



Departamento de Postgrados

Maestría en Sistemas de Propulsión Eléctrica

“Elaboración de un plan de mantenimiento del tren de propulsión y de baterías de ión-litio para el automóvil eléctrico Nissan Leaf Zero Emission”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

Magister en Sistemas de Propulsión Eléctrica

Autor:

Ing. David Santiago Luna Díaz

Director:

Ing. Diego Francisco Torres Moscoso, Mgtr.

Cuenca, Ecuador 2023

Dedicatoria:

La presente tesis va dedicada a mis amados padres: Raúl Edmundo Luna Rodríguez y Sylvia Janeth Díaz Rosero, por la dedicación y esfuerzo que realizaron para que hoy haya alcanzado esta meta, por su apoyo incondicional, por sus consejos y por aquellas palabras de aliento que supieron brindarme cuando sentía que no podía seguir adelante.

A mis hermanos: Daniel Isaac Luna Díaz y Raúl Esteban Luna Díaz, porque en este tiempo su incondicional amistad, aprecio y cariño me infundieron el aliento necesario para continuar el camino.

A mi hija, Sophie Victoria Luna Castro, que a pesar la distancia que nos separa, siempre va a ser esa fuerza que me impulse a tratar de ser mejor cada día.

Agradecimiento:

Agradecer a Dios por sobre todo, porque me ha brindado salud, paciencia y
fortaleza para seguir adelante.

A mis padres; los señores Raúl Luna y Sylvia Díaz, por su apoyo, por su tiempo,
por sus consejos, por la confianza que han vertido en mi persona, por estar ahí en
las buenas y en las malas y por ser una guía constante en mi formación
académica y personal.

A mis hermanos, Daniel Luna y Raúl Luna por su amistad y complicidad.

A mi hija, Sophie Luna, que fue el motivo por el cuál decidí continuar estudiando y
es el impulso de mis sueños y esperanzas.

A los docentes que me brindaron su apoyo y compartieron sus conocimientos, y a
través de ellos, a la Universidad del Azuay.

De igual manera, quisiera agradecer a mi tía Gloria Luna R., y a través de ella a
dos personas que a pesar de que hoy no estén en este mundo, fueron seres muy
importantes para mí, uno me regalo la oportunidad de seguir viviendo y otro se
convirtió en mi hermano por el cariño y apoyo que me supo brindar, al señor
Ingeniero José Eduardo Pérez Mendía y a su hijo Giovanny Paúl Pérez Luna, les
estaré eternamente agradecido.

Resumen

La movilidad humana a través de medios que usan combustibles fósiles como el automóvil han polucionado gravemente el ambiente en la última década; a tal punto que se ha prohibido la producción de los mismos. Por lo que los productores de automóviles han recurrido a un invento que tuvo su origen en 1828, cuando el húngaro Ányos Jedlick construyó un modelo impulsado por un motor eléctrico.

Debido al cambio de políticas de “Gestión ambiental” en la actualidad; todas las fábricas dedicadas a la construcción de vehículos han dado un giro brusco en sus planes de investigación y desarrollo y se han centrado en los “vehículos totalmente eléctricos”.

Este nuevo sistema Mecánico-eléctrico-electrónico-informático ha exigido también la imposición de nuevos métodos y procedimientos; uno de esos medios es “Los procesos de mantenimiento”, que es el objetivo fundamental del presente trabajo.

Palabras clave: Mantenimiento; vehículo eléctrico; baterías de ion litio.

Abstract

Human mobility by means that use fossil fuels, such as automobiles, has seriously polluted the environment in the last decade, to such an extent that their production has been banned. Therefore, automobile manufacturers have resorted to an invention that originated in 1828, when the Hungarian Ányos Jedlick built a model powered by an electric motor. Due to the change in "Environmental Management" policies today; all factories dedicated to vehicle construction have made a sharp turn in their research and development plans and have focused on "all-electric vehicles". This new mechanical-electrical-electronic-computerized system has also demanded the imposition of new methods and procedures; one of those means is "Maintenance processes", which is the fundamental objective of the present work.

Keywords: Maintenance; electric vehicle; lithium ion batteries.

Translated by



David Santiago Luna Díaz



ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	Introducción.....	1
2.	Normativa para procesos de mantenimiento del tren de propulsión y de la batería ion-litio de un automóvil eléctrico Nissan Leaf Zero Emission.	2
2.1	Flujogramas operacionales para procesos de mantenimiento.	2
2.2	El mantenimiento general; nociones fundamentales.	3
2.2.1	Mantenimiento correctivo o por fallas.	3
2.2.2	Mantenimiento preventivo.	3
2.2.3	Mantenimiento predictivo.	4
2.2.4	Análisis de vibraciones.....	4
2.2.5	Termografía.....	6
2.3	Mantenimiento preventivo y correctivo del tren de propulsión del Nissan Leaf ZE. .	6
2.3.1	Proceso de diagnóstico general para localizar fallos en el Nissan Leaf ZE.	8
2.3.2	Mantenimiento preventivo del tren de propulsión del Nissan Leaf ZE.....	10
2.4	Averías provocadas por el inversor (Inverter).....	11
2.4.1	Efectos físicos y químicos que inciden en el rendimiento del inversor (Inverter). 12	12
2.4.2	Proceso para el mantenimiento preventivo del inversor del Nissan Leaf ZE. ...	14
2.5	Consideraciones teórico-prácticas sobre el motor eléctrico del Nissan Leaf ZE...	15
2.5.1	Proceso para el mantenimiento preventivo del motor eléctrico del Nissan Leaf ZE. 16	16
2.6	El mantenimiento correctivo del tren de propulsión. Consideraciones	17
2.6.1	Proceso de diagnóstico previo al mantenimiento correctivo del motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.....	18
2.6.2	Mantenimiento correctivo del motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.....	19
2.6.3	Proceso para desmontar el motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.....	21
2.6.4	Despiece del motor eléctrico.....	22
2.6.5	Proceso para el despiece del motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.	24
2.6.6	Proceso para reemplazar cojinetes esféricos (Rodamientos) del motor eléctrico. 25	25
2.6.7	Proceso para determinar el estado de las bobinas del estator.....	27
2.7	Mantenimiento preventivo y correctivo de la batería de ion-litio (Pack) del Nissan Leaf ZE.....	28
2.7.1	Proceso para determinar el tipo de mantenimiento requerido por la batería Ion-Litio. 29	29
2.7.2	Proceso para revisión del encapsulado de la batería Ion-Litio del Nissan Leaf ZE. 30	30
2.8	Mantenimiento correctivo de la batería Ion-Litio del Nissan Leaf ZE.	31
2.8.1	Mantenimiento correctivo de la batería Ion-Litio del Nissan Leaf ZE.	36

3. Mantenimiento del tren de propulsión y de la batería Ion-Litio del vehículo Eléctrico Nissan Leaf ZE en base del kilometraje recorrido.	37
4. Conclusiones y recomendaciones.	40
5. BIBLIOGRAFÍA.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lectores o monitores de vibraciones [5]	4
Figura 2. Modelo espectral [6]	5
Figura 3. Extracto de la carta de Charlotte que hace referencia al desgaste de cojinetes [7]	5
Figura 4. Cuadro gráfico de vibraciones Norma ISO 10816-3:2017 [8]	6
Figura 5. Imágenes captadas por una cámara termográfica [9]	6
Figura 6. Ensamblaje del tren de propulsión del Nissan Leaf ZE [10].....	7
Figura 7. Diagrama de bloques de un BPEV	11
Figura 8. Ductos de refrigeración del inversor [10].....	12
Figura 9. Inversor con bornes sulfatados [10].....	12
Figura 10. Inversor desmontado y sin cubierta [10].....	13
Figura 11. Block del motor del Nissan Leaf ZE [10]	15
Figura 12. Diagrama del motor eléctrico desmontado y separado de sus periféricos [11] ...	15
Figura 13. Motor eléctrico despiezado de un BPEV [11]	22
Figura 15. Arquitectura del módulo del pack de baterías Ion-Litio del Nissan Leaf ZE [11]..	28
Figura 15. Batería desmontada del vehículo	31
Figura 16. Batería sin cubierta superior	32
Figura 17. Packs/bloques de la batería Ion-Litio del Nissan Leaf ZE [11].....	32
Figura 18. Interruptor de servicio (Acoplado sólo para fotografía)	33
Figura 19. Bloque 1 de la batería o bloque posterior.....	33
Figura 20. Bloque frontal.....	33
Figura 21. Polos eléctricos del módulo [11]	34
Figura 22. Aspecto externo de un módulo del pack/bloque de batería	34
Figura 23. Conexiones entre módulos y calentadores [11]	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Simbología de diagramación de procesos básicos según ISO 9001 [2]	3
Tabla 2. Lista generalizada de códigos de falla relacionadas a la batería Ion-Litio	28
Tabla 3. Cronograma de mantenimiento del tren de propulsión del vehículo eléctrico Nissan Leaf Zero Emission en base al kilometraje	38
Tabla 4. Cronograma de mantenimiento de la batería de Ión-Litio del vehículo eléctrico Nissan Leaf Zero Emission en base al kilometraje	39

1. Introducción.

La finalidad del presente documento es la de presentar un manual con información técnica y práctica que ayude a los mecánicos de los centros de mantenimiento de vehículos convencionales a involucrarse en el mantenimiento de los vehículos eléctricos de la marca Nissan, modelo Leaf equipados con pack de baterías, con el propósito de conservar o mejorar la eficiencia, la confiabilidad y la calidad de los mismos.

En la actualidad y dependiendo de la condición del vehículo eléctrico resulta complicado ofrecer un mantenimiento apropiado y en algunos casos, intentar una reparación provisional puede provocar desastres de elevados costes para los involucrados o incluso provocar el deterioro inmediato del vehículo.

La información técnica específica contenida en el presente documento es resultado de cursos online, de documentos o escritos científicos, y respaldados en el manual de taller de la marca fabricante y específicamente del "*Nissan Leaf Zero Emission*".

Algunos procesos y procedimientos que se incluyen en este documento se obtienen en base al conocimiento recopilado de expertos en el tema. Otros están basados en "buenas prácticas de mantenimiento industrial" bien establecidas y en los hallazgos resultado de la proactividad de ciertos profesionales.

Los procesos y procedimientos descritos en este documento analizan el tren de propulsión y la batería de alto voltaje (Pack), esto debido a que los demás sistemas que equipa el vehículo eléctrico (BPEV) son muy similares a los que equipa un vehículo de combustión interna (ICEV).

Se ha utilizado fotografías e imágenes muy concretas, las que se han tenido que reeditar para facilitar la rápida comprensión por parte de los consultantes de esta información; se escribe sobre nociones teórico-científicas y la relación con algunas normas internacionales para la manipulación de este innovador sistema mecánico-eléctrico y electrónico gestionado por un sistema de comunicación informático, que obliga y exige procedimientos muy puntuales, los que se alejan de la improvisación, y demandan del uso de equipo o instrumental digital especializado tanto para el diagnóstico del estado físico mecánico; como también para determinar el tipo de mantenimiento a ejecutar en caso de ser requerido.

En otras palabras, la intención principal es la de proporcionar un norte u horizonte que permita visualizar que existen medios y recursos confiables para la incursión en este nuevo universo tecnológico.

2. Normativa para procesos de mantenimiento del tren de propulsión y de la batería ion-litio de un automóvil eléctrico Nissan Leaf Zero Emission.

La fabricación de los medios de transporte sin excepción está sometida a normas internacionales que abarcan estándares de calidad (Seguridad en todos sus ámbitos); para el automóvil la norma es la ISO/TS 16949, establecida desde 1999, y la que se actualiza cada cierto periodo de tiempo, con el fin de cubrir necesidades concernientes con los avances tecnológicos y seguridad del ser humano [1].

La competencia industrial ha introducido un nuevo término en la vida útil del producto, algunos lo relacionan con el término “calidad”; y los consumidores de automóviles lo relacionan con duración y eficiencia; este particular ha obligado a plantearse los programas de “postventa”, que no es más que el buen funcionamiento de la unidad por un largo tiempo de vida del producto.

Esta actividad está regulada por la “norma de calidad ISO 9000-2015”, la que, dentro de sus requisitos, estipula el “enfoque a procesos” [2].

Como aporte a esta investigación, y solo de ser necesario, antes de cada flujograma se indicarán puntos clave al cual se rige el proceso.




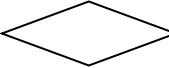



2.1 Flujogramas operacionales para procesos de mantenimiento.

Estos medios son diagramas que siguen un estricto orden, cuyos pasos o procedimientos no se pueden obviar, se rigen a secuencias que permiten determinar los modos críticos de fallo; todo dependerá del instrumental requerido y de la disciplina del técnico que la ejecuta.

Esta direccionado por flechas que parten de un inicio, ingresan y salen de otros símbolos durante el proceso, en ciertos casos son redundantes y guían al técnico hacia la causa probable que origina la falla en el automóvil, y llegan a un fin; sin embargo, en el caso de no determinar la falla es muy probable que sea dirigido a otro proceso.

Parte de la simbología empleada la puede apreciar en la tabla 1:

Tabla 1. Simbología de diagramación de procesos básicos según ISO 9001 [2]

Símbolo	Descripción
	Inicio o fin del proceso
	Entrada de problema principal (Objetivo)
	Proceso a realizar
	Bifurcador de decisión (Si o No) - (V o F)
	Conector dentro de la misma página
	Conector fuera de página
	Líneas de dirección de flujo o procedimientos

Es importante sugerir que debe tomar apuntes de los valores de verificación de medidas; ya que, en estos casos, y por estar gobernada por un sistema electrónico (software), la omisión de unas décimas en la lectura, le llevaría al fracaso.

2.2 El mantenimiento general; nociones fundamentales.

“El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene en, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas” [3].

Según la NORMA EU-EN 13360:2017 [4], de manera general los tipos de mantenimiento que existen, son:

- Mantenimiento correctivo o por fallas.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.

2.2.1 Mantenimiento correctivo o por fallas.

Se conoce de esta manera a aquel mantenimiento que se debe ejecutar cuando el equipo dejó de operar, podría decirse que cumplió su vida útil. Por lo general está definido por el costo total del conjunto contra el costo individual de las partes.

2.2.2 Mantenimiento preventivo.

Aquel que fue planificado por periodos de funcionamiento y se ejecuta durante la vida útil del equipo, para nuestro caso el automóvil. Este tipo de mantenimiento ya está

planificado por los fabricantes y viene en el manual de conducción o simplemente manual del propietario. Su aplicación se describirá en los apartados referidos al mantenimiento del automóvil.

2.2.3 Mantenimiento predictivo.

Con el mantenimiento predictivo se consigue evitar paros innecesarios del equipo, como también permite planificar el tipo de mantenimiento, riesgos potenciales, así como deducir los elementos factibles a falla, y gestionar el pedido de partes a reemplazar.

Para el mantenimiento predictivo, se establecen técnicas; tales como:

- Análisis de vibraciones.
- Termografía.
- Ultrasonido.
- Inspección visual.
- Análisis de parámetros de procesos.



Figura 1. Lectores o monitores de vibraciones [5]

Para aplicar estas técnicas es necesario disponer de equipos especiales de diagnóstico; se sugieren los siguientes equipos, como se indica en la figura 1:

- Osciloscopio de tres canales, mínimo.
- Lector de vibraciones mecánicas.
- Cámara termográfica.
- Pinza amperimétrica.
- Multímetro.

