



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IMPACTO CAUSADO POR LAS ALTERNATIVAS DE RECICLAJE DE BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDO-ELÉCTRICOS DESPUÉS DE CUMPLIR SU VIDA ÚTIL

AUTORES:

ELVIS ANDRÉS SOLANO QUILUMBANGO

KATHERIN YARINA TITUAÑA MALDONADO

DIRECTOR: ING. RAMIRO ANDRÉS ROSERO AÑAZCO MSc.

Ibarra, Diciembre del 2022

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IMPACTO CAUSADO POR LAS ALTERNATIVAS DE RECICLAJE DE BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDO-ELÉCTRICOS DESPUÉS DE CUMPLIR SU VIDA ÚTIL" presentado por el señor: Solano Quilumbango Elvis Andrés con número de cédula 1004321517 y la señorita: Tituaña Maldonado Katherin Yarina con cédula 1004567077, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 16 días del mes de diciembre del 2022

Atentamente


Ing. Ramiro Andrés Rosero Añazco MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100432151-7
APELLIDOS Y NOMBRE:	Solano Quilumbango Elvis Andrés
DIRECCIÓN	Atuntaqui, Calle Jorge Regalado entre Panamericana y Atahualpa
EMAIL	easolanoq@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0979758428

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004567077
APELLIDOS Y NOMBRE:	Tituaña Maldonado Katherin Yarina
DIRECCIÓN	Atuntaqui, Calle Juan de Velasco y avenida Rocafuerte
EMAIL	kytituanam@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0997589240

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL IMPACTO CAUSADO POR LAS ALTERNATIVAS DE RECICLAJE DE BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDO-ELÉCTRICOS DESPUÉS DE CUMPLIR SU VIDA ÚTIL.
AUTORES:	Solano Quilumbango Elvis Andrés Tituaña Maldonado Katherin Yarina
FECHA:	16 de diciembre del 2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
ASESOR/DIRECTOR:	Ing. Ramiro Andrés Rosero Añazco, MSc.

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son las titulares de los derechos patrimoniales, por lo que se asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 16 días del mes de diciembre del 2022

AUTORES:



Solano Quilumbango Elvis Andrés

1004321517



Tituaña Maldonado Katherin Yarina

1004567077

DEDICATORIA

Primeramente a Mi Madre, que desde que me concibió me ha brindado todo su amor y apoyo incondicional, dándome el consejo oportuno y la reprimenda necesaria, para hacer de mí el hombre de bien que soy hoy, siempre serás mi ejemplo a seguir y si soy Ingeniero es gracias a ti. Este logro es por ti y para ti como ofrenda de tu lucha incansable por la vida.

A Mi Padre, que con su ejemplo de lucha me inspira a cada día seguir firme en el camino para no detenerme y alcanzar mis objetivos. El hombre de vida, el que siempre está para ayudarme a solucionar mis problemas, ser tu orgullo, tu hijo, es lo que me hace luchar.

A Mi Hermano y futuro colega por ser mi fuerza e inspiración, por ser mi compañero de grandes batallas que siempre estuvo al pie del cañón ante cualquier adversidad, ejemplo de constancia y perseverancia.

A Mi Hermano Lucas quien me enseñó el verdadero significado de amistad y fidelidad. La dignidad de tu vida y de tu muerte inspiró y liberó las dimensiones ocultas de mi vida.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a mis seres queridos que están en el cielo y que siempre los llevo en mi corazón. Para ti abuelita Lola por ser esa luz que siempre guía mi camino.

Con cariño,

Elvis A. Solano

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar yo quisiera agradecer por el apoyo brindado en el camino tomado por un título tener y un profesional ser. Aprendí de la razón, el carácter y el tesón, a romper con la inconsistencia, a cultivar la conciencia y también el corazón.

A mis padres por su incansable apoyo a lo largo de todos estos años, por impulsarme siempre a superarme en todos los sentidos y no bajar los brazos en esta meta de ser Ingeniero, por ser las personas que más quiero, a ellos por su amor y dedicación, les debo todo.

También quisiera agradecer a mi familia por el apoyo y amor incondicional durante todos estos años universitarios, por jamás perder la fe en mí y en mis capacidades. A mis amigos quienes siempre me dieron una palabra de aliento para continuar, por soportar mis cambios de ánimo y frustraciones, por su amor y su amistad.

A la Universidad Técnica del Norte y la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas por ser cuna de mi formación académica como profesional, por abrir sus puertas e impulsarme a luchar por un país mejor.

A mis maestros que gracias a ellos pude terminar mi carrera de Ingeniería, sus enseñanzas dieron fruto. La enseñanza es más que impartir conocimiento, es inspirar el cambio. El aprendizaje es más que absorber hechos, es adquirir entendimiento. Gracias a todos mis maestros que son unos pilares en la rama del conocimiento.

A todos quienes se cruzaron en mi camino y permitieron encontrarme, a ustedes debo mi vocación que desde el día de hoy estará presente hasta el final de mis días.

Elvis A. Solano

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, quiero agradecerle a mi tutor de tesis por la excelente asesoría brindada durante la realización del trabajo de grado.

Quiero agradecer a mis padres por el apoyo incondicional en todo mi camino universitario, a mi hermana por siempre apoyarme en lo que necesite, a mi perrito Hachiko que siempre me motivo a dar lo mejor de mí. Gracias a mi abuelita por su cariño y por haberme incentivado a ser una mejor persona.

Katherin Yarina Tituaña

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINAS
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	1
1.3 ALCANCE	2
1.4 ANTECEDENTES	2
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.6 SITUACIÓN ACTUAL	4
1.7 IMPACTO AMBIENTAL	5
1.7.1 Legislación	6
1.7.2 Análisis ciclo de vida	6
1.7.3 Fabricación.	8
1.7.4 Procesamiento de materiales y producción de componentes	8
1.8 VEHÍCULOS HÍBRIDOS	11
1.8.1 Conceptualización del vehículo híbrido-eléctrico	11
1.8.2 Clasificación de los vehículos híbrido-eléctricos	11
1.8.3 Arquitecturas	13
1.9 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN VEHÍCULOS HÍBRIDO-ELÉCTRICOS	15
1.9.1 Tipos de baterías	15
1.9.2 Componentes y reacción química	18

1.10	PROCESOS DE RECICLAJE	20
1.10.1	Normativa	20
1.10.2	Proceso pirometalúrgico	23
1.10.3	Proceso hidrometalúrgico	23
1.10.4	Reciclaje directo	24
2	MATERIALES Y MÉTODOS	26
2.1	METODOLOGÍA	26
2.1.1	Enfoque Investigativo	27
2.1.2	Materiales	27
2.1.3	Equipos y medidas de seguridad	28
2.2	PRETRATAMIENTO MECÁNICO	30
2.3	ANÁLISIS METALÚRGICO	32
2.4	PROCESO PIROMETALÚRGICO	34
2.4.1	Generalidades del proceso pirometalúrgico	34
2.4.2	Reciclaje de baterías de NiMH	34
2.4.3	Fundición de baterías de NiMH por medio de soldadura oxiacetilénica	37
2.4.4	Reciclaje de baterías de Li-ion	38
2.5	PROCESO HIDROMETALÚRGICO	38
2.5.1	Generalidades del proceso hidrometalúrgico	38
2.5.2	Reciclaje de baterías de NiMH	39
2.5.3	Reciclaje de baterías de Li-ion	41
3	RESULTADOS Y ANÁLISIS	43
3.1	ANÁLISIS DE MERCADO	43
3.1.1	Situación Actual	43
3.1.2	Análisis del sector	44
3.1.3	Crecimiento vehicular	48
3.1.4	Proyección de ventas	48

3.1.5	Proyección de residuos y desechos	53
3.1.6	Análisis de costos	57
3.2	SITUACIÓN ACTUAL EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	65
3.2.1	Análisis de la información en casas comerciales	65
3.2.2	Análisis de la información en gestores ambientales	77
3.3	ANÁLISIS EXPERIMENTAL	85
3.3.1	Pretratamiento mecánico	85
3.3.2	Desmantelamiento de la batería	95
3.3.3	Proceso Metalúrgico	97
3.3.4	Evaluación y comparación de alternativas	102
3.3.5	Construcción de la maqueta Batería HV	105
3.4	Proceso de logística inversa de baterías de alta tensión en desuso	108
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
4.1	Conclusiones	111
4.2	Recomendaciones	112
5	REFERENCIAS	113
6	ANEXOS	117
	ANEXO I Manual de operación de equipo de diagnóstico para módulos de vehículos híbrido-eléctricos	118
	ANEXO II Encuesta dirigida a las casas comerciales	120
	ANEXO III Encuesta dirigida a los gestores ambientales	121
	ANEXO IV Resultados de laboratorio	122
	ANEXO V Visita casas comerciales	123
	ANEXO VI Visita gestores ambientales	125
	ANEXO VII Pretratamiento mecánico de las baterías	127
	ANEXO VIII Construcción de la maqueta	128

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NUM.	PÁGINA
Figura 1.1 Análisis del ciclo de vida de las baterías	7
Figura 1.2 Componentes básicos de un sistema de alta tensión	10
Figura 1.3 Clasificación de VEH según el grado de electrificación	12
Figura 1.4 Arquitecturas del Vehículo híbrido-eléctrico	13
Figura 1.5 Paquete de baterías de Mitsubishi	15
Figura 1.6 Componentes de la batería de Níquel-Cadmio.	18
Figura 1.7 Operación básica de una batería de ion de Litio	19
Figura 1.8 Proceso de reciclaje UMICORE	21
Figura 1.9 Flujo de baterías y pilas en desuso	22
Figura 1.10 Proceso de pirometalurgia e hidrometalurgia Umicore Val'Eas	24
Figura 2.1 Metodología general propuesta Fuente: Autores	26
Figura 2.2 Paquete de baterías Toyota Highlander	28
Figura 2.3 Equipos de protección personal	28
Figura 2.4 Modelo de señalética de precaución	29
Figura 2.5 Dispositivo de diagnóstico para módulos de baterías de VEH.	31
Figura 2.6 Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer AA-100	32
Figura 2.7 Diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para las baterías de NiMH.	35
Figura 2.8 Diagrama de flujo para el método por fundición oxiacetilénica.	37
Figura 2.9 Proceso simplificado hidrometalúrgico.	39
Figura 2.10 Metodología del proceso hidrometalúrgico en las baterías de NiMH.	40
Figura 3.1 Número de vehículos híbridos vendidos en el Ecuador.	44
Figura 3.2 Ventas de vehículos híbridos en principales provincias del Ecuador.	45
Figura 3.3 Número de vehículos eléctricos vendidos en Ecuador.	47
Figura 3.4 Proyección de ventas de vehículos híbrido.	50
Figura 3.5 Proyección de venta de vehículos eléctricos.	52
Figura 3.6 Principales países productores de níquel a nivel mundial.	57
Figura 3.7 Principales productores de cromo a nivel mundial en el 2020	58
Figura 3.8 Principales países productores de manganeso a nivel mundial	59

Figura 3.9 Principales productores de litio a nivel mundial.	60
Figura 3.10 Costos de los elementos principales empleados en la fabricación	60
Figura 3.11 Tecnología de batería de vehículos híbrido-eléctricos	68
Figura 3.12 Precio de las baterías por fabricante.	71
Figura 3.13 Registro Ambiental.	75
Figura 3.14 Reutilización de baterías por fabricante	76
Figura 3.15 Factibilidad de creación de una fábrica local recicladora de baterías HV	76
Figura 3.16 Costo del proceso de reciclaje	79
Figura 3.17 Cantidad de baterías recicladas.	80
Figura 3.18 Métodos de reciclaje por gestor ambiental	83
Figura 3.19 Criterio de modificación a la normativa vigente.	84
Figura 3.20 Equipo E-Z Weigh Scale Model SW500	86
Figura 3.21 Pesaje batería modelo Toyota Prius 3G 2010	86
Figura 3.22 Pesaje de módulos de baterías HV	87
Figura 3.23 Comparación peso de batería HV frente a sus módulos.	88
Figura 3.24 Batería HV Toyota Highlander	89
Figura 3.25 Desensamblado de los módulos defectuosos.	95
Figura 3.26 Configuración de celdas en módulos defectuosos.	96
Figura 3.27 Celda de NiMH Toyota Highlander.	96
Figura 3.28 Electrodo internos de la celda.	97
Figura 3.29 Fundición de electrodos mediante horno.	97
Figura 3.30 Electrodo tras proceso de fundición en horno.	98
Figura 3.31 Fundición de electrodos por soldadura oxicarburante.	98
Figura 3.32 Soldadura oxicarburante en electrodos.	99
Figura 3.33 Soldadura oxiacetilénica en electrodos.	99
Figura 3.34 Soldadura oxiacetilénica del electrodo negativo.	100
Figura 3.35 Resultados electrodo negativo por absorción atómica.	102
Figura 3.36 Alternativas frente a costo de proceso.	104
Figura 3.37 Batería Toyota Prius.	106
Figura 3.38 Corte seccionado del módulo de batería.	106
Figura 3.39 Estructura externa de la batería HV Toyota Prius.	107
Figura 3.40 Estructura interna de la batería HV Toyota Prius.	107
Figura 3.41 Logística inversa de baterías de alta tensión en desuso en el Ecuador	110

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NUM.	PÁGINA
Tabla 1.1 Parámetros de las baterías NiCd	15
Tabla 1.2 Parámetros de las baterías NiMH	16
Tabla 1.3 Parámetros de las baterías Li-ion	17
Tabla 1.4 Parámetros de las baterías NaS	17
Tabla 2.1 Características Batería HV Toyota Highlander	30
Tabla 2.2 Márgenes de concentración de Absorción Atómica con Absorción Atómica de Aspiración Directa.	34
Tabla 3.1 Venta anual de vehículos híbridos por marca.	46
Tabla 3.2 Ventas de vehículos eléctricos por modelo en el Ecuador.	47
Tabla 3.3 Venta de vehículos híbridos según su tecnología.	48
Tabla 3.4 Proyección de ventas de vehículos híbridos en el Ecuador.	49
Tabla 3.5 Proyección de ventas de vehículos híbridos en la provincia e Imbabura.	51
Tabla 3.6 Proyección de ventas de vehículos eléctricos en el Ecuador.	52
Tabla 3.7 Pesaje de las baterías de vehículos híbridos comercializados en el Ecuador.	54
Tabla 3.8 Proyección de desechos producidos de baterías de vehículos híbridos.	54
Tabla 3.9 Pesaje de las baterías de los vehículos eléctricos comercializados en el Ecuador.	55
Tabla 3.10 Proyección de desechos producidos de baterías de vehículo eléctricos.	56
Tabla 3.11 Estimación de recuperación de metales en electrodos positivos y negativos de una celda.	61
Tabla 3.12 Estimación de recuperación de metales de electrodos positivos y negativos por módulo.	62
Tabla 3.13 Estimación de recuperación del material de electrodos positivos y negativos del Bloque 1 y Bloque 3.	63
Tabla 3.14 Estimación de recuperación del material de electrodos positivos y negativos en el Bloque 2.	64
Tabla 3.15 Estimación de recuperación del material de electrodos positivos y negativos de la batería Toyota Highlander.	64
Tabla 3.16 Modelos vehiculares incursionados en el mercado local	66
Tabla 3.17 Incursión de vehículos en el mercado local	67

Tabla 3.18 Tecnologías de baterías por fabricantes	68
Tabla 3.19 Mantenimiento en las baterías de alta tensión por fabricante.	69
Tabla 3.20 Vida útil de las baterías por fabricante	70
Tabla 3.21 Reparación y/o repotenciación de baterías por fabricante	70
Tabla 3.22 Gestión y reciclaje de baterías	71
Tabla 3.23 Gestores calificados por casa comercial	72
Tabla 3.24 Protocolos de reciclaje	73
Tabla 3.25 Tipos de baterías aceptadas por gestores ambientales	77
Tabla 3.26 Métodos de reciclaje	78
Tabla 3.27 Normativa legal	81
Tabla 3.28 Seguimiento técnico por gestor ambiental	84
Tabla 3.29 Reutilización de baterías por gestor ambiental	85
Tabla 3.30 Pesaje de baterías HV	87
Tabla 3.31 Pesaje de módulos de baterías HV	88
Tabla 3.32 Voltajes iniciales Bloque 1.	89
Tabla 3.33 Voltajes iniciales Bloque 2	89
Tabla 3.34 Voltajes iniciales Bloque 3	90
Tabla 3.35 Tiempos de carga y descarga del Bloque 1	90
Tabla 3.36 State of Health Bloque 1	91
Tabla 3.37 Tiempos de carga y descarga del Bloque 2	92
Tabla 3.38 State of Health Bloque 2	92
Tabla 3.39 Tiempos de carga y descarga del Bloque 3	93
Tabla 3.40 State of Health Bloque 3.	94
Tabla 3.41 Temperaturas por proceso de fundición	100
Tabla 3.42 Resultados electrodo positivo por absorción atómica	101
Tabla 3.43 Resultados electrodo negativo por absorción atómica	102
Tabla 3.44 Evaluación alternativas	103
Tabla 3.45 Ventajas de las alternativas de reciclaje.	104
Tabla 3.46 Desventajas de las alternativas de reciclaje.	105

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN NUM.	PÁGINA
Ecuación 1.1 Proceso de carga y descarga de baterías de NiCd	18
Ecuación 1.2 Reacción química electrodo positivo en baterías de NiMH.	19
Ecuación 1.3 Reacción química electrodo negativo en baterías de NiMH.	19
Ecuación 1.4 Reacción química en el electrodo positivo de la batería de ion de Litio.	20
Ecuación 1.5 Reacción química en el electrodo negativo de la batería de ion de Litio.	20
Ecuación 1.6 Reacción en baterías de Litio Ferroso.	20
Ecuación 3.1 State of Health del bloque 1	91
Ecuación 3.2 State of Health del bloque 2.	92
Ecuación 3.3 State of Health del bloque 3.	94

RESUMEN

El crecimiento del sector comercial automotriz, específicamente de vehículos híbrido-eléctricos, ha sido exponencial en las últimas décadas y ha traído consigo una serie de retos para la industria. Uno de los principales desafíos que enfrenta la electromovilidad es la gestión de baterías cuando estas cumplen su ciclo de vida útil, siendo un potencial problema ambiental si estas no se reciclan de manera responsable. El presente trabajo de grado propone indagar acerca de la idoneidad de las diferentes alternativas de reciclaje que actualmente se ofertan en el medio local. Del mismo modo se elaboró una maqueta que pretende explicar el funcionamiento de estos acumuladores de alta tensión en el que se pueden identificar sus componentes tanto externos como internos. Así mismo se propuso la ejecución de metodologías y técnicas que, basados en procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos, busquen la recuperación de materias primas. Para ello se realizó un estudio del tipo de tecnología en baterías que emplean los vehículos más comercializados para establecer una clasificación, y en base a esta información, identificar el proceso óptimo de reciclaje. Una vez recopilada la información del sector automotriz se busca explicar las fases del proceso de reciclaje, entre ellas el pretratamiento mecánico que las baterías deben tener antes de ser sometidas al proceso de recuperación. Una vez realizada la fase previa en las baterías, fueron evaluadas en las diferentes técnicas y metodologías de reciclaje, entre ellas, fundición en horno alcanzando temperaturas próximas a los 750 °C, fundición mediante oxicorte utilizando propano y aire-acetileno con temperaturas cercanas a los 900 °C y 3100 °C respectivamente, y finalmente un análisis del método de espectrofotometría mediante absorción atómica. Como resultado del análisis metalúrgico se determinó una concentración en peso porcentaje de 53,8% de níquel en el electrodo positivo de la celda mientras que para el electrodo anódico se determinó una concentración de 1,03 ppm de cromo, 72 ppm de manganeso y 730 ppm de níquel entre otros elementos en la aleación metálica del electrodo negativo. Posteriormente se realizó un análisis comparativo de las alternativas de reciclaje aplicadas y utilizadas por gestores ambientales nacionales en donde se concluyó que existe un 17,22 % de recuperación de níquel, siendo este un porcentaje relativamente bajo con respecto a la cantidad de material procesado, razón por la cual la idoneidad del proceso de disposición final de micro y macroencapsulamiento es la mejor alternativa de gestión ambiental a nivel nacional.

ABSTRACT

The growth of the commercial automotive sector, specifically hybrid-electric vehicles, has been exponential in recent decades and has brought with it a number of challenges for the industry. One of the main challenges faced by electro-mobility is the management of batteries when they reach their useful life cycle, being a potential environmental problem if they are not recycled in a responsible manner. The present dissertation proposes to investigate the suitability of the different recycling alternatives that are currently offered in the local environment. In the same way, a model was elaborated to explain the operation of these high voltage accumulators in which its external and internal components can be identified. It was also proposed the implementation of methodologies and techniques based on hydrometallurgical and pyro-metallurgical processes that seek the recovery of raw materials. For this purpose, a study of the type of battery technology used in the most commercialized vehicles was carried out in order to establish a classification and, based on this information, to identify the optimum recycling process. Once the information of the automotive sector has been compiled, the phases of the recycling process are explained, including the mechanical pretreatment that the batteries must have before being subjected to the recovery process. Once the previous phase was carried out on the batteries, they were evaluated in the different recycling techniques and methodologies, among them, smelting in furnace reaching temperatures close to 750 °C, smelting by oxy-cutting using propane and air-acetylene with temperatures close to 900 °C and 3100 °C respectively, and finally an analysis of the spectrophotometry method by atomic absorption. As a result of the metallurgical analysis a concentration in weight percentage of 53.8% of nickel was determined in the positive electrode of the cell while for the anodic electrode a concentration of 1.03 ppm of chromium, 72 ppm of manganese and 730 ppm of nickel among other elements was determined in the metallic alloy of the negative electrode. Subsequently, a comparative analysis of the recycling alternatives applied and used by national environmental managers was carried out, where it was concluded that there is a 17.22% nickel recovery rate, which is a relatively low percentage with respect to the amount of material processed, which is why the suitability of the final disposal process of micro and macro-encapsulation is the best environmental management alternative at the national extent.

INTRODUCCIÓN

En la investigación se abordará una ponderación comparativa de los procesos empleados a nivel nacional tomando en cuenta criterios como nivel técnico, social, tecnológico, científico, económico y ambiental de alternativas de reciclaje que sean relativamente comparables. Entidades como el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental CENICA de la ciudad de México se han dedicado a promover el desarrollo de investigación, tratamiento, reciclado de baterías en la región tomando en cuenta aspectos tecnológicos, jurídicos, de capacitación, de participación y económicos de países como Argentina, Brasil, Ecuador, Perú y Colombia. Esta investigación dió como resultados preliminares la falta de acceso a la información sobre los procesos, en cuanto al ámbito tecnológico afirma que a pesar de contar con infraestructura para los procesos de reciclaje el grado de tecnología y formalidad para sobrellevar los procesos aún limita la implementación de estos en el país. A pesar de ello el estudio mantiene que se están realizando varios proyectos de investigación por parte de las Universidades, esto con el fin de solventar esta problemática a nivel de Latinoamérica y en Ecuador no se quiere ser la excepción. Con el presente trabajo de grado se tiene como objetivo analizar los diferentes procesos de reciclaje a nivel nacional, dando a conocer cuál de las alternativas es más viable con la finalidad de optimizar tiempo y dinero aportando a la economía de la sociedad ecuatoriana y aún más siendo amigable con el medio ambiente mediante una reforma tentativa para una normativa de tratamiento de baterías de alta tensión.

CAPÍTULO I

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este apartado se presenta un estado del arte que se encuentra ligado a los principios teóricos que se necesitan para comprender y establecer una justificación del proyecto a desarrollarse, partiendo de una base teórica que fundamenten las características e investigaciones previas acerca de las baterías de alta tensión como Ion de Litio, Níquel Hidruro Metálico o Níquel Cadmio, así como también la conceptualización de terminologías técnicas que se utilizarán en el desarrollo del proyecto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el impacto de las diferentes alternativas de reciclaje de las baterías de alta tensión para vehículos híbrido-eléctricos después de cumplir el ciclo de vida útil para determinar la idoneidad de cada alternativa.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las diferentes alternativas de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos utilizadas en el campo automotriz.
- Organizar la recopilación de datos obtenidos en la industria automotriz y compararla.
- Elegir las alternativas más viables en cuanto a reciclaje de baterías de vehículos híbrido-eléctricos que permitan optimizar tiempo y dinero.
- Diseñar un proceso idóneo de reciclaje como tentativa para una normativa de postratamientos de las baterías de alta tensión.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las diferentes alternativas de reciclaje de las baterías de alta tensión de vehículos eléctricos provocan impactos ambientales y económicos representativos en la actualidad. Por lo que en este trabajo se quiere presentar una comparativa de las diferentes alternativas de reciclaje mediante una investigación minuciosa y un análisis estadístico de las variables con el fin de determinar la idoneidad de estas. Se estima que 7 de cada 10 personas desconoce acerca de los procesos y alternativas de reciclaje para las baterías de alta tensión que se utilizan en vehículos híbridos y eléctricos. Por esta razón se busca, a manera general, presentar una investigación que permita a los lectores comprender acerca de las estrategias y motivaciones

tomadas en cuenta en el reciclaje de las baterías que se utilizan en el campo automotriz para los vehículos híbrido-eléctricos.

1.3 ALCANCE

La investigación se focalizará en la caracterización de los procesos empleados en la actualidad para el tratamiento eficaz de las baterías de alta tensión. Los métodos principales más empleados como estrategias de manejo son la refabricación, reutilización, que alargan la vida útil de la batería, y reciclaje directo que netamente busca reinsertar los materiales dentro de una nueva cadena de producción. Específicamente se trabajará en la comparativa de estrategias de aplicación de los procesos de pirometalurgia, hidrometalurgia y la reutilización. Estos procesos son utilizados por países en vías de desarrollo tales como Ecuador, Perú, Colombia, Chile, entre otros, que serán fuentes de investigación de este estudio. En base a una comparativa de la aplicación de estas estrategias en países semejantes a nivel social y tecnológico, y utilizando metodologías de investigación se propone establecer una guía de aplicación idónea para determinar la mayor rentabilidad económica con el menor impacto ambiental de los procesos en el país.

1.4 ANTECEDENTES

El desarrollo de las tecnologías de la industria automotriz, en la última década, ha crecido a pasos agigantados. Hasta hace pocos años se hablaba de la innovación y aporte de los vehículos híbrido-eléctricos para con la sociedad y el medio ambiente. Es un hecho que estos vehículos han colaborado significativamente con la protección ambiental. Sin embargo, la creciente implementación sobre electromovilidad y normas de regulación ambiental han dado paso a una exhaustiva investigación en este campo automotriz. A pesar de las ventajas que presentan estos vehículos aún hay problemáticas que las grandes industrias no han podido dar solución, entre ellas es el tratamiento para las baterías que ya cumplieron su ciclo de vida útil. Por tal razón desde inicios del siglo XXI se han venido realizando investigaciones como la de (Steele, 1995) “Recycling electric vehicle batteries in California” que se enfoca en la planificación para el desarrollo de vehículos eléctricos. Además señala que las baterías contienen materiales peligrosos que pueden ser perjudiciales para la salud humana. Por consiguiente, añade que las baterías que ya cumplieron su vida útil son consideradas como desechos peligrosos. El presente proyecto está preconcebido con una prospectiva para mantener la línea de investigación que se han venido realizando en las

últimas 2 décadas buscando aportar a la industria con la idoneidad de las alternativas de reciclaje propuestas hasta la fecha.

Existen trabajos previos donde se explica si el sistema de reciclaje de uno de los elementos del VE en especial las baterías pueden aportar de forma positiva o no, obteniendo ventajas y desventajas de este proceso. En Ecuador se realizó un trabajo de grado con respecto al “Análisis de factibilidad técnica del proceso pirometalúrgico para reciclaje de baterías de vehículos con motores eléctricos” (Cuesta Torres & Villa Auquilla, 2019); Lo que se pretende con la investigación es “determinar si existe la factibilidad técnica de la creación de una planta de reciclado de baterías de ion litio, níquel mediante el proceso pirometalúrgico, con el fin de reducir la contaminación medio ambiental que estas producen al no ser manejadas de manera adecuada al final de su vida útil”(Cuesta Torres & Villa Auquilla, 2019).

Los vehículos eléctricos son los más amigables con el medio ambiente a largo plazo. Por tal motivo el sistema de transporte se ha vuelto más sostenible utilizando a la movilidad eléctrica como elemento clave para su transición. El uso de las baterías son diversos y útiles con muchas aplicaciones tanto fijas como móviles. Tomando en cuenta el crecimiento exponencial de los vehículos eléctricos en el mercado, las alternativas de reciclaje serán indispensables para solventar la disponibilidad de este recurso en un mediano o largo plazo. Sin embargo, no podemos hablar aún de cantidades de material reciclado que aporte a disponibilidad debido a que la capacidad del material extraído para reutilizarlo en baterías es incierta. (Ziemann et al., 2018)

Debido a los beneficios que presentan las baterías de níquel hidruro metálico, ion litio, entre otras configuraciones, en vehículos eléctricos estas se han utilizado en gran escala por diversos fabricantes, entre las principales ganancias de este tipo de baterías nombramos la prolongada vida útil, alta confiabilidad, densidad de energía y potencia que estas pueden suministrar. Sin embargo hay que tomar en cuenta que a mediano y largo plazo estas baterías se convertirán en desechos y que su tratamiento se lo deberá tomar con mucha medida. Se conoce además que la utilización pertinente de baterías retiradas puede ser de gran aporte para extender la vida útil de la batería, cuidar recursos naturales y salvaguardar el medio ambiente, cuando las baterías aún poseen el 70% a 80% de su potencial inicial. (Y. Hua et al., 2020)

La creciente demanda de baterías de alta tensión en vehículos, en un mediano a largo plazo, repercutirá con el incremento de baterías desgastadas. Entre las alternativas a tomar en cuenta para un tratamiento adecuado circunscriben la refabricación, reutilización y reciclaje directo. El proceso que se está llevando a cabo para tratar las baterías desgastadas involucran a la remanufactura y a la reutilización para alargar el ciclo de vida de las baterías, mientras que el reciclaje directo busca reinsertar a los materiales nuevamente a la cadena de valor. Los procesos más empelados en la actualidad para el proceso de reciclaje de baterías son la pirometalurgia, hidrometalurgia y el reciclaje directo de los materiales. (Chen et al., 2019)

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es el impacto económico, ambiental y técnico de las diferentes alternativas de reciclaje de las baterías de alta tensión para vehículos híbrido-eléctricos, después de cumplir el ciclo de vida útil?

1.6 SITUACIÓN ACTUAL

Debido a la demanda de los vehículos eléctricos existe un notable crecimiento de la producción de baterías de alta tensión. Con el pasar de los años un gran número de vehículos eléctricos llegarán a finalizar su vida útil, es indispensable diseñar un proceso idóneo de reciclaje de las baterías en cuanto a costos y el tiempo empleado, estos tipos de procesos buscan recuperar la mayor parte de material de las baterías de alta tensión para luego darles un segundo uso o una segunda vida. (Xu et al., 2021)

La producción masiva y uso de los vehículos eléctricos a nivel global en las próximas décadas generará una cantidad considerable de productos o materiales al llegar al final de su vida útil. A su vez traerá consigo de la mano consecuencias como la acumulación de residuos eléctricos y electrónicos que posiblemente sean desechados. Por tanto, es necesario la reutilización o el reciclaje de las baterías de los vehículos eléctricos al finalizar su tiempo de trabajo. En la investigación realizada por este autor se diseñó un proceso de desmontaje del paquete EVB para su remanufacturada y obtuvieron la mayor rentabilidad económica del proceso con el mínimo impacto ambiental. (Alfaro-Algaba & Ramirez, 2020)

Los vehículos eléctricos son beneficiosos para el cuidado del medio ambiente, en la actualidad se pone a prueba si los procesos de reciclaje son idóneos al finalizar el ciclo de vida útil de los EV. Existen varios procesos de reciclaje como los que son; el proceso pirometalúrgico, hidrometalúrgico, el más empleado es el pirometalúrgico, algunos siguen

en investigación, dichos procesos de reciclaje tienen como objetivo recuperar el mayor material posible de las baterías, este tipo de reciclaje permite que las baterías puedan utilizarse como un almacenador de energía a partir de fuentes renovables. Sin embargo, el proceso de reciclaje es costoso y requiere de un tiempo prolongado, dicho análisis es demostrado por la LCA. La LCA realiza un enfoque óptimo en cuanto a las alternativas de reciclaje, no obstante, no es viable para todos los casos o tipos de reciclaje, en la actualidad la alternativa más idónea es realizar los procesos de reciclaje para que en un futuro no se genere una acumulación de residuos que quedan de los vehículos eléctricos al finalizar su vida útil en especial las baterías que causarían daños al medio ambiente. Por consiguiente, es necesario desarrollar procesos que sean económica y energéticamente eficientes. (Kotak et al., 2021)

En la actualidad se ve la necesidad de optar por reciclar las baterías de alta tensión de vehículos eléctricos debido a que económicamente puede ser viable, sin embargo, la rentabilidad aún no está realmente definida. Uno de los modelos propuestos es el modelo tecno económico integral y holístico que permite realizar una comparación de ubicaciones y procesos de reciclaje. Esta comparación proporciona una herramienta clave la cual permita optimizar el costo del reciclaje en una economía internacional, de esta manera ratificando la viabilidad económica de reciclar, consiguiendo así un costo / beneficio. Se recomienda el reciclaje como una alternativa la cual permita reducir la contaminación, planteando estrategias de rentabilidad al momento de reciclar. (Lander et al., 2021)

1.7 IMPACTO AMBIENTAL

Los vehículos híbridos-eléctricos son conocidos como vehículos que disminuyen el impacto ambiental siendo así amigables con el medio ambiente. El sector del transporte es uno de los sectores que más contaminan el entorno, siendo una alternativa sustentable la incorporación de vehículos eléctricos en este sector, recalando que este tipo de tecnología es viable solo en la etapa de uso. Por lo cual sería necesario replazar los vehículos convencionales a pesar de que la tecnología empleada aumente su rendimiento y ayude en la mitigación de emisiones de este tipo de vehículos

Los vehículos híbridos y eléctricos generarán desechos con el pasar de los años. En especial existirán una gran cantidad de baterías en donde deberán ser tratadas de manera adecuada para evitar el impacto que genera su desecho. Las alternativas para este problema es la reutilización, reciclaje y el almacenamiento adecuado de las baterías. Las nuevas tecnologías

tienen como objetivo la reutilización, con la cual, en base a lo recuperado por procesos empleados, se pueda fabricar una nueva batería para poder disminuir la explotación de materia prima y que este proceso sea eficiente y económicamente viable.

