontrar algún indicio de este inconveniente.
- Una vez realizado el análisis el Escáner mostrará datos del voltaje mínimo de las celdas; el rango estándar en algunos fabricantes es alrededor de 3,71 mV.
- Si los valores están por debajo de esta referencia se deberá realizar una comprobación adicional, en la cual se deberá descargar el conjunto de baterías de almacenamiento hasta que lleguen a dicho rango de voltaje, esta acción se la realiza a través del escáner automotriz.
- Antes de realizar este procedimiento será necesario cambiar la posición de encendido a listo para conducir y posterior a ello activar todos los consumidores del vehículo.
- Dependiendo el fabricante existen diferentes periodos de tiempo que se manejan para realizar esta acción, referencialmente los valores de tiempo se

encuentren entre los 20 a 230 minutos, el lapso de tiempo dependerá de la cantidad de carga disponible en las baterías de almacenamiento, este porcentaje será visible tanto en el escáner automotriz, así como en el tablero de instrumentos, en algunos vehículos puede estar referenciado por un número de segmentos iluminados que darán la referencia del porcentaje de carga que poseen las baterías, y a partir de ello se tomara como referencia el tiempo empleado para la descarga de energía,

- Una vez realizada esta intervención, será necesario realizar la comprobación nuevamente para identificar si todas las celdas están trabajando en el rango correcto mínimo de voltaje, de persistir el problema se deberá registrar el N.º de celda para su identificación, a partir de ellos será recomendable el verificar el historial de mantenimientos del elemento y si el mismo ya a sido reemplazado o no, para a partir de este criterio optar por reemplazar la celda en mal estado o todo el conjunto de baterías de almacenamiento.
- También será importante monitorear el estado de condensación, para este punto será importante referenciarse en los valores del sensor de índice de humedad de batería, el cual indicará si la misma está trabajando dentro de los rangos permitidos, o por el contrario existe alguna anomalía en este procedimiento. Un exceso de condensación generara una longevidad prematura de las baterías de almacenamiento de energía. También podrá tener incidencia en un aumento de la temperatura de la batería.

C.5 Comprobación de temperatura de baterías de almacenamiento

Actividad propuesta la para las fallas FBT-9.

- Como primer punto se utilizará un escáner automotriz, seleccionado la opción datos en vivo se procederá a monitorear el estado de los diversos sensores relacionados con las baterías de almacenamiento, en el caso del sensor de temperatura se debe revisar que su rango de trabajo no supere los 30°C, de darse el caso abra que realizar una inspección interna al sistema para determinar la causa del inconveniente.
- El primer punto a revisar será el estado del sensor de temperatura de batería, comenzado por el arnés de conexión, revisando que no presente ningún corte en los cables de comunicación. Posterior a ello será importante el realizar una inspección visual al sensor y realizar una comprobación individual de cada uno de los sensores. En algunos casos las baterías de almacenamiento cuentan con

3 sensores de temperatura, en la mayoría de fabricantes cuentan con dos sensores ubicados al lado izquierdo, y uno al lado derecho.

- Luego de desmontarlos realizar una comprobación de simulación de temperatura, en la cual se deberá apreciar si el sensor percibe el cambio de temperatura y emite la ser correcta, de apreciar que la temperatura no es la precisa se diagnosticará falla en el sensor de temperatura y deberá ser reemplazado para corregir el inconveniente y así evitar daños prematuros en las baterías de almacenamiento por sobre temperatura de trabajo.

Anexo D. Calendarización de mantenimiento

D.1 Calendarización de mantenimiento propuesta

Motor	Frecuencia [x10000 km]																														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
Inspección arnés de alta y baja tensión												X												X							
Inspección bornes y comprobación de fases motor eléctrico						X						X					X							X							X
Inspección soportes de motor y carcasa						X						X					X							X							X
Comprobación de polaridad negativa de conexiones eléctricas						X						X					X							X							X
Inspección hermeticidad motor eléctrico						X						X					X							X							X
Reajuste pernos de sujeción, coraza y bornes de motor eléctrico	X	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Revisión tarjeta de control electrónico												X												X							X
Verificación Resistencia enmallado estator												X												X							X
Verificación Resistencia de aislamiento de enmallado estator												X												X							X

Motor	Frecuencia [x10000 km]																													
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
Verificación estado de rodamientos y cojinetes																														X
Inspección estado rotor, estator, bobinas y barnizado																														X
Inspección estado carcasa protectora						X					X						X							X						X
Verificación temperatura de trabajo motor eléctrico					X					X				X					X							X				X
Prueba de torque y potencia (ciclo estático o dinámico)												X												X						
Transmisión																														
Inspección visual estado de transmisión						X					X						X							X						X
Verificación nivel de aceite de lubricación												X												X						
Inspección enfriadora de Aceite												X												X						
Inspección bomba de aceite							X						X							X									X	
Inspección líneas de refrigeración												X												X						
Reposición líquido refrigerante						X					X						X							X						X
Diagnostico eléctrico variador de velocidad							X						X							X									X	
Respuesta de cambio de Marcha (D, N y R)				X				X			X				X				X				X					X		