2.2.4 Análisis de vibraciones.

Es muy importante este particular en motores eléctricos, puesto que, este efecto mecánico (vibración) se producen por desgaste mecánico y por efectos eléctricos.

La mayoría de análisis se realizan en el espectro o dominio de frecuencia, mismo que se centra en definir la frecuencia sincrónica y sus armónicos, las variaciones en la amplitud de las señales se interpretan como: desalineación, desbalanceo, falta de soporte del bastidor o resonancia.

Las frecuencias que podemos observar en un espectro se dividen en tres grupos que pueden distinguirse como múltiplos de la velocidad fundamental de rotación de la máquina. Las frecuencias bajas van de 1X a 3X, las frecuencias medias van de 4X a 9X y las frecuencias altas son mayores a 10X como se puede ver en la figura 2 [6].

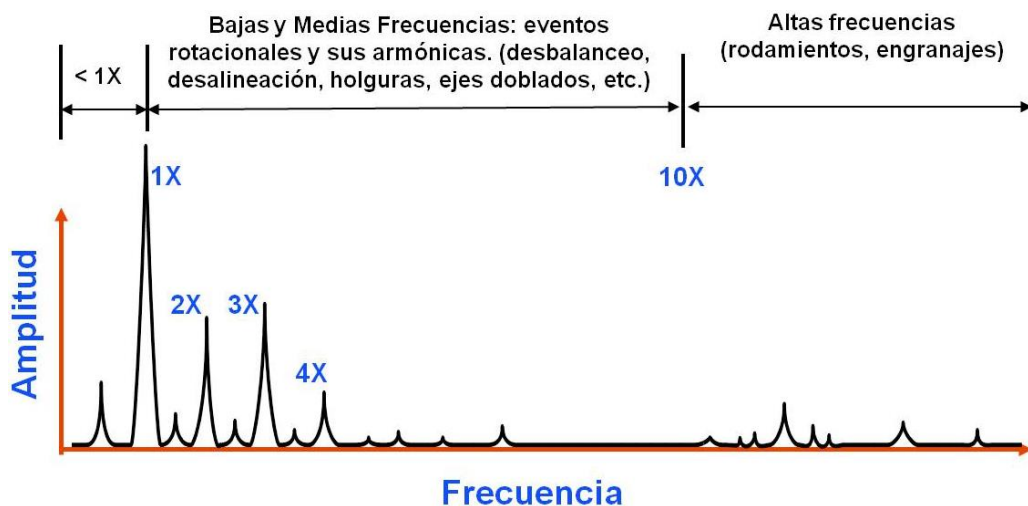


Figura 2. Modelo espectral [6]

Los rodamientos se analizan en base a las frecuencias características de las pistas, elementos rodantes y canastilla, cuyo desgaste se manifiesta como aparición de bandas laterales en estas componentes.

Para explicar de mejor manera este apartado y poder interpretar la lectura de las vibraciones, se pueden aprovechar las denominadas Cartas de Charlotte, en la figura 3 se puede apreciar el espectro típico de cojinetes con desgaste [7].

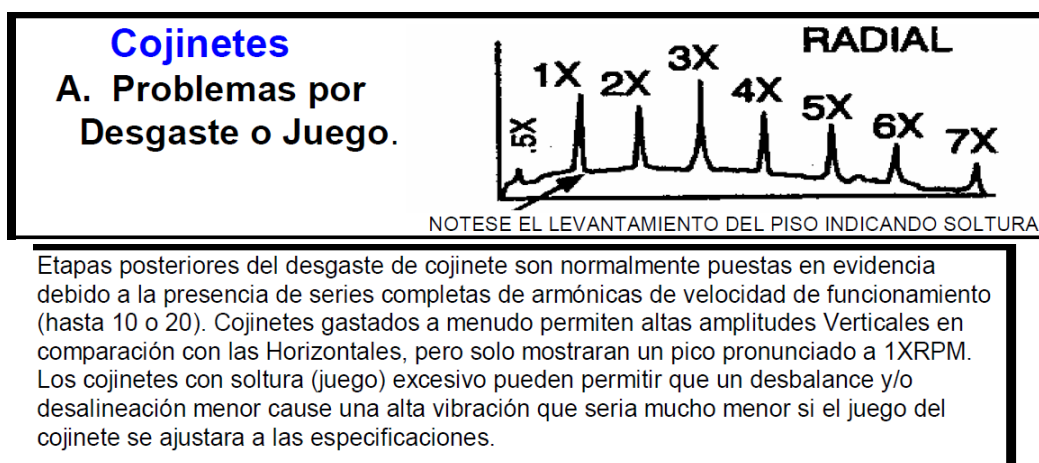


Figura 3. Extracto de la carta de Charlotte que hace referencia al desgaste de cojinetes [7]

El lector de vibración (Figura 1), está normalizado por lo que la información que proporciona está regulada por la norma (ISO-10816-3:2017), esta norma establece los umbrales mínimos permitidos en los motores eléctricos industriales, pueden ser aplicados a los motores eléctricos que están equipando a los automóviles completamente eléctricos. En la figura 4 se puede apreciar el cuadro de vibraciones según la norma ISO.

								v r.m.s. mm/s	v r.m.s. inch/s	Velocidad Vibración (2 - 1000 Hz n > 600 1/min (2 - 1000 Hz n > 120 1/min))
								11	0.433	
								7.1	0.280	
								4.5	0.177	
								3.5	0.138	
								2.8	0.110	
								2.3	0.091	
								1.4	0.055	
								0.71	0.028	
rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	Fundación		
Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P ≤ 300 kW		Máquinas Grandes 300 kW < P < 50 MW		Tipo de Máquina		
Acople directo		Eje intermedio / Poleas.		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H				
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo		

B Puesta en operación recientemente.

G Operación para largo plazo.

C Operación para corto plazo.

R Vibración causando daños.

Figura 4. Cuadro gráfico de vibraciones Norma ISO 10816-3:2017 [8]

2.2.5 Termografía.

Esta técnica se basa en la captación de calor infrarrojo irradiado por los cuerpos, y esta validada por las normas ISO 18434-1:2008, como normativa española NETA/ATS 2009. Se basa en detectar el espectro electromagnético que emite en nuestro caso un conjunto sea mecánico o eléctrico, esto se puede percibir por una cámara termográfica (Figura 5).

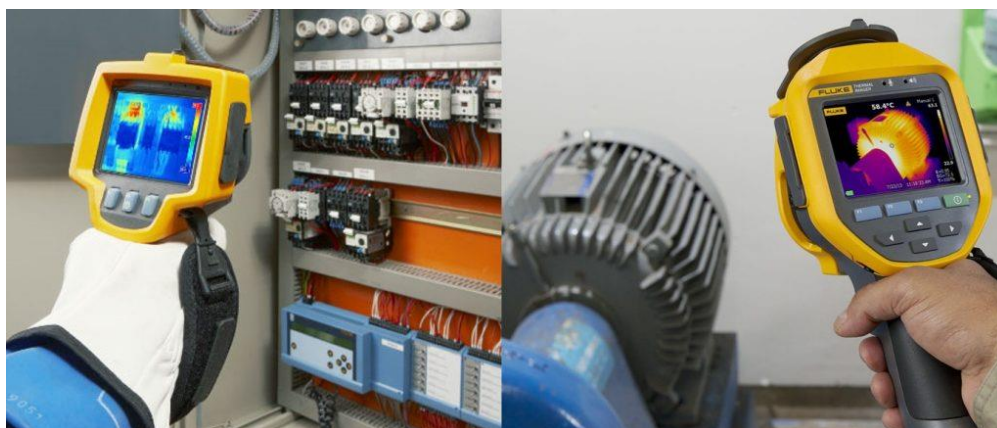


Figura 5. Imágenes captadas por una cámara termográfica [9]

2.3 Mantenimiento preventivo y correctivo del tren de propulsión del Nissan Leaf ZE.

El sistema eléctrico que permite el movimiento de un vehículo eléctrico con batería, de ahora en adelante conocido como BPEV por sus siglas en inglés.

En la figura 6, se observa el ensamblaje del tren de propulsión eléctrico-electrónico-mecánico del Nissan Leaf ZE; no se indica los elementos que conectan a las ruedas, ya que

son las mismas de cualquier auto Nissan con motor longitudinal; y estos son estrictamente mecánicos.



Figura 6. Ensamblaje del tren de propulsión del Nissan Leaf ZE [10]

El PDM (Power Delivery Module), así como el inversor están dentro de la clasificación de la electrónica de potencia, y en su interior no existen elementos mecánicos móviles. En el motor eléctrico, por lógica funcional, si tiene un elemento electromecánico móvil, como lo es el rotor.

En tanto que la caja de engranajes, es totalmente mecánica y está sumergida en un aceite lubricante especial de alta duración.

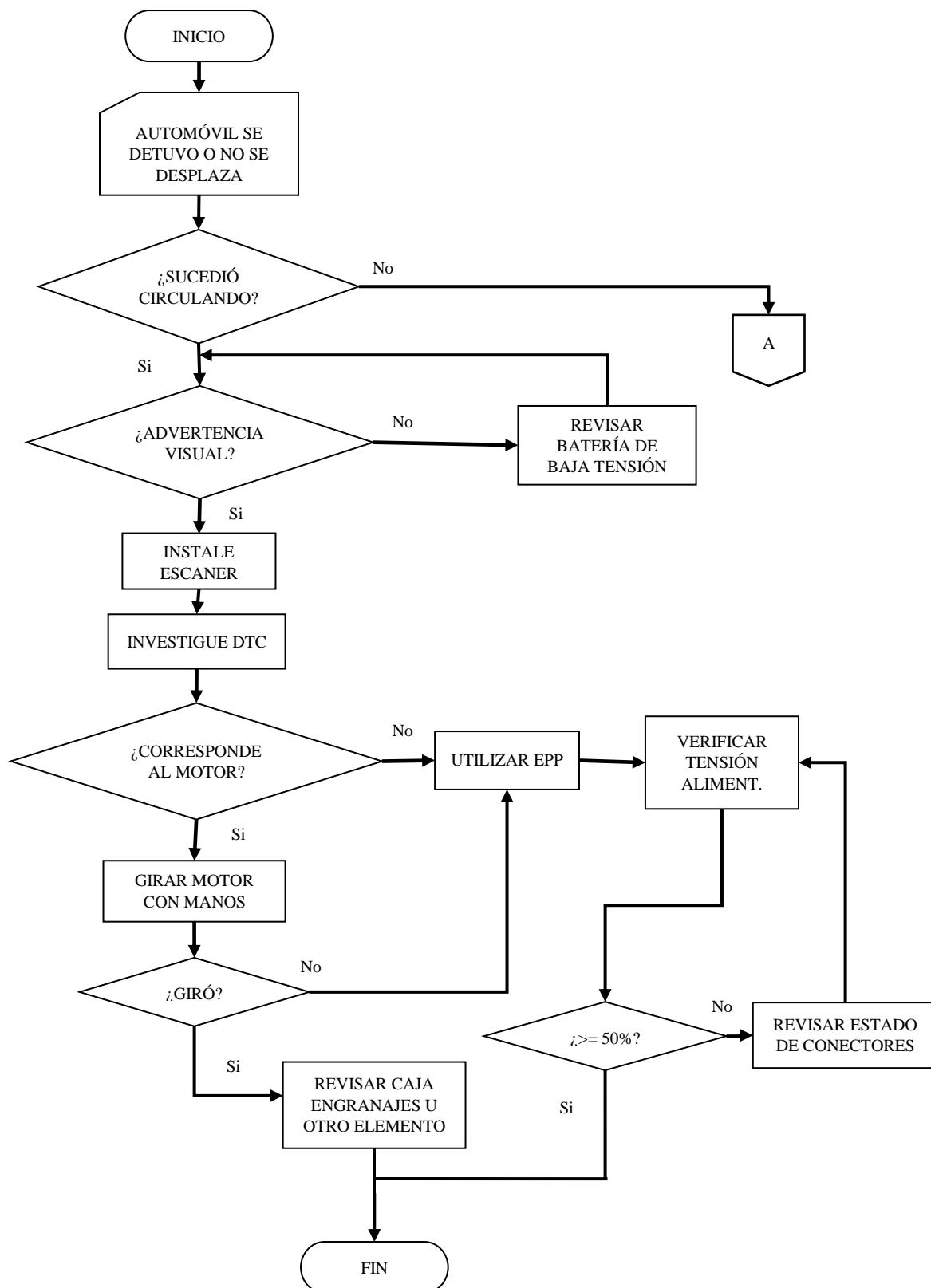
Se procede entonces a elaborar el plan de mantenimiento del tren de propulsión y de la batería de ión-litio del automóvil eléctrico Nissan Leaf Zero Emission.

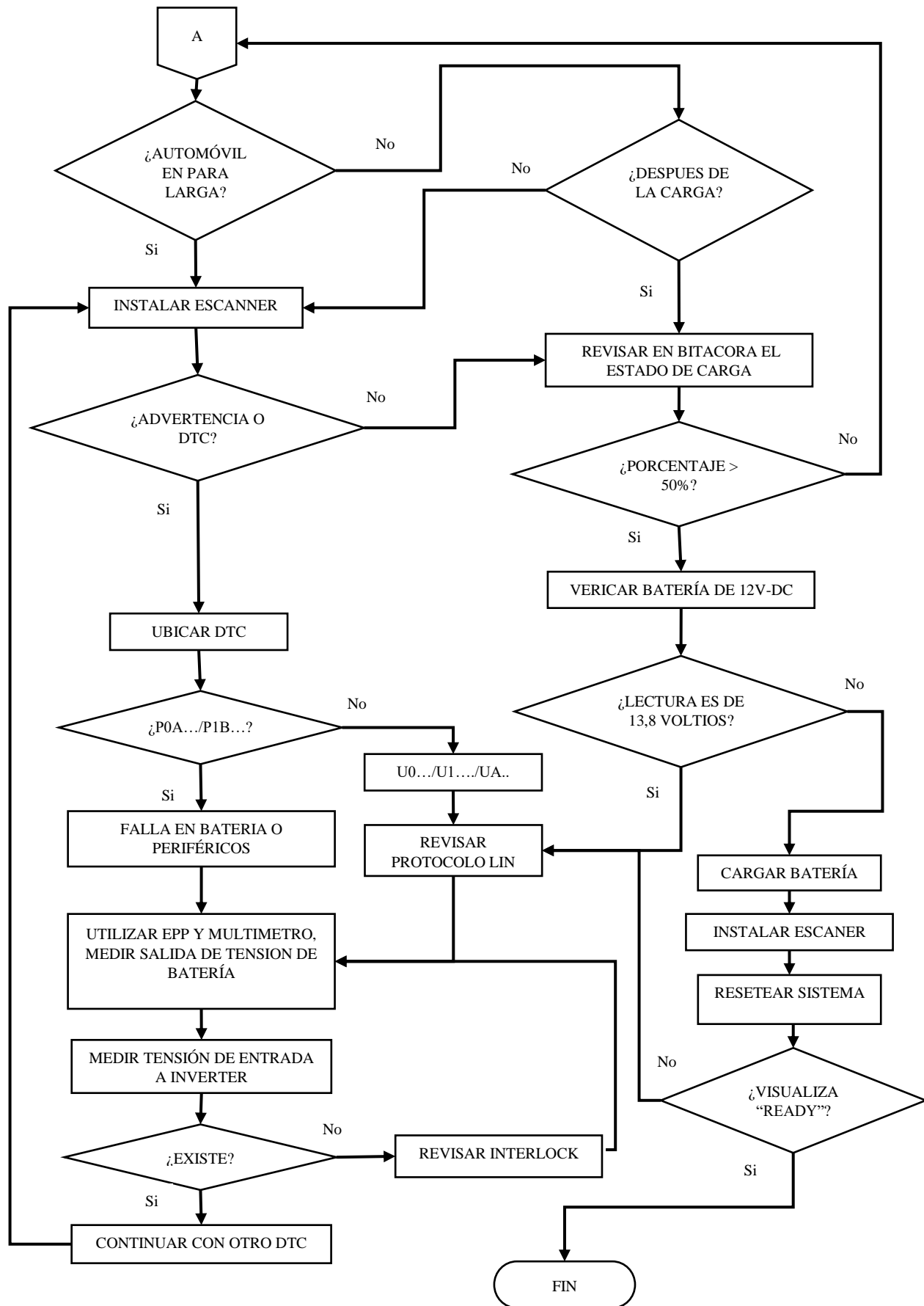
Este plan de mantenimiento contendrá además los siguientes puntos:

- 1) Establecer la normativa para procesos de mantenimiento para el motor eléctrico del Nissan Leaf Zero Emission.
- 2) Indicar el mantenimiento preventivo y correctivo del tren de propulsión y de la batería de ión-litio de un vehículo eléctrico Nissan Leaf Zero Emission.
- 3) Generar un cronograma de mantenimiento del tren de propulsión y de la batería de ión litio en un vehículo eléctrico Nissan Leaf Zero Emission, en base al kilometraje.