La fabricación de vehículos ya sean híbridos o eléctricos dependiendo el país deberán de seguir una normativa en donde un porcentaje de sus componentes deberán ser reciclados o reutilizados para poder contribuir con la sociedad y disminuir el impacto ambiental. El reciclaje de baterías es una opción que las autoridades establecieron para poder mitigar el cambio climático que se genera con el deshecho de estas.

1.7.1 LEGISLACIÓN

En el Ecuador, toda persona sea natural o jurídica o empresa que se encuentre involucrado con la fabricación, importación, almacenamiento, distribución y uso final de baterías en el territorio nacional deberá acogerse a las especificaciones y procedimientos que se establezcan en el Código Orgánico del Ambiente, Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, al Acuerdo Ministerial 061 que entró en vigor en el año 2015, al Acuerdo Ministerial 142, al Acuerdo Ministerial 026 y al Acuerdo Ambiental 022 del Plan de Gestión Integral de Pilas Usadas del Ministerio del Ambiente el cuál entró en vigor a partir del 23 de febrero del 2013. En este acuerdo se regula la gestión de baterías tales como pilas con óxido de mercurio principalmente y en segundo plano las de fabricación a base de Níquel-Cadmio, Níquel Hidruro metálico, Níquel Hierro y pilas de ion de Litio.

En cuanto se refiere a normativa legal se deberán acoger a la Norma INEN 2266: Transporte y Almacenamiento, Norma INEN 2288: Etiquetado y a la Norma INEN 2841: Color de Recipientes. La legislación ambiental tiene como fin procurar la correcta gestión integral de las baterías con el mínimo riesgo e impacto ambiental posible, además de garantizar la mayor efectividad social, ambiental y económica de estos procedimientos.

1.7.2 ANÁLISIS CICLO DE VIDA

En las últimas décadas el Análisis de ciclo de vida, más conocido como ACV, ha sido una herramienta para evaluar el impacto ambiental de las fases de vida útil de un producto, desde la fase de extracción de materia prima, pasando por su fase de uso, hasta su finalización.

El marco de la hibridación no ha sido la excepción para realizar un ACV de las baterías de alta tensión de los vehículos híbrido-eléctricos. A continuación, en la **Figura 1.1** se presenta un análisis general del ciclo de vida que tienen estas baterías.

El diagrama de bloques de la **Figura 1.1** centraliza los 3 grupos más importantes en la vida útil de los componentes de un vehículo híbrido eléctrico. Estos grupos estarán divididos en Fabricación de componentes, Fase de uso y finalmente Fin de la vida útil. En el primer apartado se toma en cuenta varios aspectos como la extracción de materias primas, la producción de materiales, la producción de autopartes y finalmente el ensamblaje de todos estos procesos para obtener un vehículo híbrido-eléctrico terminado. Al final de todos estos procesos podemos observar que tendremos un impacto ambiental que estará ligado a la producción de las baterías y del resto de componentes del vehículo.

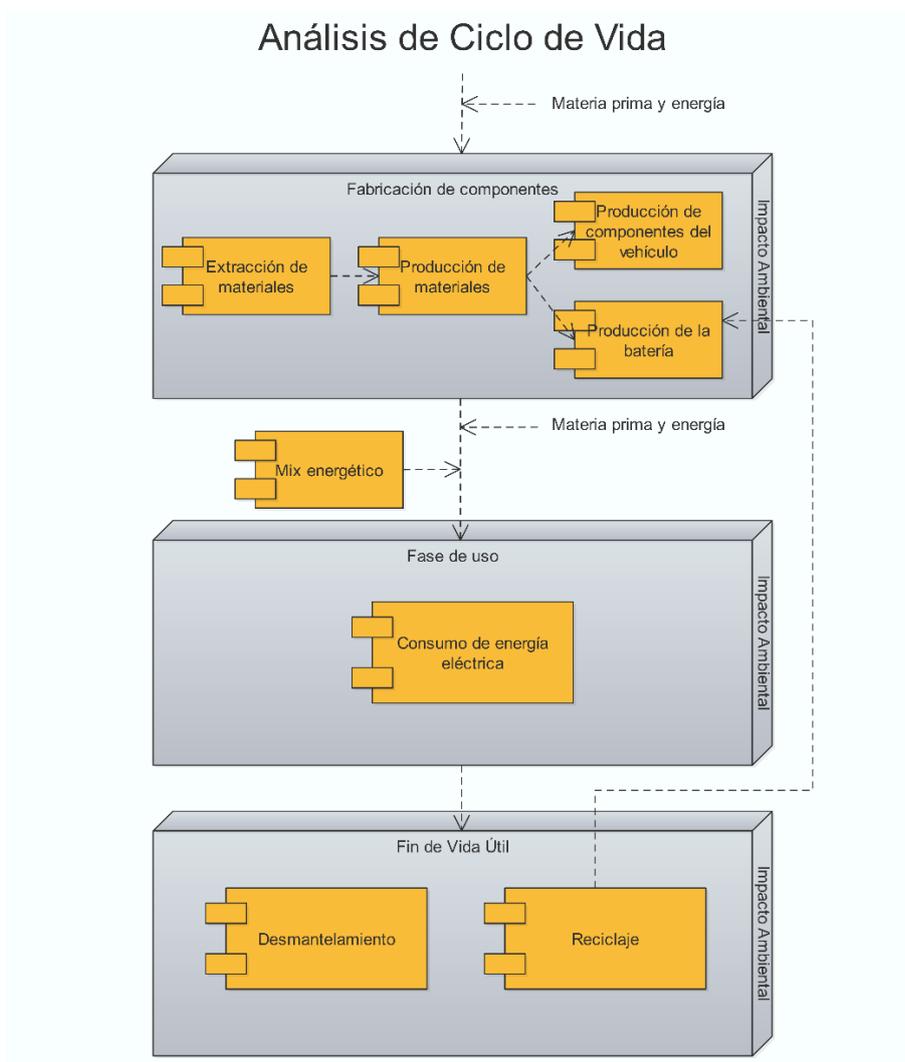


Figura 1.1 Análisis del ciclo de vida de las baterías
Fuente: Autores

En el segundo apartado se toman en cuenta aspectos que se relacionan con el consumo energético que se necesita para poder movilizarse en el vehículo, además del mantenimiento que este requiera. También existe un impacto ambiental para analizar, no obstante, es un

sistema más complejo de medir debido a que existen una serie de parámetros que afectan directamente al impacto ambiental que se genere, entre estos aspectos se destaca la forma de conducción, tráfico en el que transite, geografía, peso vehicular, entre otros. Estos factores determinarán la eficiencia tanto del vehículo como la eficiencia de la batería.

Finalmente, el último apartado trata acerca del desmantelamiento de los componentes del vehículo y además de la extracción de la batería para enviarla a un establecimiento certificado para ser evaluada. Después de medir el estado de salud y las condiciones de las baterías se procede a determinar el proceso ideal de reciclaje. Este último apartado será objeto de investigación en el presente trabajo de fin de grado.

Según (Denton, 2016) afirma que los fabricantes de vehículos consideran que una batería ha llegado al final de su vida útil cuando su capacidad se ha visto reducida por debajo del 80% de su capacidad nominal. Sin embargo, estas baterías siguen siendo funcionales para otras actividades que no requieren que su capacidad esté por encima del 80% de su capacidad nominal. Como por ejemplo ser acumuladores en una red doméstica para abaratar costos de consumo de energía o cuando existe una incidencia.

1.7.3 FABRICACIÓN.

Para iniciar la fabricación de baterías de alta tensión es necesario la extracción de los minerales necesarios tales como son, níquel, cobalto, azufre, sodio, el principal Litio, entre otros. Después de la recolección de la materia prima, es el momento de la preparación y mezcla del material activo, con esto se crean los electrodos, separando ánodo y cátodo. Posteriormente se realiza el proceso de ensamblaje de las celdas que serán organizadas en módulos, también incorporan otros elementos como el sistema de refrigeración y conectores para ser integradas a las baterías que serán colocadas en los vehículos híbridos y eléctricos. (Enrique Pérez, 2021)

1.7.4 PROCESAMIENTO DE MATERIALES Y PRODUCCIÓN DE COMPONENTES

1. Materia prima: Minería/ producción (cobalto, grafito natural, metal del silicio, litio)
2. Refinamiento de materia prima:
 - Láminas de electrodos
 - Ánodo

- Cátodo
 - Separadores
 - Electrolitos
 - Otros
3. Celdas de baterías
 4. Baterías
 5. Sistemas de baterías: vehículos eléctricos y sistemas de acumulación (Martín Obaya & Mauricio Céspedes, n.d.)

1.7.4.1 Producción de celdas

Las celdas de una batería están compuestas de un electrodo positivo (cátodo), electrodo negativo (ánodo) y electrolitos lo cuales permiten que los iones se muevan entre los electrodos. Este movimiento de electrodos sirve para la alimentación del circuito o del sistema eléctrico. (Carlos Gonzáles, 2022)

Existen tres diferentes formas de fabricación:

Celdas cilíndricas: Brindan estabilidad mecánica, debido a que pueden soportar altas presiones sin deformarse, tiene bajo coste.

Celdas prismáticas: Permite un diseño flexible por la cual consigue optimizar el espacio en el ensamblaje. Tiene un coste elevado a comparación de las celdas cilíndricas. Por otro lado, este tipo de celdas no son muy eficientes y tiene una corta vida útil.

Celdas tipo bolsa o laminados: Optimizan el espacio dentro del acumulado. Es muy eficiente en el empaquetamiento, tiene un menor peso a comparación de las demás configuraciones lo que facilita el diseño de la batería, sin embargo, tienden a hincharse cuando trabajan a altas temperaturas lo que provoca una carga o descarga descontrolada. (Tandazo & Uyaguari)

1.7.4.2 Producción de módulos

Las baterías de alta tensión están conformadas por una configuración en serie de los denominados módulos. Donde los módulos están compuestos por varias celdas y otros componentes. La composición de los módulos y el número de celdas varían dependiendo la necesidad o capacidad solicitada.

1.7.4.3 Ensamblaje de paquetes

Durante el ensamblaje de baterías, primero se monta el módulo de celdas. Luego las celdas individuales se apilan para ser colocadas en la carcasa de la batería y a continuación se conecta al sistema de gestión de la batería. Posteriormente se conecta el colector de corriente a la fuente de alimentación, se comprueba el cableado y se cierra la carcasa. (DEPRAG, 2020)

1.7.4.4 Componentes básicos de las baterías de alta tensión:

A manera general las baterías de alta tensión, además de estar conformadas por módulos y celdas, también se asisten de gestionadores electrónicos que permiten controlar y verificar el correcto funcionamiento del sistema. En la **Figura 1.2** se presentan los componentes básicos para el funcionamiento de un sistema de alto voltaje en vehículos híbridos.

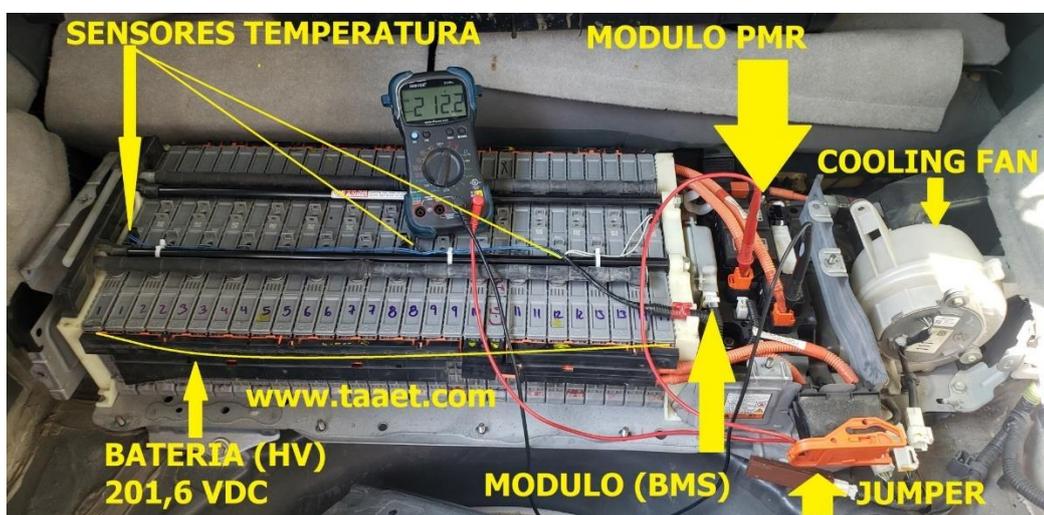


Figura 1.2 Componentes básicos de un sistema de alta tensión
Fuente: (Chávez, TAAET Electronics, 2020)

Unidad de control principal (BMS): se encarga de controlar el voltaje de cada celda, refrigeración y temperatura, los relés entre otros.

Unidades de control de módulo (CMU): Se encarga de monitorear cada una de las celdas de la batería a través de unidades de control de voltaje que envían información del voltaje de cada una de las celdas a la BMS.

Sensores de temperatura: En cada módulo estará incorporada una sonda de temperatura con la cual la BMS controlará la refrigeración y calefacción de la batería.

Sistema de refrigeración: Puede ser por aire o por líquido. En la refrigeración por líquido, cada módulo estará instalada sobre un intercambiador térmico, donde la bomba de agua y el depósito estarán fuera de la batería.

Relés de conexión y resistencia de precarga: Se utilizan tres relés. Debido a que el sistema de alta tensión deberá estar aislado del de baja tensión, por la cual el sistema realiza un control de aislamiento en todo el vehículo. Este aislamiento es comprobado antes de conectar la batería.

Cableado de control: Son los cables que conecta todos los dispositivos o componentes de las baterías.

Fusibles de desconexión de alta tensión: Está presente en todos los vehículos híbridos y eléctricos para la desactivación de la alta tensión y así tener una manipulación segura. (González, 2020)

1.7.4.5 Integración en vehículos

El proceso de montaje del módulo de baterías o la electrónica de potencia es un proceso complejo por sus diversos componentes, donde se deberán montar numerosos tornillos que deberán seguir los lineamientos de la normativa VDI 2862 para garantizar un correcto montaje. Debido a que la batería es pesada, el peso de la carrocería deberá ser bajo, con el fin de tener un equilibrio. Los materiales empleados en la construcción deberán ser ligeros para disminuir el peso neto del vehículo y así minimizar el consumo de energía. (DEPRAG, 2020)

1.8 VEHÍCULOS HÍBRIDOS

1.8.1 CONCEPTUALIZACIÓN DEL VEHÍCULO HÍBRIDO-ELÉCTRICO

Un vehículo híbrido según la Society American Engineers (SAE) es “aquel vehículo de dos o más sistemas de almacenamiento de energía los cuales deben proporcionar potencia al sistema propulsor bien juntos o de modo independiente”. Así mismo, las Naciones Unidas, en el año 2003, definieron al vehículo híbrido como “aquel vehículo que combina dos sistemas de almacenaje de energía distintos y además combina al menos dos transformadores de energía con el fin de propulsar al vehículo”. A manera general, y bajo estos conceptos, se conoce a los vehículos híbridos como aquellos que asocian un motor de combustión interna con un motor eléctrico. Bajo este contexto (López Martínez, 2015) afirma que “un vehículo híbrido con un tren de potencia eléctrico se denomina vehículo híbrido-eléctrico (VEH)”.

1.8.2 CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDO-ELÉCTRICOS

Según (Barrera Doblado & Ros Marín, 2017) debido a la gran diversidad de tecnologías que se han implementado en los vehículos híbrido-eléctricos desde hace algunos años, los

organismos internacionales han intentado clasificarlas bajo una normativa ISO la cual clasifica a estos vehículos según el grado de electrificación como se muestra en la **Figura 1.3**.

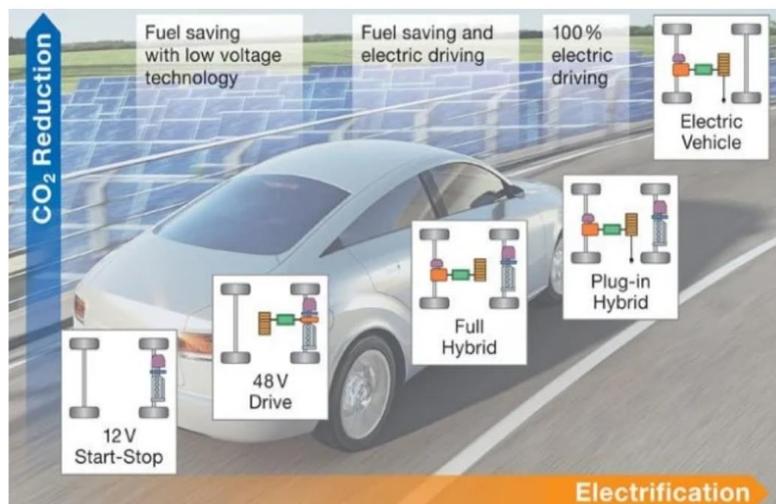


Figura 1.3 Clasificación de VEH según el grado de electrificación

Fuente: Costas, J. (2020, January 13). Microhíbridos, semihíbridos e híbridos, ¿cómo se conducen? <https://www.motor.es/noticias/microhibridos-semihibridos-e-hibridos-como-se-conducen-202063997.html>

1.8.2.1 Microhíbridos.

Los vehículos microhíbridos son aquellos que se componen de un motor de combustión interna pero también cuentan con un motor adicional que es eléctrico. Incorpora el sistema Start/stop. El motor de combustión interna es el encargado de propulsar las ruedas del vehículo. (Héctor Siza Morales, 2020)

1.8.2.2 Híbrido suave.

Los vehículos híbridos suaves están conformados de un pequeño motor eléctrico que trabaja juntamente con el MCI con el fin de proporcionar una potencia adicional en la aceleración y además uno de sus beneficios es el ahorro de combustible. Tiene el sistema de start/stop y además es capaz de reponer la energía utilizada a través del frenado regenerativo (KERS).

1.8.2.3 Híbrido completo.

Los vehículos híbridos completos tienen un grado de electrificación alta por la cual constan con un sistema eléctrico de 400 v, las baterías tienen la capacidad de que el vehículo pueda transitar algunos kilómetros en modo puramente eléctrico, por lo que es idóneo para utilizarlo en zonas urbanas, por tanto, este tipo de vehículos tiene tracción eléctrica y además incorpora KERS.

1.8.2.4 Híbrido enchufable.

Los híbridos enchufables tienen similar tecnología a la de los híbridos completos, constan de un motor eléctrico más potente en donde las baterías se pueden recargar a través de un enchufe y no solo por medio del motor. Por otro lado, las baterías también son recargadas a través del frenado regenerativo. Este tipo de vehículos utilizan la electricidad de sus baterías para propulsar las ruedas del coche y el MCI funcionara solamente cuando la batería este agotada.

1.8.2.5 Vehículos eléctricos.

Los vehículos eléctricos tienen un sistema de tracción puramente eléctrica. Este tipo de vehículos son idóneos para la reducción de emisiones a la atmosfera. Puede ser eléctrico de batería (BEV) o eléctrico de pila de hidrogeno (FCEV). También tiene incorporado KERS. (Barrera Doblado & Ros Marín, 2017)

1.8.3 ARQUITECTURAS

La conexión entre los componentes que definen el flujo de energía y los puntos de control es conocida como la arquitectura de un vehículo híbrido, afirma (López Martínez, 2015). Generalmente en estos vehículos existen 2 flujos de energía, el flujo de energía mecánico y el flujo de energía eléctrico. Bajo este concepto (Ehsani et al., 2004) clasifica a las arquitecturas de los vehículos híbridos en: configuración híbrido serie (propulsión eléctrica), configuración híbrido paralela (propulsión mecánica), configuración híbrido serie-paralelo (propulsión eléctrica-mecánica) y configuración híbrida serie-paralela compleja (propulsión eléctrica-mecánica) tal como se muestra en la **Figura 1.4**.

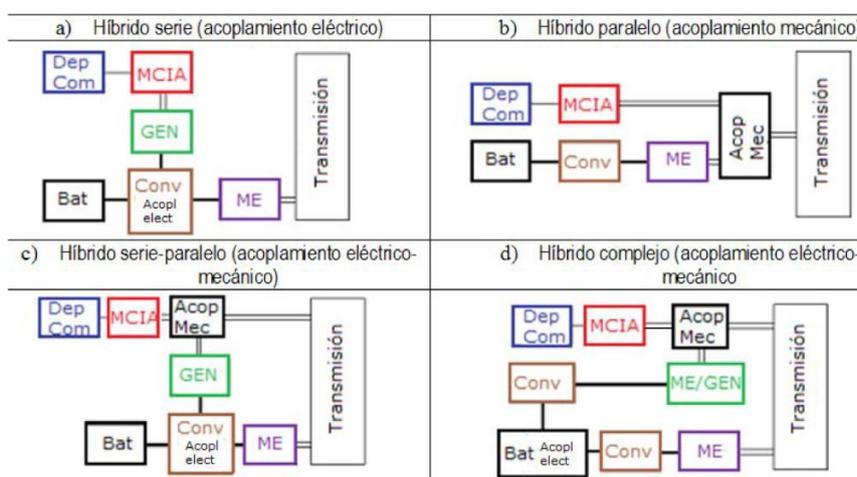


Figura 1.4 Arquitecturas del Vehículo híbrido-eléctrico

Fuente: López Martínez, J. M. (2015). Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor. Dextra Editorial. <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/131530?page=137>

1.8.3.1 Configuración en Serie.

La configuración en serie únicamente utiliza un conversor de energía para que esta brinde potencia propulsiva al vehículo, es decir, el motor de combustión y las ruedas no tienen una conexión mecánica. De esta manera, el motor de combustión interna funciona como un generador eléctrico que carga las baterías mientras que el motor eléctrico es el encargado de propulsar el vehículo con la energía que se encuentra almacenada en la batería.

El motor eléctrico además de ser la fuente primaria de propulsión también funciona como un generador de energía, es decir, la energía fluye en ambas direcciones. A este sistema se lo conoce como Kinetic Energy Recovery System (KERS) el cuál aprovecha el movimiento cinético de las ruedas para recargar las baterías. Para (López Martínez, 2015) “la configuración en serie proviene de vehículo netamente eléctrico en el que se le ha acoplado un motor térmico/generador para extender la autonomía del vehículo”.

1.8.3.2 Configuración en Paralelo.

Esta configuración es aquella que tendrá más de una fuente de potencia propulsiva. El motor de combustión interna y el motor eléctrico trabajan en conjunto para proporcionar el par a las ruedas motrices mediante un acoplamiento mecánico. En este caso el motor de combustión interna es la fuente primaria de propulsión mientras que el motor eléctrico y las baterías son la energía de paralogpes. Con esta configuración no es necesario el uso del generador, además el motor de combustión y el motor eléctrico están conectados mediante un embrague que se acoplará y desacoplará cuando sea necesario según la potencia que se requiera. (Lino, 2018)

1.8.3.3 Configuración Serie-Paralelo.

Este sistema tiene el principio de funcionamiento basado en las dos configuraciones antes mencionadas con el fin de maximizar los beneficios que brinda cada uno de ellos. Su forma de operación se adapta a las condiciones de manejo, es decir, en condiciones en la que no se requiera de mucha potencia se usa únicamente el motor eléctrico, y si el vehículo requiere de una mayor potencia el motor de combustión interna será el encargado de complementarla. Con esta configuración se ha conseguido un nivel de eficiencia y rendimiento muy elevado. (Ehsani et al., 2004)

1.9 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN VEHÍCULOS HÍBRIDO-ELÉCTRICOS

Las baterías de alta tensión es uno de los principales componentes de los sistemas híbridos y eléctricos, su función es almacenar la energía que posteriormente aportara de altos voltajes al sistema para su funcionamiento. Está constituido por un número elevado de celdas que producen tensiones elevadas que comprenden entre los 151 V a 369 V, estas celdas están agrupadas en módulos y paquetes como se muestra en la **Figura 1.5**. (Calapaqui Gómez & Chasi Hidalgo).

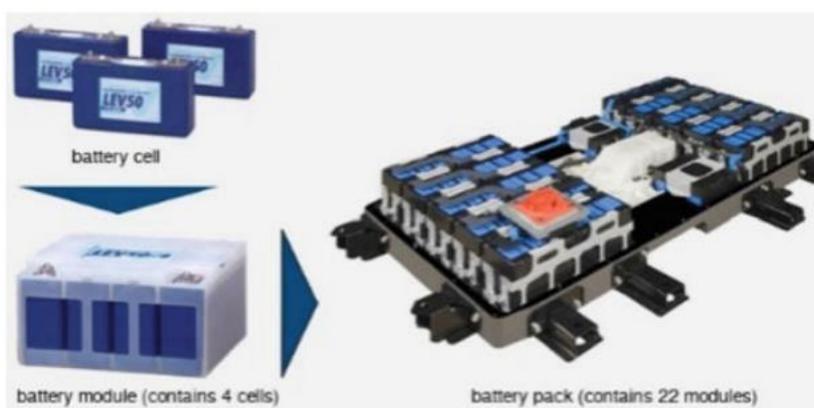


Figura 1.5 Paquete de baterías de Mitsubishi
Fuente: (Green Car Congress, 2008)

1.9.1 TIPOS DE BATERÍAS

1.9.1.1 Níquel – Cadmio (Ni - Cd)

Las baterías de níquel cadmio son muy empleadas en los vehículos híbridos y eléctricos. La batería emplea hidróxido óxido de níquel (NiOOH) como electrodo positivo y al cadmio como electrodo negativo. Este tipo de baterías tienen larga vida por ejemplo hasta 2000 ciclos y rápida carga, sin embargo, es costosa su fabricación y el cadmio es un metal tóxico, además tiene bajas tensiones por celda. (Martínez, 2015). En la **Tabla 1.1** se puede encontrar de manera detallada las características de las baterías compuestas por Níquel-Cadmio.

Tabla 1.1 Parámetros de las baterías NiCd

PARÁMETROS	
Energía específica	40 – 55 Wh/kg
Potencia específica	~125 W/kg
Densidad energética	70 – 90 Wh/l
Tensión nominal de celda	1,2 V

Número de ciclos	Hasta 1200 al 80% de capacidad
Rendimiento	~75%
Auto descarga	~ 0,5 % al día
Tiempo de carga	1 h
Temperatura de funcionamiento	-40 °C -+ 85 °C
Aplicaciones	Vehículos eléctricos

Fuente: Denton, T. (2016). Hybrid and electrical vehicles (Primera edición). Routledge.

1.9.1.2 Níquel – Hidruro Metálico (Ni - MH)

Este tipo de baterías son aquellas que precedieron a la tecnología de NiCd. Su principio de funcionamiento está basado en partículas finas que absorben cantidades elevadas de gas con el fin de formar los compuestos de hidruro metálico. Estas partículas de aleaciones metálicas poseen esta característica de absorción y son funcionales cuando se expone al hidrógeno a presiones y temperaturas altas haciendo que este libere el gas que van a absorber. Una de las ventajas que poseen los hidruros metálicos es que no existe el deterioro de sus componentes cada vez que se absorbe o libera hidrógeno. (Husain, 2005). Además, tiene un amplio rango de temperatura de operación y excelentes características de rendimiento como se detalla en la **Tabla 1.2**.

Tabla 1.2 Parámetros de las baterías NiMH

PARÁMETROS	
Energía específica	60-70 Wh/kg
Potencia específica	200 W/kg
Densidad energética	~ 150 Wh/l
Tensión nominal de celda	1.2 V
Número de ciclos	Hasta 1000 al 80% de capacidad
Rendimiento	~70%
Auto descarga	Hasta un 5% al día
Tiempo de carga	1h
Temperatura de funcionamiento	Ambiente
Aplicaciones	Lexus, Toyota (RAV4), Peugeot 106

Fuente: Denton, T. (2016). Hybrid and electrical vehicles (Primera edición). Routledge.

1.9.1.3 Litio – Ion (Li-Ion)

Las baterías de ion de litio son las más empleadas en el sector automotriz. Tiene un alto color específico, alta conductividad térmica y muy baja densidad entre otras propiedades que se revela en la **Tabla 1.3**. Suelen tener una tensión por celda de 3.6 V. Por lo general se emplean ánodos de grafito, o grafito y silicio y cátodos de litio. (Trashorras Montecelos, 2019).

Tabla 1.3 Parámetros de las baterías Li-ion

PARÁMETROS	
Energía específica	90 – 120 Wh/kg
Potencia específica	200 -300 W/kg
Densidad energética	250 – 620 Wh/l
Tensión nominal de celda	3.5 V
Número de ciclos	> 1000
Rendimiento	~ 90 %
Auto descarga	10% al mes
Tiempo de carga	2 – 3 h
Temperatura de funcionamiento	Ambiente
Aplicaciones	Tesla 3, Nissan hoja

Fuente: Denton, T. (2016). Hybrid and electrical vehicles (Primera edición). Routledge.

1.9.1.4 Litio-Ferroso (LiFePO₄)

Las baterías LiFePO₄ se han convertido en un potencial objeto de investigación para la producción de cátodos para las baterías de ion de Litio desde 1997. Estas baterías presentan ventajas como una buena estabilidad térmica, coste reducido y fácil producción, y lo más importante es que son amigable con el medio ambiente en cuanto a producción y su reciclaje. (Wang et al., 2009). En la **Tabla 1.4** se presentan las características más relevantes de este tipo de baterías.

Tabla 1.4 Parámetros de las baterías NaS

PARÁMETROS	
Energía específica	109 Wh/kg
Potencia específica	> 300 W/kg
Densidad energética	224 Wh/l
Tensión nominal de celda	3,3 V
Número de ciclos	> 2000

Rendimiento	95 %
Auto descarga	8% / Mes
Tiempo de carga	< 2 horas
Capacidad nominal	40 Ah
Aplicaciones	Vehículos híbrido-eléctricos

Fuente:(A. C. C. Hua & Syue, 2010)

1.9.2 COMPONENTES Y REACCIÓN QUÍMICA

1.9.2.1 Níquel – Cadmio (Ni - Cd)

Para (Denton, 2016) los principales componentes que se utilizan en la construcción de las celdas para baterías de vehículos están hechas a base de electrodos de Cadmio sumergidos en un electrolito. En el electrodo positivo se utiliza una composición de hidrato de níquel (NiOOH), en el electrodo negativo se utiliza el Cadmio (Cd) y el electrolito utilizado es el Hidróxido de potasio (KOH) con agua (H₂O). En cuanto al proceso de carga que se muestra en la **Ecuación 1.1**, este implica que el oxígeno sea el que se desplace desde la placa negativa hacia la positiva y para la descarga ocurre el proceso inverso.



En la **Figura 1.6** se muestran los componentes principales de la batería de Níquel-Cadmio

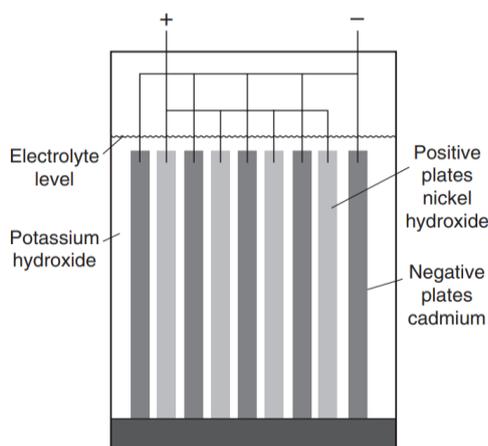


Figura 1.6 Componentes de la batería de Níquel-Cadmio.