Motor	Frecuencia [x10000 km]																													
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
Inspección de vibración en funcionamiento				X				X				X				X				X				X				X		
Revisión de estanqueidad (fugas de aceite)												X												X						
Bateria																														
Revisar la carcasa de la batería en búsqueda de deformaciones o punciones de la batería, olores extraños, incremento del volumen del paquete de baterías.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección pernos de sujeción de celdas																				X										
Comprobar los pernos de sujeción del paquete de baterías al marco (42 Nm).	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificación visual del arnés de baja y alto voltaje, en búsqueda de daños.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificación que los conectores estén fijos y no flojos.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificación que no exista presencia de agua dentro del paquete de baterías.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Motor	Frecuencia [x10000 km]																														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
Inspección índice de humedad conjunto de baterías.												X																			
Inspección de estado carga	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Comprobación voltaje promedio de las celdas.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Medición rangos de entrada y salida de voltaje						X						X					X							X							X
Verificación de temperaturas promedio de las celdas.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Reemplace el refrigerante.												X												X							
Medición de continuidad (resistencia menor a 1 ohm) entre celdas y pines																		X													
Inspección de estado arnés de conexión, en búsqueda de cambios físicos en los cables, como pérdida de flexibilidad, cambio de color.												X												X							
Comprobación Perdida de voltaje												X												X							
Procedimiento de Descarga de baterías																				X											
Inspección estado de vida útil de baterías (SOH)												X												X							
Inspección estado de carga de baterías (SOC)												X												X							

<i>Motor</i>	Frecuencia [x10000 km]																														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
<i>Inversor</i>																															
Verificación de continuidad eléctrica de las fases al motor eléctrico. Comprobar que las fases del motor eléctrico no estén cortocircuitadas entre sí. Comprobar que no las fases no estén conectadas a tierra.												X												X							
Inspección visual del cableado y las conexiones eléctricas												X												X							
Medición rangos de entrada y salida de corriente						X						X					X							X							X

D.2 Formato de calendarización de tareas de mantenimiento (vacío)

<i>Motor</i>	Frecuencia [x10000 km]																														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
Inspección arnés de alta y baja tensión																															
Inspección bornes y comprobación de fases motor eléctrico																															
Inspección soportes de motor y carcasa																															
Comprobación de polaridad negativa de conexiones eléctricas																															
Inspección hermeticidad motor eléctrico																															
Reajuste pernos de sujeción, coraza y bornes de motor eléctrico																															
Revisión tarjeta de control electrónico																															
Verificación Resistencia enmallado estator																															
Verificación Resistencia de aislamiento de enmallado estator																															
Verificación estado de rodamientos y cojinetes																															

	Frecuencia [x10000 km]																														
Motor	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
Inspección estado rotor, estator, bobinas y barnizado																															
Inspección estado carcasa protectora																															
Verificación temperatura de trabajo motor eléctrico																															
Prueba de torque y potencia (ciclo estático o dinámico)																															
Transmisión																															
Inspección visual estado de transmisión																															
Verificación nivel de aceite de lubricación																															
Inspección enfriadora de Aceite																															
Inspección bomba de aceite																															
Inspección líneas de refrigeración																															
Reposición líquido refrigerante																															
Diagnostico eléctrico variador de velocidad																															
Respuesta de cambio de Marcha (D, N y R)																															
Inspección de vibración en funcionamiento																															

	Frecuencia [x10000 km]																														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
Motor																															
Revisión de estanqueidad (fugas de aceite)																															
Batería																															
Revisar la carcasa de la batería en búsqueda de deformaciones o punciones de la batería, olores extraños, incremento del volumen del paquete de baterías.																															
Inspección pernos de sujeción de celdas																															
Comprobar los pernos de sujeción del paquete de baterías al marco (42 Nm).																															
Verificación visual del arnés de baja y alto voltaje, en búsqueda de daños.																															
Verificación que los conectores estén fijos y no flojos.																															
Verificación que no exista presencia de agua dentro del paquete de baterías.																															
Inspección índice de humedad conjunto de baterías.																															
Inspección de estado carga																															

<i>Motor</i>	Frecuencia [x10000 km]																														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
Comprobación voltaje promedio de las celdas.																															
Medición rangos de entrada y salida de voltaje																															
Verificación de temperaturas promedio de las celdas.																															
Reemplace el refrigerante.																															
Medición de continuidad (resistencia menor a 1 ohm) entre celdas y pines																															
Inspección de estado arnés de conexión, en búsqueda de cambios físicos en los cables, como pérdida de flexibilidad, cambio de color.																															
Comprobación Perdida de voltaje																															
Procedimiento de Descarga de baterías																															
Inspección estado de vida útil de baterías (SOH)																															
Inspección estado de carga de baterías (SOC)																															
<i>Inversor</i>																															

	Frecuencia [x10000 km]																														
<i>Motor</i>	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
Verificación de continuidad eléctrica de las fases al motor eléctrico. Comprobar que las fases del motor eléctrico no estén cortocircuitadas entre sí. Comprobar que no las fases no estén conectadas a tierra.																															
Inspección visual del cableado y las conexiones eléctricas																															
Medición rangos de entrada y salida de corriente																															