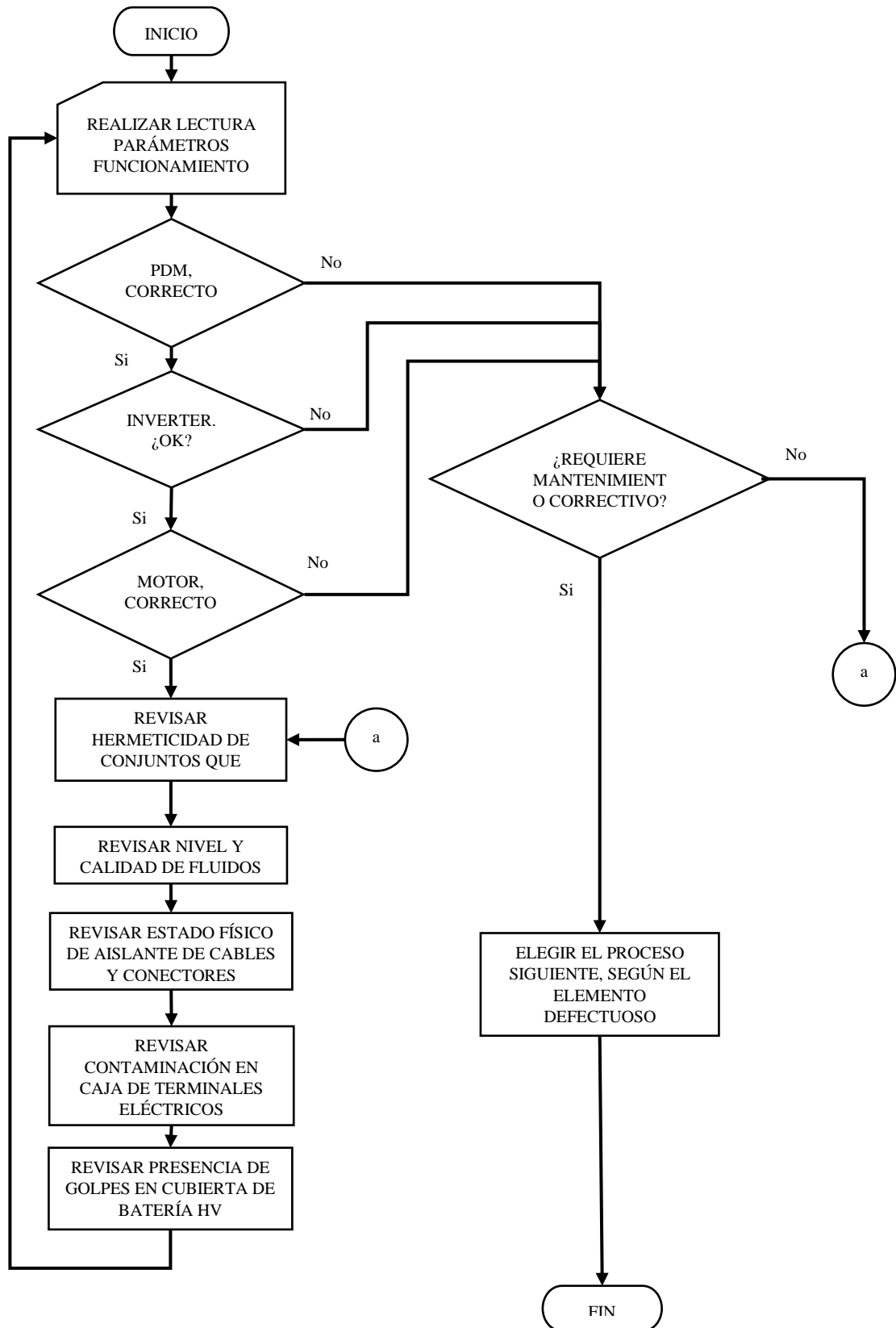
A continuación, y aplicando recomendaciones del fabricante, como sugerencias técnicas de profesionales que se dedican al mantenimiento, se procede a elaborar el flujograma que describe el proceso general para un diagnóstico electrónico, previo a la intervención sobre el vehículo como tal. Ver página siguiente.

2.3.1 Proceso de diagnóstico general para localizar fallos en el Nissan Leaf ZE.





2.3.2 Mantenimiento preventivo del tren de propulsión del Nissan Leaf ZE.



2.4 Averías provocadas por el inversor (Inverter).

Como se puede deducir este componente es de significativa importancia en un automóvil eléctrico, en el esquema de bloques de la figura 7 se puede apreciar una simplificada topología del sistema propulsor del BPEV.

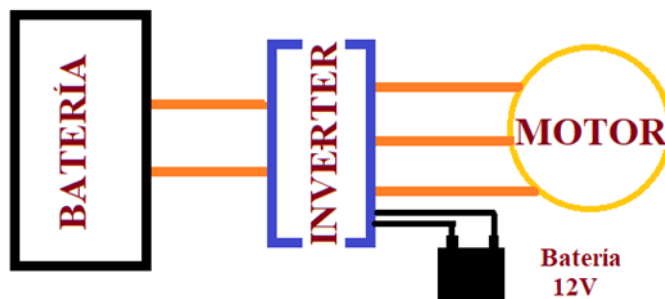


Figura 7. Diagrama de bloques de un BPEV

Como se observa en la figura 7, el inversor es un puente que conecta la batería de alta tensión (HV) y el motor eléctrico; por lo que un malfuncionamiento del inversor afectará al rendimiento del motor. En otras palabras, la baja de potencia de un BPEV no solamente es causada por el motor eléctrico o la batería de HV. Quizá esta aclaración permita entender porque se registrarán DTC relacionados; tales como:

- P0A [2---4]: Sensores de posición o temperatura del motor propulsor; sobre revoluciones.
- P0B [6 y 9]: Sensores de corriente fases U, V respectivamente.
- P0C679: Sobretensión del inversor.
- P3[----]: Errores línea CAN.
- U1000: Errores en protocolos de comunicación.

Hay que aclarar que estos DTC son del fabricante; un escáner genérico (multimarca) no es recomendable para realizar la lectura de los mismos, los síntomas que presentan los códigos son:

- Baja de potencia,
- Reducción de la velocidad,
- Reducción de autonomía, y
- Para del automóvil.

Son provocadas por alteraciones físicas en el normal funcionamiento del inversor; no se debe ejecutar ningún proceso de mantenimiento, si no se ha realizado un diagnóstico electrónico previo.

2.4.1 Efectos físicos y químicos que inciden en el rendimiento del inversor (Inverter).

Después de los dos años de funcionamiento, que es el tiempo promedio de efectividad del refrigerante; el calor es uno de los factores que tienden a incidir sobre la eficiencia del inversor.

El inversor es un elemento que genera mucho calor; por lo que necesita un eficiente enfriamiento o control del mismo; en la figura 8 se indica los ductos por los cuales circulan el refrigerante para la regulación del calor.



Figura 8. Ductos de refrigeración del inversor [10]

De manera análoga, cuando se ha removido la tapa del inversor y no se la volvió a sellar de manera adecuada, sucederán filtraciones de humedad, la misma que se adhiere a los bornes metálicos, especialmente donde hay calor y se produce una sulfatación de los mismos. Este efecto químico crea una resistencia eléctrica. A lo referido se indica en la figura 9.



Figura 9. Inversor con bornes sulfatados [10]

El mismo comportamiento resultará si los terminales (elemento de fijación) no se ajustan con el torque correcto.

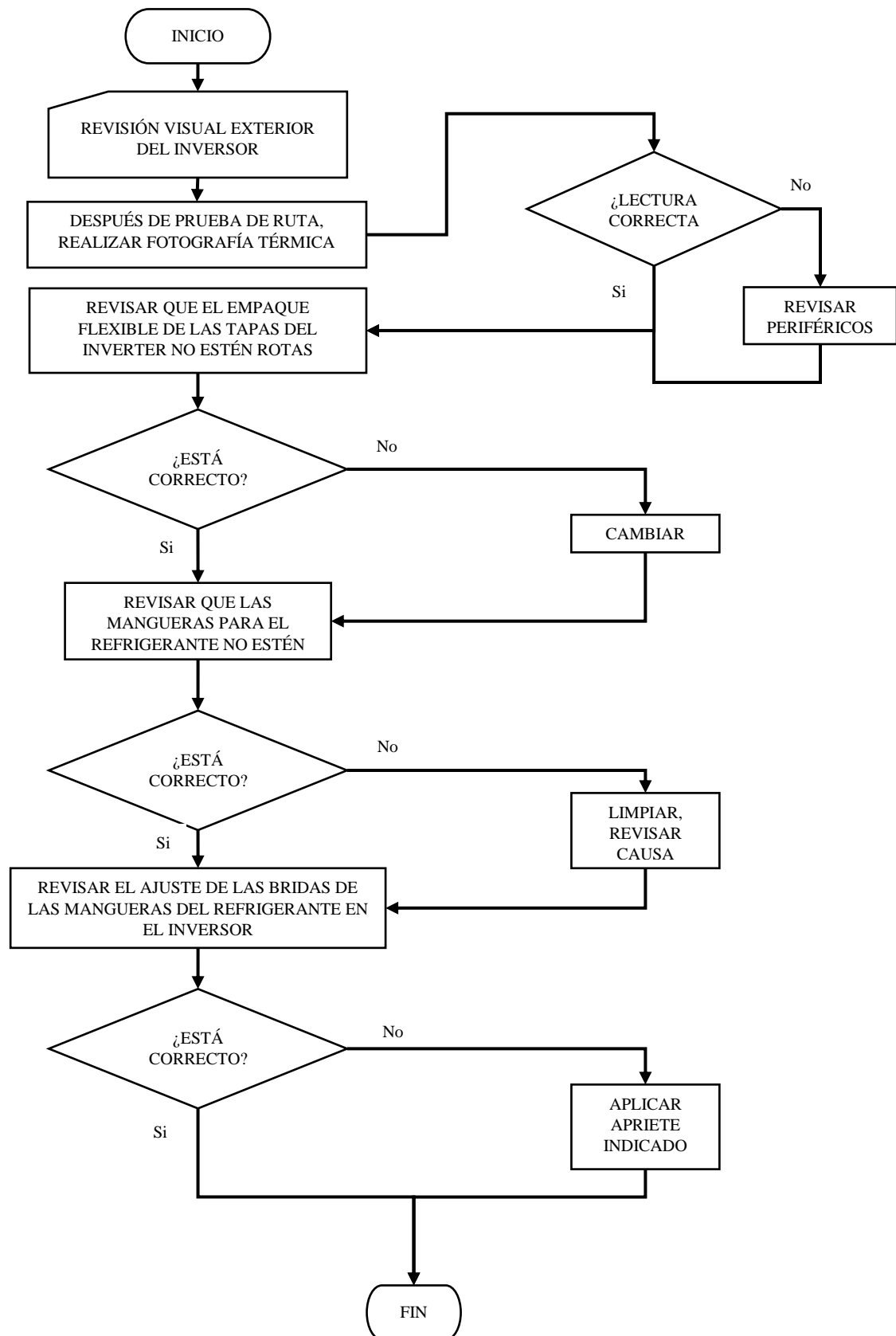
En la figura 10, se aprecia que el inversor es un elemento estático, no posee elementos mecánicos de ningún tipo; por lo que es sorprendente haber encontrado en nuestro medio este tipo de averías (Tuercas de las borneas sin ajuste y sulfatación de los mismos); seguramente por falta de conocimiento técnico de aquellos que se arriesgaron a ponerlos en funcionamiento.



Figura 10. Inversor desmontado y sin cubierta [10]

Por lo tanto, el elemento en mención no requiere ningún tipo de mantenimiento físico directo; sin embargo, se presenta a continuación un mantenimiento preventivo.

2.4.2 Proceso para el mantenimiento preventivo del inversor del Nissan Leaf ZE.



2.5 Consideraciones teórico-prácticas sobre el motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.

En la figura 11, se aprecia el motor eléctrico separado del PDM (Refiérase a la fig. 6) e inversor, es un cuerpo compacto sobre el que se fijan los demás componentes que forman el tren de propulsión. Además, se aprecian los ductos por los cuales circula el refrigerante que permite mantener un valor de calor constante en el sistema electromecánico.

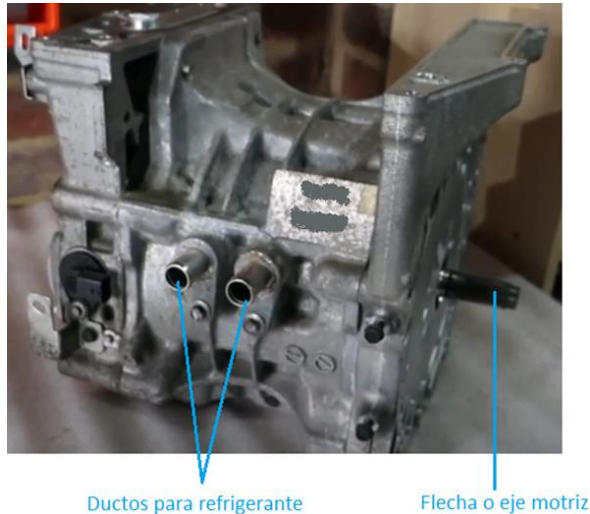


Figura 11. Block del motor del Nissan Leaf ZE [10]

Este conjunto solo dispone de un elemento móvil que a través de un eje soportado en rodamientos laterales gira libremente (Figura 12).