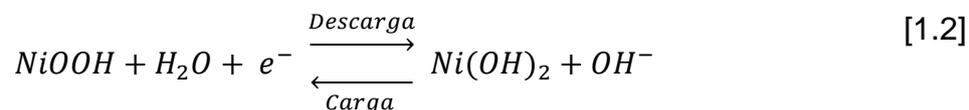
Fuente: Denton, T. (2016). Hybrid and electrical vehicles (Primera edición). Routledge.
[https://p303.zlibcdn.com/dtoken/3f8bd988122c760e95fc588b55f8237a/Electric_and_Hybrid_Vehicles_\(Tom_Denton\)_\(z-lib.org\).pdf](https://p303.zlibcdn.com/dtoken/3f8bd988122c760e95fc588b55f8237a/Electric_and_Hybrid_Vehicles_(Tom_Denton)_(z-lib.org).pdf)

1.9.2.2 Níquel – Hidruro Metálico (Ni - MH)

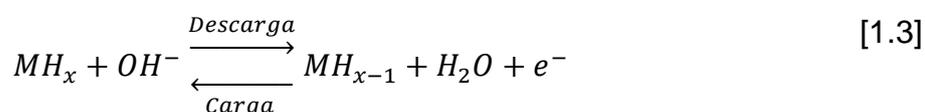
Las baterías de níquel-hidruro metálico está conformado de un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de aleaciones de hidrogeno y un electrolito de hidróxido de potasio (KOH). Tiene

una densidad de energía superior a las baterías de plomo-acido, pero menor en consideración de las baterías de litio. (Denton, 2016)

En la **Ecuación 1.2** se presenta la reacción que se genera en el electrodo positivo de la batería,



Mientras que en la **Ecuación 1.3** se muestra la reacción química del electrodo negativo. En donde M es una aleación de metal que absorbe hidrógeno para crear el hidruro metálico



1.9.2.3 Litio – Ion (Li-Ion)

Un ánodo con estructura de grafito, un cátodo de un óxido de metal en capa y un separador de ion permeable conforman las celdas individuales de las baterías de Ion de Litio. El principio de funcionamiento de estas baterías se basa en el movimiento de los iones a través de las capas, adquiriendo o liberando electrones en el proceso de carga y descarga respectivamente. En la **Figura 1.7** se muestran detalladamente los componentes de las baterías de ion de Litio.

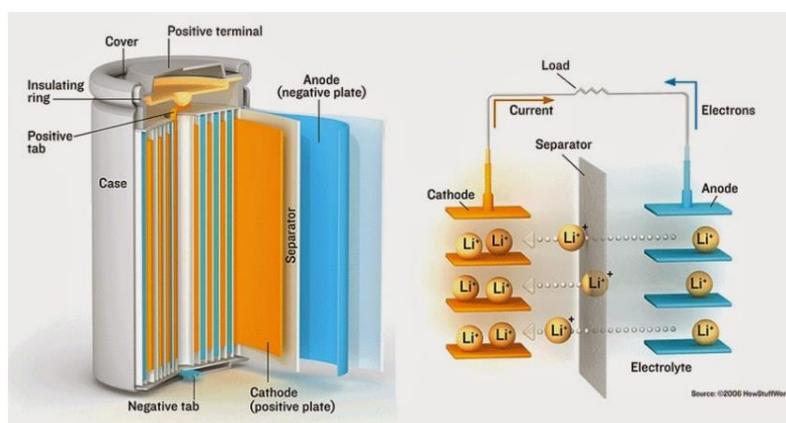


Figura 1.7 Operación básica de una batería de ion de Litio

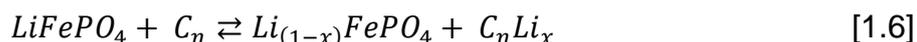
Fuente: Ahulló Carbonell. (2020). Diseño y programación de un sistema de gestión de baterías (BMS) para baterías LiFePO4. Universitat Politècnica de València.

En la **Ecuación 1.4** se presenta la reacción química que se efectúa en el cátodo de la batería, mientras que en la **Ecuación 1.5** se muestra el proceso químico del ánodo de la batería.



1.9.2.4 Litio-Ferroso (LiFePO4)

Según (Patel & Salameh, 2015) este tipo de baterías utiliza fosfato de hierro y litio como compuestos principales para el electrodo positivo, mientras que para el electrodo negativo utiliza un carbono especial altamente cristalizado. En la **Ecuación 1.6** se ejemplifica el proceso general químico que se genera en la batería. La reacción se origina de izquierda a derecha durante el proceso de descarga.



1.10 PROCESOS DE RECICLAJE

1.10.1 NORMATIVA

1.10.1.1 Internacional

En España destaca el Real Decreto 20/2017, de 20 de enero, sobre los vehículos al final de su vida útil, que tiene por objeto: "Establecer medidas destinadas a la prevención de la generación de residuos procedentes de vehículos y a la recogida, a la preparación para la reutilización, al reciclado y otras formas de valorización de los vehículos al final de su vida útil, incluidos sus componentes, para así reducir la eliminación de residuos y mejorar la eficacia en la protección de la salud humana y del medio ambiente a lo largo del ciclo de vida de los vehículos". (FUENTES, 2020)

Según (RETEMA, 2018) El Real Decreto 20/2017 sobre los vehículos al final de su vida útil, establece la obligatoriedad de entregar a partir del 1 de abril 2018 una Memoria Anual que cumpla con los nuevos requisitos legales de reporte de información sobre piezas recuperadas y material reciclado procedente de los Vehículos Fuera de Uso.

La normativa europea establece que al menos el 50% del peso de las baterías de vehículos híbridos – eléctricos deberán ser recuperado o reutilizado. Empresas como SNAM e INDRA son las encargadas de realizar el proceso de reciclaje. Siendo SNAM que recicla cada año

600 toneladas de baterías procedentes de toda Europa y Asia. “Aseguran que consiguen reciclar el 75 % de una batería, destruyendo o quemando entre un 20 y un 30 % de lo que no se puede recuperar y enterrando un 2 % restante”. (MURIAS, 2021)

UMICORE es una empresa que brinda servicio de reciclaje para baterías de alta tensión, trabajando arduamente para proponer soluciones integrales, contando con tecnología equipada que garantiza un proceso adecuado de reciclaje y a la vez ofrece seguridad a sus trabajadores. En la **Figura 1.8** se muestra el proceso resumido que emplea esta empresa para el reciclaje de las baterías de alta tensión.

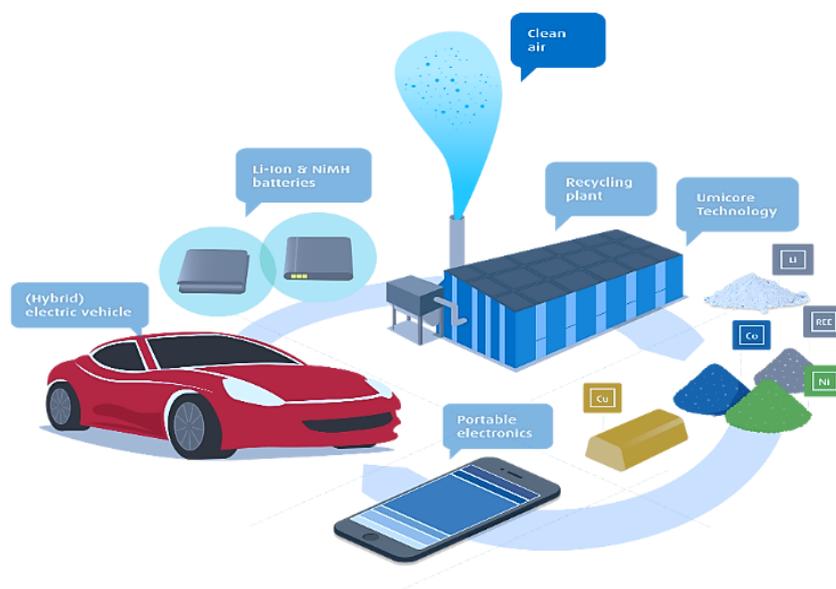


Figura 1.8 Proceso de reciclaje UMICORE

Fuente: UMICORE. (s. f.). Nuestro proceso de reciclaje | Umicore. Recuperado 18 de abril de 2022, de https://csm.umicore.com/en/battery-recycling/our-recycling-process#1_strong_focus_on_safety

1.10.1.2 Nacional

Según la normativa ecuatoriana NTE INEN 2513:2010 formula los requisitos en cuanto al desguace de vehículos, que abarca los procesos necesarios, como se muestra en la **Figura 1.9**, para reciclar la mayor parte de sus componentes. Aplicable en centros de acopio, estos deben cumplir los requisitos contemplados en NTE INEN 2505, almacenamiento, proceso y transporte.

Según la normativa ecuatoriana NTE INEN 2534:2011 indica que las pilas y todo tipo de batería en excepción la de plomo ácido al finalizar su ciclo de vida útil no podrán ser arrojadas en el suelo, en cuerpos de agua o en desechos normales. Las entidades que pueden manipular este tipo de desechos deberán ser autorizadas por el ministerio del ambiente o por

las Autoridades Ambientales de Aplicación responsable “AAAR”. Este proceso de reutilización, reciclaje o eliminación deberá seguir lo reglamentos establecidos por las normativas ecuatorianas.

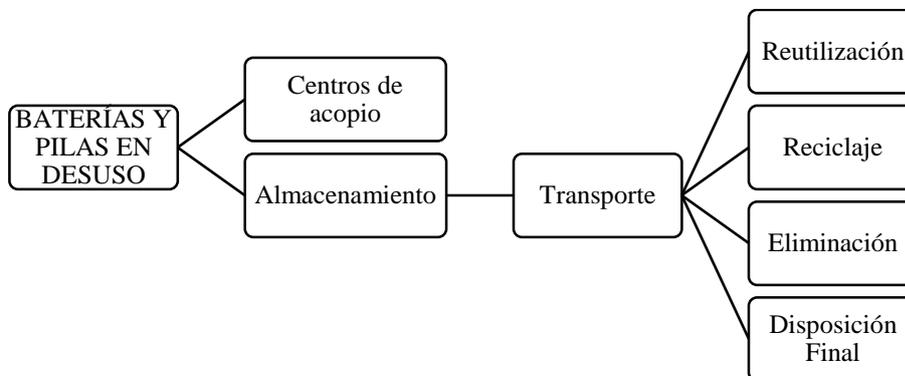


Figura 1.9 Flujo de baterías y pilas en desuso
Fuente: Autores

Este tipo de flujo de pilas y baterías en desuso deberán seguir algunos requisitos

- **Acopio**

Deberán regirse a la normativa vigente. Los centros de acopio están autorizados de entregar las baterías y pilas en desuso solo a personas autorizadas por el ministerio del ambiente o por las AAAR.

- **Almacenamiento**

Deberán cumplir con los siguientes requisitos. En primer lugar se solicitará que sean lugares amplios con fácil manipulación, además deberán ser zonas estratégicas donde se evite los riesgos por emisiones o incendios, conjuntamente deberán poseer sistemas de extinción contra incendios. Al ser lugares de alta peligrosidad deberán disponer de señalización apropiada y conformado por un personal capacitado dentro de la planta.

- **Transporte**

El transporte deberá seguir los lineamientos de la normativa NTE INEN 2266 y deberán ser entidades autorizadas por el ministerio del ambiente.

- **Reciclaje**

Las entidades que se encargan del reciclaje de baterías y pilas deberán contar con una licencia que será otorgada por el ministerio del ambiente o por las AAAR como se menciona anteriormente. Este proceso de reciclaje se lo puede realizar aplicando métodos de pirometalurgia y/o hidrometalurgia.

- **Disposición final**

Los operadores de este tipo de tratamientos deberán ser entidades que sean aprobadas por el ministerio del ambiente. Este tipo de operadores serán los responsables de los daños producidos si no realizan el adecuado manejo de este tipo de desechos. Además, en esta fase se utilizarán procesos físicos-químicos para disminuir la volatilidad de los metales pesados.

1.10.2 PROCESO PIROMETALÚRGICO

La pirometalurgia utiliza el calor para obtener metales purificados. El proceso pirometalúrgico es el más empleado para obtener metales al ser uno de los procesos más rápidos y amigables con el medio ambiente. (Torres & Auquilla)

Según (Morales, 2005) “El proceso pirometalúrgico consume más cantidad de energía en comparación con el proceso hidrometalúrgico”.

Etapas:

- Calcinación: Descomposición térmica del material de alimentación.
- Rotación del horno: Introducción de óxido metálico a través de volatilización controlada
- Fusión: Obtención de sulfuros metálicos por combustión parcial.
- Soplado: Transformación de sulfuro metálico en metal en el convertidor.
- Refinación pirometalúrgica: Eliminación de impurezas, oxígeno, azufre y metales mediante precipitación intermetálica y volatilización.
- Empobrecimiento de escorias: Procesamiento térmico de escorias para la obtención de componentes metálicos. (Estructplan On Line – Salud, seguridad y medio ambiente en la industria , s.f.)

1.10.3 PROCESO HIDROMETALÚRGICO

El proceso hidrometalúrgico tiene como objetivo la recuperación del litio y otros materiales mediante la disolución parcial o total de los metales, tiene una moderada inversión inicial en comparación con el proceso pirometalúrgico. Este proceso genera residuos sólidos y aguas residuales. Puede complementarse con el proceso pirometalúrgico. Este método consume menos energía en su proceso comparándola con el otro proceso de reciclaje antes mencionado. (Lahuerta)

Etapas:

- Pretratamiento: Se garantiza la segura manipulación de las baterías para el operante.
- Lixiviación: Tiene el objetivo de la recuperación de los materiales activos.
- Purificación: eliminación de sustancias sobrantes o escorias que limiten la calidad del resultado requerido.
- Acabado (electrolisis, cristalización, coprecipitación): se obtiene el material activo para la fabricación de nuevas baterías. (Néstor Antuñano & Iñigo Careaga, 2021)

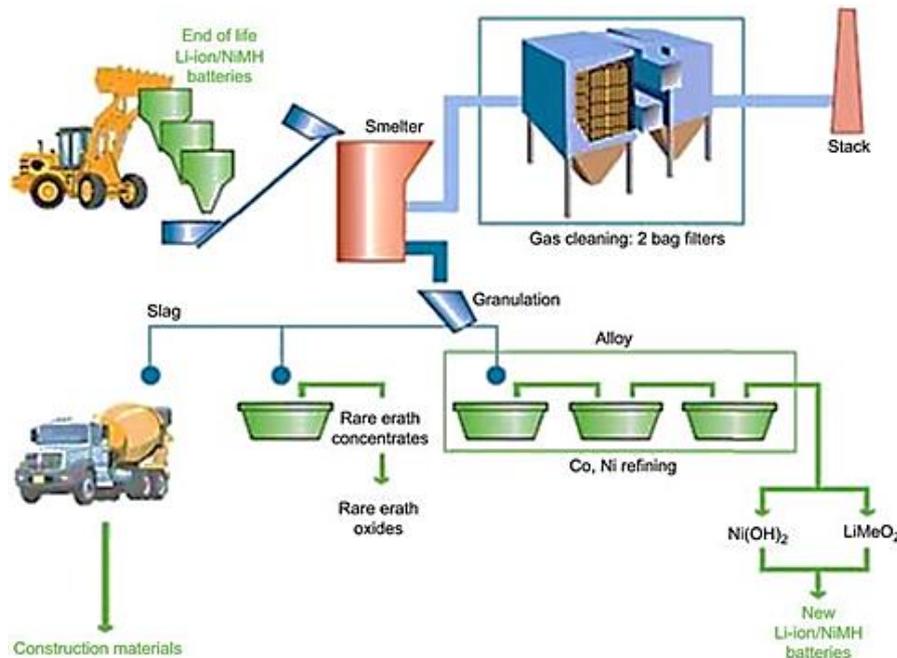


Figura 1.10 Proceso de pirometalurgia e hidrometalurgia Umicore Val'Eas
Fuente de la imagen: ResearchGate. Umicore Battery Recycling Process,
www.researchgate.net/figure/Simplified-flow-sheet-of-the-Umicore-Battery-Recycling-Process-With-permission-of_fig5_283523469

1.10.4 RECICLAJE DIRECTO

En la actualidad los procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos son alternativas viables para el reciclaje de baterías de alta tensión. No obstante, las industrias necesitan lograr una optimización de este tipo de procesos de la cual surge el reciclaje directo.

El reciclaje directo tiene como fundamento reciclar la batería dejando intacta la estructura cristalina del material activo del cátodo. En este proceso interviene diferentes procesos mecánicos, térmicos, químicos y electroquímicos con el fin de restaurar las propiedades iniciales y capacidades electroquímicas de los materiales catódicos de las baterías sin que se descompongan en elementos sustitutos y así se puedan reutilizar directamente en la fabricación de nuevas baterías.

Este tipo de reciclaje busca la optimización y eficiencia de los procesos para el reciclaje de baterías, así minimizando los impactos negativos en la recuperación de esta, y logrando tener una solución sostenible con el medioambiente. (Néstor Antuñano & Iñigo Careaga, 2021)

CAPÍTULO II

2 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presenta la metodología empleada para cumplir con los objetivos propuestos con anterioridad, manteniendo una secuencia y un orden lógico de las actividades que deben completarse, con la finalidad de mantener la organización en el desarrollo de este trabajo de grado.

2.1 METODOLOGÍA

En la **Figura 2.1** se presenta el esquema general de la metodología que se utilizó en esta investigación. La propuesta está dividida en 4 fases y cada una compete el cumplimiento de un objetivo específico.

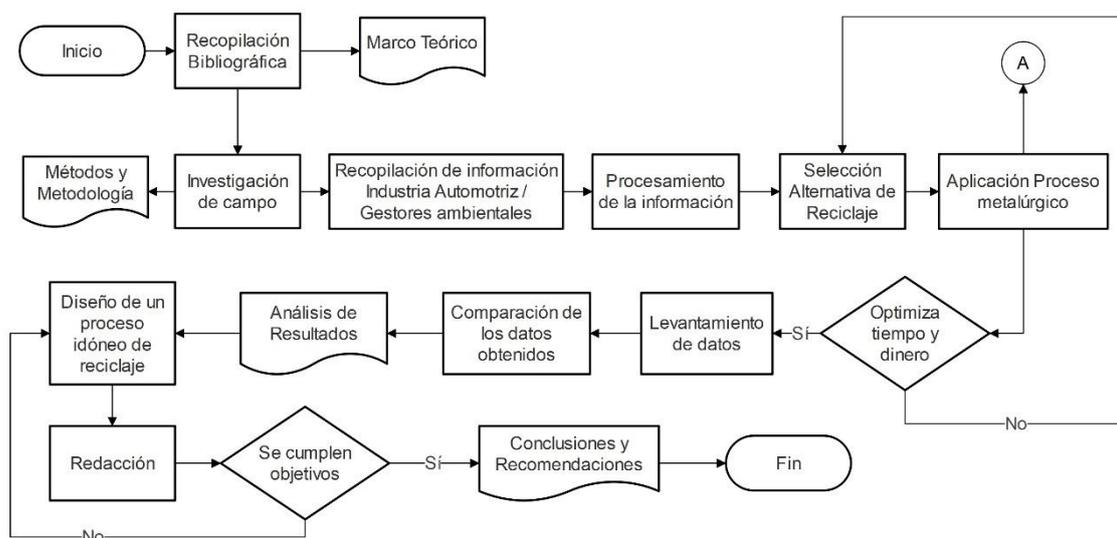


Figura 2.1 Metodología general propuesta
Fuente: Autores

En un principio se realizó una recopilación bibliográfica con el fin de empaparnos acerca de los diferentes procesos que se utilizan como alternativa para el reciclaje de las baterías de alta tensión. Esta información nos sirvió para el desarrollo del marco teórico de esta investigación, permitiéndonos una mejor comprensión acerca del eje investigativo en el que se desenvuelve el presente trabajo de grado.

Seguidamente, se realizó una investigación de campo con las diferentes casas comerciales de la ciudad de Ibarra con el fin de recopilar información acerca de su administración para con las baterías de alta tensión que ya se encuentran en desuso. De esta manera se pudo

realizar un análisis exhaustivo de los manejos y gestores ambientales que se utiliza en cada casa comercial. Del mismo modo se tuvo un acercamiento con varios gestores ambientales para conocer acerca del procedimiento que tienen en el manejo, almacenamiento, tratamiento y reciclaje de las baterías de los vehículos híbrido-eléctricos.

Después del procesamiento de esta información y en base a lo revisado en la recopilación bibliográfica se decidió por la alternativa que consideramos idónea para incursionar en un método experimental con las baterías de NiMH de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte. El método empleado será explicado de manera más detallada en los siguientes apartados.

Al obtener los resultados experimentales se comparó con la información recopilada en la industria automotriz y se valoró la idoneidad de las alternativas frente a la situación actual del reciclaje de las baterías de alta tensión. Posteriormente se realizó el análisis de resultados de manera conjunta con el fin de tener una mejor interpretación de los datos.

Para finalizar, en base a la información recabada y datos obtenidos, se desarrolló una normativa tentativa acerca del postratamiento de las baterías cuando estas finalizan su ciclo de vida útil en la cual se abordan temas como recepción de baterías, almacenamiento, transporte y proceso metalúrgico a emplear.

2.1.1 ENFOQUE INVESTIGATIVO

El objetivo principal de este trabajo de grado es “Analizar el impacto de las diferentes alternativas de reciclaje de las baterías de alta tensión para vehículos híbrido-eléctricos después de cumplir el ciclo de vida útil para determinar la idoneidad de cada alternativa”. Por tal motivo es necesario indagar acerca de los diferentes procesos que se aplican para el tratamiento de estas, y en este aspecto proponer una guía de manejo de estos desechos desde que finalizan su vida útil hasta que se pueda volver a incluirlas en una economía circular.

2.1.2 MATERIALES

Las baterías utilizadas forman parte de la línea Toyota, específicamente al modelo Highlander, son de tipo Níquel Hidruro Metálico (NiMH) y se utilizaron para realizar la parte experimental del presente trabajo de grado. En la **Figura 2.2** se puede apreciar los paquetes que componen la batería de alto voltaje. Estas baterías fueron provistas por la carrera de Ingeniería Automotriz, perteneciente a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte. En un total de 3 paquetes, donde 2 de estos

están compuestos por 12 módulos y el restante de 6 módulos. Cada módulo está compuesto por 8 celdas conectadas en serie, dando un total de 240 celdas.



Figura 2.2 Paquete de baterías Toyota Highlander
Fuente: Autores

2.1.3 EQUIPOS Y MEDIDAS DE SEGURIDAD

Al tratarse de baterías de alto voltaje es recomendable manipularlas con el cuidado correspondiente con el fin de reducir riesgos o accidentes que se puedan suscitar durante el desarrollo de la parte experimental de este trabajo de grado. Así mismo, también son importantes los equipos de protección personal (EPP) tales como casco, zapatos, gafas de seguridad, protección facial y guantes aislantes que sean de un material dieléctrico y que además sean capaces de soportar altas tensiones. De la misma manera las herramientas deben ser para uso eléctrico es decir sus puntos de manipulación deberán tener un material dieléctrico. En la **Figura 2.3** se muestran algunos de los equipos de protección personal para el manejo de baterías de alto voltaje.



Figura 2.3 Equipos de protección personal
Fuente: <https://shop7.onlinestoresoutlet.ru/category?name=epp%20para%20electricidad>

Según el manual de (Toyota, 2010) establece un protocolo para la manipulación previa de los sistemas de alta tensión, este instituye que se deberá utilizar todas las medidas de seguridad tales como usar guantes aislantes y revisar que estos no se encuentren fisurados ni agrietados, así mismo retirar el enchufe de servicio o jumper para evitar un accidente eléctrico. Del mismo modo el jumper deberá ser guardado en un lugar seguro con la finalidad de evitar que otro técnico lo reinserte. Después de retirar el enchufe se recomienda esperar un lapso de 10 minutos hasta que los condensadores que se encuentran en la parte interna del inversor se descarguen.

Del mismo modo el manual establece que cuando se realice el mantenimiento se evitará llevar objetos metálicos que puedan caerse de forma accidental y provocar un cortocircuito en los módulos. Por consiguiente se medirán la tensión en los terminales para verificar que su voltaje sea 0 voltios, evite el contacto directo de los terminales desnudos sin realizar la fase previa. (Toyota, 2010)

Es importante el uso de señalética de precaución como se muestra en la **Figura 2.4**, en donde se manifieste que se está trabajando con sistemas de alto voltaje con la finalidad de notificar a otros técnicos que el sistema está siendo inspeccionado y/o reparado.

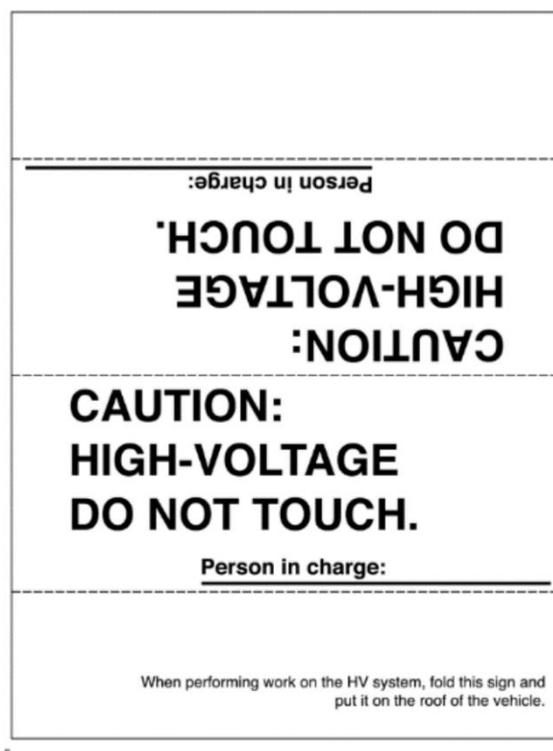


Figura 2.4 Modelo de señalética de precaución
Fuente: (Toyota, 2010)

2.2 PRETRATAMIENTO MECÁNICO

En este apartado se realizó una investigación mixta de tipo cuali-cuantitativa debido a que aspira tener un procedimiento intermedio en cuanto al manejo de los datos. Es cuantitativa porque se medirán datos tales como tensiones de batería, peso inicial, cantidad de material, manejo de temperaturas, entre otros. Y se trata de una investigación cualitativa debido a que en base de los valores obtenidos se buscará potenciar las variables presentadas tales como tiempo de reciclaje, dinero, contaminación ambiental, sostenibilidad, entre otras, mediante los conocidos diagramas de red asociados.

Existen varias etapas previas al reciclaje de las baterías entre ellas se debe comprobar la ficha técnica de la batería, determinar características físicas, realizar un control visual del estado de las baterías, inspeccionar el estado de los componentes eléctricos, descargar el paquete de baterías y finalmente desmantelar.

El primer paso previo para el reciclaje de las baterías de alto voltaje es la comprobación de su ficha técnica. En este punto se definen características como tecnología que utiliza, tensión nominal, capacidad nominal, potencia nominal y por último el peso. A continuación en la **Tabla 2.1** se presentan las características de la batería.

Tabla 2.1 Características Batería HV Toyota Highlander

BATERÍA HÍBRIDA TOYOTA HIGHLANDER	
Tecnología	Níquel Hidruro Metálico
Tensión	9.6 Voltios por módulo
Tensión nominal	288 Voltios
Capacidad nominal	6.5 Ah
Potencia nominal	1872 Watts
Peso	60.8 kg

Fuente: Manual del Propietario (Toyota, 2011)

Por consiguiente se determinan las características físicas generales que tenga la batería tales como marca, procedencia y/o daños físicos, entre otras características. Para el trabajo de grado la batería se encontraba en condiciones normales, sin ningún tipo de daño físico y con el paquete de módulos completo. En cuanto a la procedencia, estas baterías fueron una donación que se hizo a los talleres de la carrera para uso didáctico de los estudiantes.

Para verificar el estado de los componentes eléctricos y el estado de salud de las baterías, se fundamentó en la metodología de evaluación propuesta por (Camacás, 2020) en su tesis “Implementación de un dispositivo de diagnóstico para módulos de batería de vehículos híbridos y eléctricos” misma que nos permitió determinar el estado de salud (SOH) de los módulos mediante el equipo diseñado por este autor el cual se muestra en la **Figura 2.5**.



Figura 2.5 Dispositivo de diagnóstico para módulos de baterías de VEH.
Fuente: Autores

Para finalizar, el pretratamiento previo al reciclaje de los módulos de las baterías se realizó el proceso de diagnóstico que se encuentra detallado en el manual de uso del equipo (ver Anexo I). Este proceso es muy importante a causa de que describe de forma detallada el procedimiento de descarga de la tensión residual de las baterías, debido a que si no se lo realiza su manejo podría ser de alto riesgo en posteriores fases del reciclaje.

Existen diferentes métodos para la descarga de los módulos. Según (Cuesta Torres & Villa Auquilla, 2019) el método más económico es el método de conductividad que consiste en sumergir las baterías en agua con sal. Del mismo modo se puede descargar la batería sumergiéndola en nitrógeno líquido bajando la reactividad. Y por último, el método que se empleó en este trabajo de grado fue la descarga mediante resistencias de tipo automotriz ya sea conectando motores o focos automotrices a los módulos de las baterías. Al finalizar el proceso de descarga las baterías son desarmadas manualmente con la finalidad de separar sus componentes.

2.3 ANÁLISIS METALÚRGICO

Para este análisis experimental se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica que permite detectar y cuantificar metales pesados hasta el orden de las partes por millón (ppm). No obstante, en esta técnica no se puede realizar un análisis directo en el equipo razón por la cual se recurrió a un proceso previo de preparación para la muestra. Las técnicas más utilizadas para este tratamiento previo según (Gallegos et al., 2012) son los métodos de digestión, ya sean estos de tipo seca, asistida por microondas o húmeda, siendo esta última la técnica empleada para el pretratamiento de la muestra.

El análisis se lo realizó en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador. Además, se utilizó un equipo de absorción atómica Perkin Elmer AA-100, el cual se muestra en la **Figura 2.6**, conjuntamente de un equipo asociado E-AM-15. Se entregó una muestra de 20 gramos de oxihidróxido de níquel y una muestra de 20 gramos de hidruro metálico para los análisis respectivos. Principalmente para realizar la disolución del metal se utilizaron compuestos como el ácido sulfúrico 1% (v/v), ácido nítrico, acetileno, entre otros reactivos de acuerdo con la R-GTE-01-15 interna del laboratorio. Del mismo modo se utilizó un material de referencia con certificado MRC que se rige a la misma normativa vigente.



Figura 2.6 Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer AA-100
Fuente: <https://www.uce.edu.ec/web/fcq>

La metodología que se presenta a continuación describe el procedimiento para el análisis de níquel por el método de espectrofotometría de absorción atómica que se encuentra validado y acreditado bajo la norma ISO 17025:2006.

En primer lugar se realizó un protocolo de recepción, identificación de la muestra y verificaciones de los equipos. Para la fase de preparación de la muestra se realizó procedimientos de digestión por ácido nítrico – ácido sulfúrico. Esta técnica consiste en adicionar 5 ml de ácido nítrico (HNO_3) a un volumen medido de la muestra que se encuentra preservada y mezclada con ácido sulfúrico (H_2SO_4). La finalidad de esta mezcla es conseguir una ebullición suave que nos dé como resultado un volumen de 15 a 20 ml de solución. Seguidamente se adicionó una proporción de 5 ml de HNO_3 concentrado y 10 ml de (H_2SO_4) concentrado, con un enfriamiento intermedio del recipiente entre cada adición.

Como siguiente paso se evaporó la solución en un plato de calentamiento hasta conseguir desprender vapores densos de color blanco de SO_3 . Si no se consigue una solución clara, se adicionará 10 ml de HNO_3 concentrado repitiendo el proceso de evaporación hasta obtener los vapores de SO_3 . Antes de continuar con el tratamiento se calentó la solución con la finalidad de eliminar todo el HNO_3 . La solución sobrante adoptará una apariencia transparente y desaparecerán los humos parduscos, esto significa que todo el ácido nítrico fue eliminado.

Después de obtener la consistencia de la solución anteriormente mencionada se procedió a enfriar y diluirla con agua hasta los 50 ml aproximadamente. Para finalizar la fase de preparación se calentó nuevamente la solución hasta un punto próximo de ebullición con la finalidad de eliminar las sales que son casi insolubles para después mezclarla cuidadosamente con 100 ml de agua.