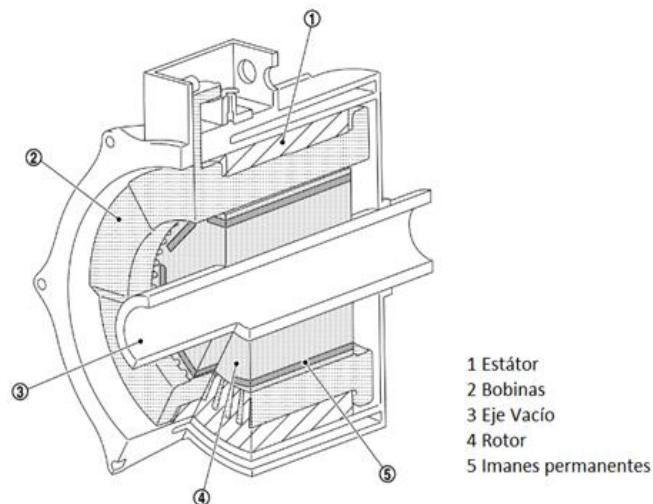
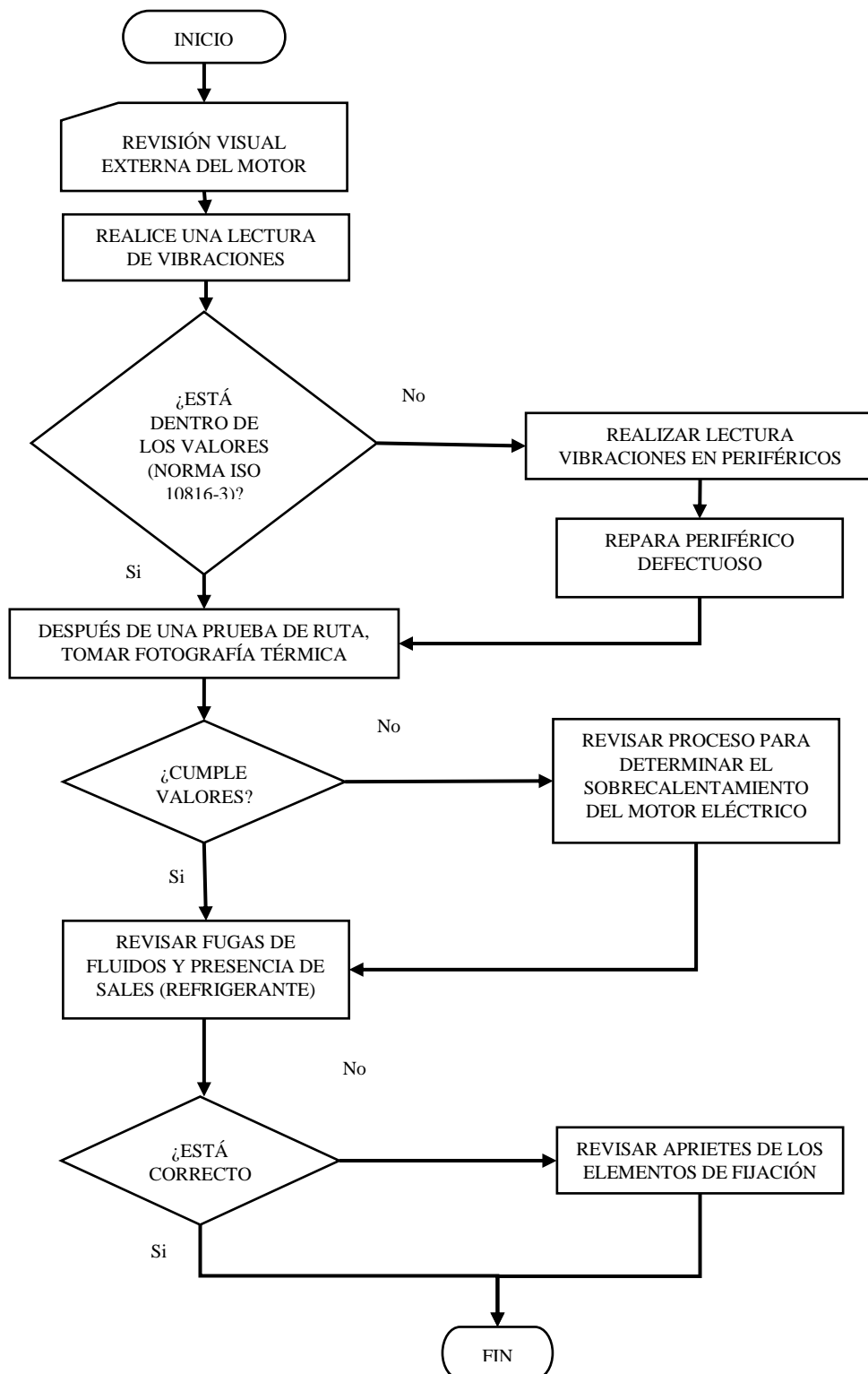


Figura 12. Diagrama del motor eléctrico desmontado y separado de sus periféricos [11]

A decir de sus fabricantes, los cojinetes esféricos (rodamientos) se han construido de materiales ferrosos de alta calidad y precisión; por lo que se atreven a afirmar que la vida útil del mismo será muy superior a la de otros elementos similares (cojinetes).

En la página siguiente se desarrollará el Proceso técnico para ejecutar el mantenimiento preventivo del motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.

2.5.1 Proceso para el mantenimiento preventivo del motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.



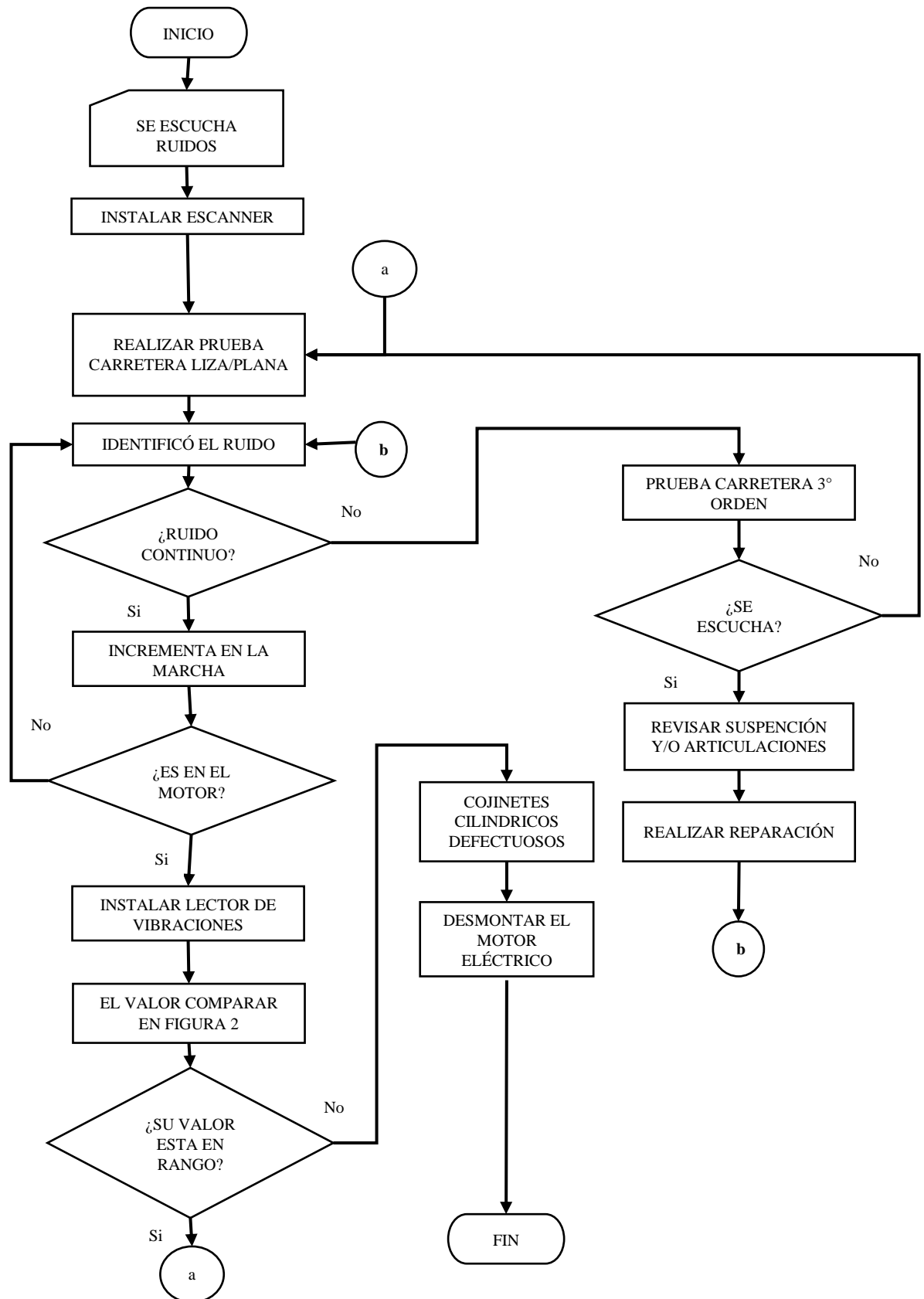
2.6 El mantenimiento correctivo del tren de propulsión. Consideraciones

Los fabricantes de Nissan, están centrados en el desarrollo del LEAF y su interés prioritario es la de proporcionarle una vida útil que pueda amortizar los costos de sus clientes; Nissan por el momento no está centrado en producir partes o refacciones; ya que desde su lógica (Investigación y desarrollo), este conjunto propulsor presenta eficiencias altas, existe una sola parte mecánica móvil.

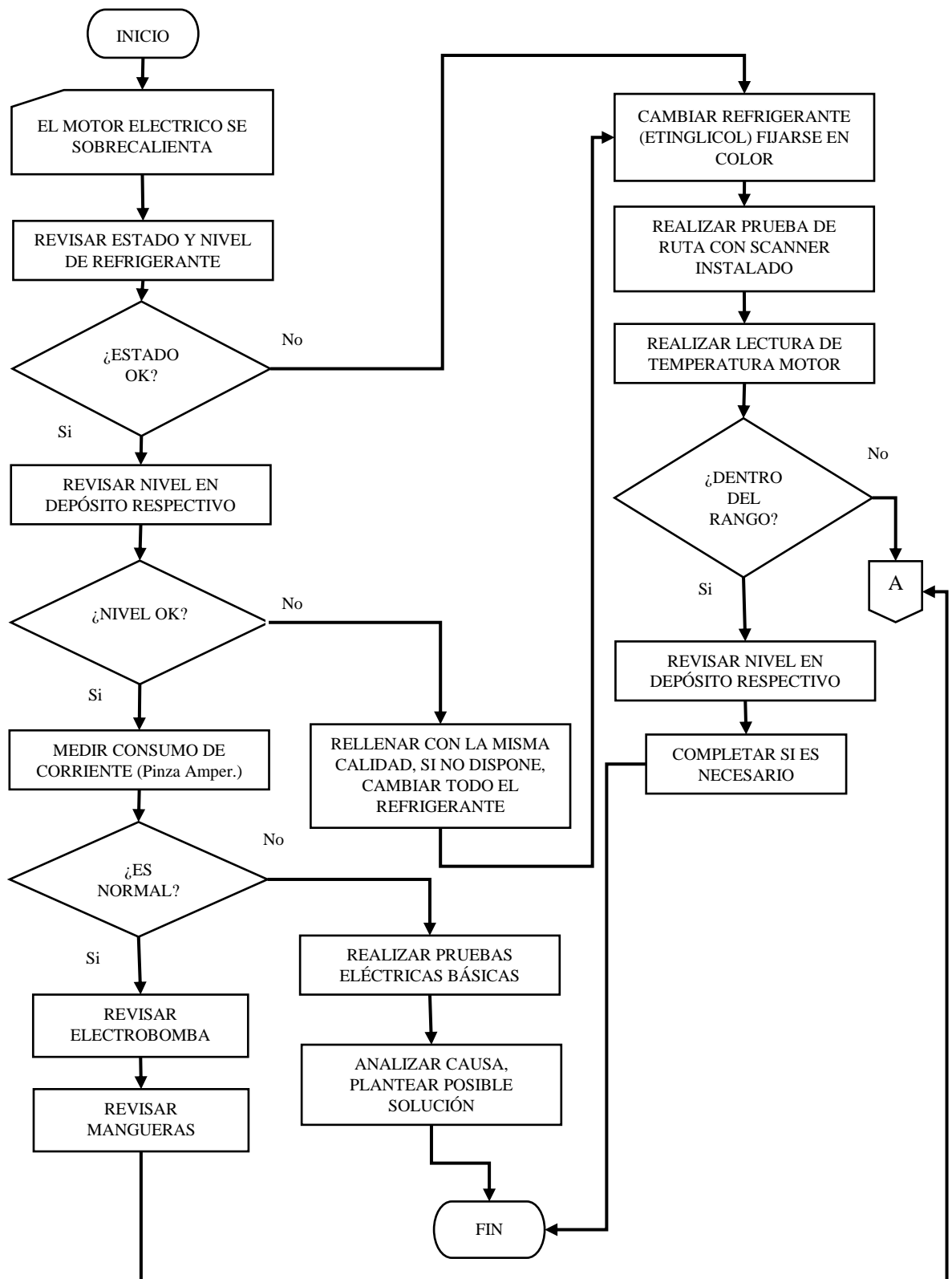
Lo que pretende indicar que el tren de propulsión no estará expuesto a mantenimiento correctivo; o la fabricación de las partes principales no son su prioridad, sin embargo, si resultare averiado un PDM, inversor o motor eléctrico, Nissan bajo pedido proveerá los elementos mencionados.

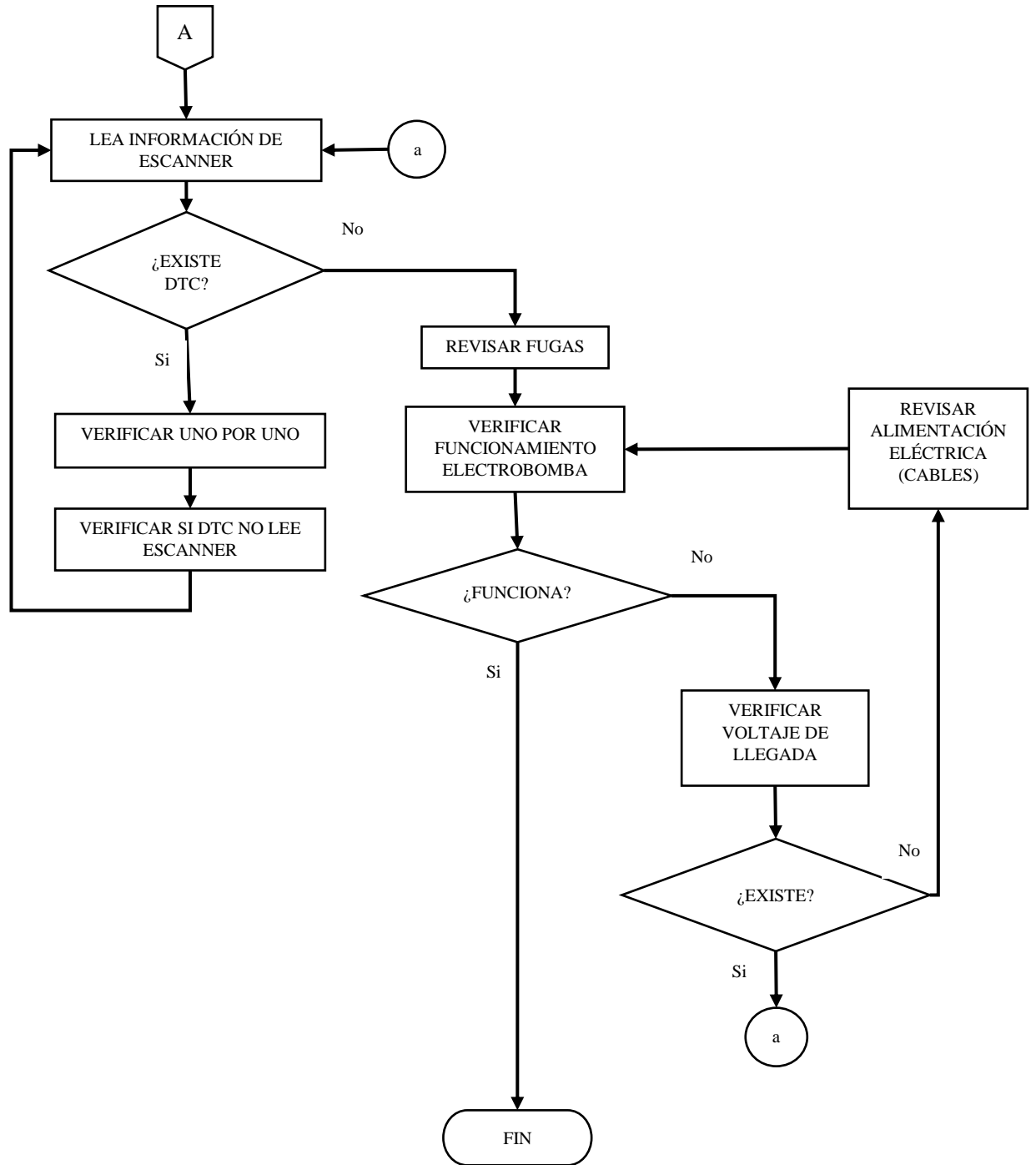
Es probable que se pueda encontrar partes “after market”, en nuestro medio conocido como alternos, y junto a la habilidad de ciertos profesionales consigan buenas técnicas de modificación, por lo que el proceso para ejecutar un mantenimiento correctivo en un motor eléctrico defectuoso será, el que se indica en la página siguiente.

2.6.1 Proceso de diagnóstico previo al mantenimiento correctivo del motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.

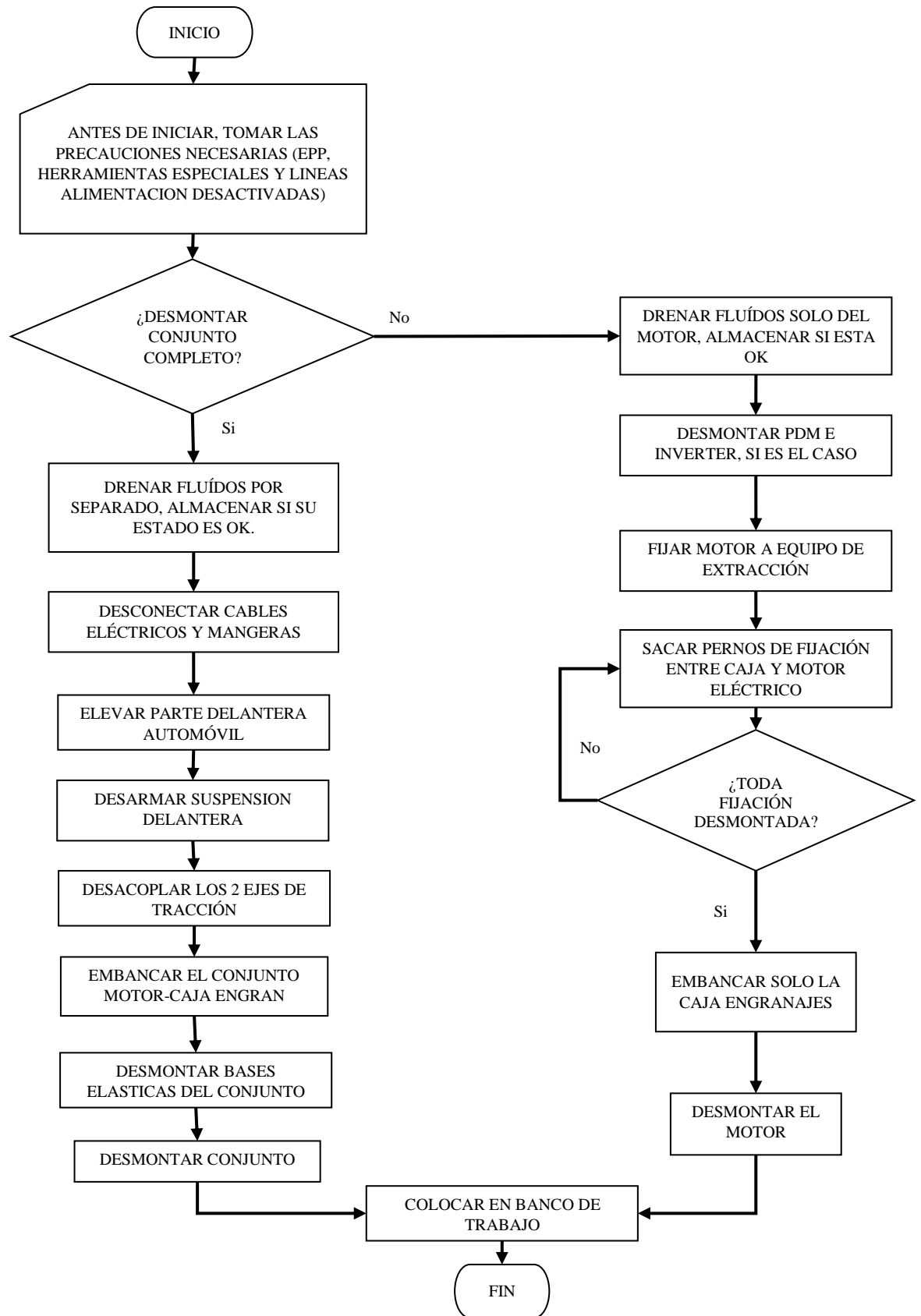


2.6.2 Mantenimiento correctivo del motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.



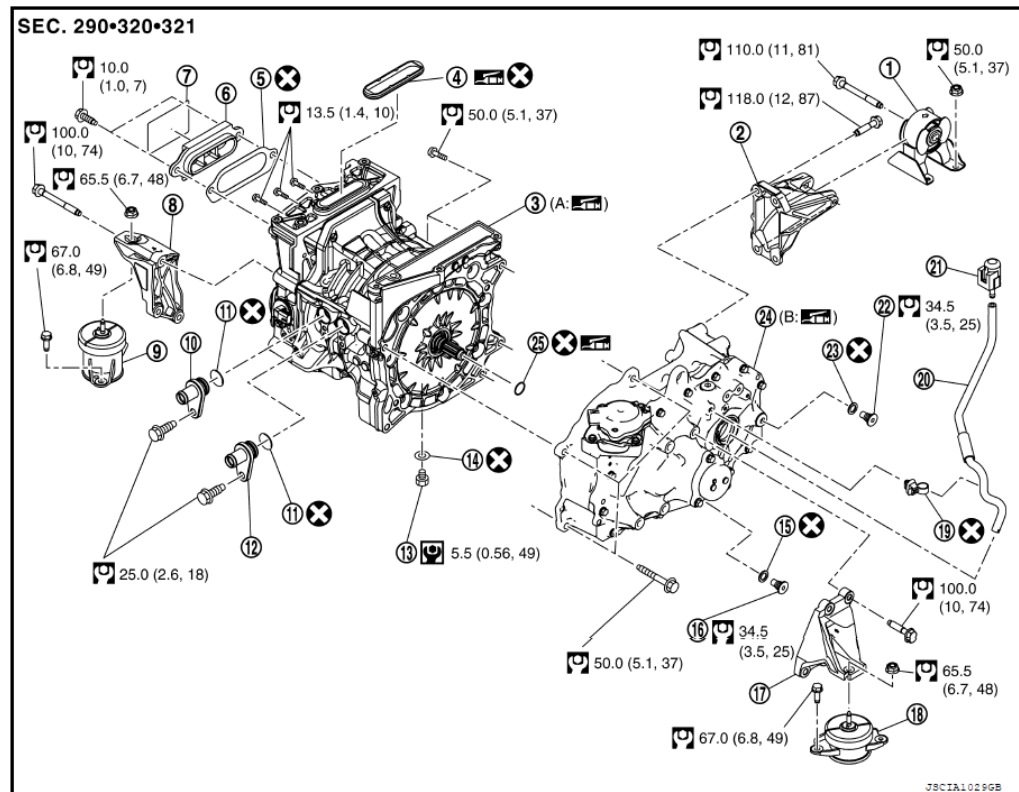


2.6.3 Proceso para desmontar el motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.



2.6.4 Despiece del motor eléctrico.

Para llegar a esta acción o etapa de mantenimiento; deberá cerciorarse de que se cumplió con los procesos descritos en los literales 2.6.1 y 2.6.2; es importante indicar que casi no se necesita herramienta especial para su procedimiento.



- | | | |
|---|---|-------------------------------|
| ① Base posterior del motor | ② Soporte de la base posterior | ③ Motor de tracción |
| ④ Sello | ⑤ Empaque | ⑥ Cubierta del bus de 3 fases |
| ⑦ Etiqueta de advertencia de alto voltaje | ⑧ Soporte de la base RH del motor | ⑨ Base RH del motor |
| ⑩ Entrada de refrigerante | ⑪ O-ring | ⑫ Salida de refrigerante |
| ⑬ Tapón de drenaje | ⑭ Arandela de cobre | ⑮ Empaque |
| ⑯ Tapón de drenaje | ⑰ Motor mounting LH bracket | ⑱ Base LH del motor |
| ⑲ Vincha | ⑳ Manguera de ventilación | ㉑ Caja de ventilación |
| ㉒ Tapón de llenado | ㉓ Empaque | ㉔ Caja de engranajes |
| ㉕ O-ring | | |
| A. Estria del eje | B. Interior del eje de entrada (Entrada del estriado) | |
| : N·m (kg-m, in-lb) | | |
| : N·m (kg-m, ft-lb) | | |
| : Reemplazar siempre que se despiece. | | |
| : Aplique grasa a base de litio que incluya bisulfuro de molibdeno. | | |

Figura 13. Motor eléctrico despiezado de un BPEV [11]

En la figura 13 se ve que la caja de engranajes, queda intacta una vez que se separa del motor eléctrico, permitiendo observar cualquier defecto mecánico, así como superficialmente visualizar el estado de sus componentes principales, como son las bobinas

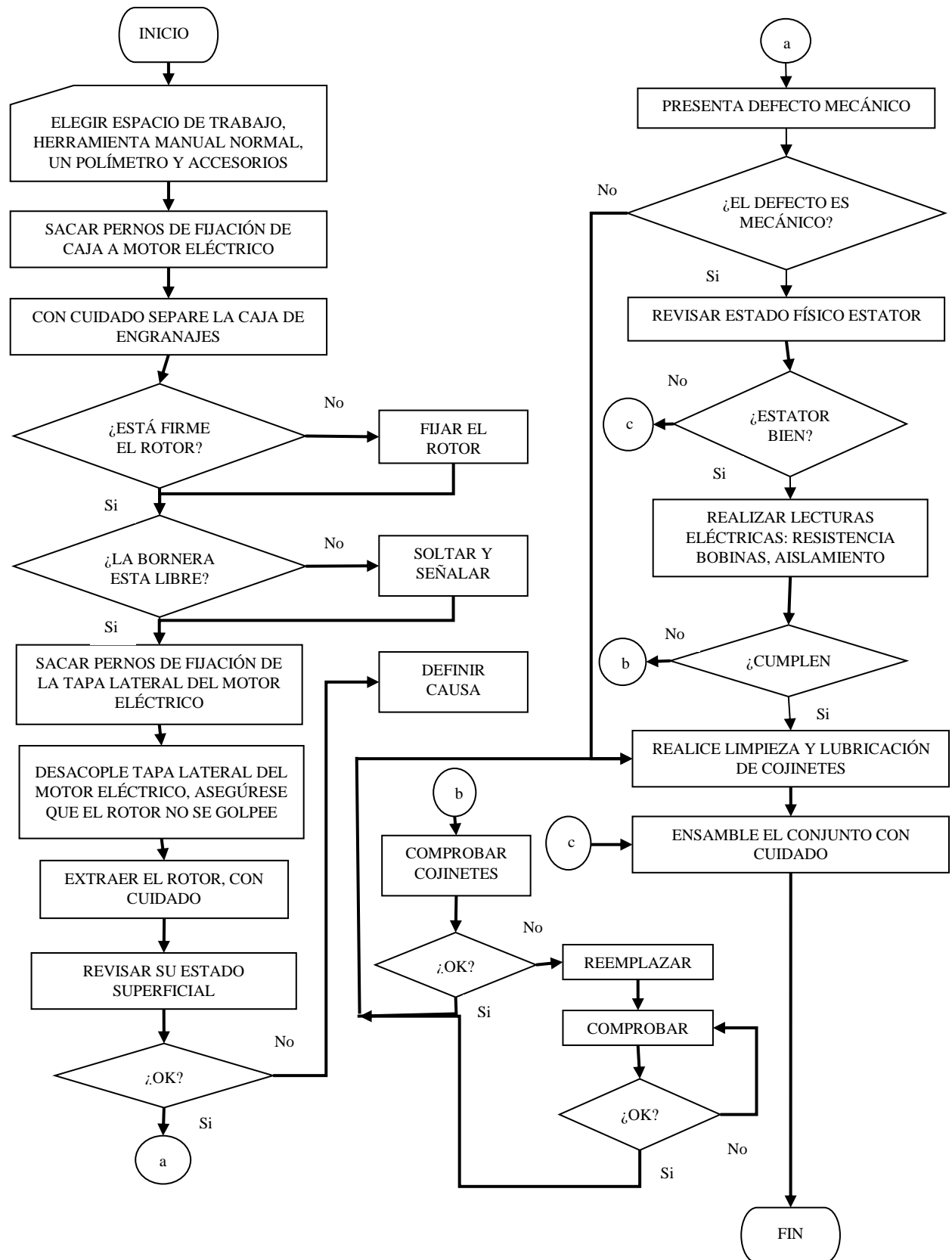
de inducción del estator, y realizar medidas eléctricas básicas como: derivación a tierra o masa; y, resistencia óhmica de cada una de ellas.