Antes de empezar la fase de análisis con el equipo este deberá ser calibrado bajo los parámetros y márgenes de concentración establecidos del metal que se vaya a investigar. Los parámetros para el níquel están descritos en la **Tabla 2.2**. Una vez terminada la calibración se ejecutó el método de absorción atómica en el equipo. La muestra fue aspirada y atomizada por una llama. Un rayo de luz es dirigido hacia la llama, e incide sobre un monocromador, y sobre un detector que mide la luz absorbida por el elemento atomizado en la llama. La cantidad de energía absorbida a una longitud de onda característica, para cada elemento, es proporcional a la concentración del elemento en la muestra en un rango limitado. (Universidad Central del Ecuador, 2020)

Tabla 2.2 Márgenes de concentración de Absorción Atómica con Absorción Atómica de Aspiración Directa.

Elemento	Longitud de onda (nm)	Gases de la llama	Límite de detección del instrumento	Sensibilidad (mg/l)	Margen óptimo de concentración
Níquel	232,0	Aire-Acetileno	0,02	0,15	0,3-10

Fuente: (Universidad Central del Ecuador, 2020)

2.4 PROCESO PIROMETALÚRGICO

2.4.1 GENERALIDADES DEL PROCESO PIROMETALÚRGICO

Siendo una rama de la metalurgia, la pirometalurgia emplea el uso del calor para la recuperación de metales purificados. El método comúnmente utilizado para extraer el metal que se encuentra dentro de los minerales es aquella que elimina la ganga y otros materiales que no son útiles en los minerales.

La pirometalurgia a diferencia de la hidrometalurgia es un proceso más rápido, no obstante el grado de contaminación es mayor además de gastar cantidades elevadas de energía. Sin embargo sigue siendo la técnica más utilizada en la industria para la obtención de metales. (Murillo García, 2016)

Con el fin de establecer un ahorro de los recursos naturales, el reciclado de baterías de alta tensión jugará un papel importante debido a que trata de manejar de forma correcta los metales de las baterías cuando estos terminan su vida útil con la finalidad de reducir el impacto ambiental. De igual manera es importante mencionar que la normativa legal divide al reciclaje en 3 subprocesos, tratamiento previo, transporte y reciclaje. Del mismo modo establece condiciones para su acopio, almacenamiento y movilización de estos desechos peligrosos según el acuerdo ministerial 026 del Ministerio del Ambiente del 2020.

2.4.2 RECICLAJE DE BATERÍAS DE NIMH

En esta parte del proceso se realizó una investigación analítica debido a que parte de una hipótesis acerca de la idoneidad de las alternativas de reciclaje y se busca con el método experimental comprobarlas o refutarlas para así establecer una relación entre las variables presentadas y los resultados obtenidos, de este modo mediante la aplicación de los conocimientos teóricos adquiridos en la revisión bibliográfica poderlos aplicar en escenarios experimentales controlados.

Además para sustentar el trabajo se realizó una investigación de tipo bibliográfica debido a que la información recopilada y referenciada proviene de fuentes tales como: libros, tesis, revistas, artículos científicos, entre otros. De tal manera que la información sea veraz y esté respaldada por documentación en donde se hayan realizado análisis previos o estudios similares a la de este trabajo de grado.

A manera general el proceso pirometalúrgico tiene como objetivo recuperar el níquel de las celdas de las baterías de alta tensión. Aunque el proceso ostenta una gran desventaja la cual compromete a los materiales debido a que estos pueden perderse debido a que son expuestos a altas temperaturas, entre los más frecuentes se encuentran el plástico y algunos metales concentrados en el electrolito, además de generar cantidades altas de gases hacia el medio ambiente y su alto consumo eléctrico. (Cuesta Torres & Villa Auquilla, 2019)

No obstante, sigue siendo el proceso de reciclaje preferido en la industria para el postratamiento de las baterías de vehículos híbrido-eléctricos por sus bajos costos. En la **Figura 2.7** se muestra el diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para las baterías de NiMH, en donde se muestran las fases que fueron empleadas para el método experimental de este trabajo de grado.

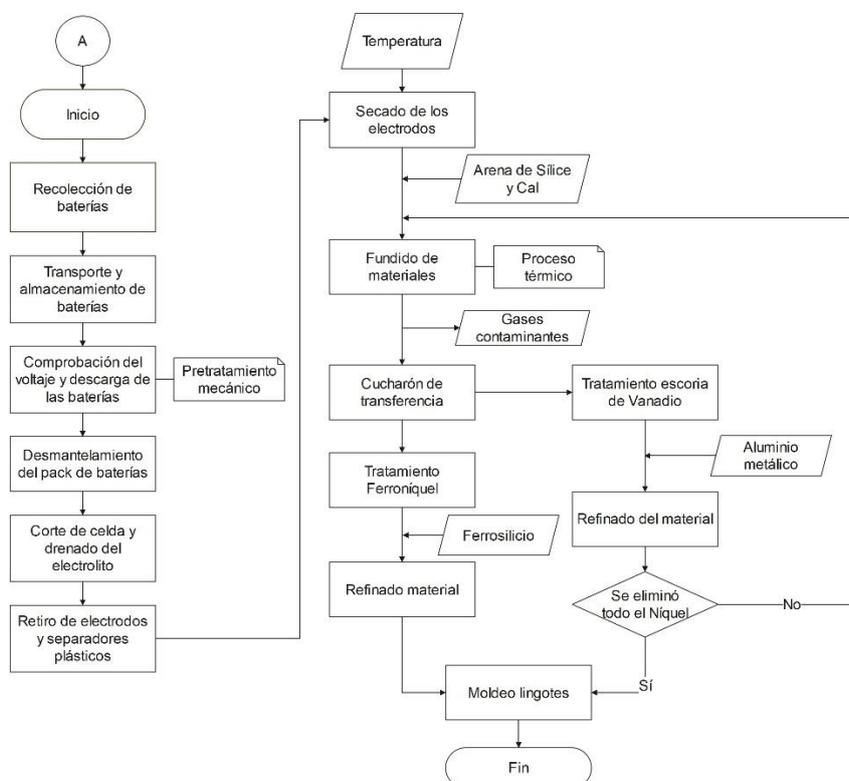


Figura 2.7 Diagrama de flujo del proceso pirometalúrgico para las baterías de NiMH.
Fuente: Autores

El primer paso para realizar el proceso es la recolección de las baterías. Seguidamente se las transporta y almacena en lugares adecuados según la normativa legal para evitar cualquier riesgo de accidente. Por consiguiente se realiza un pretratamiento previo a las baterías el cual consiste en una verificación de voltajes y descarga de las celdas.

Como siguiente paso se realiza el desmantelamiento o desmontaje de las baterías. Luego de ser desmontada la batería es llevada a una trituradora donde su carcasa se rompe para que posteriormente a través de un soplete de corte se remueva el electrolito de la batería.

Se procede a separar los electrodos de los componentes de la batería, los componentes restantes son lavados y los separadores de polipropileno se separan de los electrodos para permitir una neutralización del hidróxido de níquel residual y evitar la producción de emisiones al estar en la fase de combustión.

Los electrodos de desecho se precalentarán aproximadamente a 300 °C hasta secarse para luego transferirse al horno eléctrico, donde se introducirán mediante la extracción por la parte superior del horno. Se introduce arena de sílice y cal en porciones adecuadas para obtener un material fundente, también se agrega el mineral de hierro en proporciones adecuadas que ayudaran a oxidar el vanadio, circonio, titanio, cromo y aluminio.

Una vez que los metales se han fundido, la escoria del vanadio es transferido a otra área para posteriormente reducir el vanadio a través de un horno de arco eléctrico. El ferroníquel crudo sobrante se transfiere al horno de conversión para eliminar el metal residual, en este proceso se agrega ferro silicio para eliminar las impurezas y proporcionar energía química adicional. La inyección de oxígeno en el ferroníquel fundido crudo da una refinación adicional. Consecutivamente el ferroníquel se traslada al área de fundición para luego ser moldeada en recipientes para su posterior comercialización.

La escoria del vanadio que se transfirió anteriormente es enviada a un segundo horno donde se agrega aluminio metálico para reducir el vanadio y hierro, dejando los demás componentes en escoria, donde posteriormente esta escoria será aprovechada enviándola nuevamente al primer horno de ferroníquel debido a que contiene níquel.

Durante este proceso las emisiones deberán ser recolectadas y tratadas de manera adecuada para evitar un impacto ambiental negativo con este proceso. (Cuesta Torres & Villa Auquilla, 2019)

2.4.3 FUNDICIÓN DE BATERÍAS DE NIMH POR MEDIO DE SOLDADURA OXIACETILÉNICA

La soldadura oxiacetilénica, o también conocida como soldadura oxicarburante, utiliza el principio de fusión de los materiales para fundirlos utilizando el calor generado por una llama generalmente formada por un combustible y un gas comburente.

El empleo de estos dos gases genera la combustión. Por lo general los combustibles utilizados suelen ser butano, metano, propano y acetileno, siendo estos dos últimos los gases empelados en el método experimental del presente trabajo de grado. El segundo gas utilizado es un comburente que por lo general suele ser de oxígeno puro.

La combinación de estos gases genera una llama concentrada de altas temperaturas que pueden oscilar entre los 3000 °C. Gracias a las elevadas temperaturas este método nos permite fundir variedad de aleaciones y metales, entre ellos el níquel que es nuestro metal de interés. Debido a esta característica el método es considerado como una excelente fuente de calor para realizar fundiciones localizadas.

En la **Figura 2.8** se muestra un diagrama de flujo enfocado en las fases que se utilizaron para el proceso experimental para la obtención de níquel utilizando el método de la soldadura oxiacetilénica.

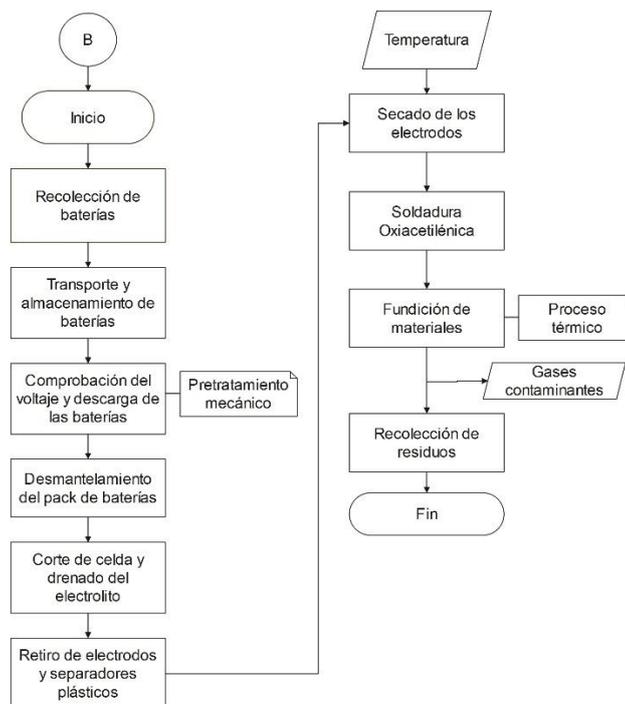


Figura 2.8 Diagrama de flujo para el método por fundición oxiacetilénica.
Fuente: Autores

2.4.4 RECICLAJE DE BATERÍAS DE LI-ION

El proceso pirometalúrgico para el reciclaje de las baterías de Li-ion tiene la necesidad de incluir al proceso hidrometalúrgico para lograr su fin, por la cual este proceso está conformado por dos fases, la primera fase interviene el proceso pirometalúrgico y la segunda fase interviene el proceso hidrometalúrgico.

Primera fase:

- Trituración: Antes de que las baterías ingresen a la triturado estas deberán estar almacenadas en un ambiente inerte, para posteriormente ingresar a la trituradora de forma mecánica discontinua, controlando el ambiente inter protector y una temperatura controlada.
- Neutralización: Al proceso de triturado se le añade aire húmedo con el fin de facilitar la neutralización del material procesado. Al ser removida del ambiente protector es posteriormente tratada por un lavador para la reducción de los gases generados.

Segunda fase:

- Lavado y lixiviación: El material obtenido de la primera fase se lava y lixivía en una solución acuosa acidificada dando como resultado una fracción sólida una líquida. Por lo general los metales conforman la fracción sólida, donde se las tratara mediante pirolisis para la eliminación de impurezas. Finalmente se somete a tratamientos mecánicos donde se dividen los compuestos metálicos. (Cuesta Torres & Villa Auquilla, 2019)

2.5 PROCESO HIDROMETALÚRGICO

2.5.1 GENERALIDADES DEL PROCESO HIDROMETALÚRGICO

Por su parte la hidrometalurgia es una rama de la metalurgia que se enfoca en la extracción de elementos mediante el uso de soluciones acuosas, líquidas y orgánicas, utilizando la lixiviación. En otras palabras este método nos sirve para recuperar metales en su forma pura a partir de reacciones químicas. Normalmente este proceso emplea temperaturas bajas pero presiones relativamente altas.

Con respecto a la pirometalurgia este proceso es mucho más sencillo y menos contaminante, sin embargo, la hidrometalurgia genera alta cantidad de residuos tóxicos, contaminación de

aguas y es un proceso menos eficaz. En la **Figura 2.9** se muestra el proceso simplificado del método hidrometalúrgico para la recuperación de metales.

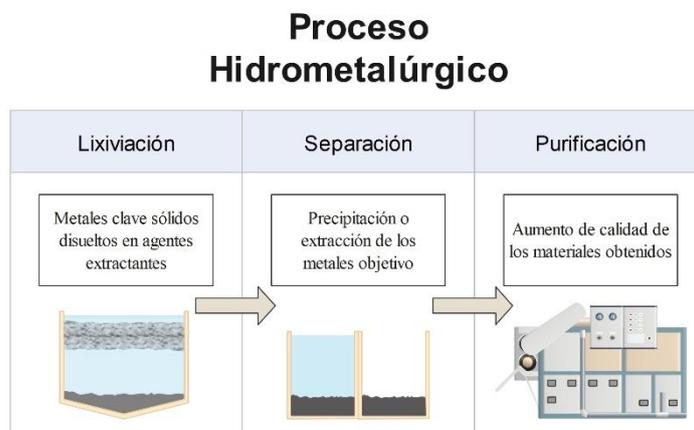


Figura 2.9 Proceso simplificado hidrometalúrgico.
Fuente: Autores

Tras aplicar un proceso mecánico previo, el proceso hidrometalúrgico se resume en 3 fases: Lixiviación, separación y purificación. El proceso de lixiviación radica en la remoción de los metales que se encuentran en la masa negra a través la inmersión de estos en soluciones de diferente tipo. Estas pueden ser ácidas, disoluciones básicas armónicas u orgánicas. A continuación, se realiza la separación por medio de extracción líquido-líquido o a su vez por precipitación selectiva con carbonatos. Como fase final se hace un proceso de purificación con el fin de aumentar la calidad del material obtenido. A este proceso también se lo denomina proceso de refinación.

2.5.2 RECICLAJE DE BATERÍAS DE NIMH

Para realizar este proceso se realizó una investigación de tipo analítica debido a que se planteó una revisión profunda y minuciosa para observar la naturaleza y los efectos que se producen en las baterías de alta tensión con el fin de comprender la esencia de funcionamiento de este objeto de estudio y sus componentes.

Así mismo la investigación bibliográfica jugó un papel muy importante para el desarrollo de este apartado debido a que nos ayudó a comprender de mejor manera las fases que componen este proceso hidrometalúrgico, además de sustentar el trabajo y las bases sobre las cuales se encuentra desarrollado. La información recopilada y referenciada provienen de fuentes primarias y secundarias tales como: Artículos científicos, tesis, libros, entre otros.

En la **Figura 2.10** se presenta la metodología empleada para realizar el proceso hidrometalúrgico en las baterías de níquel hidruro metálico de baterías de alta tensión para vehículos eléctricos. En ella se detalla las 3 fases planteadas en el apartado anterior.

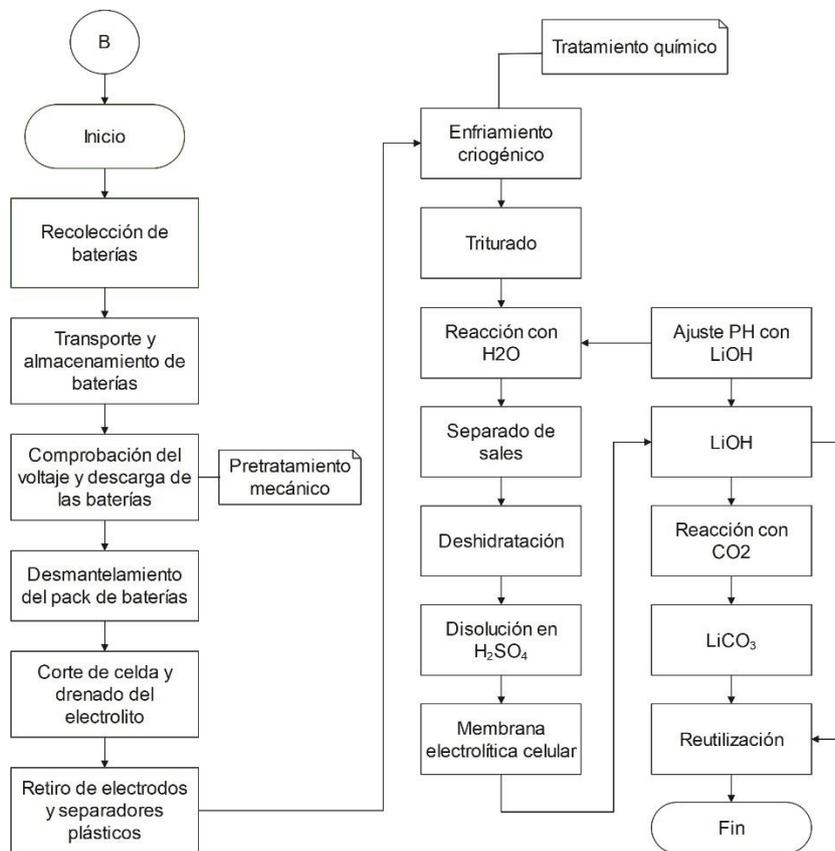


Figura 2.10 Metodología del proceso hidrometalúrgico en las baterías de NiMH.

Fuente: Autores

El primer paso para realizar el proceso hidrometalúrgico es el desmantelamiento y la recolección de los paquetes de baterías. Por consiguiente se las transporta y se las almacena en un lugar donde su acopio cumpla con la normativa legal vigente con el fin de reducir los riesgos de accidentes. Seguidamente se realizó un pretratamiento mecánico a los paquetes de las baterías en el cual se realiza el proceso de descarga descrito en el apartado 2.2.

Cabe recalcar que existe un riesgo elevado en el desmantelamiento de la batería debido a que se está trabajando con altas tensiones y además la batería no se encuentra totalmente descargada, razón por la cual puede ser peligroso manipularla en estas condiciones. El personal encargado de este proceso deberá estar capacitado para evitar accidentes que puedan dañar la integridad del operante. El principal objetivo es la separación de las celdas de la carcasa de la batería.

A continuación se procede a desmontar los paquetes de baterías y a retirar los componentes plásticos que las protegen. Posteriormente la batería es llevada a una trituradora donde su carcasa se rompe, y por consiguiente llevarla hacia un soplete de corte para remover el electrolito de las celdas.

Como siguiente paso se procede a separar los electrodos de la batería, los componentes restantes son limpiados. Los separadores plásticos de polipropileno son aislados con el fin de neutralizar el hidróxido de níquel para evitar que se generen emisiones o reacciones peligrosas durante el proceso de lixiviación.

Para la siguiente etapa se tomó como referencia al proceso productivo Umicore, certificado con la ISO 9001 y la ISO 14001, llamado “core value” en el cual las aleaciones que engloban metales como Níquel, Hierro, Cobalto, entre otros, son lixiviados en ácido sulfúrico.

Tras una serie de disoluciones y de ajustar su pH se pudo conseguir separar los metales de interés. Como resultado se obtuvo una disolución de Sulfato de Níquel (NiSO_4) y una de Cloruro de Cobalto (CoCl_2). Por consiguiente la disolución de Sulfato de Níquel es repurificada con el fin de obtener cristales de Sulfato de Níquel mediante el método de extracción del disolvente. Estos cristales de Sulfato de Níquel ya se pueden transformar en componentes esféricos como el Dihidróxido de Níquel (Ni(OH)_2) para reinsertarlos en nuevas baterías. (Fuentes Majano, 2010)

2.5.3 RECICLAJE DE BATERÍAS DE LI-ION

El objetivo de este proceso es recuperar la mayor cantidad posible de litio de las baterías que han culminado su ciclo de vida útil. Consta de 3 etapas las cuales son:

- Etapa 1: Recolección de las baterías de Li-ion
- Etapa 2: Criogenización

El litio es altamente reactivo. Sin embargo, al pasar por el proceso de criogenización se vuelve inerte. Las baterías son enfriadas por un baño de nitrógeno líquido a 198°C o 325°F para posteriormente ser trituradas de forma segura y consiguiendo la separación de todos los materiales.

- Etapa 3: Subdivisión

El resultado de la criogenización del litio es sometido a un molino de martillos para subdividirse más. Se pulveriza con agua con el objetivo de ajustar su PH y así el litio se mantenga inerte o poco reactivo. Los gases resultantes son filtrados antes de ser liberados a la atmósfera. Es importante recalcar que controlar el PH de litio es necesario para evitar la formación de ácido sulfhídrico (H₂S) que es altamente dañino o tóxico.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se analizan los resultados que se obtuvieron durante el desarrollo del trabajo de grado en sus diferentes fases, estas corresponden a la recopilación de datos en la industria automotriz, aplicación de las alternativas de reciclaje de baterías y los protocolos a seguir para su tratamiento. Este análisis se lo realizó mediante interpretación de valores y gráficas que se pudieron obtener en el desenvolvimiento de la investigación.

3.1 ANÁLISIS DE MERCADO

3.1.1 SITUACIÓN ACTUAL

En el Ecuador la industria automovilística ha evolucionado constantemente, tras pasar los años, las diferentes empresas dedicadas a la comercialización de vehículos híbridos han ofertado varios modelos innovadores que ha llamado la atención a sus consumidores. Desde el año 2009 la marca Toyota introdujo el primer vehículo híbrido PRIUS y con el pasar de los años varias marcas se sumaron a este segmento de vehículos. Los modelos más comercializados son el Kia Stonic y el Corolla Cross de Toyota abarcando el 80% de ventas en vehículos híbridos en el Ecuador, debido a que estos modelos ofrecen a los consumidores confort, seguridad, accesibilidad al bolsillo de los ecuatorianos y lo más importante es amigable con el medio ambiente, ya que, en la actualidad debido a los cambios climáticos, la mayoría de las empresas buscan mitigar el impacto ambiental.

La movilidad eléctrica está arrasando con la movilidad convencional debido a sus beneficios brindados. En el Ecuador el mercado de vehículos híbridos y eléctricos no para de crecer gracias a la exoneración de impuestos (ICE) lo que atrae a los consumidores. Además, cabe mencionar que en el año 2022 el Ecuador se sometió a una huelga por el alza del combustible lo que encaminó a los consumidores optar por este tipo de tecnología. Las marcas con mayor participación en este mercado son Kia y Toyota como se mencionó anteriormente.

Según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (Aeade) las ventas de vehículos híbridos y eléctricos aumentaron en casi 200% si comparamos entre el año 2021 y 2020. Este crecimiento de ventas se debe a varios factores como los que son: ahorro de dinero, ahorro de energía, disminución de uso de combustibles fósiles y preocupación por el medio ambiente, sin embargo, este mercado no sobrepasa 10% de vehículos vendidos en el Ecuador. En el 2022 el gobierno busca que este mercado aumente por la cual realizó

incentivos tributarios con la exoneración de impuestos a consumos especiales ICE, además las diferentes marcas que comercializan vehículos híbridos y eléctricos proponen más modelos de vehículos para el 2023 que van desde modelos sedán y SUV con el propósito de que las familias ecuatorianas se vean atraídas y consuman estos productos.

3.1.2 ANÁLISIS DEL SECTOR

En la actualidad el consumo de vehículos híbridos y eléctricos es ínfima a pesar de los beneficios brindados como los que son: la exoneración de impuesto, motivo por el cual se reduce el precio del vehículo en un 10% a 15% del valor total haciéndolo más accesible a los bolcillos ecuatorianos. Cabe recalcar que las diferentes marcas con el pasar de los años introdujeron más modelos de vehículos enfocados en las necesidades de las familias ecuatorianas. Además, se están construyendo electrolineras en diferentes puntos del país para incentivar el consumo de este producto. Sin embargo, en la actualidad estas electrolineras están concentradas en dos provincias del Ecuador las que son Pichincha y Guayas, por ende, existe una mayor concentración en ellas y delimita el consumo de este producto en las otras provincias. Según “EL UNIVERSO” las tres provincias con mayor concentración de vehículos eléctricos son: Guayas con el 71.84%, Pichincha con el 11.65% y Galápagos con el 10.68%.

A continuación, en la **Figura 3.1**, se mostrará el número de ventas de vehículos híbridos en el Ecuador:

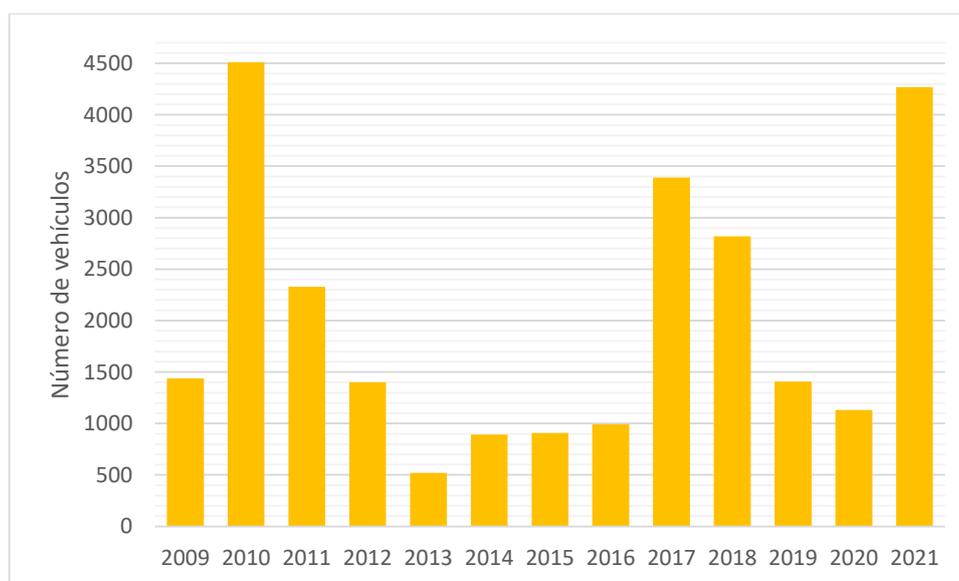


Figura 3.1 Número de vehículos híbridos vendidos en el Ecuador.

Fuente: AUTOPLUS – Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE

En el **Figura 3.1** se observa que el año 2013 fue uno de los años en el que menos vehículos híbridos se vendieron en el Ecuador debido a que las cuotas importaciones en ese año eran elevadas. Sin embargo, en el año 2021 se puede observar un crecimiento abrupto debido a que el estado incentivo a los oferentes con exoneraciones de impuestos llamando la atención al consumidor.

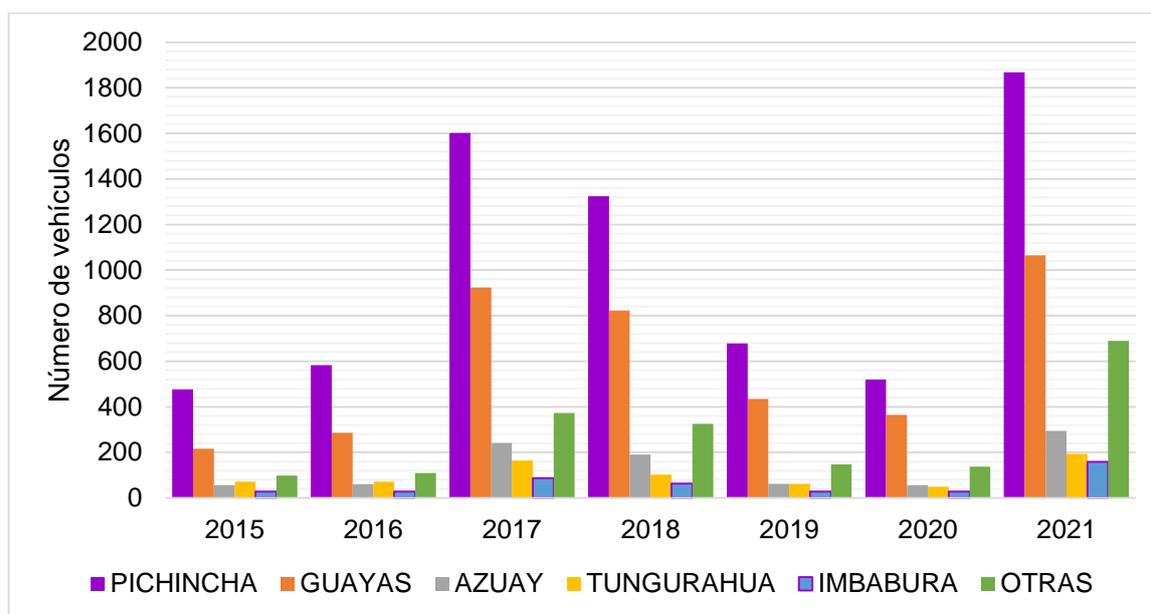


Figura 3.2 Ventas de vehículos híbridos en principales provincias del Ecuador.
Fuente: AUTOPLUS – Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE

En la **Figura 3.2** Se puede apreciar las provincias donde existe un mayor número de ventas de vehículos híbridos donde el 46% de ventas se concentra en la provincia de Pichincha siguiéndole la provincia de Guayas con un 27% y el quinto puesto es ocupado por provincia de Imbabura con el 3% en ventas de vehículos híbridos del Ecuador.

En la actualidad existe más de 15 modelos de vehículos híbridos en los mercados ecuatorianos. Los modelos de vehículos híbridos pueden variar de \$20 000 a \$150 000 dependiendo del modelo y la marca del vehículo. Entre los más vendidos está el Kia Stonic y el Hyundai Kona debido a que estos coches están a \$ 22 000 y \$ 30 000 respectivamente, lo cual lo hace accesible al bolsillo ecuatoriano y por ende tiene un mayor consumo. A continuación, se mostrará la cantidad de ventas de vehículos híbridos por marcas:

Tabla 3.1 Venta anual de vehículos híbridos por marca.

MARCA	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Kia	61	109	26	131	1319	1377	484	420	2466
Toyota	494	328	159	282	432	379	336	502	1354
Hyundai	0		711	716	1565	1056	537	113	252
Mercedes Benz	0	2	1	0	0	0	0	5	66
Audi	0	0	0	0	0	4	23	47	49
BMW	13	31	5	0	2	0	7	40	29
Land Rover	0	0	0	0	0	0	0	0	16
RAM	0	0	0	0	0	0	9	18	15
Volvo	0	0	0	0	0	12	15	3	10
GMC	0	0	3	0	0	0	0	0	5
Jaguar	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Maserati	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Porche	19	10	9	4	10	1	4	0	0
Lexus	9	5	2	2	1	0	0	0	0
Volkswagen	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Ford	33	117	31	4	0	0	0	0	0
Chevrolet	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Mitsubishi	0	0	0	0	61	0	0	0	0
TOTAL	632	602	947	1140	3390	2829	1415	1148	4269

Fuente: AUTOPLUS – Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE

En la **Tabla 3.1** se muestra las ventas de vehículos híbridos por marca en donde se observa que la marca Hyundai y Kia predominan en las ventas de este tipo de vehículos en la actualidad. La marca pionera en ofrecer este producto fue Toyota lo cual se ve reflejado en las ventas en los años 2013 y 2014 obteniendo más del 70% y 50% en el total de ventas de vehículos híbridos en Ecuador. No obstante, en la actualidad la marca Kia abarca más de 50% de ventas en el año 2021 con sus tres modelos de vehículos híbridos, siendo el más popular y vendido el Kia Stonic.

Los vehículos eléctricos en el Ecuador no tienen mucha acogida por la cual el número de ventas es menor a comparación de los vehículos híbridos. En la actualidad existe más de 8 ejemplares en las carreteras ecuatorianas de diferentes marcas. En la **Figura 3.3** se muestra las ventas de vehículos eléctricos:

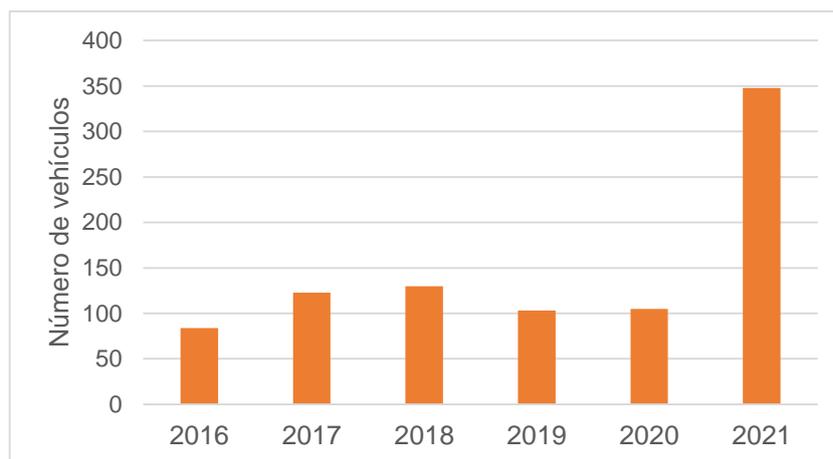


Figura 3.3 Número de vehículos eléctricos vendidos en Ecuador.