Una vez que tenemos al motor despiezado, no está por demás realizar las pruebas eléctricas básicas, especialmente en el estator; pruebas tales como:

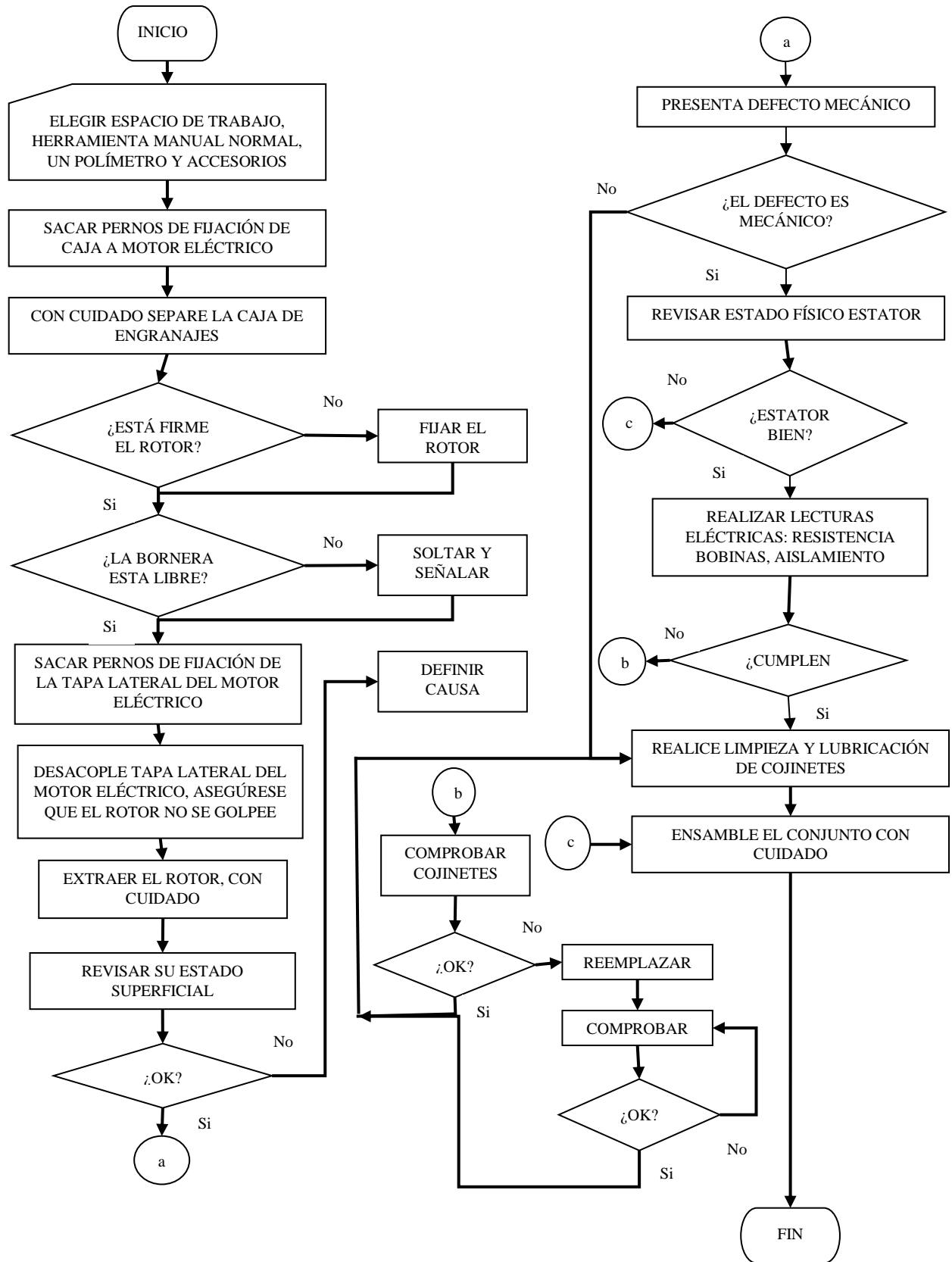
- Prueba de continuidad (Véase en el proceso 2.6.7).
- Prueba de derivación a tierra o masa (Véase en el proceso 2.6.7).
- Prueba de resistencia del aislamiento de las bobinas [12].

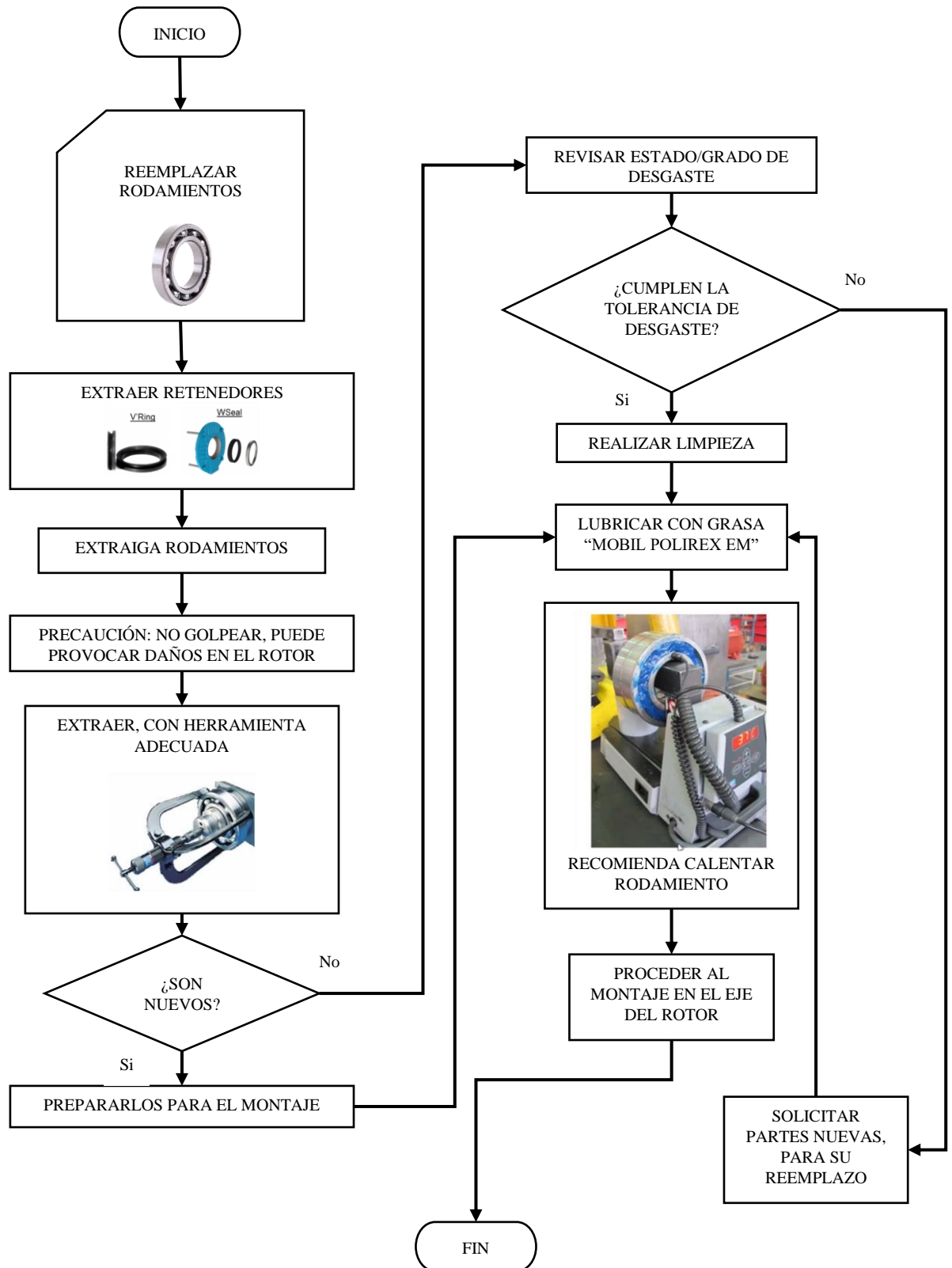
A continuación, trazamos el diagrama para su despiece:

2.6.5 Proceso para el despiece del motor eléctrico del Nissan Leaf ZE.

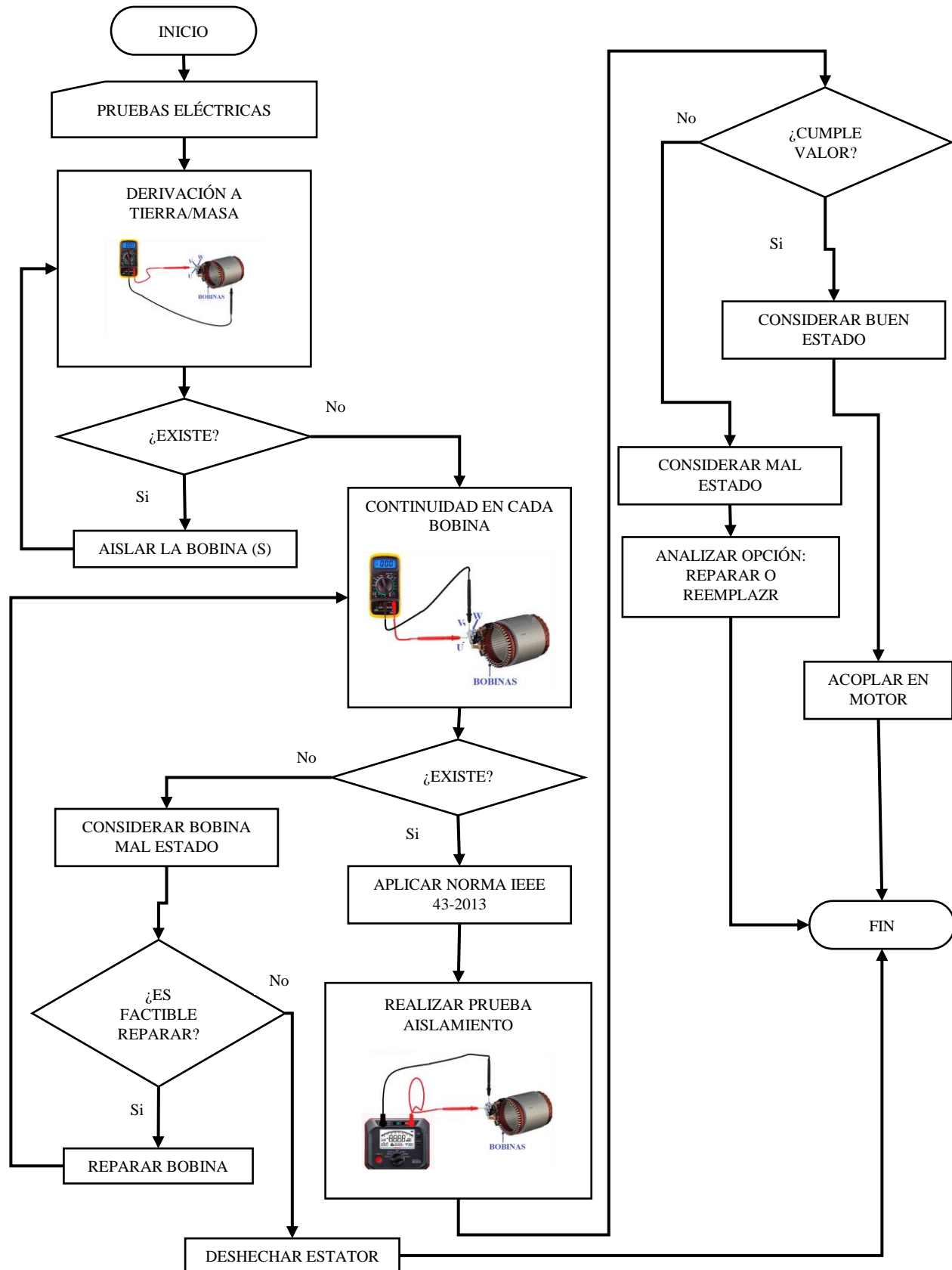


2.6.6 Proceso para reemplazar cojinetes esféricos (Rodamientos) del motor eléctrico.





2.6.7 Proceso para determinar el estado de las bobinas del estator.



2.7 Mantenimiento preventivo y correctivo de la batería de ion-litio (Pack) del Nissan Leaf ZE

En la figura 15 se indica el esquema de la arquitectura interna de un módulo que forma el pack de baterías del Nissan Leaf ZE; el pack contiene 48 módulos conectados en serie y paralelo (Dos grupos: uno que forma el polo positivo, y otro para el negativo).

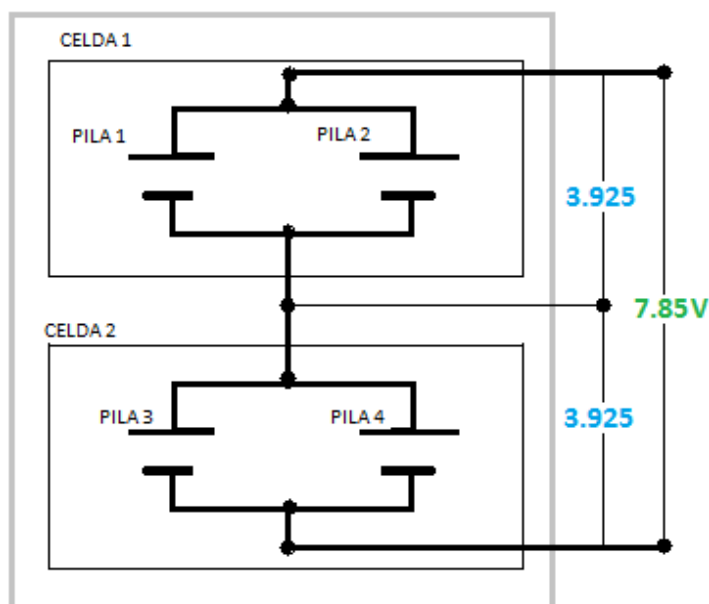


Figura 14. Arquitectura del módulo del pack de baterías Ion-Litio del Nissan Leaf ZE [11]

En la realidad práctica después de cinco años y cumpliendo los parámetros de mantenimiento del fabricante (caso especial), la capacidad de la batería se reduce en un 20% y esta pérdida no es directamente proporcional; al siguiente año la capacidad puede caer en picada y dejarla inservible.

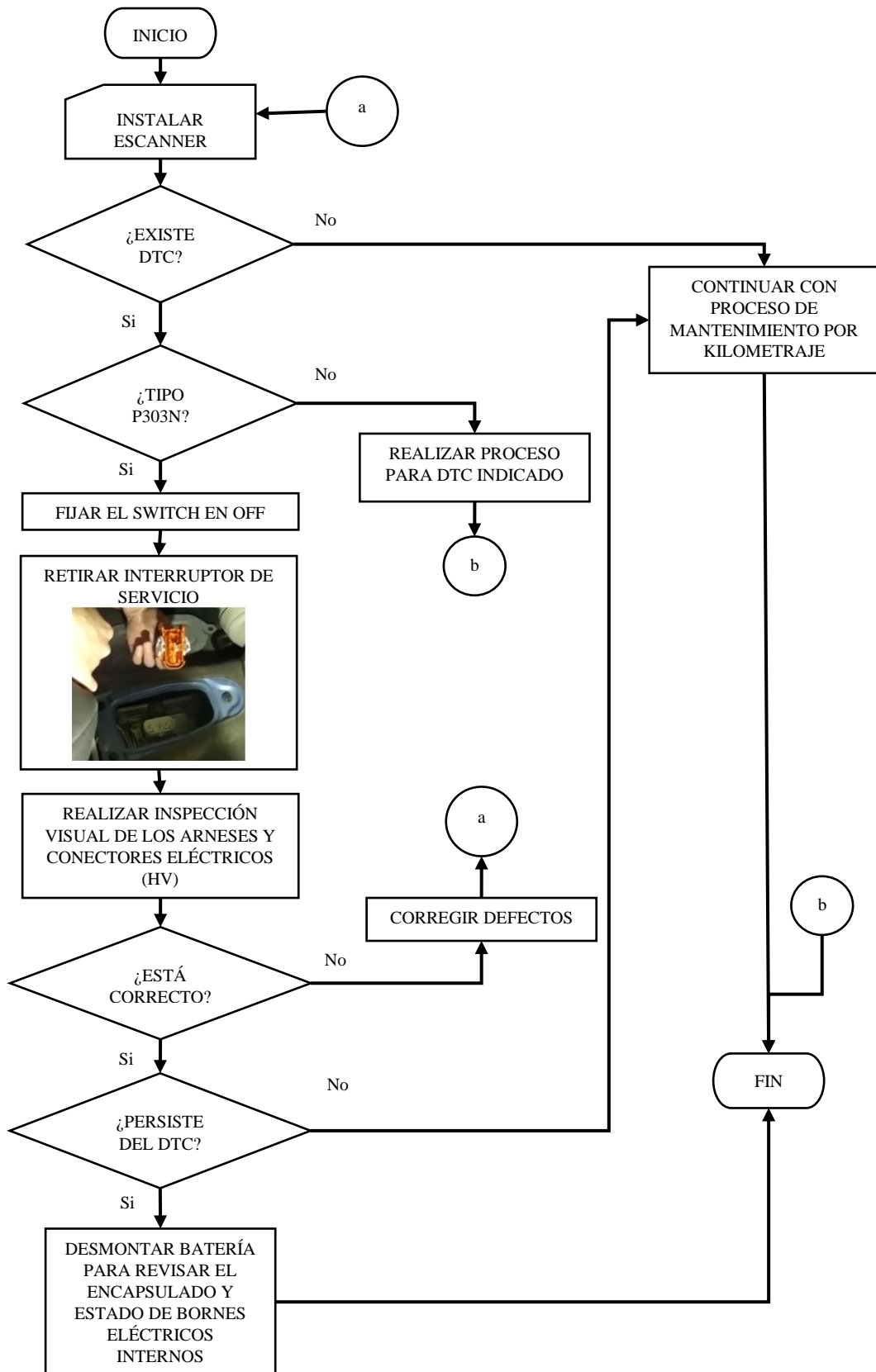
El tipo de mantenimiento a ejecutar en una batería Ion-Litio, va a depender de lo que nos presente o informe la herramienta de diagnóstico (Escáner), a partir de la regla de oro del diagnóstico electrónico "El DTC presentado es solo referencial a un dispositivo; no asegura que sea el dispositivo".

Cuando la causa de la falla está relacionada con la batería, los "DTC", que se leerán en la herramienta de diagnóstico, son del orden que se aprecia en la tabla 3:

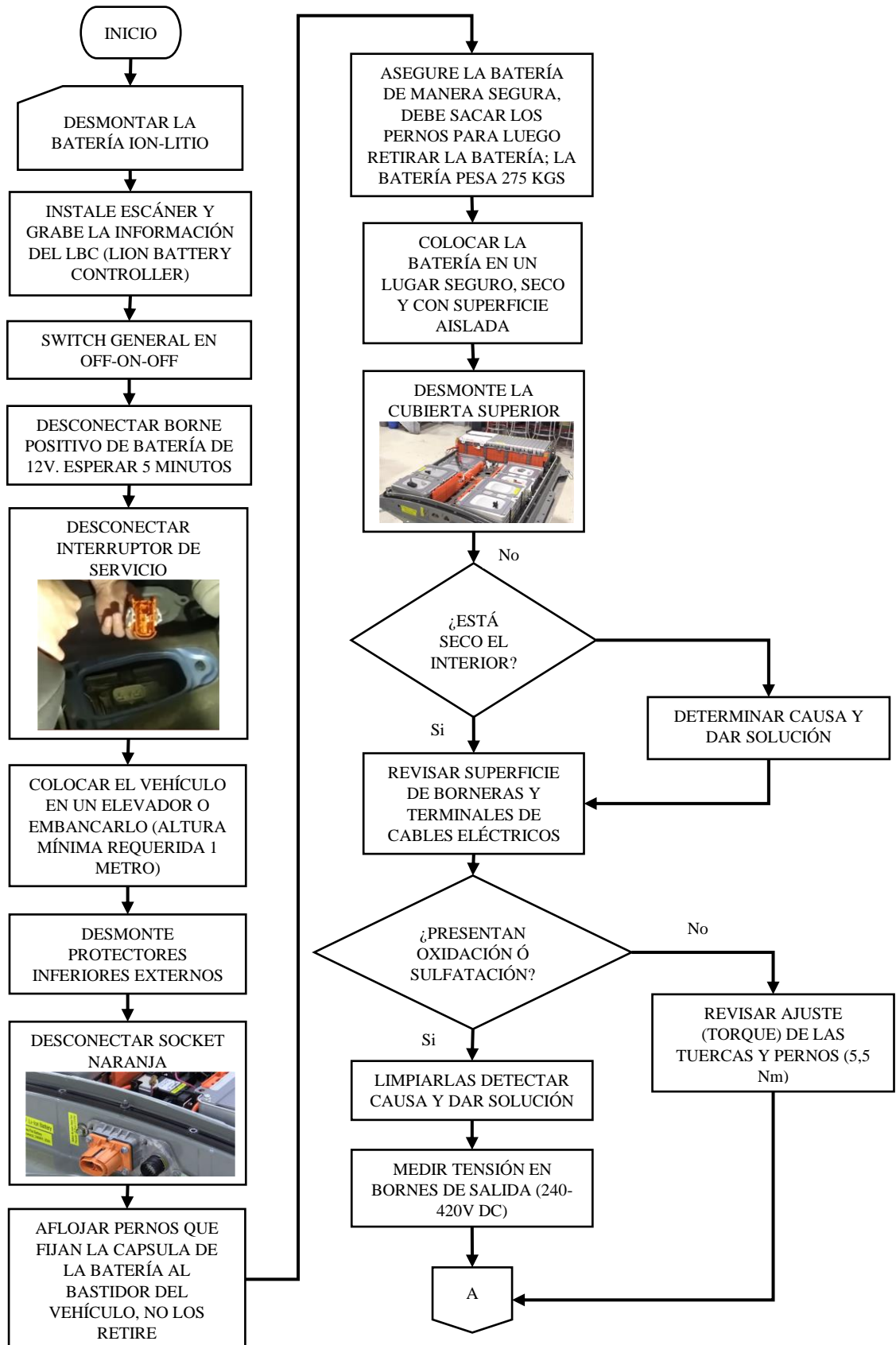
Tabla 2. Lista generalizada de códigos de falla relacionadas a la batería Ion-Litio

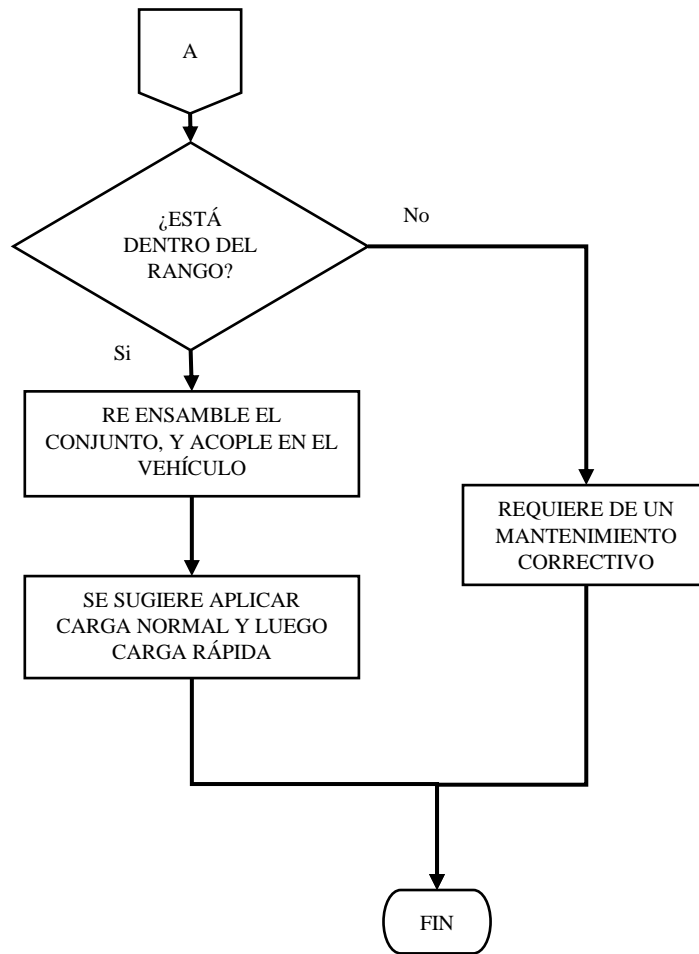
Símbolo	Descripción
P0A0D	Alta tensión en bloqueo internos
P0A1F	Módulo de control de la batería
P3030	Error de comunicación entre celdas (LIN)
P303(1---9) P303(A---F)	Variación de valores eléctricos en celda "n". ((A---F)=(10---15))

2.7.1 Proceso para determinar el tipo de mantenimiento requerido por la batería Ion-Litio.



2.7.2 Proceso para revisión del encapsulado de la batería Ion-Litio del Nissan Leaf ZE.





2.8 Mantenimiento correctivo de la batería Ion-Litio del Nissan Leaf ZE.

Presento una serie de fotografías e imágenes de la estructura de la batería Ion- Lítio del Nissan Leaf ZE; cuyo objetivo es mejorar los criterios técnicos para la posible reparación o rehabilitación de la batería.

En la figura 15, se indica el conjunto (pack) fuera del vehículo.



Figura 15. Batería desmontada del vehículo

La figura 16, indica la estructura interna y la arquitectura del pack.

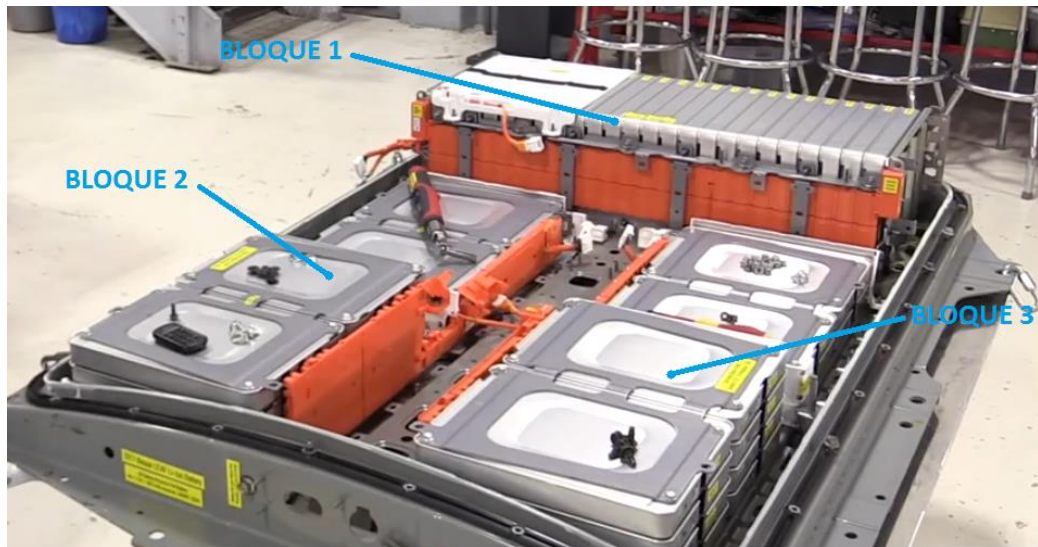


Figura 16. Batería sin cubierta superior

La gráfica 17, es un esquema explotado del pack, se puede apreciar los bloques de baterías separados.

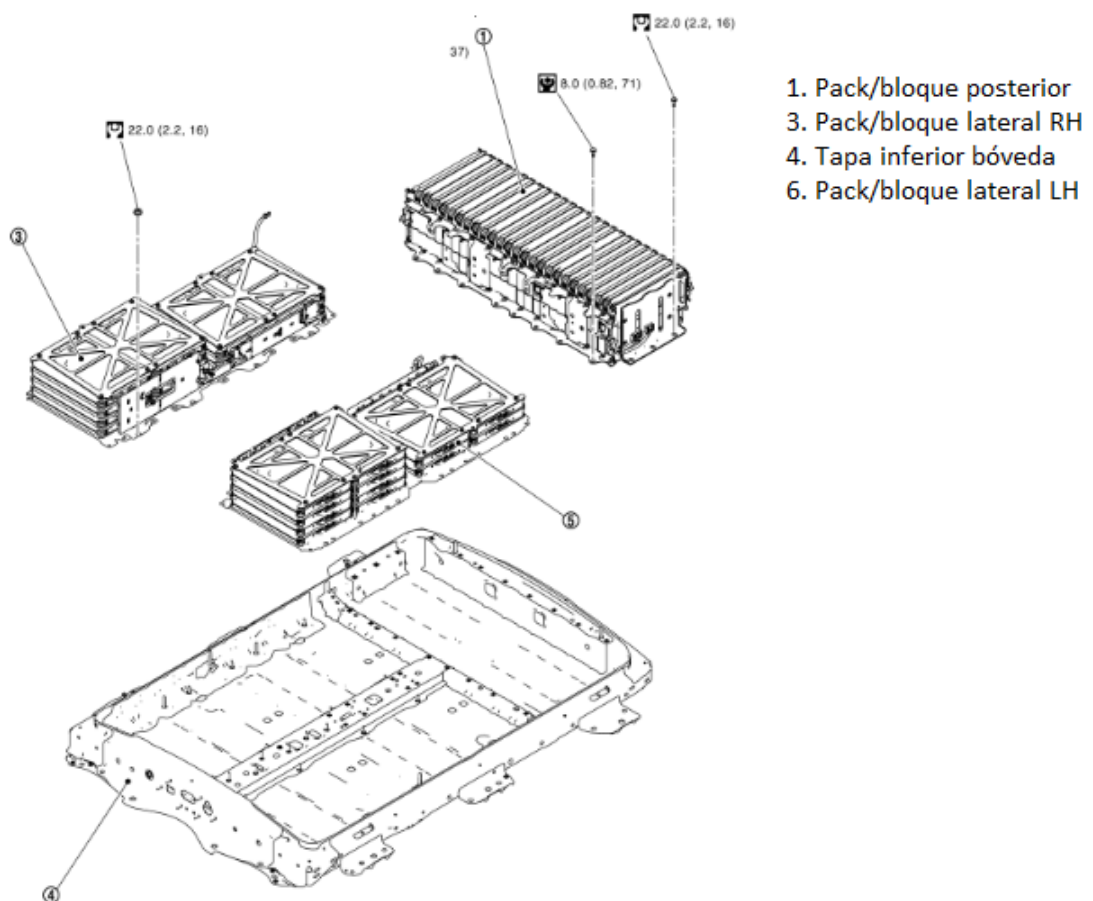


Figura 17. Packs/bloques de la batería Ion-Litio del Nissan Leaf ZE [11]

En la figura 18 se ha montado el interruptor de servicio, por cuestiones didácticas.



Figura 18. Interruptor de servicio (Acoplado sólo para fotografía)

La figura 19 muestra los bornes de cada una de las celdas de ion litio, listas para el desmontaje.



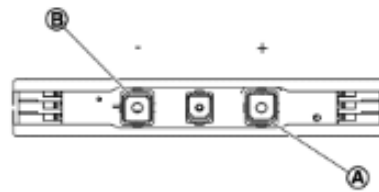
Figura 19. Bloque 1 de la batería o bloque posterior

La figura 20, indica la regleta o placas de conexión entre las celdas.



Figura 20. Bloque frontal

La figura 21, indica los polos, bornes o terminales de una celda eléctrica.



A, Terminal positivo (+), Rojo
B, Terminal negativo (-), Negro

Figura 21. Polos eléctricos del módulo [11]

En la figura 22, se indica el aspecto exterior de un módulo.