Fuente: AUTOPLUS – Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE

En la **Figura 3.3** se puede apreciar que la venta de vehículos eléctricos en el Ecuador no tiene un crecimiento con el pasar de los años. Sin embargo, en el año 2021 se puede notar que el número de ventas se duplicó esto se debe a que el gobierno se ha encargado de generar incentivos a los consumidores y vendedores entre uno de ellos: son más puntos de recarga a nivel nacional, exoneración de impuestos entre otros.

Tabla 3.2 Ventas de vehículos eléctricos por modelo en el Ecuador.

MARCA	MODELO	2018	2019	2020	2021
Kia	Soul	33	23	3	193
Dongfeng	Serie RICH	0	0	0	33
Dayang	DY- GD04B	68	23	14	23
Audi	Audi E-Tron	0	0	0	20
Kaiyun	Pickman	0	0	37	15
Nissan	Leaf	0	0	1	14
Zhidou	D1	0	0	0	12
BYD	BYD E3	0	0	1	6
MG	MGZS	0	0	1	6
Jiayuan	City Spirits	0	0	5	6
Otras		29	57	44	20
TOTAL		130	103	106	348

Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE

En la **Tabla 3.2** se muestra las ventas de vehículos eléctricos por modelo en donde se puede apreciar que la marca Kia tiene una gran participación con su único modelo eléctrico Soul.

El Kia Soul es uno de los vehículos eléctricos más populares debido a que su costo es más accesible a diferencia de los otros modelos, además el diseño de este vehículo se acoge a los estándares o necesidades de las familias ecuatorianas.

3.1.3 CRECIMIENTO VEHICULAR

Los híbridos suaves predominaron en las ventas del 2021 por sus diferentes beneficios que van desde la reducción del uso de combustibles fósiles ya que en el Ecuador el combustible dejó de ser subsidiado a lo que en la actualidad se dobló el precio de estos, no son dependientes de la electricidad, debido a la combinación de un motor de combustión y uno eléctrico este puede aumentar la eficiencia y además la energía se recupera durante el frenado a lo que se conoce como frenado regenerativo no obstante, la combinación de estos dos tipos de motores no lo hace libre de emisiones.

Tabla 3.3 Venta de vehículos híbridos según su tecnología.

TECNOLOGÍA	2018	2019	2020	2021
MHEV	4	32	286	2 463
HEV	2 812	1 357	819	1 772
PHEV	13	26	43	34
Total	2 829	1 415	1 148	4 269

Fuente: Aeade, Autoplus

En la **Tabla 3.3** se observa que los vehículos híbrido-eléctricos (HEV), también conocidos como híbridos no enchufables, predominaron el mercado en los años 2018 a 2020. Así mismo, los vehículos híbridos enchufables (PHEV) es una de las tecnologías menos consumidas por los ecuatorianos a pesar de tener varios beneficios como mayor autonomía a comparación de los HEV y MHEV (microhíbridos). El consumo es menor debido a que posee el sistema de frenado regenerativo, el motor eléctrico puede abastecer la conducción en ciudad y carretera, no obstante, este tipo de vehículos necesitan un punto de recarga por lo cual no es una opción sustentable para los consumidores debido a que el país no dispone de electrolineras en todas las provincias. Por otra parte, también se observa que en el año 2021 se tuvo un crecimiento abrupto en las ventas de vehículos híbridos en todas sus tecnologías disponibles.

3.1.4 PROYECCIÓN DE VENTAS

Para el cálculo de ventas futuras se utilizó el método de proyección de valor absoluto que es un tipo de proyección cuantitativo el cual utiliza datos históricos y fórmulas de predicción

para su ejecución. Este tipo de método tiene mayor precisión con respecto a los métodos cualitativos así acercándose a una realidad futura.

El método de proyección de valor absoluto consiste en calcular una variación absoluta por cada año, este valor se obtiene restando el periodo actual menos el periodo anterior para luego realizar un promedio de todas las variaciones en donde el resultado de este promedio se sumará a las ventas del último periodo dando así la proyección de ventas del siguiente año. A continuación, en la **Tabla 3.4** se presenta los resultados obtenidos.

Tabla 3.4 Proyección de ventas de vehículos híbridos en el Ecuador.

AÑO	VENTAS	VARIACIÓN ABSOLUTA
2016	991	82
2017	3390	2399
2018	2820	-570
2019	1406	-1414
2020	1130	-276
2021	4269	3139
2022	4505	236
2023	4741	236
2024	4977	236
2025	5213	236
2026	5449	236
2027	5685	236
2028	5921	236
2029	6157	236
2030	6393	236
2031	6629	236
2032	6865	236

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.4** podemos apreciar el número de ventas de vehículos híbridos por cada año donde estos datos históricos nos sirvieron para la proyección de ventas de estos. En el 2010 debido a la preocupación por el medio ambiente y la sobreexplotación de materia prima el mundo adopto reformas en todos los sectores de las industrias para solventar esta problemática, por ende el sector automotriz debió acatar esto con la introducción de vehículos ecológicos al mercado, en el Ecuador la introducción de vehículos híbridos en sus

mercados tomo inicio en el 2009, para el 2010 algunas marcas introdujeron algunos modelos debido a incentivos tributarios y además porque en ese año era el auge de esta modalidad y por la preocupación del medio ambiente muchas familias ecuatorianas se inclinaron por este producto. En el 2021 después de pasar por una pandemia donde todos los sectores se quedaron inactivos el gobierno, mediante reformas como la eliminación de impuestos a productos especiales, motivo nuevamente a los ecuatorianos a escoger este tipo de vehículos, además el gobierno junto a marcas que comercializan este tipo de vehículos tiene proyecciones sobre la instalación de electrolineras para abastecer esta demanda por este motivo el sector de vehículos híbridos en el mercado tendrá un crecimiento por cada año.

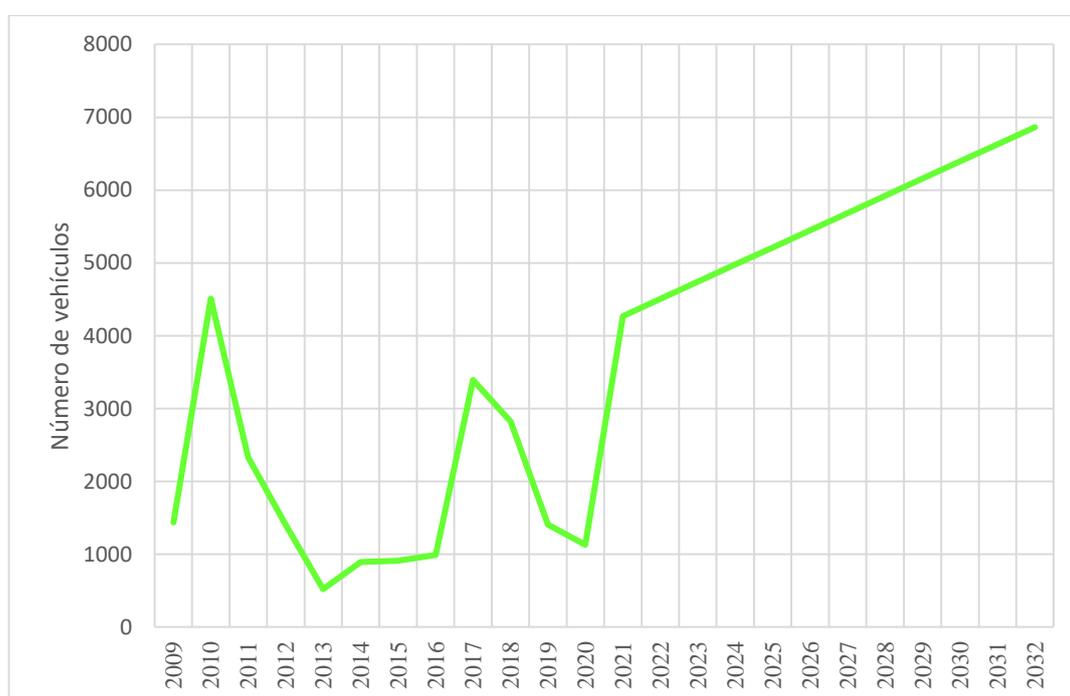


Figura 3.4 Proyección de ventas de vehículos híbrido.

Fuente: Autores

En la **Figura 3.4** se aprecia que el resultado de proyección es un aumento de 236 unidades por cada año. Además, podemos decir que existirá un crecimiento de ventas de vehículos híbridos en los próximos 10 años y para el año 2032 existirá una flota de al menos 7000 vehículos que implementen esta tecnología a nivel nacional.

Tabla 3.5 Proyección de ventas de vehículos híbridos en la provincia e Imbabura.

AÑO	VENTAS	VARIACIÓN ABSOLUTA
2015	28	
2016	28	0
2017	87	59
2018	63	-24
2018	29	-34
2019	28	-1
2020	159	131
2021	422	263
2022	478	56
2023	535	56
2024	591	56
2025	647	56
2026	703	56
2027	760	56
2028	816	56
2029	872	56
2030	929	56
2031	985	56
2032	1041	56

Fuente: Autores

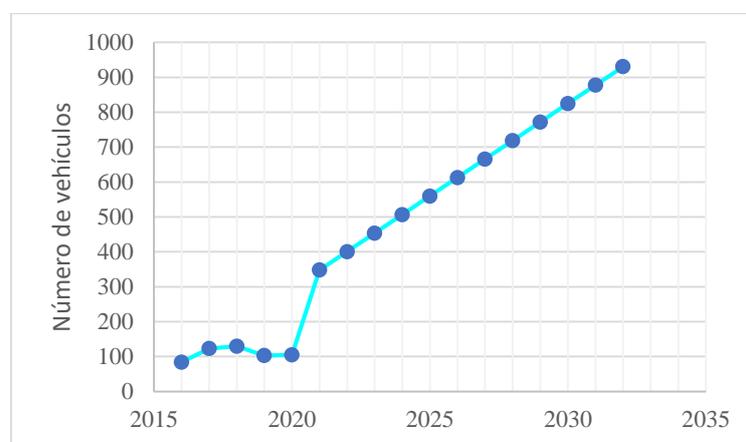
En la **Tabla 3.5** se muestra la proyección de ventas de vehículos híbridos en la provincia de Imbabura. Anteriormente se mencionó que esta provincia ocupa el quinto lugar de las provincias con más ventas de estos vehículos. En la **Tabla 3.4** se muestra la proyección de ventas de vehículos híbridos a nivel nacional donde se puede notar un crecimiento notable, por ende al ser una de las provincias con mayor participación en el consumo de esta tecnología la proyección de ventas es de forma creciente simultáneamente.

Tabla 3.6 Proyección de ventas de vehículos eléctricos en el Ecuador.

AÑO	VENTAS	VARIACIÓN ABSOLUTA
2016	84	
2017	123	39
2018	130	7
2019	103	-27
2020	105	2
2021	348	243
2022	401	53
2023	454	53
2024	507	53
2025	560	53
2026	613	53
2027	666	53
2028	719	53
2029	772	53
2030	825	53
2031	878	53
2032	931	53

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.6** se puede apreciar que el promedio de la variación absoluta de los datos históricos es 53 unidades por año, mediante este resultado podemos proyectar las ventas para los siguientes años.

**Figura 3.5** Proyección de venta de vehículos eléctricos.

Fuente: Autores

En la **Figura 3.5** se observa el diagrama de proyección de ventas de vehículos eléctricos desde 2023 al 2032 en donde este método de proyección propone que para el año 2032 existirá una venta de al menos 900 vehículos eléctricos a nivel nacional de tal modo que se tiene un crecimiento lineal favorable para la industria automotriz, y así, de esta manera aportar a la mitigación de contaminación ambiental y fomentando a la electromovilidad.

3.1.5 PROYECCIÓN DE RESIDUOS Y DESECHOS

En el Ecuador hoy en día el mercado de los vehículos híbridos y eléctricos es toda una realidad. Sin embargo, este segmento de vehículos no sobrepasa el 10% de vehículos vendidos en todo el Ecuador a pesar de los incentivos que el gobierno ha brindado a las casas comerciales y a los consumidores. La introducción de estos vehículos tiene el objetivo de mitigar la contaminación global que se está viviendo.

Los vehículos híbridos y eléctricos son menos contaminantes a comparación de los vehículos que son a gasolina y diésel, sin embargo, este tipo de vehículos con el pasar de los años también generan desechos, uno de los desechos que preocupa a la población son las baterías de alta tensión debido a que con el pasar de los años estas irán aumentando de manera abrupta.

En el Ecuador a pesar de que este mercado en la actualidad no tiene una capacidad significativa se estima que con el paso de los años este crezca. En la **Tabla 3.4** y **Tabla 3.6** se muestra las proyecciones de ventas de vehículos híbridos y eléctricos respectivamente donde se puede apreciar un crecimiento por cada año. Mediante las proyecciones de vehículos vendidos podemos realizar las proyecciones de desechos que se generarán.

Es de conocimiento que las baterías de alta tensión tienen un tiempo de vida útil de 9 a 10 años este dato se corroboró mediante la encuesta realizada a los jefes de taller de las casas comerciales de la ciudad de Ibarra donde nos manifestaron este periodo de vida útil. Además, cabe recalcar que en Ecuador se comercializa diferentes modelos de vehículos híbridos y eléctricos para lo cual se dividió las proyecciones en vehículos híbridos y vehículos eléctricos debido a que las dimensiones y el peso de las baterías empleadas son diferentes. A continuación, tomando estos parámetros antes mencionados se ejecutó las proyecciones de desecho enfocados en las baterías de alta tensión donde se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3.7 Pesaje de las baterías de vehículos híbridos comercializados en el Ecuador.

MARCA	MODELO	PESO DE BATERÍA
Toyota	Prius 3G 2010	36,74 kg
	Highlander	60,78 kg
	Prius	27,67 kg
Kia	Niro	32,66kg
	Óptima	41,27kg
	Promedio	39,82 kg

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.7** se muestra el pesaje de las baterías de vehículos híbridos comercializados en el Ecuador. Se puede observar que el pesaje varía dependiendo del modelo o marca por la cual para la realización de proyección de desechos es necesario el conocimiento del valor promedio de los pesajes de las baterías, dato que se utilizará para la elaboración de la **Tabla 3.8**

Tabla 3.8 Proyección de desechos producidos de baterías de vehículos híbridos.

AÑO	N.º DE VEHÍCULOS VENDIDOS	N.º BATERÍAS EN DESUSO	DESECHOS PRODUCIDOS (kg)
2009	1437	-	-
2010	4509	-	-
2011	2330	-	-
2012	1400	-	-
2013	521	-	-
2014	892	-	-
2015	909	-	-
2016	991	-	-
2017	3390	-	-
2018	2820	-	-
2019	1406	1437	57221,34
2020	1130	5946	236769,72
2021	4269	8276	329550,32
2022	4505	9676	385298,32
2023	4741	10197	406044,54
2024	4977	11089	441563,98

2025	5213	11998	477760,36
2026	5449	12989	517221,98
2027	5685	16379	652211,78
2028	5921	19199	764504,18
2029	6157	20605	820491,1
2030	6393	21735	865487,7
2031	6629	26004	1035479,28
2032	6865	30509	1214868,38

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.8** se realizó la proyección de desechos de las baterías de alta tensión de los vehículos híbridos, esta proyección se deriva de la proyección de ventas. Este tipo de vehículos con el transcurso de los años generan desechos en especial las baterías de alta tensión. Este tipo de baterías tiene de 9 a 10 años de vital útil aproximadamente esto dependerá del uso del vehículo. En la actualidad tomando en cuenta este parámetro existe más de 9 mil baterías en desuso en el Ecuador y transformándolo a kilogramos sería más de 300 mil kg en desecho de baterías. El gobierno actual no posee de una normativa vigente sobre los tratamientos de estos desechos debido a que mencionan que no existe la cantidad suficiente para verlo como problemática medio ambiental. Con el pasar de los años se puede notar que el mercado de estos vehículos tendrá un crecimiento significativo por ende la cantidad de desechos también aumentará. En la **Tabla 3.8** se puede apreciar que para el 2032 existirá más de 30 mil baterías en desuso y más de 1 millón de kg en desechos esto de acuerdo con la proyección de ventas realizadas anteriormente.

Tabla 3.9 Pesaje de las baterías de los vehículos eléctricos comercializados en el Ecuador.

MARCA	MODELO	PESO DE BATERÍA
Hyundai	Kona	454 kg
Kia	Soul	275 kg
Audi	E- Tron	370 kg
Promedio		366 kg

Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE

La **Tabla 3.9** refleja el pesaje de las baterías de vehículos eléctricos comercializados en el Ecuador. Para la realización de generación de desechos se utilizará el promedio de estos pesajes. Dato que se implementara en la siguiente tabla:

Tabla 3.10 Proyección de desechos producidos de baterías de vehículo eléctricos.

AÑO	N.º DE VEHÍCULOS VENDIDOS	N.º DE BATERÍAS EN DESUSO	DESECHOS PRODUCIDOS (kg)
2016	84	-	-
2017	123	-	-
2018	130	-	-
2019	103	-	-
2020	105	-	-
2021	348	-	-
2022	401	-	-
2023	454	-	-
2024	507	-	-
2025	560	84	30772
2026	613	207	106603
2027	666	337	230057,33
2028	719	440	391244
2029	772	545	590895,66
2030	825	893	918031,33
2031	878	1294	1391993,4
2032	931	1748	2032197,53

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.10** se puede apreciar la proyección de desechos producidos por los vehículos eléctricos. Mediante la información recopilada por las encuestas realizadas se puede decir que las baterías de este tipo de vehículos tienen un rango de vida útil de 9 a 10 años dependiendo del uso del propietario. En la actualidad se puede decir que no existe baterías en desecho debido a que este tipo de tecnología no sobrepasa de los 9 años en el mercado ecuatoriano. Sin embargo, con el pasar de los años esto será toda una realidad en donde se puede apreciar en la tabla que para el 2032 existirá 2 mil baterías en desuso. A pesar de que el mercado de vehículos eléctricos es menor que los vehículos híbridos por la cual generan menos desechos no son del todo ciertos. Las baterías de vehículos eléctricos en ocasiones son el doble de peso que una batería de vehículo híbrido por la cual se puede decir que a pesar de ser menos baterías en desuso en desechos en kilogramos se puede acercar a los desechos producidos por las baterías en desuso de los vehículos híbridos, lo cual en un futuro será una gran problemática si no se realiza soluciones desde la actualidad.

3.1.6 ANÁLISIS DE COSTOS

3.1.6.1 Metales utilizados en la fabricación de baterías de alta tensión

- **Níquel**

Es uno de los elementos más utilizados a la hora de fabricar baterías de alta tensión. La utilización de este compuesto ayuda a disminuir el tamaño y el peso de la batería debido a que posee energía másica y volumétrica mayor a comparación de las baterías de plomo, además es amigable con el medio ambiente. Este elemento es utilizado en varias áreas de la industria desde la realización de materiales para construcción hasta la implementación de níquel en productos alimenticios. El níquel es uno de los elementos más abundantes en el planeta tierra. Este elemento se encuentra en la corteza terrestre, rocas ígneas y en algunos meteoritos. A continuación, se muestra los principales países productores de níquel en el 2021.

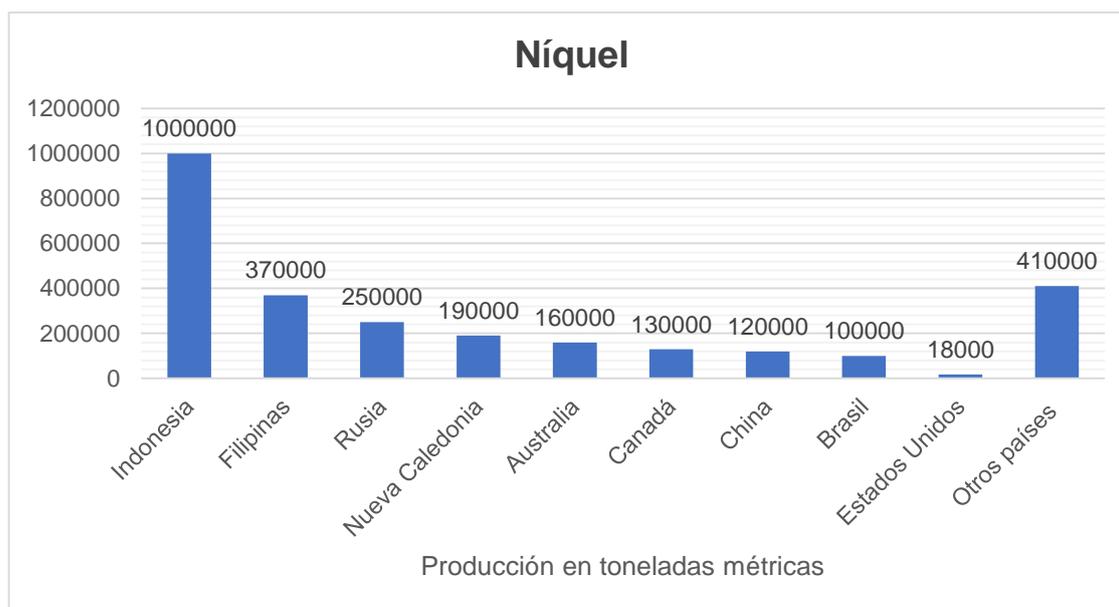


Figura 3.6 Principales países productores de níquel a nivel mundial.

Fuente: Fernández, R. (2022)

<https://es.statista.com/estadisticas/635366/paises-lideres-en-la-produccion-de-niquel-a-nivel-mundial/#:~:text=En%202021%2C%20el%20primer%20pa%C3%ADs,cantidades%20en%20la%20corteza%20terrestre.>

En la **Figura 3.6** se muestra que Indonesia es el país con más producción de níquel abarcando el 36% de las producciones a nivel mundial con un alrededor de 1 millón de toneladas producidas. El segundo puesto con un 13% es Filipinas con una producción de 370 mil toneladas producidas. Estados Unidos es el noveno país con mayor participación en cuenta la producción de níquel con una producción de 18 mil toneladas. Rusia es el tercer país con más producción de níquel, en la actualidad este país se encuentra en disputa con el país

vecino Ucrania lo que ha generado escasez de este elemento por ende la importación es más costosa.

El Ecuador en el 2020 importó \$638 000 en níquel crudo así ocupando el puesto 63 en los países con más importaciones de este elemento. El mayor proveedor de níquel crudo fue Francia con un total de importaciones de \$202 000, además el Ecuador importa níquel de Finlandia, Reino Unido, Canadá y Bélgica.

- **Cromo**

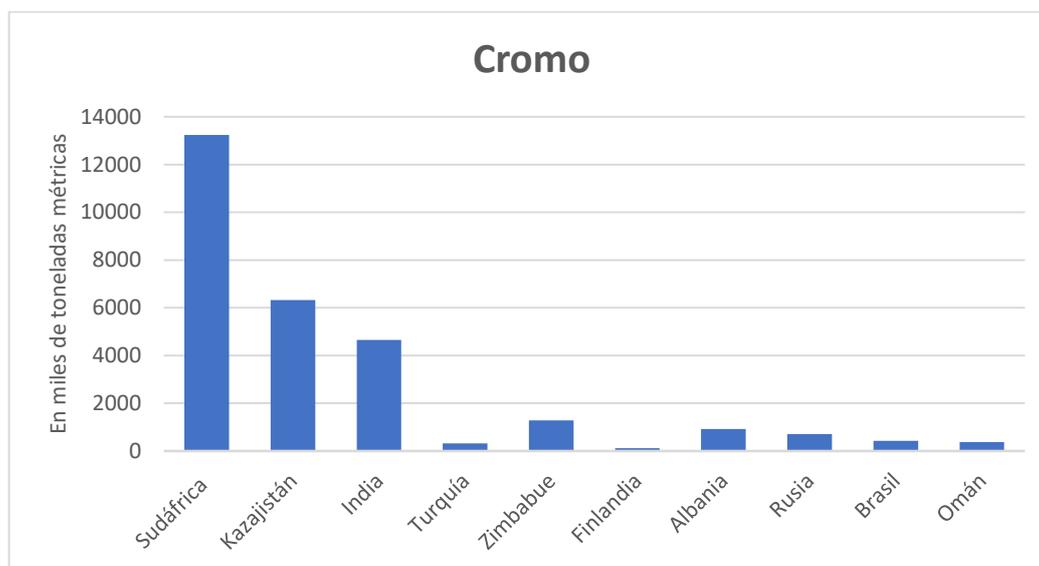


Figura 3.7 Principales productores de cromo a nivel mundial en el 2020

Fuente: Statista Research Department. (2022, Junio 16). Cromo: principales países productores 2020 | Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/1140148/paises-lideres-en-la-produccion-de-cromo-a-nivel-mundial/>

En la **Figura 3.7** se observa que en el año 2020 Ecuador importó mineral de cromo principalmente de Bolivia, invirtiendo en este país \$13 100 en importaciones de este metal. En el mismo año se importó \$24 000 en mineral de cromo de Brasil y Sudáfrica ocupando el lugar 77 en importaciones de cromo a nivel mundial.

- **Manganeso**

El manganeso es uno de los elementos más abundantes a nivel mundial ocupando el quinto puesto. Este elemento es utilizado en múltiples áreas como: industrias, medicina, tecnología, energía renovable y construcción debido los beneficios brindados, sin embargo, este elemento no es aplicado en su forma pura debido a que es un elemento frágil, lo que dificulta su manipulación y por lo tanto para su implementación deberá formarse un compuesto o una aleación. A continuación se presentan los principales países productores de manganeso.

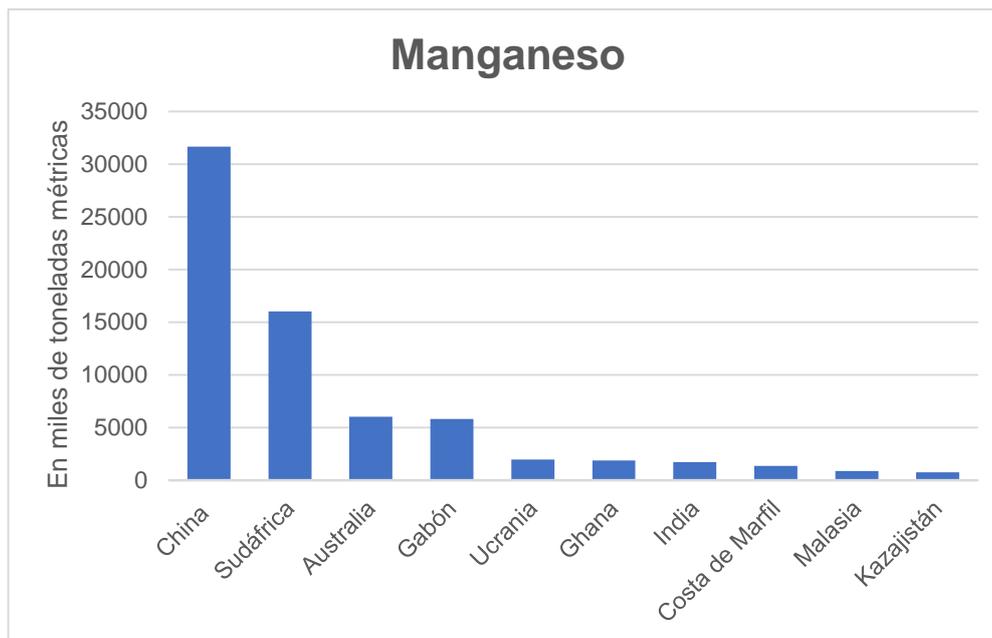


Figura 3.8 Principales países productores de manganeso a nivel mundial

Fuente: Statista Research Department. (2022, junio 16). Manganeso: principales países productores 2020 | Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/1140016/paises-con-mayor-produccion-de-manganeso-a-nivel-mundial/>

En la **Figura 3.8** se observa que en el año 2020 China fue el mayor productor de manganeso con alrededor de 31,7 millones de toneladas métricas de este metal, seguido de Sudáfrica y Australia. Por su parte, Ecuador ocupó el puesto 71 en importaciones de manganeso a nivel mundial generando un gasto de \$ 939 000 en importación de este metal. Las principales fuentes de importación para el país son principalmente China, Países bajos y Sudáfrica.

- **Litio**

El litio es un metal ligero que es muy empleado en la industria, sin embargo, en su estado puro es altamente reactivo. El hidróxido de litio se utiliza en la fabricación de baterías de alta tensión para vehículos eléctricos y teléfonos móviles. El litio es una materia prima renovable debido a que esta puede ser reciclada. En la actualidad el costo de reciclaje de este elemento excede el costo de producción en 5 veces mayor motivo por el cual no es económicamente viable.

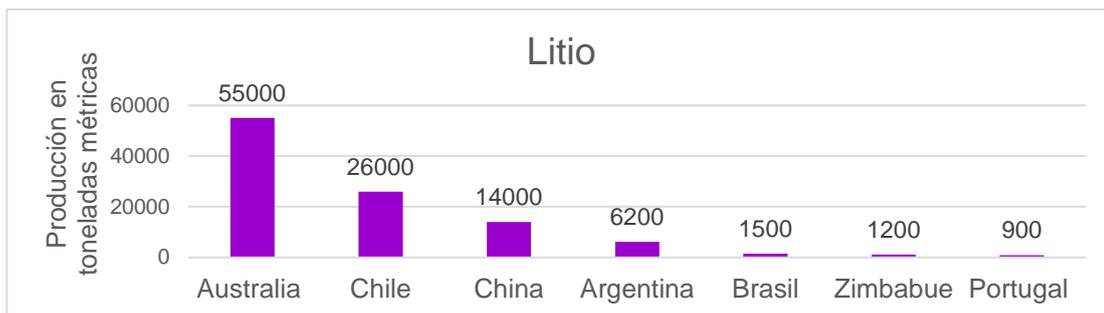


Figura 3.9 Principales productores de litio a nivel mundial.

Fuente: Rosa, F. (11 de 08 de 2022). *STATISTA*. Obtenido de Ranking de los principales países productores de litio a nivel mundial en 2021: <https://es.statista.com/estadisticas/600308/paises-lideres-en-la-produccion-de-litio-a-nivel-mundial/>

En la **Figura 3.9** se muestra los principales países productores de litio a nivel mundial, donde se observa que Australia es el principal productor de este elemento, además China ocupa el tercer puesto entre los mayores productores de este metal siendo el principal proveedor del Ecuador.

El Ecuador en el 2020 importó \$12000 en carbonato de litio siendo el mayor proveedor China. También otros países como los que son India y España son proveedores de litio del Ecuador así ocupando el puesto número 76 en importadores a nivel mundial. (OEC, 2021)

- **Níquel vs Litio vs Manganeso**



Figura 3.10 Costos de los elementos principales empleados en la fabricación

Fuente: (Trading Economics, 2022)

En la **Figura 3.10** se observa un diagrama estadístico en donde se compara los costos de tres elementos que son empleados en la fabricación de baterías de alta tensión de vehículos

híbridos y eléctricos como los que son: níquel, litio y manganeso. Se puede observar que el menos costo es el manganeso con un valor de \$18 415 por tonelada a comparación del níquel que es el metal más costoso con un valor de \$26 630 en el mes de noviembre, sin embargo, este valor es menor a comparación del costo que obtuvo el níquel el mes de octubre del 2022. La LME intensifico la vigilancia con respecto al mercado de estos metales motivo por el cual el precio del níquel aumento en un 40% en menos de un mes, pero en el mes de noviembre se neutralizo el valor de este metal a causa de su demanda. Por otro lado, está el litio que para finales de noviembre del 2022 obtuvo un valor de \$21 021 por tonelada siendo uno de los valores más bajos en este año, cabe recalcar que para el mes de abril el costo del litio estaba menos de \$18 000 por tonelada debido a que la explotación de esta materia prima es muy barata a comparación del níquel.

- **Análisis de recuperación de metales**

Para el análisis de recuperación de metales se tomó en cuenta los resultados obtenidos en la metodología de espectrofotometría de absorción atómica realizados en el apartado 3.3.3. Además se realizó el pesaje de electrodos positivo y negativo que conforman la celda de batería. Tomando en cuenta que cada celda está conformada por 12 electrodos positivos y 12 electrodos negativos cada uno con un peso de 40 y 20 gramos respectivamente. Bajo estas consideraciones en la **Tabla 3.11** se observa la cantidad de material recuperado en una celda.

Tabla 3.11 Estimación de recuperación de metales en electrodos positivos y negativos de una celda.