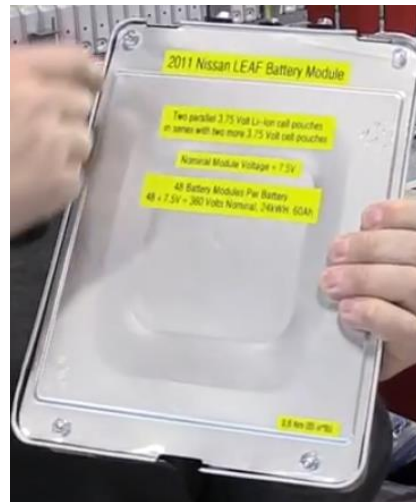
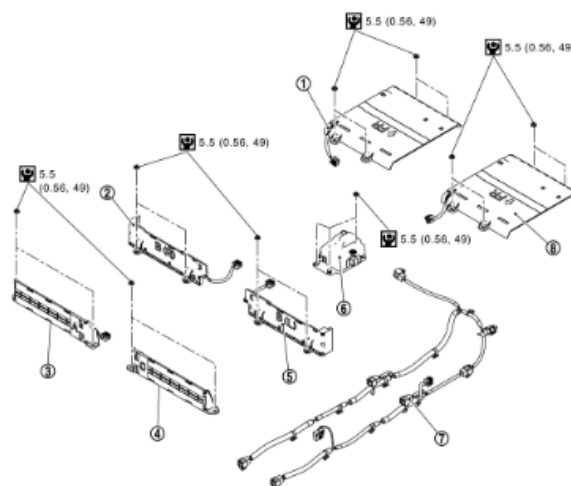


Figura 22. Aspecto externo de un módulo del pack/bloque de batería

Las láminas que permiten establecer las conexiones entre módulos y calentadores, se aprecian en la figura 23.



- | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Calentador posterior RH | 2. Calentador lateral (F) frontal RH | 3. Calentador lateral (R) frontal RH |
| 4. Calentador (F) frontal LH | 5. Calentador lateral (F) frontal LH | 6. Relay para calentadores |
| 7. Arnes de calentadores | 8. Calentador posterior LH | |

Figura 23. Conexiones entre módulos y calentadores [11]

El fabricante no recomienda la reparación o rehabilitación del pack, debido a factores físico-químicos, tales como:

- No existe como parte de recambio las celdas o módulos.
- Estado eléctrico de las celdas del módulo.
- Si va a reemplazar con un módulo usado o uno similar; las condiciones eléctricas variarán; esto será captado por el LBC (Litio Battery Control) y provocará una condición de falla en el sistema eléctrico.

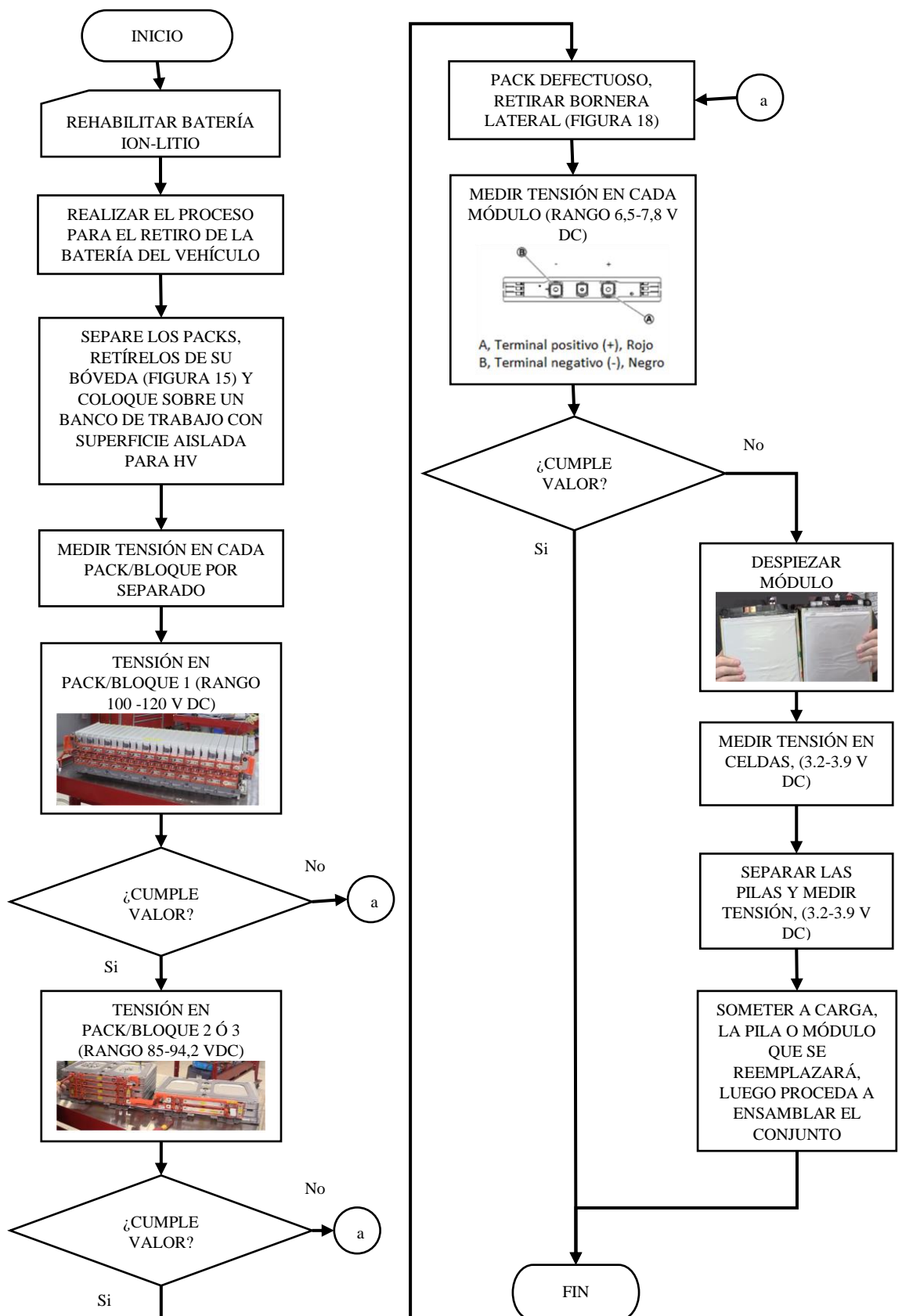
Sin embargo, en nuestro medio si se practican ciertas técnicas de rehabilitación, recuperación o reconstrucción de la batería, la misma que de manera sintetizada se resume en el cambio de módulos de los packs internos; el proceso que se indica a continuación parte de una necesidad socioeconómica local, más no de una sugerencia o proceso recomendado por los fabricantes.

Así tenemos en nuestro medio talleres de propietarios que han incursionado en este campo tecnológico; y que han intentado elaborar un proceso tecnificado con el que consiguen rehabilitar una batería, los que han apoyado el desarrollo de este punto; el o los procesos son rudimentarios.

Antes de elaborar una decisión concluyente es importante realizar una evaluación física (In-situ), observar el estado externo de los elementos de protección (Aislantes) y sus sockets de conexión (Enchufes/conectores/borneras). Además de la revisión de los torques de ajuste; tanto de los elementos de fijación, como de los pernos y tuercas que fijan los cables a los diferentes módulos eléctricos.

Es de significativa importancia hacer énfasis en el EPP especial que se requerirá para ejecutar cualquier operación de mantenimiento en este elemento, objeto de estudio.

2.8.1 Mantenimiento correctivo de la batería Ion-Litio del Nissan Leaf ZE.



3. Mantenimiento del tren de propulsión y de la batería Ion-Litio del vehículo Eléctrico Nissan Leaf ZE en base del kilometraje recorrido.

Para el efecto se empleará el conocido “Diagrama de Gant”, para el cual las variables a tomar como referencia serán las actividades o tareas que recomienda el fabricante en cuanto al mantenimiento periódico, como también sugerencias de los fabricantes de los materiales químicos que es necesario para el buen funcionamiento del motor eléctrico como de la caja de engranajes; y una unidad de medición que para el caso que nos compete será el “Kilometraje recorrido” por el vehículo.

Las tareas serán ejecutadas por personal calificado; mientras que la vigilancia del cumplimiento en cuanto al periodo recorrido es responsabilidad del conductor; para lo cual cuenta con un indicador de kilómetros recorridos; ubicada en el tablero o consola de navegación.

Se debe elaborar una tabla específica para cada conjunto o sistema, tal es el caso analizado donde se dispone de un sistema dinámico (mecánico) que se relaciona con el tren de propulsión, un sistema estático (eléctrico) y muy específicamente como es la batería de alta tensión y de corriente continua del automóvil.

En las tablas 4 y 5 respectivamente se puede apreciar lo antes mencionado.

Tabla 3. Cronograma de mantenimiento del tren de propulsión del vehículo eléctrico Nissan Leaf Zero Emission en base al kilometraje

Mantenimiento requerido	Distancia recorrida																			
	Kilómetros (1x1000)																			
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
TREN DE PROPULSION																				
1.Motor eléctrico	T				T/D					T/D			T/D				T			T
1.1 Refrigerante	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I
1.1.1 Pérdidas	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
1.1.2 Estado	I	I		I	I		I	I		I	I		I	I		I	I		I	I
1.1.3 Nivel de ruidos (Roda.)	I			I			I			I			I			I				R
2.Inverter/Inversor																				
2.1 Aspecto exterior	I			I/D			I			I/D			I/D			I			I/D	
2.2 Estado de juntas	I	I	I	I	R	I	I	I	I	R	I	I	I	I	R	I	I	I	I	R
2.3 Emisión de calor	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
2. Sistema eléctrico	I	I	I	I/D	I	I	I	I	I	I/D	I	I	I/D	I	I	I	I	I	I/D	I
3.1 Baja tensión (12 V DC)	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I
3.2 Alta Tensión (HV)										I										I
3.2.1 Arnés naranja	I	I	T	I/D	I	T	I	I	T	I/D	I	T	I	I	T	I/D	I	T	I	I/D
3.2.2 Conectores	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I	R	I	I
3.2.3 Interruptor servicio	I								I/D										I/D	R
4. Caja de engranajes	T				T				T				T				T			T
5.1 Fugas	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
5.2 Estado del Fluido	I				I					L					L					L
5.3 Nivel de ruidos (Roda.)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R

Nomenclatura: I: Inspeccionar y corregir; C: Proceso de descarga/cargar batería; T: Revisar ajuste con torque especificado; R: Reemplazo obligatorio; L: Cambiar lubricante; D: Limpiar óxidos/sulfatos.

Tabla 4. Cronograma de mantenimiento de la batería de Ión-Litio del vehículo eléctrico Nissan Leaf Zero Emission en base al kilometraje

Mantenimiento requerido	Distancia recorrida																			
	Kilómetros (1x1000)																			
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
BATERÍA ION-LITIO					C					C					C					R
SOF (Estado de Funcionamiento)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
SOC (Estado de carga)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
SOH (Estado de salud)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Refrigerante	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I
Borneras/conectores	I	I	I	I	I/D/T	I	I	I	I	I/D/T	I	I	I	I	I/D/T	I	I	I	I	I/D/T

Nomenclatura: I: Inspeccionar y corregir; C: Proceso de descarga/carga batería; T: Revisar ajuste con torque especificado; R: Reemplazo obligatorio; D: Limpiar óxidos/sulfatos.

4. Conclusiones y recomendaciones.

El vehículo eléctrico (BPEV), es un complejo sistema mecánico, eléctrico, electrónico, los mismos que interactúan a través de un lenguaje informático que trabaja en red, con un medio de comunicación elaborado.

Al haberse elaborado un plan de mantenimiento para el tren de propulsión; así como para el pack de baterías, se podrá desarrollar un servicio técnico de manera secuencial la que permitirá descubrir las fallas críticas que experimentan este tipo de vehículos.

De forma análoga, al haber desarrollado un plan de mantenimiento basado en el kilometraje recorrido, el mecánico tradicional, podrá determinar la similitud que existe con respecto al mantenimiento de los vehículos convencionales, salvando los procedimientos y equipo herramientas requeridos.

Aspectos que exigen que el recurso humano que se involucra en el mantenimiento del objeto en análisis posea unas habilidades mentales y manuales superiores a las que se requiere para realizar un mantenimiento industrial o automotriz.

También exigen que los propietarios o conductores de los vehículos eléctricos, adquieran conocimientos técnicos específicos en lo referente a esta nueva tecnología que estará en sus manos; esto con el único afán de conseguir que el BPEV, se convierta en un recurso que le proporcione satisfacción, y no se convierta en un gran problema tecnológico; casi imposible de solucionarlo con bajos costes de mantenimiento.

Se recomienda al área comercial dedicada a este segmento, que emprenda un programa que permita capacitar al recurso humano que tienen la vocación y el compromiso de encargarse del mantenimiento de los vehículos totalmente eléctricos. De igual manera establecer un plan de capacitación para los nuevos propietarios; durante el proceso de venta se les exija recibir una capacitación efectiva sobre los procesos requeridos para el buen funcionamiento del automóvil (Tipos de conducción, proceso de carga y descarga de la batería, procesos de conservación de la batería en paradas largas, etc).

Seguir los procesos demandados por el fabricante y esto referido al nivel de conocimiento técnico, así como lo que se refiere al EPP, la herramienta y equipo especializado.

Se recomienda no realizar ningún proceso manual sobre el sistema del vehículo eléctrico sin antes ejecutar un diagnóstico electrónico previo.

5. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] M. Echeverría, “Estándares de calidad, su aplicación para una mejor gestión en la industria automotriz,” *Agosto 20*, 2018. <https://thelogisticsworld.com/planeacion-estrategica/estandares-de-calidad-su-aplicacion-para-una-mejor-gestion-en-la-industria-automotriz/> (accessed Nov. 14, 2022).
- [2] “ISO 9001:2015 Sistemas de Gestión de Calidad - Requisitos.” http://www.cucsur.udg.mx/sites/default/files/iso_9001_2015_esp_rev.pdf (accessed Nov. 14, 2022).
- [3] F. M. Ortega, “Administración del mantenimiento,” Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.
- [4] Ingeman, “UNE-EN 13306. Mantenimiento. Terminología del mantenimiento.,” *Asociación Española de Normalización*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-del-sur-de-manabi/mecanica-de-suelos/une-13306-2018-terminologia-del-mantenimiento/22106788> (accessed Sep. 22, 2022).
- [5] A. Guzmán, “Webinar: Colectores (Analizadores) de vibración y software de diagnóstico de ADASH,” *05 de Febrero*, 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=ns6I3X5Sxp8> (accessed Nov. 13, 2022).
- [6] A. Jimenez, “Vibraciones Mecánicas - Análisis Espectral,” *8 de Octubre*, 2013. <https://maintenancela.blogspot.com/2013/10/vibraciones-mecanicas-analisis-espectral.html>.
- [7] ADEMINSAC, “Carta ilustrada de diagnóstico de vibración.” <https://es.scribd.com/doc/49362291/TABLAS-DE-CHARLOTTE-d>.
- [8] “Norma ISO, para vibraciones ISO 10816.” https://mantenimientoplanificado.com/articulos PREDICTIVO_archivos/Norma ISO 10816 severidad vibracion.pdf (accessed Nov. 14, 2022).
- [9] “Termografía Infrarroja.” <https://dsanalytic.com/termografia/> (accessed Nov. 13, 2022).
- [10] “Nissan Virtual Academy, Mexico.” <https://www.nissanvirtualacademy.com.mx/> (accessed Nov. 12, 2022).
- [11] “Nissan Leaf 2014 Manual de mecánica.” <https://www.datacar-manualrepair.com/nissan-leaf-2014/> (accessed Nov. 12, 2022).
- [12] T. Bishop, “¿Qué hay de nuevo en la norma para pruebas de resistencia de aislamiento IEEE 43?,” *Abril*, 2016. <https://easa.com/training/private-webinars/191qu233-hay-de-nuevo-en-la-norma-para-pruebas-de-resistencia-de-aislamiento-ieee-43> (accessed

Nov. 14, 2022).