CELDA			
Electrodo positivo	Oxihidróxido de Níquel	12 láminas	40 gr
Electrodo negativo	Hidruro metálico	12 láminas	20 gr
Metal	ppm	%	Gramos
Níquel		53,8	21,52
Arsénico	0,263	$2,63 \times 10^{-5}$	0,00001
Cromo	1,03	0,000103	0,00002
Manganeso	72	0,0072	0,00144
Níquel	730	0,073	0,01460
Plomo	0,42	$4,20 \times 10^{-5}$	0,00001
Calcio	0,58	$5,80 \times 10^{-5}$	0,00001
Cadmio	0,04	$4,00 \times 10^{-6}$	0,0000008

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.11** se puede observar que en una celda vamos a obtener 40 gramos de oxihidróxido de níquel y 20 gramos en 12 electrodos negativos de hidruro metálico. Para el caso del electrodo positivo se obtendrá una recuperación del metal de 53,8%, es decir, por cada 40 gramos de material se recuperarán 21,52 gramos de níquel. Del mismo modo bajo estas consideraciones, se obtuvo que para el electrodo negativo habrá una recuperación de 0,015 gramos de níquel y 0,0014 gramos de manganeso por cada 20 gramos de material anódico tratado.

En base a los resultados obtenidos en la **Tabla 3.11** se observa la cantidad de material recuperado en una celda. Considerando que un módulo de la batería del vehículo Highlander está conformado por 8 celdas. En la **Tabla 3.12** se muestra los resultados de recuperación de metales por módulo.

Tabla 3.12 Estimación de recuperación de metales de electrodos positivos y negativos por módulo.

MÓDULO			
Electrodo positivo	Oxihidróxido de Níquel	96 láminas	320 gr
Electrodo negativo	Hidruro metálico	96 láminas	160 gr
Metal	ppm	%	Gramos
Níquel		53,8	172,16
Arsénico	0,263	$2,63 \times 10^{-05}$	0,00004
Cromo	1,03	0,000103	0,00016
Manganeso	72	0,0072	0,01152
Níquel	730	0,073	0,11680
Plomo	0,42	$4,20 \times 10^{-05}$	0,00007
Calcio	0,58	$5,80 \times 10^{-05}$	0,00009
Cadmio	0,04	$4,00 \times 10^{-06}$	0,00001

Fuente: Autores

De acuerdo con los datos obtenidos en la **Tabla 3.12** se puede observar que el oxihidróxido de níquel es el compuesto con mayor porcentaje de recuperación obteniendo 172,16 gramos por cada 320 gramos que se analicen. Sin embargo, el porcentaje de recuperación en el electrodo negativo es menor, obteniendo una tasa de recuperación de 0,12 gramos de níquel y 0,01 gramos de manganeso por cada 160 gramos de material anódico.

Para el análisis de estimación de recuperación de material de los bloques de batería se tomó en cuenta la cantidad de módulos que lo conforman. Además, se tomó en cuenta también que hay dos bloques conformados por 12 módulos, por este motivo se realizó una estimación de recuperación en conjunto del Bloque 1 y del Bloque 3 como se muestra en la **Tabla 3.13**.

Tabla 3.13 Estimación de recuperación del material de electrodos positivos y negativos del Bloque 1 y Bloque 3.

BLOQUE 1 Y 3			
Electrodo positivo	Oxihidróxido de Níquel	1152 láminas	3840 gr
Electrodo negativo	Hidruro metálico	1152 láminas	1920 gr
Metal	ppm	%	Gramos
Níquel		53,8	2065,92
Arsénico	0,263	$2,63 \times 10^{-05}$	0,00050
Cromo	1,03	0,000103	0,00198
Manganeso	72	0,0072	0,13824
Níquel	730	0,073	1,40160
Plomo	0,42	$4,20 \times 10^{-05}$	0,00081
Calcio	0,58	$5,80 \times 10^{-05}$	0,00111
Cadmio	0,04	$4,00 \times 10^{-06}$	0,00008

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.13** Se puede observar que existe una mayor recuperación en el oxihidróxido de níquel obteniendo 2065,92 gramos de níquel en una muestra de 3840 gramos. Por otro lado, en el hidruro metálico el compuesto con menor porcentaje de recuperación es el cadmio con una recuperación de 0,00008 gramos en una muestra de 1920 gramos, sin embargo, en este electrodo negativo existe una mayor recuperación de níquel con un 0,073%, no obstante es mucho menor al porcentaje de recuperación en el electrodo positivo.

Con base al análisis anterior, se realizó la estimación de recuperación de material para el Bloque 2 que está conformado por 6 módulos a diferencia del Bloque 1 y 3. En la **Tabla 3.14** se puede observar el porcentaje de recuperación del Bloque 2.

Tabla 3.14 Estimación de recuperación del material de electrodos positivos y negativos en el Bloque 2.

BLOQUE 2			
Electrodo positivo	Oxihidróxido de Níquel	576 láminas	1920 gr
Electrodo negativo	Hidruro metálico	576 láminas	960 gr
Metal	ppm	%	gramos
Níquel		53,8	1032,96
Arsénico	0,263	$2,63 \times 10^{-05}$	0,00025
Cromo	1,03	0,000103	0,00099
Manganeso	72	0,0072	0,06912
Níquel	730	0,073	0,70080
Plomo	0,42	$4,20 \times 10^{-05}$	0,00040
Calcio	0,58	$5,80 \times 10^{-05}$	0,00056
Cadmio	0,04	$4,00 \times 10^{-06}$	0,00004

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.14** se observa que la tasa de recuperación en el electrodo positivo es de 1032,96 gramos de níquel por cada 1920 gramos de material reciclado. En el caso del electrodo negativo se obtuvo una recuperación de 0,70 gramos de níquel y 0,06 gramos de manganeso por cada 960 gramos de muestra.

Para realizar la estimación de recuperación de la batería completa es necesario el conocimiento de recuperación por celda, módulo y los bloques que la conforman, debido a que una batería está compuesta por cada una de ellas. En la **Tabla 3.15** se muestra la tasa de recuperación del material de la batería completa sometida al proceso de reciclaje.

Tabla 3.15 Estimación de recuperación del material de electrodos positivos y negativos de la batería Toyota Highlander.

BATERÍA DEL TOYOTA HIGHLANDER			
Electrodo positivo	Oxihidróxido de Níquel	2880 láminas	9600 gr
Electrodo negativo	Hidruro metálico	2880 láminas	4800 gr
Metal	ppm	%	Gramos
Níquel		53,8	5164,8
Arsénico	0,263	$2,63 \times 10^{-05}$	0,00126
Cromo	1,03	0,000103	0,00494
Manganeso	72	0,0072	0,34560

Níquel	730	0,073	3,50400
Plomo	0,42	$4,20 \times 10^{-05}$	0,00202
Calcio	0,58	$5,80 \times 10^{-05}$	0,00278
Cadmio	0,04	$4,00 \times 10^{-06}$	0,00019

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.15** se muestra una estimación de recuperación si se sometiera toda la batería en desuso para la cual nos basaremos a los resultados antes mencionados. En el caso del electrodo positivo o el oxihidróxido de níquel se obtiene una recuperación del 53.8 % de la muestra sometida por ende la recuperación es media, sin embargo, el recuperar este porcentaje implica un costo elevado de alrededor de \$ 14 000 con una recuperación de 5164,8 gramos, a comparación del costo del níquel puro que se encuentra en \$26.7 por kilogramos. Teniendo una diferencia de \$1000 por kilogramos lo cual lo hace altamente costoso.

En el proceso de espectrofotometría mediante absorción atómica se tiene como objetivo la mayor recuperación de los metales analizados, tomando en cuenta que dicho proceso no tenga un efecto negativo con el medio ambiente. En la tabla anterior se puede apreciar que en electrodo positivo existe un mayor porcentaje de recuperación, sin embargo, solo se recuperó un 53.8% que es una recuperación media, el porcentaje faltante se perdió mediante el proceso a causa de que al ser sometida a este proceso necesita un pretratamiento mecánico y al ser sometida a lixiviación en ácidos está compuesto puede generar otros compuestos que no son posibles de separar o necesitan otro tratamiento para su recuperación.

3.2 SITUACIÓN ACTUAL EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

A través de este apartado se trata de exponer los lineamientos actuales que la industria automotriz local está utilizando para con el manejo de baterías de alta tensión. Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron técnicas de recopilación de información primarias tales como la entrevista y una encuesta que estuvieron dirigidas específicamente a diferentes casas comerciales de la ciudad de Ibarra, y de la misma manera se lo realizó con gestores ambientales encargados de este tipo de residuos.

3.2.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EN CASAS COMERCIALES

Para el proceso de recopilación de información se utilizó la técnica de encuesta, con el formato que se muestra en el **Anexo II**, con un banco de preguntas relacionado al postratamiento de las baterías de vehículos híbridos-eléctricos. La encuesta estuvo dirigida

a los jefes de taller de las casas comerciales que se encuentran ubicadas en la ciudad de Ibarra tales como: Comercial Hidrobo, Authesa y Quito Motors.

De manera detallada, en la ciudad de Ibarra, las casas comerciales se encuentran conformadas por varios fabricantes de vehículos. La casa Comercial Hidrobo está constituida por Hyundai, Toyota, Mazda, Renault, entre otros. La casa comercial Authesa representa la marca KIA. Y finalmente, Ford pertenece a la casa comercial Quito Motors.

3.2.1.1 Análisis descriptivo

A continuación se presenta un análisis detallado en el cual se describe la información obtenida en las preguntas realizadas a las casas comerciales en la entrevista realizada a sus jefes de taller.

1. ¿Cuántos y cuáles modelos de vehículos híbrido-eléctricos en los últimos 15 años han incursionado en el mercado local la casa comercial?

Tabla 3.16 Modelos vehiculares incursionados en el mercado local

CASA COMERCIAL	FABRICANTE	MODELOS
Comercial Hidrobo	Toyota	Highlander
		Prius (Sport C)
		Prius (Sedan)
		Prius 4G
		Cross
		Yaris Cross
		Corolla
		Camry
		C-HR
	Hyundai	Sonata
		Kona
		Ioniq
	Lexus	Rx450h
	Jeep	Compass
	Nissan	Altima
Authesa	KIA	Niro
		Stonic
		Soul

		Óptima
Quito Motors	Ford	Escape
		Fusion

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.16** se presenta un sondeo de los modelos que las diferentes marcas han incursionado durante los últimos 15 años. Siendo Toyota el fabricante que más modelos ha introducido en el mercado local con el 42.85% del total de modelos que se registraron. Seguidamente de KIA con el 19.04%, precedido de Hyundai con el 14.29%, a continuación Ford con el 9.52% y finalmente Lexus, Jeep y Nissan con el 4.76% cada uno.

2. ¿Hace que tiempo se empezaron a comercializar vehículos híbrido-eléctricos en la casa comercial?

Tabla 3.17 Incursión de vehículos en el mercado local

FABRICANTE	MODELOS	INTRODUCCIÓN AL MERCADO
Toyota	Highlander	2012
	Prius (Sport C)	2012
	Prius (Sedan)	2012
	Prius 4G	2018
	Cross	2021
	Yaris Cross	2022
	Corolla	2022
	Camry	2022
Hyundai	C-HR	2022
	Sonata	2015
	Kona	2022
KIA	Ioniq	2017
	Niro	2019
	Stonic	2020
	Soul	2016
Ford	Óptima	2014
	Escape	2010
	Fusion	2011

Fuente: Autores

En la gran variedad de vehículos que se han introducido en el mercado local, el pionero en comercializar vehículos con tecnología híbrida es Ford con su modelo Escape en el año 2010, precedido por Toyota con sus modelos Prius y Highlander en el año 2012. De este resultado se puede concluir que la tecnología híbrida en la ciudad de Ibarra se encuentra inmersa desde hace 12 años y que se encuentra en constante crecimiento debido a la introducción de nuevos modelos por parte de las diferentes casas comerciales.

3. ¿Qué tipo de tecnología de baterías se utiliza en los vehículos híbrido-eléctricos?

Tabla 3.18 Tecnologías de baterías por fabricantes

FABRICANTES	TIPO DE BATERÍA
Toyota	Ni-MH
Ford	Ni-MH (2005-2012) – Li-ion (2013-2017)
KIA	Li-ion
Hyundai	Li-ion
Jeep	Li-ion
Lexus	Ni-MH

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.18** se observa los tipos de tecnologías que los fabricantes utilizan en los modelos que actualmente circulan en la ciudad, siendo Ford el único fabricante que implementó un cambio de tecnología de Níquel hidruro metálico a baterías de ion de Litio a partir del año 2013 en su modelo Fusion

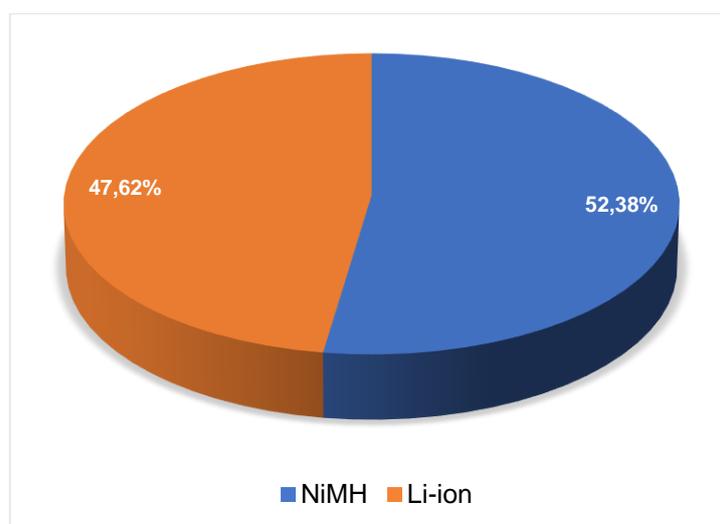


Figura 3.11 Tecnología de batería de vehículos híbrido-eléctricos

Fuente: Autores

De la información recopilada en la encuesta, se concluyó que la tecnología más empleada en el mercado local es la de Níquel Hidruro Metálico como se muestra en la **Figura 3.11**, de un total de 21 modelos de vehículos híbrido-eléctricos, mientras que las baterías de ion de Litio prometen un crecimiento exponencial.

4. ¿Con que frecuencia y cuál es el proceso de mantenimiento que el fabricante recomienda realizar a las baterías de los vehículos híbrido-eléctricos?

Tabla 3.19 Mantenimiento en las baterías de alta tensión por fabricante.

FABRICANTE	MANTENIMIENTO
Toyota	- 20 000 km (Cambio de filtro de ventilación) - 100 000 km (Verificación del estado de salud batería)
Ford	- No programado
KIA	- No programado
Hyundai	- No programado - 10 años (Calibración de las baterías)

Fuente: Autores

Como resultado de la encuesta se concluyó que en la mayoría de los fabricantes no se establece un mantenimiento programado de las baterías como se muestra en la **Tabla 3.19**, sin embargo las casas comerciales si realizan actividades de prevención cuando los consumidores así lo requieren.

Para el caso de Toyota, el mantenimiento que se realiza en las baterías de alta tensión consiste en reemplazar el filtro del ventilador cada 20 mil kilómetros para evitar que las baterías se sometan a altas temperaturas debido a que esto acortaría su vida útil. Además, se realiza una verificación del estado de salud de los módulos con el uso de herramienta especializada y bajo procedimientos del manual técnico del fabricante.

En cuanto a Ford, el mantenimiento consta de una limpieza general en las baterías cada vez que sea necesario. Conjuntamente se realiza una prueba de carga y descarga de la misma para comprobar el estado de carga de la batería.

Por su lado Hyundai no realiza un mantenimiento programado debido a que las baterías están totalmente selladas y se necesita de una calibración al momento de ensamblarlas en el vehículo. No obstante, es necesario realizar revisiones periódicas para verificar el estado de salud de la batería.

Finalmente, KIA recomienda realizar un mantenimiento a las baterías en caso de que los vehículos se encuentren sometidos a condiciones ambientales que afecten el rendimiento de este, tales como la alta humedad, lugares con alta cantidad de tierra suelta, descargas profundas o sobrecarga. De tal modo que el mantenimiento recomendado será una limpieza de los sistemas exteriores cuando estos lo requieran, así mismo se realizará una verificación de la batería con un balanceador de módulos.

5. ¿Cuál es el tiempo promedio de recambio de las baterías?

Tabla 3.20 Vida útil de las baterías por fabricante

FABRICANTE	VIDA ÚTIL DE LA BATERÍA
Toyota	8 años aprox.
Ford	8 años aprox.
KIA	10 años aprox.
Hyundai	10 años aprox.

Fuente: Autores

De la información proporcionada en la **Tabla 3.20** se concluyó que el tiempo promedio de vida útil de una batería de alta tensión oscila entre los 8 y 10 años. Sin embargo, pueden existir factores que acorten o alarguen este tiempo de vida, tales como falta de mantenimiento o condiciones de manejo diferentes a las recomendadas por el fabricante.

6. ¿La casa comercial realiza reparaciones de las baterías? ¿Sería posible una repotenciación de estas?

Tabla 3.21 Reparación y/o repotenciación de baterías por fabricante

FABRICANTE	REPARACIONES	REPOTENCIACIÓN
Toyota	Sí	Sí
Ford	No	Sí
KIA	No	No
Hyundai	No	Sí

Fuente: Autores

En base a los datos obtenidos y presentados en la **Tabla 3.21** la mayoría de las casas comerciales no realizan reparaciones en los paquetes de baterías debido a la falta de equipamiento y tecnología que se requiere. No obstante las casas comerciales como Toyota, Ford y Hyundai están de acuerdo en la posibilidad de realizar una repotenciación a las

baterías aunque el manual del fabricante recomienda cambiar el paquete completo en caso de daño o avería y por cuestiones de protocolo no la ejecutan.

7. ¿Qué precios tienen las baterías?

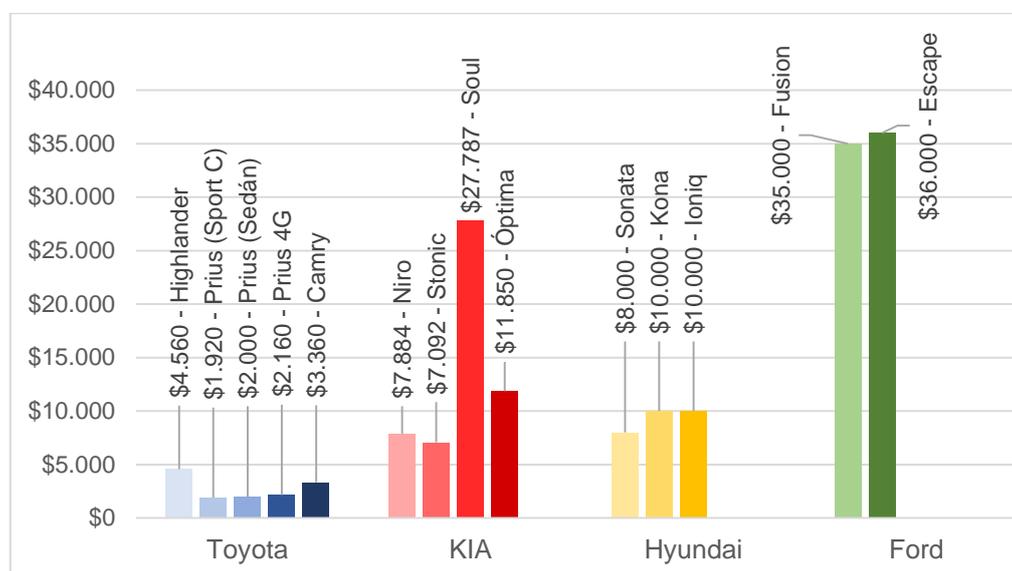


Figura 3.12 Precio de las baterías por fabricante.

Fuente: Autores

Las baterías de recambio que representan mayor costo, según los resultados obtenidos en esta pregunta, son las baterías para los modelos Fusion y Escape de Ford. Del mismo modo, el análisis de la **Figura 3.12**, nos permitió determinar que las baterías de menor costo las oferta la casa comercial de Toyota con su modelo Prius en sus versiones Sedán y Sport C.

Con relación al esquema expuesto en la **Figura 3.12**, se concluyó además que el precio de estas baterías está ligado al tipo de tecnología que estas emplean. Siendo así las baterías de ion de Litio más costosas que las baterías de Níquel Hidruro metálico.

8. ¿La casa comercial se encarga de la gestión y reciclaje de las baterías en desuso?

Tabla 3.22 Gestión y reciclaje de baterías

FABRICANTE	GESTIÓN	RECICLAJE DE BATERÍAS
Toyota	No	No
Hyundai	No	No
KIA	No	No
Ford	No	No

Fuente: Autores

Por medio de la información compilada y presentada en la **Tabla 3.22**, se concluyó que las casas comerciales de Hyundai, KIA y Ford no cuentan con una gestión de baterías debido a la falta de tecnología y a la falta de recambios en sus ejemplares, es decir no existe la demanda suficiente. Sin embargo, Toyota si ha realizado cambios de baterías pero estas son entregadas a cada cliente, es decir, no se encarga de la gestión.

9. ¿Cuentan con gestores calificados para el reciclaje de baterías?

Tabla 3.23 Gestores calificados por casa comercial

CASA COMERCIAL	GESTORES
Comercial Hidrobo	INCINEROX, HAZWAT, PROVIDA WYM, GADERE
Authesa	No
Quito Motors	No

Fuente: Autores

Sobre la base de los datos obtenidos en la **Tabla 3.23**, al no existir la demanda suficiente de cambios de baterías, las casas comerciales de Authesa y Quito Motors aún no requieren de un gestor ambiental que se encargue de este tipo de desechos. Por otra parte, Comercial Hidrobo dispone de varios gestores que facultan el postratamiento de residuos tales como Hazwat y Gadere quienes se encargan de los desechos de tipo eléctrico y electrónico y la empresa Incinerox quien gestionará el tratamiento de las baterías de alta tensión en desuso.

Como información adicional se pueden añadir los gestores encargados del tratamiento de residuos hidrocarburiíferos tal es el caso de Provida WyM en Comercial Hidrobo y Biofactor para Quito Motors.

10. ¿Cuáles son los protocolos que deben cumplir en cuanto al reciclaje de baterías?
(acopio, almacenamiento, transporte, medidas ambientales)

En la **Tabla 3.24** se resumen los protocolos de procedimiento ante medidas ambientales, acopio y almacenamiento a los cuales se rigen los fabricantes frente a las baterías de alta tensión.

Tabla 3.24 Protocolos de reciclaje

FABRICANTES	PROTOCOLOS
Toyota	<ul style="list-style-type: none"> - Almacenamiento temporal de desechos peligrosos - Estanterías de clasificación - Kit de contingencia - Extintor de CO₂ - Señalética - Uso de equipo de protección al operante
Hyundai	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo de alto voltaje - Protector de aislamiento eléctrico - Personas capacitadas
KIA	<ul style="list-style-type: none"> - Bodega designada - Control de temperatura - Herramientas adecuadas - Protección del operante
Ford	<ul style="list-style-type: none"> - Estanterías adecuadas - Clasificación de desecho - Equipo adecuado para el manejo de alta tensión

Fuente: Autores

Principalmente los protocolos presentados se encuentran enfocados en la manipulación de sistemas de alta tensión, mantenimiento y cambio de las baterías. Así mismo, estos protocolos garantizan primordialmente la integridad del operante y el buen manejo de la batería. En segundo lugar, pero no menos importante, todos los fabricantes hacen referencia al almacenamiento de estos desechos en ambientes controlados y aislados de los desechos comunes, con la debida clasificación y señalética pertinente.

11. ¿Qué procedimiento y requerimientos deben cumplir los gestores ambientales en cuanto al reciclaje de baterías?

De acuerdo con las respuestas obtenidas se concluyó que los gestores ambientales deberán poseer una certificación avalada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAAE), una licencia ambiental que como mínimo requisito cumpla los estándares de transporte de residuos peligrosos. Además, al finalizar el proceso de gestión de las baterías la empresa deberá emitir un Manifiesto Único de Entrega que según el Art. 87 de Acuerdo Ministerial 061 “es el documento oficial mediante el cual, la Autoridad Ambiental Competente y el generador mantienen la cadena de custodia. Dicha cadena representa un estricto control sobre el almacenamiento temporal, transporte y destino de los desechos peligrosos”. Para constancia de todo el proceso se emitirá de igual manera un Certificado de disposición final en el cual la responsabilidad de los desechos peligrosos pasará del fabricante hacia el gestor ambiental encargado.

12. ¿Cuentan con una normativa interna en cuanto al reciclado de baterías o se rigen a una normativa nacional?

En su totalidad las casas comerciales se rigen a la normativa nacional vigente como es el Acuerdo Ambiental 022 del Plan de Gestión Integral de Pilas Usadas del Ministerio del Ambiente. Para el desecho de residuos peligrosos se acogen al Acuerdo Ministerial 061, que entró en vigor en el año 2015, en el que se establece la obligatoriedad del cumplimiento de cualquier sujeto, sea natural o jurídica, para con las fases de la gestión integral de residuos peligrosos, así mismo con los mecanismos de prevención y control de la contaminación que genere.

Específicamente Comercial Hidrobo se rige a dos normativas ecuatorianas, la normativa INEN 2266 para el almacenamiento, etiquetado y transporte de las baterías en desuso y la normativa INEN 2841 para la clasificación de los contenedores.

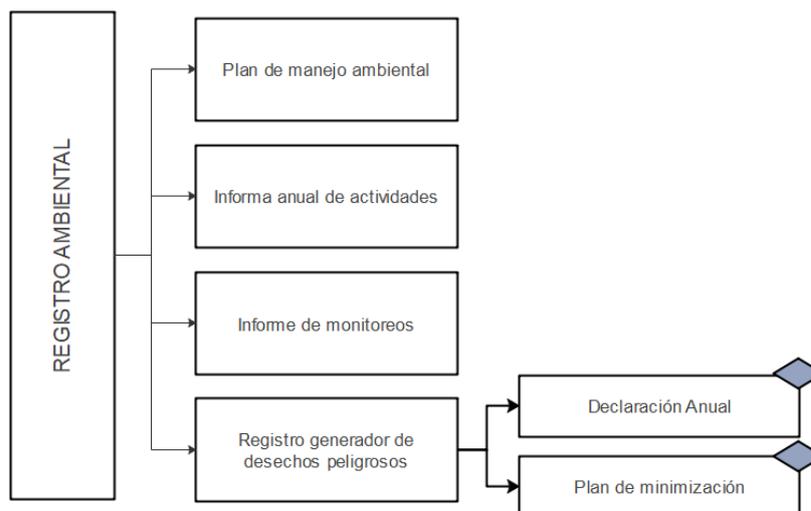


Figura 3.13 Registro Ambiental.
Fuente: Autores

En la **Figura 3.13** se muestra un esquema del Registro Ambiental del Comercial Hidrobo que disponen desde el año 2017. Este registro está compuesto de 4 fases de tal modo que la primera fase es el Plan de manejo ambiental y se deberá realizarlo con una frecuencia anual. En segundo lugar deberán realizar un Informe Anual de actividades que será presentado cada 2 años. Por consiguiente se deberá elaborar un Informe de monitoreos que será presentado cada 6 meses. Y finalmente se llevará un Registro generador de desechos peligrosos que estará conformado por una Declaración Anual que se la realizará entre el 1 al 10 de enero de cada año y además de un Plan de minimización que tendrá un plazo de presentación máximo de 90 días después de obtener el Registro generador de desechos peligrosos.

13. ¿Cuál es el costo anual o mensual que se paga al gestor ambiental?

Según los datos propuestos en la **Tabla 3.23** la única casa comercial que dispone de gestores ambientales es Comercial Hidrobo, de tal manera que los valores que se presentan a continuación corresponden a su gestión.

En cuanto a Toyota, se constató el pago semestral de \$295,96 para la gestión de residuos peligrosos y un pago de \$0.35 por cada kilo en cuanto a baterías de alta tensión se refiere. Adicional a este valor, Comercial Hidrobo realiza un pago de \$75 por la logística y transporte de los desechos por cada fabricante que pertenece a esta casa comercial, es decir, Hyundai, Mazda y Nissan.

14. ¿Es posible una reutilización de las baterías?

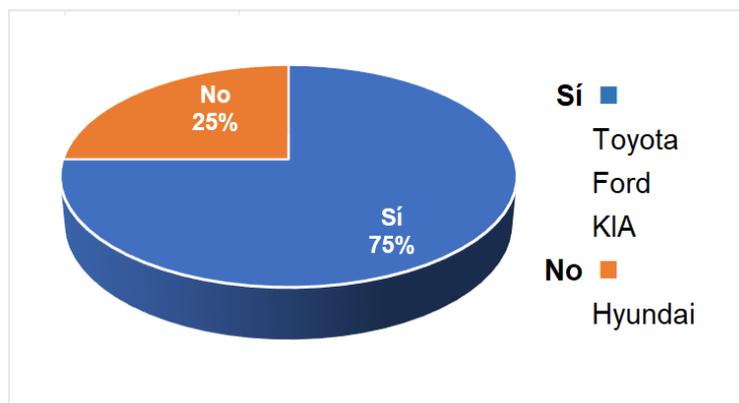


Figura 3.14 Reutilización de baterías por fabricante
Fuente: Autores

La aceptación ante la propuesta de reutilizar las baterías es casi unánime de acuerdo con la información obtenida en la encuesta. Todos los fabricantes están de acuerdo en dar un uso doméstico donde no se demande un alto consumo de voltaje a las baterías que hayan sido recambiadas a sus ejemplares. No obstante, Hyundai no recomienda reutilizar las baterías debido a que estas tienden a hincharse y podría representar un potencial riesgo.

15. ¿Qué precio estaría dispuesto a pagar por el reciclaje de una batería?

De acuerdo con las respuestas proporcionadas por los encuestados se concluyó que existe mucho desconocimiento de los diferentes procesos y métodos de reciclaje de baterías de alta tensión, motivo por el cual no se estimaron valores de paga para el reciclaje de estas.

16. ¿Considera viable la instalación de una fábrica de reciclaje local de baterías?

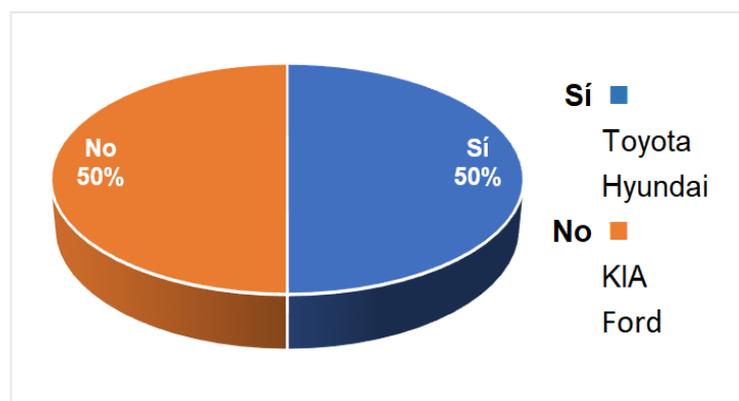


Figura 3.15 Factibilidad de creación de una fábrica local recicladora de baterías HV
Fuente: Autores

Como resultado de esta pregunta se concluyó que la mitad de los encuestados consideran que están totalmente de acuerdo la instalación de una fábrica recicladora de baterías como se muestra en la **Figura 3.15**. Por otro lado, la mitad restante considera que no resultaría

factible ni rentable la instalación de la fábrica debido a la baja demanda de baterías de alta tensión que existe en el mercado, juntamente con la falta de tecnología que esta requiere para realizar los procesos.

3.2.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EN GESTORES AMBIENTALES

Con el fin de recopilar información primaria, para la investigación se optó por utilizar el método de encuesta y entrevista. Esta encuesta está conformada de 12 preguntas como se presenta en el **Anexo III** y está dirigida principalmente a los gestores ambientales encargados del tratamiento de baterías de vehículos híbrido-eléctricos tales como: Hazwat, AMSER Ecuador, Incinerox y Vertmonde.

3.2.2.1 Análisis descriptivo

A continuación se presenta un análisis detallado en el cual se describe la información obtenida en las preguntas realizadas a los gestores ambientales en la entrevista realizada a sus encargados.

1. ¿Qué tipos de baterías aceptan?

Tabla 3.25 Tipos de baterías aceptadas por gestores ambientales

GESTORES AMBIENTALES	TIPO DE BATERÍAS
AMSER Ecuador	<ul style="list-style-type: none"> - Níquel Cadmio - Níquel hidruro metálico - Ión de Litio - Plomo ácido
Incinerox	<ul style="list-style-type: none"> - Níquel hidruro metálico - Níquel Cadmio - Ión de Litio
Vertmonde	<ul style="list-style-type: none"> - Níquel Cadmio - Polímero de litio - Ión de Litio - Níquel hidruro metálico - Plomo ácido
Hazwat	<ul style="list-style-type: none"> - Pilas - Celdas de baterías

Fuente: Autores

De acuerdo con la información recopilada se concluyó que existe una pluralidad en cuanto a tipos de baterías que son receptadas por los gestores ambientales como se muestra en la **Tabla 3.25**. Sin embargo, las tecnologías de interés para la investigación principalmente se encuentran enfocadas en las baterías de tipo Níquel hidruro metálico e ión de Litio.

2. ¿Qué métodos de reciclaje utilizan?

Tabla 3.26 Métodos de reciclaje

GESTOR AMBIENTAL	MÉTODO EMPLEADO
AMSER Ecuador	Separación de materiales, neutralización y celda de seguridad
Incinerox	Celda de seguridad
Vertmonde	Neutralización, aislamiento y exportación
Hazwat	Estabilización y celda de seguridad

Fuente: Autores

La disposición de los residuos depende de las características que estos posean y que además no hayan podido ser gestionados con el proceso de incineración. El método que principalmente es empleado y que la mayoría de los gestores ambientales concuerdan es la neutralización y estabilización de los desechos como se muestra en la **Tabla 3.26**.

Para el caso de AMSER Ecuador, su método consiste en dismantelar, separar todos los materiales y específicamente retirar los fluidos internos de las baterías para neutralizarlos con un proceso químico especial. Posterior a estos procesos se encapsulan las baterías y estas son aisladas. Finalmente para complementar el tratamiento de estos residuos, la empresa posee alianzas con otros gestores ambientales como Incinerox y Plusambiente quienes se encargarán de la disposición final de los desechos.

Por tanto Incinerox, somete a las baterías a un proceso de estabilización química, fijación, solidificación y encapsulación en hormigón para determinados tipos de desechos. Esto asegura una reducción en el peligro potencial de los residuos. Posteriormente los desechos son confinados en pisos de un mismo nivel, se compacta el área donde serán ubicados y así sucesivamente con los siguientes pisos hasta conseguir una correcta disposición final que sea segura y eficiente.

Vertmonde por su parte realiza un pesaje y conteo de las baterías como proceso previo al tratamiento. Acto seguido son neutralizadas, embaladas con material aislante y son

organizadas en pallets de madera en donde se encuentran aisladas totalmente del piso. Finalmente son clasificadas por su tipo de tecnología y enviadas a las plantas de sus respectivos fabricantes fuera del país. Al finalizar el proceso se emitirá un certificado de gestión de residuos con el peso y cantidad de baterías gestionadas.

El tratamiento utilizado por Hazwat se asemeja mucho al proceso de AMSER Ecuador e Incinerox, pues utiliza la técnica de celda de seguridad para aislar los desechos peligrosos mediante una microencapsulación. Este proceso consiste en mezclar, moldear y conformar bloques con un aglomerante confinador para desechos que posean presencia de lixiviados y metales pesados como el níquel, plomo o cobalto.

3. ¿Cuál es el costo del proceso de reciclaje?

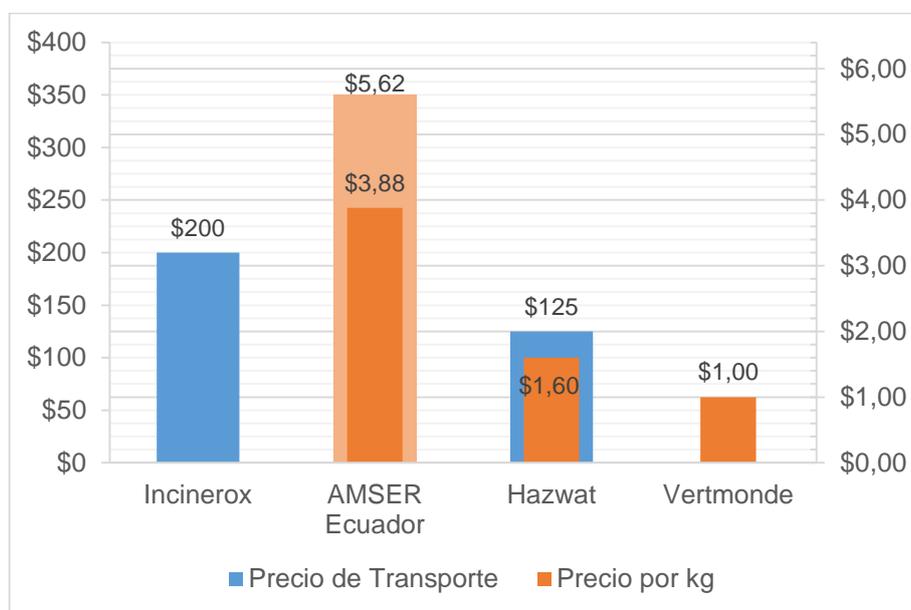


Figura 3.16 Costo del proceso de reciclaje

Fuente: Autores

Sobre la base de los resultados que se observan en la **Figura 3.16**, se puede concluir que existen dos métodos que las empresas utilizan para el cobro de la gestión de baterías. El primer método consiste en el cobro por kilogramo del proceso de disposición final de estas, en donde la empresa AMSER Ecuador y Hazwat ofrecen el servicio de encapsulamiento por \$3,88 y \$1,60 dólares respectivamente, mientras que Vertmonde realiza la exportación de estos desechos al valor de \$1 por kilogramo. Para el segundo método se tomará en cuenta el precio del transporte de los desechos hacia la planta de tratamiento, en donde la empresa Incinerox y Hazwat ofertan sus servicios por \$200 y \$125 dólares independientemente de la

cantidad de baterías a movilizar. AMSER Ecuador por su parte cobra \$9,50 dólares por kilogramo para el proceso de gestión completo que se contempla desde la recepción de las baterías, su transporte y finalmente la disposición final de estas.

4. ¿Cuántas baterías se han reciclado hasta la actualidad?

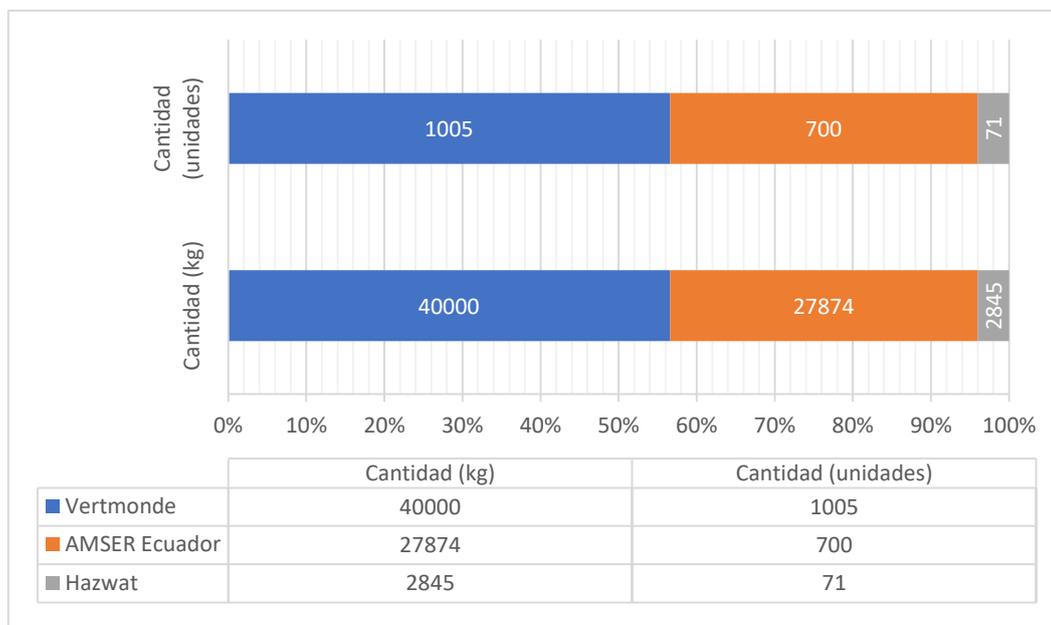


Figura 3.17 Cantidad de baterías recicladas.

Fuente: Autores

En la **Figura 3.17** se observa que desde el año 2019 la empresa Vertmonde ha logrado gestionar cerca de 40 toneladas en baterías de alta tensión teniendo una participación en el mercado del 56% con relación a los gestores ambientales evaluados. Sin embargo AMSER Ecuador, con menor tiempo en el mercado, logró gestionar 27 874 kg en desechos de baterías de alta tensión en lo que va del año 2022, por tal motivo lo convierte en una potencial competencia para el resto de los gestores ambientales, a pesar de que su participación en el mercado es del 40% con respecto al resto de gestores analizados tiene un crecimiento exponencial. Cabe mencionar la empresa Incinerox se reservó a compartir esta información en la encuesta. Se espera que la cantidad de baterías recicladas aumente en los próximos años debido a que la edad promedio de vida útil de estas baterías se encuentra en los siguientes 3 años.

5. ¿A qué normativa nacional se rige la empresa para el proceso de reciclaje?

Tabla 3.27 Normativa legal

GESTOR AMBIENTAL	NORMATIVA LEGAL
AMSER Ecuador	<ul style="list-style-type: none"> - Código Orgánico del Ambiente - Acuerdo Ministerial 061 - Acuerdo Ministerial 026 - Norma INEN 2266
Incinerox	<ul style="list-style-type: none"> - ISO 45001:2018 - ISO 14001:2015 - ISO 9001:2015 - Código Orgánico del Ambiente - Acuerdo Ministerial 026 - Acuerdo Ministerial 061 - Acuerdo Ministerial 142 - NTE INEN 2266
Vertmonde	<ul style="list-style-type: none"> - Código Orgánico del Ambiente - Código Orgánico Integral Penal - NTE INEN 2266 - NTE INEN 2841 - Acuerdo Ministerial 026 - Acuerdo Ministerial 061 - Acuerdo Ministerial 142 - Convenio de Basilea - Convenio de Estocolmo - Ley de Gestión Ambiental
Hazwat	<ul style="list-style-type: none"> - Código Orgánico del Ambiente - NTE INEN 2266 - ISO 9001:2015 - ISO 14001:2015 - Acuerdo Ministerial 026

Fuente: Autores

Según la información recopilada y organizada en la **Tabla 3.27**. Las principales normativas aplicables para gestores ambientales a nivel nacional es el Código Orgánico del Ambiente, el Acuerdo Ministerial 026 que sostiene los procedimientos para registro de generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental y para el transporte de materiales en el Anexo B y Anexo C, y la normativa INEN 2266 de

Trasporte y Almacenamiento de desechos peligrosos. Finalmente, los gestores también cuentan con licencias ambientales como las ISO 9001 e ISO 14001 que garantizan una gestión oportuna y adecuada de estos residuos.

6. ¿Cuáles son los protocolos que deben cumplir en cuanto al reciclaje de baterías?
(acopio, almacenamiento, transporte, medidas ambientales)

De forma unánime los gestores ambientales concordaron en los protocolos a seguir en cuanto al reciclaje de baterías de alta tensión. En primer lugar a nivel de recolección, se solicita que las baterías se encuentren libres de grasas, lodos y suciedad en general. En cuanto a transporte, los gestores están sometidos a la normativa INEN 2266 en donde se establece que los desechos peligrosos tendrán un apartado exclusivo, el personal deberá estar capacitado para el manejo de estos residuos y además el vehículo deberá prestar las condiciones mecánicas establecidas en la sección 5.3.2 de esta normativa.

Para el almacenamiento de estos residuos deberán estar correctamente identificados, etiquetados y clasificados de conformidad con la norma anteriormente mencionada en lugares donde sus condiciones ambientales no impliquen mayor riesgo para los desechos tales como temperaturas elevadas, humedad, radiación, entre otras. Para su disposición final son desmanteladas y acopiadas en tanques metálicos de 55 galones a la espera del proceso de encapsulamiento o envío al extranjero como es el caso de Vertmonde.

7. ¿Cuáles son las sanciones al incumplimiento del proceso de reciclaje establecido?

En general, los gestores ambientales se encuentran acogidos al legislativo del Código Orgánico del Ambiente y además al Acuerdo Ministerial 026 emitido por el Ministerio del Ambiente. De tal modo que las sanciones a las que se rigen están establecidas en estas normativas. Según el Código Orgánico del Ambiente en su Art. 314, las infracciones serán catalogadas como leves, graves y muy graves.

Existe una sanción al incumplimiento de las normas técnicas ambientales estipulado en el Art. 279 del Acuerdo Ministerial 026. Este artículo impondrá una multa entre las veinte y doscientas remuneraciones básicas unificadas, misma que será valorada tomando en cuenta el tiempo de incumplimiento y el nivel de gravedad ocasionado. Así mismo, si el incumplimiento de la norma afecta a terceros o se comprueba daño ambiental, se deberá

realizar una compensación adicional a la multa impuesta por la Autoridad Ambiental Competente.

Cuando se determine un incumplimiento de las normas técnicas ambientales se dará lugar a la suspensión del permiso ambiental otorgado para el funcionamiento de la planta hasta el pago de la multa o hasta que exista una remediación del daño ambiental producido como se estipula en el Art. 281 del Acuerdo Ministerial 026. En caso de no tomar los correctivos correspondientes en los plazos definidos la Autoridad Ambiental Competente podrá revocar la licencia ambiental de manera definitiva.

8. ¿Cuál es el porcentaje de recuperación de los materiales en el proceso?

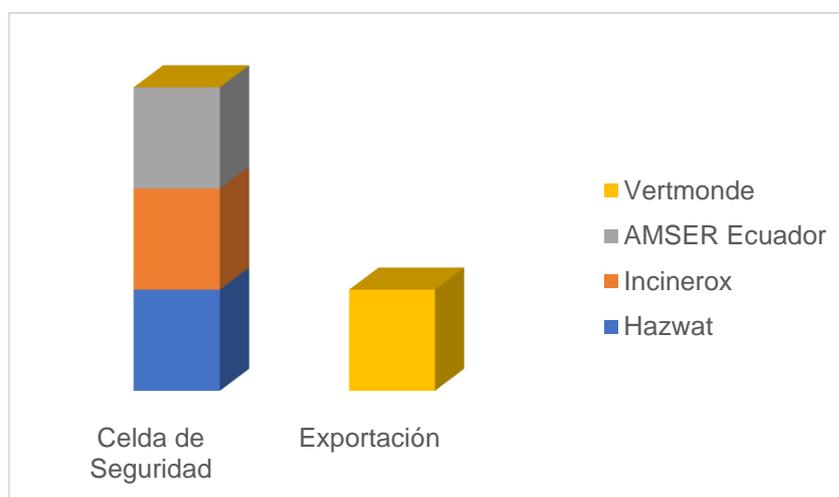


Figura 3.18 Métodos de reciclaje por gestor ambiental
Fuente: Autores

Sobre la base de los datos expuestos en la **Figura 3.18** y la **Tabla 3.26** se puede concluir que los procesos de reciclaje no están enfocados en la recuperación del material, sino en la neutralización y estabilización química de sus elementos. En vista de que los procesos aplicados son diferentes a los procesos hidrometalúrgico y pirometalúrgico la tasa de recuperación de metales no se enfoca en las materias principales que conforman las celdas de baterías.

Sin embargo, según AMSER Ecuador se realiza una recuperación del 60% de la batería entre componentes como la carcasa y los plásticos que la recubren, posteriormente son vendidos a gestores ambientales de desechos no peligrosos. El porcentaje restante es sometido a un proceso de encapsulamiento en una celda de seguridad como disposición final de los desechos. Vertmonde por su parte no tiene un porcentaje de recuperación debido a que sus

baterías, luego de ser estabilizadas, son enviadas a países como Estados Unidos y China a las plantas de cada fabricante para el proceso de reciclaje y recuperación.

9. ¿Cree usted que la normativa ecuatoriana en cuanto al reciclaje de baterías necesita modificaciones?

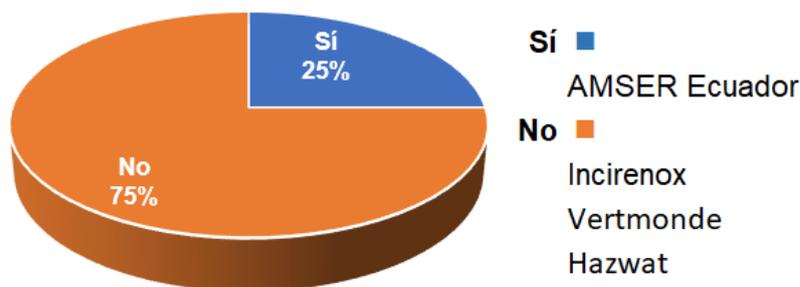


Figura 3.19 Criterio de modificación a la normativa vigente.
Fuente: Autores

De acuerdo con el esquema de la **Figura 3.19**, la mayoría de los gestores ambientales consideran que la normativa no necesita modificaciones. No obstante, AMSER Ecuador considera que la normativa ecuatoriana carece de regularización y se debería anexar un apartado acerca de tecnologías de tratamiento e incentivos de importación por parte de la Autoridad Ambiental Competente para la implementación de estas tecnologías en los procesos operativos de las plantas.

10. ¿Existe un seguimiento hacia las casas comerciales en cuanto al proceso de fin de vida útil de las baterías?

Tabla 3.28 Seguimiento técnico por gestor ambiental

GESTOR AMBIENTAL	SEGUIMIENTO TÉCNICO
AMSER Ecuador	No
Incinerox	No
Vertmonde	No
Hazwat	No

Fuente: Autores

De acuerdo con los argumentos expuestos en la **Tabla 3.28** por los gestores ambientales, se concluyó que el proceso consiste en acercarse a los lugares de recolección cada vez que el cliente así lo requiera, de tal modo que no existe una frecuencia de recolección y por lo tanto

no existe un seguimiento técnico con respecto a baterías de alta tensión. Los acercamientos y seguimientos que se realizan entre gestor-cliente son con fines comerciales.

11. ¿Considera factible la reutilización de las baterías que terminaron su vida útil?

Tabla 3.29 Reutilización de baterías por gestor ambiental

GESTOR AMBIENTAL	REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS
AMSER Ecuador	Sí
Incinerox	Si
Vertmonde	Sí
Hazwat	Sí

Fuente: Autores

La aceptación ante la propuesta de reutilizar las baterías es unánime de acuerdo con la información obtenida en la encuesta. En la **Tabla 3.29** se expone que los gestores ambientales están totalmente de acuerdo en que la reutilización de las baterías de alta tensión sería de beneficio para ciertos sectores como uso doméstico y almacenamiento de energía de paneles solares. Además, se propone que en los años próximos se presentarán proyectos de reutilización de baterías enfocados en la canalización de energías alternativas.

3.3 ANÁLISIS EXPERIMENTAL

A través de este apartado se busca exponer los resultados obtenidos en la ejecución de las alternativas de reciclaje propuestas. A manera general se utilizaron los procesos de pirometalurgia e hidrometalurgia en las celdas de níquel hidruro metálico de baterías de un vehículo Toyota modelo Highlander.

3.3.1 PRETRATAMIENTO MECÁNICO

Antes de someter las baterías al proceso metalúrgico se realizó un pretratamiento mecánico de estas, el cual consiste en realizar un levantamiento de datos acerca del estado inicial de la batería, con variables como peso, tensiones, tecnología; y emplear una metodología de diagnóstico propuesta en el **Anexo I**.

3.3.1.1 Pesaje de las baterías

Para la obtención de los datos se utilizó la herramienta de uso automotriz para vehículos livianos E-Z Weigh Scale Model SW500 como se muestra en la **Figura 3.20**. Las mediciones tomadas se realizaron con un ajuste a cero de la máquina mediante la opción Zero del equipo.

El procedimiento de pesaje se lo realizó a diferentes baterías de vehículos híbrido-eléctricos cuyo resultado nos facilitó calcular la proyección de desechos por baterías de alta tensión.



Figura 3.20 Equipo E-Z Weigh Scale Model SW500
Fuente: Autores

El levantamiento de datos se lo realizó utilizando como referencia los modelos y tipos baterías de vehículos híbridos que se registró en la encuesta realizada hacia las casas comerciales locales. En primer lugar se pesó la batería de tipo Níquel hidruro metálico (NiMH) de un vehículo Toyota Highlander, adicionalmente se repitió el proceso de pesaje con el modelo Toyota Prius del tipo 20 celdas y del mismo modo, al igual que los modelos anteriores de baterías, se realizó el pesaje de los modelos KIA Niro, KIA Óptima y por último del modelo Toyota Prius 3G del año 2010 como se observa en la **Figura 3.21**.



Figura 3.21 Pesaje batería modelo Toyota Prius 3G 2010
Fuente: Autores

Como resultado del pesaje se obtuvo el siguiente levantamiento de datos presentados en la **Tabla 3.30**.

Tabla 3.30 Pesaje de baterías HV

MODELO DE VEHÍCULO	PESO BATERÍA HV	
Toyota Highlander	60,78 kg	134 lb
Toyota Prius 3G 2010	36,74 kg	81 lb
Toyota Prius C	27,67 kg	61 lb
KIA Niro	32,66 kg	72 lb
KIA Óptima	41,27 kg	91 lb
Promedio	39,82 kg	87,8 lb

Fuente: Autores

Sobre la base de los datos obtenidos se puede observar que el peso promedio de una batería de alta tensión oscila entre los 40 kg independientemente del tipo de tecnología que estos vehículos utilicen. Además se observa que en los segmentos SUV de los modelos evaluados existe una reducción del 32% del peso con relación a los primeros vehículos híbrido-eléctricos que se empezaron a comercializar.

Del mismo modo se realizó el procedimiento de pesaje individual de los módulos que conforman los paquetes de baterías como se muestra en la **Figura 3.22**. Los modelos evaluados fueron los mismos presentados en la tabla anterior.



Figura 3.22 Pesaje de módulos de baterías HV

Fuente:

Como resultado del pesaje de las baterías se obtuvo el siguiente levantamiento de datos expuestos en la **Tabla 3.31**.

Tabla 3.31 Pesaje de módulos de baterías HV

MODELO DE VEHÍCULO	PESO MÓDULO DE BATERÍA HV	
Toyota Highlander	1,96 kg	4,33 lb
Toyota Prius 3G 2010	0,907 kg	2 lb
Toyota Prius	0,907 kg	2 lb
KIA Niro	0,510 kg	1,12 lb
KIA Óptima	0,573 kg	1,26 lb
Promedio	0,942 kg	2,07 lb

Fuente: Autores

De acuerdo con los datos obtenidos se puede concluir que existe un alivianamiento de las baterías de alto voltaje. Esto se debe a la tecnología que se está implementando en los modelos que las casas comerciales están insertando en el mercado nacional. Como se puede observar en la **Figura 3.23**, el peso es mayor en las baterías de los modelos Toyota debido a que utilizan la tecnología Níquel hidruro metálico mientras que las baterías utilizadas en los modelos KIA son de tipo Ión de Litio.

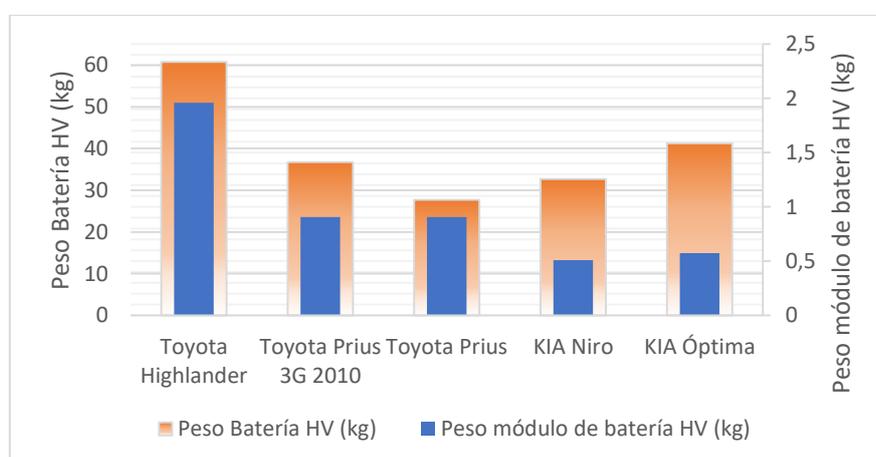


Figura 3.23 Comparación peso de batería HV frente a sus módulos.

Fuente: Autores

Como se puede apreciar en el esquema, de color naranja se encuentra representado el peso de las baterías, mientras que el color azul hace referencia al peso de su módulo correspondiente. Bajo estas consideraciones se concluye que la relación peso batería-peso módulo ha ido mejorando con el paso de los años debido a la implementación de nuevas tecnologías en las estructuras internas de cada batería. Sin embargo deja en evidencia que si

bien se ha logrado reducir el peso de las celdas, la estructura externa de la batería sigue manteniendo su pesaje promedio.

3.3.1.2 Diagnóstico de paquete de baterías Toyota Highlander

El diagnóstico se realizó a 3 paquetes de baterías del vehículo Toyota Highlander, dos de los cuales estaban conformados por 12 módulos mientras que el restante era de 6 módulos. En la **Figura 3.24** podemos apreciar los paquetes de batería de alto voltaje.

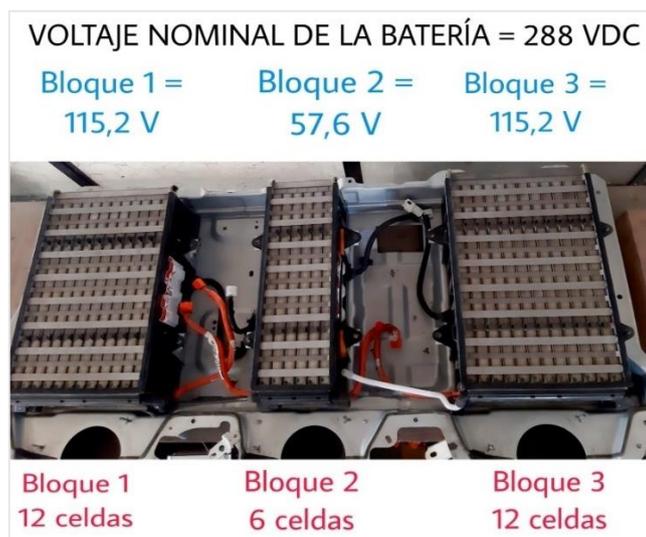


Figura 3.24 Batería HV Toyota Highlander
Fuente: Autores

Continuando con el desarrollo de la metodología de diagnóstico se realizó la medición de los voltajes de cada módulo que conforman los bloques 1, 2 y 3 de la batería obteniendo como resultado los datos presentados en la **Tabla 3.32**, **Tabla 3.33** y **Tabla 3.34** respectivamente.

Tabla 3.32 Voltajes iniciales Bloque 1.

#MÓDULO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VOLTAJE	8,57	9,80	8,64	0,08	9,71	8,75	6,10	9,79	4,85	8,75	8,61	0,04

Fuente: Autores

Tabla 3.33 Voltajes iniciales Bloque 2

#MÓDULO	1	2	3	4	5	6
VOLTAJE	1,29	8,88	7,13	9,02	7,66	0,66

Fuente: Autores

Tabla 3.34 Voltajes iniciales Bloque 3

#MÓDULO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VOLTAJE	4,36	0,11	9,44	5,70	7,44	5,41	9,22	7,05	0,13	0,10	5,42	5,79

Fuente: Autores

Tomando en consideración el voltaje nominal, los voltajes iniciales de los bloques indican el mal estado en el que se encuentra la batería (color rojo) debido a que su tensión se encuentra por debajo del 80% de su tensión nominal, obteniendo como resultado un voltaje práctico de 178,5 voltios.

Sin embargo con estos valores no se puede determinar un diagnóstico completo de las baterías por lo que fueron sometidas al método de carga y descarga de los módulos. Los resultados de este proceso de los bloques 1, 2 y 3 se muestran en la **Tabla 3.35**, **Tabla 3.36** y **Tabla 3.37** respectivamente.

Tabla 3.35 Tiempos de carga y descarga del Bloque 1

BLOQUE 1		
# Módulo	Tiempo de carga	Tiempo de descarga (80%)
1	14,41 min	10,56 s
2	27,11 min	20,39 min
3	9,18 min	31,87 s
4	15,46 min	25,90 s
5	15,18 min	9,10 min
6	15,07 min	1,37 min
7	12,17 min	42,22 s
8	21,08 min	13,70 s
9	12,48 min	15,61 s
10	10,16 min	5,07 s
11	15,36 min	7,89 s
12	11,26 min	0,89 s

Fuente: Autores

De acuerdo con lo mostrado en la **Tabla 3.35** para este caso, se observó que el bloque 1 de la batería tiene un promedio de carga de 15 minutos, mientras que su promedio de descarga bordea los 25 segundos con una tasa de descarga promedio de 3 amperios. Con los datos obtenidos podemos calcular el State of Health (SOH) del bloque 1 utilizando la **Ecuación**

3.1 que relaciona la capacidad nominal con la capacidad actual de la batería. De este modo los resultados obtenidos fueron organizados en la **Tabla 3.36** que se muestra a continuación.

$$SOH = \frac{\text{Capacidad actual}}{\text{Capacidad nominal}} \times 100 \quad [3.1]$$

$$SOH = \frac{0,020 \text{ Ah}}{6,5 \text{ Ah}} \times 100$$

$$SOH = 0,30 \%$$

Tabla 3.36 State of Health Bloque 1

BLOQUE 1					
# Módulo	Tiempo de descarga (segundos)	Tiempo de descarga (horas)	Amperaje de descarga (A)	Capacidad actual batería (Ah)	SOH
1	10,56	0,0029	2,5	0,0073	0,11%
2	1223,40	0,3398	2,5	0,8496	13,07%
3	31,87	0,0089	2,5	0,0221	0,34%
4	25,90	0,0072	2,5	0,0180	0,28%
5	546,00	0,1517	2,5	0,3792	5,83%
6	82,20	0,0228	2,5	0,0571	0,88%
7	42,22	0,0117	2,5	0,0293	0,45%
8	13,70	0,0038	2,5	0,0095	0,15%
9	15,61	0,0043	2,5	0,0108	0,17%
10	5,07	0,0014	2,5	0,0035	0,05%
11	7,89	0,0022	2,5	0,0055	0,08%
12	0,89	0,0002	2,5	0,0006	0,01%

Fuente: Autores

Sobre la base de los datos experimentales obtenidos se puede afirmar que el estado de salud del bloque 1 está por debajo del 0,30% de su capacidad total. Esto se debe a los cortos tiempos de descarga que tienen y además a la elevada resistencia interna que presentan. De este modo se diagnosticó que los módulos del bloque 1 se encontraban en pésimas condiciones.

Así mismo, se aplicó la metodología de diagnóstico para los módulos del bloque 2 bajo los mismos parámetros que en el bloque anterior. De este modo se evaluó los tiempos de carga y descarga como se presenta en la **Tabla 3.37**.

Tabla 3.37 Tiempos de carga y descarga del Bloque 2

BLOQUE 2		
# Módulo	Tiempo de carga	Tiempo de descarga (80%)
1	15,78 min	1,02 s
2	24,32 min	1,18 s
3	9,16 min	10,10 s
4	12,06 min	1,54 s
5	16,54 min	0,50 s
6	21,56 min	0,75 s

Fuente: Autores

Se puede apreciar que los tiempos de descarga son excesivamente cortos en los 6 módulos que se diagnosticó. Además, se puede observar que los tiempos de carga son formidablemente altos en especial en los módulos 2 y 6 que sobrepasan los 20 minutos. Del mismo modo se calculó el SOH de la batería en función de los tiempos de carga y descarga como se realizó con el bloque 1. Así entonces aplicando la **Ecuación 3.2** se obtuvo como resultado los valores presentados en la **Tabla 3.38**.

$$SOH = \frac{\text{Capacidad actual}}{\text{Capacidad nominal}} \times 100 \quad [3.2]$$

$$SOH = \frac{0,0021 \text{ Ah}}{6,5 \text{ Ah}} \times 100$$

$$SOH = 0,032 \%$$

Tabla 3.38 State of Health Bloque 2

BLOQUE 2					
# Módulo	Tiempo de descarga (segundos)	Tiempo descarga (horas)	Amperaje de descarga (A)	Capacidad actual batería (Ah)	SOH
1	1,02	0,0003	2,5	0,0007	0,01%
2	1,18	0,0003	2,5	0,0008	0,01%

3	10,10	0,0028	2,5	0,0070	0,11%
4	1,54	0,0004	2,5	0,0011	0,02%
5	0,54	0,0002	2,5	0,0004	0,01%
6	0,75	0,0002	2,5	0,0005	0,01%

Fuente: Autores

Como resultado de la metodología de diagnóstico en el bloque 2 se pudo observar que el estado de salud promedio de los módulos se encontraba alrededor del 0,01% de la capacidad total. Así entonces se concluyó que los 6 módulos del bloque 2 se encontraban en pésimas condiciones debido a los cortos tiempos de descarga y alta resistencia interna que presentaban.

En cuanto al bloque 3 utilizó el mismo procedimiento que los bloques anteriores y se evaluó los tiempos de carga y descarga, mismos que fueron registrados en la **Tabla 3.39** como se muestra a continuación.

Tabla 3.39 Tiempos de carga y descarga del Bloque 3

BLOQUE 3		
# Módulo	Tiempo de carga	Tiempo de descarga (80%)
1	12,35 min	0,23 s
2	9,56 min	0,15 s
3	33,59 min	9,14 min
4	4,04 min	2,57 s
5	10,54 min	2,34 s
6	10,44 min	10,59 s
7	27,06 min	3,31 min
8	14,13 min	4,80 s
9	13,49 min	0,89 s
10	10,78 min	0,32 s
11	1,47 min	1,85 s
12	8,31 min	1,19 s

Fuente: Autores

De acuerdo con la información recopilada se pudo concluir que el tiempo promedio de carga es alto con relación al tiempo con el que los módulos se descargan al 80% de su capacidad nominal. Se obtuvo un tiempo promedio de carga de 12,98 minutos mientras que el promedio

de descarga de los módulos se aproximó a los 2,49 segundos. Del mismo modo que en los apartados anteriores se calculó el SOH del bloque 3 de batería mediante la **Ecuación 3.3** y sus resultados se presentan a continuación en la **Tabla 3.40**.

$$SOH = \frac{\text{Capacidad actual}}{\text{Capacidad nominal}} \times 100 \quad [3.3]$$

$$SOH = \frac{0,0020 \text{ Ah}}{6,5 \text{ Ah}} \times 100$$

$$SOH = 0,030 \%$$

Tabla 3.40 State of Health Bloque 3.

BLOQUE 3					
# Módulo	Tiempo de descarga (segundos)	Tiempo de descarga (horas)	Amperaje de descarga (A)	Capacidad actual batería (Ah)	SOH
1	0,23	0,0001	2,5	0,0002	0,00%
2	0,15	0,0000	2,5	0,0001	0,00%
3	548,40	0,1523	2,5	0,3808	5,86%
4	2,57	0,0007	2,5	0,0018	0,03%
5	2,34	0,0007	2,5	0,0016	0,03%
6	10,59	0,0029	2,5	0,0074	0,11%
7	198,60	0,0552	2,5	0,1379	2,12%
8	4,80	0,0013	2,5	0,0033	0,05%
9	0,89	0,0002	2,5	0,0006	0,01%
10	0,32	0,0001	2,5	0,0002	0,00%
11	1,85	0,0005	2,5	0,0013	0,02%
12	1,19	0,0003	2,5	0,0008	0,01%

Fuente: Autores

Con base en los datos experimentales los resultados obtenidos nos reflejan que la batería se encontraba en mal estado y es apta para realizar el proceso de reciclaje. Como se puede observar en los resultados de la **Ecuación 3.1**, **Ecuación 3.2** y **Ecuación 3.3** el SOH de las baterías no supera el 1%, de tal modo que nos permite concluir que las baterías se encuentran totalmente deterioradas. Se seleccionaron los módulos que se encontraban en las peores

condiciones para su proceso metalúrgico y finalmente se aplicó un proceso de descarga profunda mediante consumidor.

3.3.2 DESMANTELAMIENTO DE LA BATERÍA

Como resultado del procedimiento de desarmado de la batería se pudo conocer las partes internas que conforman los acumuladores de alto voltaje. En primer lugar, después de haber seleccionado los módulos que se encontraban en sus peores condiciones, se procedió a desensamblar los paquetes de baterías como se indica en la **Figura 3.25**.



Figura 3.25 Desensamblado de los módulos defectuosos.
Fuente: Autores

Se obtuvieron los módulos que conforman los bloques de batería de alta tensión como se indica en la **Figura 3.26**. Estos módulos tenían una configuración en serie de un total de 8 celdas y estaban recubiertos por un plástico protector aislante que evita el contacto de su carcasa metálica con otras superficies.



Figura 3.26 Configuración de celdas en módulos defectuosos.
Fuente: Autores

Del mismo modo se separaron las celdas hasta obtener una expresión individual como se muestra en la **Figura 3.27**. Posteriormente se retiró la carcasa metálica dejando en evidencia la estructura interna de las celdas y sus componentes.



Figura 3.27 Celda de NiMH Toyota Highlander.
Fuente: Autores

Una vez retirada la carcasa metálica de la celda se observó que está conformada por varias láminas, como se muestra en la **Figura 3.28**, las cuales están conectadas en serie y fueron identificadas como: electrodo negativo (A) conformado por la aleación de hidruro metálico, oxihidróxido de níquel o material activo del electrodo positivo (B) y conjuntamente el separador de polipropileno (C).

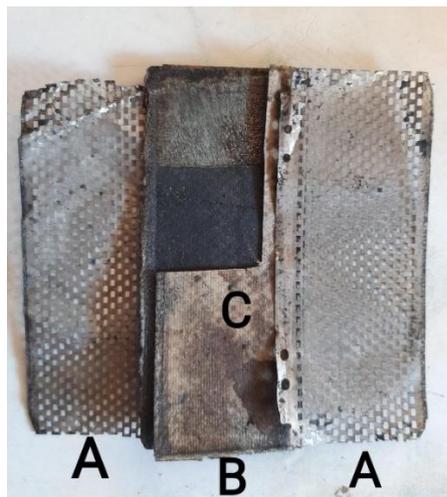


Figura 3.28 Electrodos internos de la celda.
Fuente: Autores

3.3.3 PROCESO METALÚRGICO

El proceso metalúrgico fue dividido en 4 técnicas diferentes, sometiendo a los electrodos internos de la celda como objetivo principal de la recuperación de sus materias primas. Las técnicas que se utilizaron tienen como referencia la fundición de metales mediante horno y fundición mediante soldadura de oxicorte, excepto el último proceso que tiene como referencia el método de digestión asistida por microondas que asemeja el proceso hidrometalúrgico en las muestras.

La primera técnica que se empleó fue la fundición de aluminio. Cabe mencionar que se utilizó un horno de construcción artesanal y se utilizó coque para su fundición. En la **Figura 3.29** se puede observar la representación del proceso en el que las muestras fueron sometidas al calor.



Figura 3.29 Fundición de electrodos mediante horno.
Fuente: Autores

Las muestras fueron sometidas al calor mediante un crisol para fundición de aluminio durante un tiempo de 15 minutos. Sin embargo no se obtuvieron resultados positivos pues las muestras no llegaron al punto de fusión que se requería para la recuperación del metal. En la **Figura 3.30** se puede observar el resultado de la fundición de los electrodos tras ser sometidos al proceso de fundición en horno.



Figura 3.30 Electrodo tras proceso de fundición en horno.

Fuente: Autores

Continuando con el proceso metalúrgico, las muestras fueron sometidas a fundición mediante soldadura de oxiacetilo. En este punto se decidió utilizar diferentes combustibles para analizar el comportamiento de las muestras ante esta variante. Los combustibles utilizados fueron, en el primer caso, el gas propano con una combinación de oxígeno puro mientras que para el segundo escenario se utilizó gas acetileno con oxígeno puro.



Figura 3.31 Fundición de electrodos por soldadura oxiacetilo.

Fuente: Autores

En la **Figura 3.31** se puede observar el proceso de fundición de las muestras mediante soldadura oxicorte utilizando gas propano. Sin embargo no se obtuvieron resultados positivos mediante este proceso debido a que la temperatura generada no supera la temperatura de fusión de los metales en las muestras. Los electrodos llegaron a un punto de incandescencia conocido como “al rojo vivo” como se muestra en la **Figura 3.32**, sin embargo a pesar del estado las muestras no llegaron a fundirse.



Figura 3.32 Soldadura oxicarburante en electrodos.
Fuente: Autores

Bajo las mismas condiciones se realizó la fundición de los electrodos mediante soldadura de oxicorte utilizando gas acetileno con una combinación de oxígeno puro.



Figura 3.33 Soldadura oxiacetilénica en electrodos.
Fuente: Autores

En la **Figura 3.33** se puede apreciar que, con el uso de gas acetileno como combustible, se pudo obtener una llama de mayor temperatura y calor concentrado. Por este motivo, y a diferencia del proceso anterior, los electrodos si lograron fundirse a tal punto en el que fueron calcinados sin obtener material de recuperación. Para este proceso se utilizó una relación 1:1,1 de oxígeno y gas acetileno respectivamente, con el fin de conseguir una llama neutra para fundir el metal.

A manera individual se pudo observar que el electrodo de oxihidróxido de níquel ofrece mayor resistencia a fundirse que el electrodo negativo de hidruro metálico que con apenas el acercamiento de la llama neutra de la soldadura, este tiende a incinerarse como se muestra en la **Figura 3.34**.



Figura 3.34 Soldadura oxiacetilénica del electrodo negativo.
Fuente: Autores

Como resultados de los experimentos se obtuvo un registro de las temperaturas a las que fueron expuestas las muestras por cada proceso de fundición como se muestra en la **Tabla 3.41**.

Tabla 3.41 Temperaturas por proceso de fundición

PROCESO DE FUNDICIÓN	TEMPERATURA °C
Fundición de Horno	700 - 750
Soldadura oxicarburante	882 - 900
Soldadura oxiacetilénica	3106 - 3160

Fuente: Autores

Se puede observar que las temperaturas de fundición en horno y de la fundición mediante soldadura oxicarburante son relativamente bajas si tomamos en consideración que el punto de fusión del níquel es 1445 °C. Por dicha razón los electrodos no llegaron a fundirse empleando estas técnicas de fundición. Sin embargo mediante la técnica de soldadura oxiacetilénica la temperatura fue superada al doble de la temperatura de fusión y por tal motivo el material era combustionado con mucha rapidez.

Debido a la dificultad de controlar las temperaturas en las técnicas previamente mencionadas se propuso la ejecución de fundición de metales mediante la técnica de fundición de hierro. Esta técnica utiliza temperaturas relativamente cercanas al punto de fusión del níquel, es decir, temperaturas cercanas a los 1600 °C. Sin embargo no se optó por ejecutar la técnica debido a que no se disponía del pesaje requerido que manejan los altos hornos para su funcionamiento, además de los altos costos que este proceso involucraba.

La técnica de reciclaje mediante el método de digestión por microondas, como se explicó en apartados anteriores, aparece como un proceso alterno hidrometalúrgico en el que las muestras fueron expuestas a lixiviación en una solución de ácido nítrico - ácido sulfúrico en una proporción de concentrados de 5 ml de ácido nítrico y 10 ml de ácido sulfúrico. Posteriormente las muestras de cada uno de los electrodos fueron sometidos al método directo de llama de aire-acetileno, más conocido como método de absorción atómica, obteniendo los resultados propuestos en la **Tabla 3.42** para el electrodo positivo y la **Tabla 3.43** para el electrodo negativo.

Tabla 3.42 Resultados electrodo positivo por absorción atómica

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
Níquel	% (p/p)	53,8

Fuente: Informe de laboratorio (Anexo IV).

Como se puede observar los valores indican una concentración en porcentaje peso de 53,8 % de níquel en el electrodo positivo. De tal modo que el porcentaje de recuperación de este metal, después de aplicarse el proceso hidrometalúrgico, es alto.

Sobre la base de los datos bibliográficos recopilados se consideró que el electrodo negativo estaba conformado por una aleación de diferentes metales por lo que se procedió a realizar el análisis de absorción atómica comparando la muestra con diferentes patrones de metales

en la máquina. Para este proceso se pesó una muestra de 2,3080 gramos y se aforó con una disolución a 200 mL.

Tabla 3.43 Resultados electrodo negativo por absorción atómica

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
Arsénico	ppm	0,263
Cromo	ppm	1,03
Manganeso	ppm	72
Níquel	ppm	730
Plomo	ppm	0,42
Calcio	ppm	0,58
Cadmio	ppm	0,04

Fuente: Informe de laboratorio

En razón de lo anteriormente expuesto se puede evidenciar que el electrodo negativo, conformado por el hidruro metálico, contiene elementos metálicos en pequeñas cantidades como cadmio, plomo y calcio. Así mismo se obtuvo que la muestra de electrodo anódico estaba conformada, principalmente, por 730 partes por millón de níquel y 72 partes por millón de manganeso como se muestra en la **Figura 3.35**.

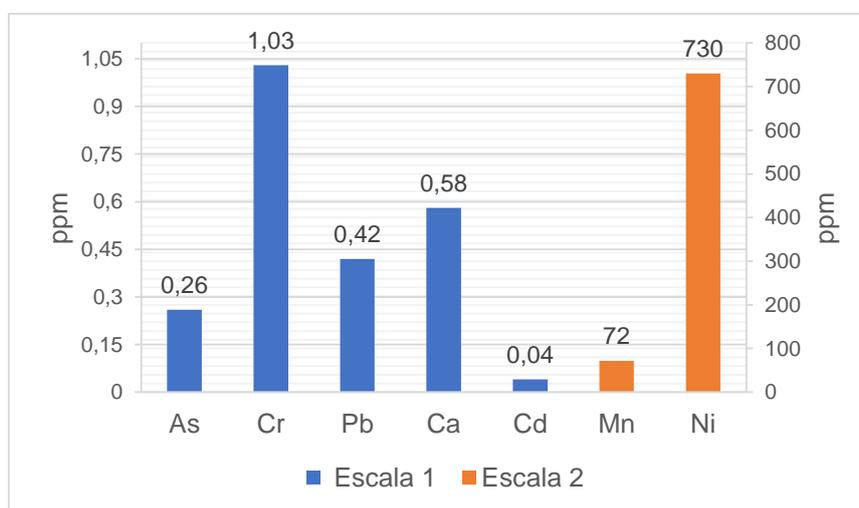


Figura 3.35 Resultados electrodo negativo por absorción atómica.

Fuente: Autores

3.3.4 EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

Una vez evaluadas las alternativas de reciclaje para baterías, el siguiente paso se encuentra encaminado a compararlas y obtener conclusiones certeras que son el principal objeto de

investigación de este trabajo de grado. Con la finalidad de profundizar en las características de cada alternativa, se procedió a realizar un análisis cara a cara de los procesos utilizados.

Tabla 3.44 Evaluación alternativas

PROCESO	COSTO (\$)	NIVEL DE RECUPERACIÓN
Fundición de horno	\$15	Bajo
Fundición alto horno	\$140	Alto
Soldadura oxicarburante	\$10	Bajo
Soldadura oxiacetilénica	\$10	Bajo
*Absorción atómica	\$31,36	-

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.44** se puede observar la relación costo-beneficio que se adquirió ante las alternativas de reciclaje practicadas. De primer análisis se obtuvo como resultado negativo o nulo el uso de la técnica de fundición mediante soldadura oxicorte en sus dos configuraciones, tanto para con el gas propano como para el gas acetileno, debido a que en el primer caso no se llegó al punto de fusión del metal y para el segundo caso, el material quedaba totalmente quemado. Sin embargo sus costos de operación son totalmente bajos.

El segundo análisis que se obtuvo hace referencia a los niveles de recuperación alto que ofrece el proceso de alto horno. No obstante sus precios son relativamente altos con la cantidad de material a procesar. En el primer caso oferta un proceso de 1000 kg por un precio de \$140 mientras que por el proceso de absorción atómica se evalúa tan solo una muestra de 20 gramos por un precio de \$31,36. Sin embargo, y a pesar de los costos elevados, el proceso de fundición de alto horno es una alternativa recomendable si se van a realizar procesos a escala industrial.

Para orientar el análisis de las alternativas se optó por comparar los procesos de reciclaje ofertados actualmente en el mercado nacional por los gestores ambientales evaluados y las alternativas de reciclaje empleadas en este trabajo de grado, como se puede observar en la **Figura 3.36**.

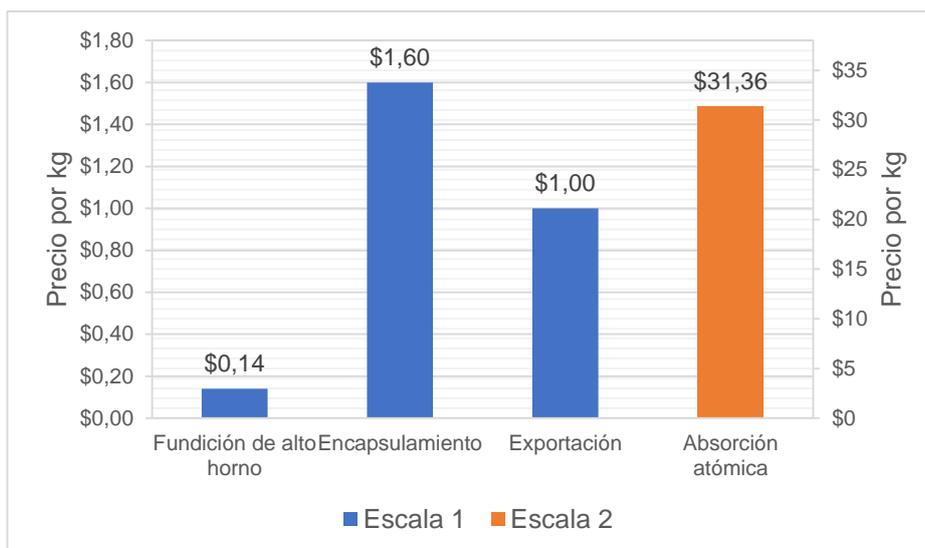


Figura 3.36 Alternativas frente a costo de proceso.

Fuente: Autores

A pesar de tener costos relativamente bajos como la fundición de alto horno, este método no es utilizado de forma certera en la industria debido a la falta de tecnología que actualmente existe. En la escala 2 se observa que el costo de operación del método de absorción atómica es alto con relación a los otros métodos empleados. Bajo estas consideraciones la industria ha optado por utilizar los métodos de encapsulamiento y exportación de las baterías como métodos más aceptados dado al costo beneficio que estos ofrecen.

3.3.4.1 Alternativas Cara a Cara

Como resultado del análisis experimental se obtuvo una caracterización de las ventajas y desventajas en el uso de las diferentes alternativas de reciclaje de las baterías de alta tensión. Estas características buscan resumir los resultados obtenidos tras ejecutar los procesos previamente mencionados en apartados anteriores.

Tabla 3.45 Ventajas de las alternativas de reciclaje.

	PIROMETALURGIA	HIDROMETALURGIA	DISPOSICIÓN FINAL
VENTAJAS	Proceso sencillo	Obtención de productos con la calidad requerida	No depende del precio de elementos a reciclar
	Fácil control del riesgo de fuego y explosión	Evita emisión de gases tóxicos	Bajo costo de operación
	Alta recuperación de metales	Aplicable a cualquier química de batería	Tecnología probada e implementada
	Bajo costo de operación	Bajo gasto energético	Bajo coste energético

Fuente: Autores

En la **Tabla 3.45** se propone las ventajas de cada una de las alternativas frente a diferentes variables tales como costo de operación, coste energético, idoneidad de aplicación, entre otras. Entre las principales características se puede observar el bajo coste energético que proponen las alternativas de hidrometalurgia y reciclaje directo, mientras que por su lado, el proceso pirometalúrgico propone una alta recuperación de metales con bajos costos de operación.

Tabla 3.46 Desventajas de las alternativas de reciclaje.

	PIROMETALURGIA	HIDROMETALURGIA	DISPOSICIÓN FINAL
DESVENTAJAS	Alta generación de emisiones	Generación de aguas residuales	Requiere pretratamiento mecánico
	Pérdidas de rendimiento metálico	Altos costos de operación	Baja calidad del material recuperado
	Baja calidad de productos obtenidos	Necesita un pretratamiento químico de las muestras	Necesita gestión certificada
	Alto gasto energético	Complejidad operativa	-

Fuente: Autores

Por su lado la **Tabla 3.46** propone las desventajas de las alternativas de reciclaje donde se observa que entre los principales perjuicios existe una baja calidad de recuperación del material en los procesos de pirometalurgia y reciclaje directo mientras que, si bien tendría una mejor calidad de recuperación con el proceso hidrometalúrgico, este no se vería reflejado por sus altos costos y complejidad operativa.

3.3.5 CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUETA BATERÍA HV

Como resultado de la investigación se obtuvo una maqueta didáctica como aporte para la carrera de Ingeniería Automotriz. Para la construcción de esta maqueta se utilizó una batería de tipo 20 celdas del modelo Toyota Prius como se muestra en la **Figura 3.37**. En la maqueta se puede observar tanto la estructura externa como su estructura interna, su expresión mínima como los electrodos positivos y negativos de las celdas y cableado eléctrico que gestiona estas baterías.



Figura 3.37 Batería Toyota Prius.
Fuente: Autores

La batería fue sometida a pretratamiento mecánico, es decir, se descargaron todos sus módulos con la finalidad de disminuir cualquier riesgo de accidente cuando se esté manipulando las celdas con herramientas como el dremel o exista algún contacto involuntario de los bornes. A continuación se realizó los cortes seccionados de sus componentes como se muestra en la **Figura 3.38**.

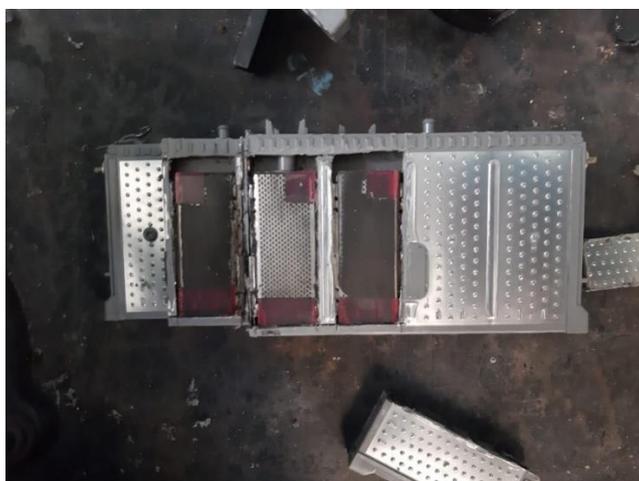


Figura 3.38 Corte seccionado del módulo de batería.
Fuente: Autores

Para finalizar se ensambló todas las partes desmontadas a su estado inicial y se etiquetó sus componentes con el fin de identificar las partes que conforman las baterías de alta tensión. Como resultado se obtuvieron dos maquetas tipo didácticas. La primera busca exponer a manera general la estructura externa de la batería, mientras que la segunda busca exponer los componentes internos de los módulos y sus celdas.



Figura 3.39 Estructura externa de la batería HV Toyota Prius.
Fuente: Autores

En la **Figura 3.39** se observa el etiquetado de los diferentes componentes externos de la batería tales como sensores de temperatura, tubos de ventilación, jumper de seguridad, contactos de cobre, sensores de corriente, carcasa metálica, entre otros elementos, con el fin de facilitar la identificación de las partes al observador.

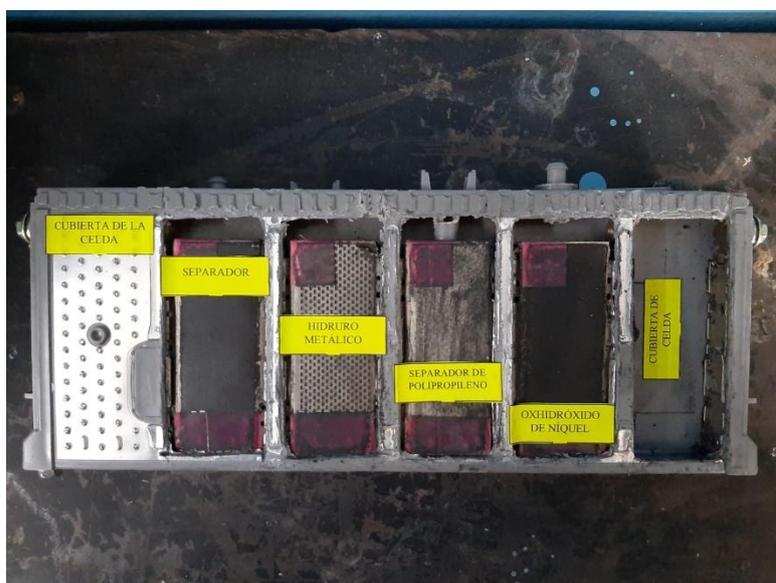


Figura 3.40 Estructura interna de la batería HV Toyota Prius.
Fuente: Autores

Como resultado del desmantelamiento de los paquetes de batería se obtuvo un ejemplar didáctico, como se muestra en la **Figura 3.40**, en la que se puede visualizar la estructura interna de los módulos. En esta maqueta se puede divisar tanto los elementos anódicos y catódicos como los separadores de polipropileno y la cubierta metálica que componen las celdas.

3.4 Proceso de logística inversa de baterías de alta tensión en desuso

La logística inversa es un proceso donde el producto regresa del cliente hacia el fabricante o proveedor con el fin de efectivizar el principio de responsabilidad extendida del productor. El presente trabajo de grado, en base a los procedimientos e investigaciones realizadas, propone la aplicación de este procedimiento de gestión de residuos que consiste en la recolección, almacenamiento, transporte, exportación y/o tratamiento de las baterías de alta tensión de los vehículos híbridos y eléctricos que hayan culminado su periodo de vida útil.

Proceso 1: Desmontaje

La casa comercial se rige a un protocolo interno en cuanto al desmontaje de la batería de alta tensión donde el personal deberá ser capacitado constantemente para realizar este proceso debido a la innovación permanente que proponen estas tecnologías. Se adoptarán las medidas de seguridad pertinentes como el uso de los EPP (Equipos de Protección Personal) y el uso de herramientas dieléctricas que faciliten la manipulación de estos almacenadores de alta tensión.

Proceso 2: Almacenamiento

El proceso de almacenamiento deberá regirse a la normativa INEN 2266 donde indica los lineamientos necesarios para realizar este proceso. Es importante clasificar los desechos que se generan en las casas comerciales debido a que no solo poseen baterías de alta tensión, clasificándolas según la normativa NTE INEN 2841 cumpliendo con un almacenamiento selectivo, separando los desechos peligrosos y no peligrosos facilitando el proceso a seguir.

Proceso 3: Transporte

Para ejecutar el proceso de transporte de baterías de vehículos híbridos en desuso se debe cumplir ciertos parámetros, El vehículo que transportara las baterías en desuso debe ser un vehículo autorizado que cumplan con las características necesarias para operar con seguridad con el fin de minimizar un riesgo ambiental y de esta manera cumplir con el acuerdo ministerial N.º 061 Art .103 sobre el transporte de desechos peligros. Además, las personas naturales o jurídicas deberán poseer una licencia de operación que será otorgada por el Ministerio del Ambiente donde deberán cumplir con los siguientes requisitos que se regirán al siguiente Acuerdo:

Acuerdo N.º 026

2. Requisitos para el vehículo

2.1.Descripción general de los vehículos: Número de placa. Número de motor y chasis, clase, tipo, año de fabricación, cilindraje, tonelaje y peso bruto vehicular.

2.2.Descripción específica por vehículos

2.3.Documentos de respaldo: matrícula de vehículo actualizado y certificado de revisión vehicular.

3. Requisitos para el conductor

3.1. Certificado del curso de capacitación para conductores de vehículos que transporten materiales peligrosos.

3.2.Licencia tipo E.

4. Bitácora a consumidor: deberá ser entregada en cada proceso de traslado de desechos peligrosos para su constancia. Estas bitácoras serán necesarias para la realización de un informe anual que se presentara al Ministerio del Ambiente.

Detalles de la bitácora:

1. Nombre del desecho peligroso de acuerdo con el listado nacional de desechos peligros.
2. Número ONU
3. Clave de desechos de acuerdo con el listado nacional
4. Capacidad de recolección y transporte (toneladas)
5. Tipo de vehículo
6. Tipo de embalaje/envases

Proceso 4: Acopio y clasificación

Los desechos peligrosos y no peligrosos en este caso hablando de las baterías de alta tensión en desuso llegan a las instalaciones del gestor, donde cuenta con todos los lineamientos necesarios en cuanto al almacenamiento de estos desechos, cumpliendo con la normativa NTE INEN 2266. Una vez almacenadas serán inspeccionadas por los gestores autorizados para facilitar su clasificación y etiquetado para lo cual se registrará a la normativa NTE INEN 2841 así facilitando el proceso de exportación.

Proceso 5: Exportación

Ecuador no cuenta con la tecnología necesaria para la realización del proceso de reciclaje de las baterías de alta tensión en desuso, por la cual los gestores optan por la exportación de este desecho peligroso a su origen. La exportación deberá registrarse al Acuerdo N.º 022 donde para ser aprobada la entidad o persona natural deberá contar con una licencia otorgada por el Ministerio del Ambiente. De esta manera ayudando a finiquitar el proceso de exportación con el Convenio de Basilea el cual es un instrumento internacional sobre el control de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos, realizando necesariamente un informe de cada exportación cumpliendo así con el Acuerdo N.º 026, en el cual deberán constar los siguientes datos:

1. Clave de los desechos de acuerdo con el listado nacional
2. Cantón de origen
3. Cantones intermedios
4. Provincias intermedias
5. Cantón de destino
6. Provincia de destino
7. Otro país

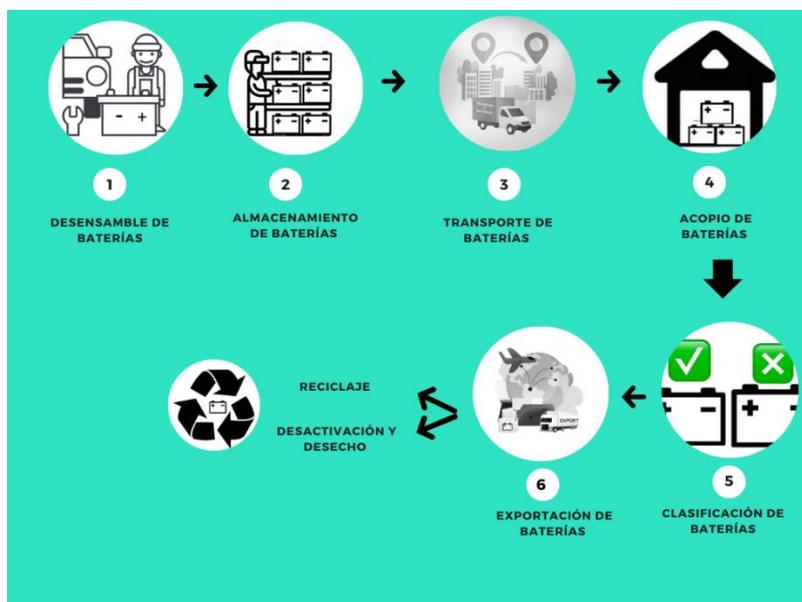


Figura 3.41 Logística inversa de baterías de alta tensión en desuso en el Ecuador
Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Las alternativas de reciclaje que se analizó, hasta la fecha de escritura de este documento, permitió determinar que en el sector automotriz el proceso de encapsulamiento es el método más utilizado a escala industrial para reducir y mitigar los efectos de contaminación que las baterías producen, debido a que genera una mayor rentabilidad en el desecho y gestión de materiales peligrosos gestionando cerca de 13.3 toneladas anuales de desechos de baterías de alta tensión. No obstante, también existe un proceso alternativo de manejo de desechos que permite exportar las baterías en desuso hacia plantas de reciclaje en países del exterior por medio de gestores ambientales calificados con el fin de optimizar tiempo y dinero para la empresa.
- Con base en el estudio de mercado realizado, se espera un crecimiento del 58,4% del mercado de vehículos híbrido-eléctricos en Ecuador y un 215,3% en baterías desechadas en los próximos 10 años. No obstante, esta proyección puede aumentar si se toma en cuenta los acuerdos de cambio climático internacionales vigentes como la ley de eficiencia energética a nivel nacional. Los resultados obtenidos a través del presente trabajo de investigación demuestran que existe un alto nivel de desconocimiento acerca de los procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos como alternativas de reciclaje. Esto se debe a que en Ecuador no existen empresas que realicen estos procesos por carencia de tecnología o la baja factibilidad para implementar una planta de tratamiento debido a la falta de demanda de baterías, que hasta el final de esta investigación existe.
- Existe un método alternativo hidrometalúrgico que propone una recuperación de 7,75 kilogramos de níquel por cada 2880 electrodos positivos tratados y una recuperación de 3,50 gramos de níquel por cada 4,8 kilogramos de hidruro metálico, sin embargo, este método no resulta rentable a escala industrial debido al bajo costo-beneficio que genera ya que el costo de tratamiento oscila en \$35 por cada 20 gramos de muestra.
- Mediante el proceso de reciclaje de baterías que se diseñó para el análisis experimental y bajo los criterios técnicos que se analizó en esta investigación se determinó que la normativa técnica vigente no establece procesos y normas

mínimas específicas para sistemas de disposición final, como requisitos de desmantelamiento, reutilización y reciclaje de baterías híbrido-eléctricas, en operadores económicos como gestores ambientales que intervienen en el ciclo y fin de vida útil de las baterías de alta tensión.

4.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio de factibilidad para la implementación de un centro de postratamiento de baterías de alta tensión que utilice el proceso pirometalúrgico como principal alternativa de reciclaje tomando en consideración los criterios técnicos propuestos en este trabajo de grado.
- Realizar una investigación de las alternativas de reciclaje considerando los criterios ambientales tales como contaminación de aguas residuales, análisis de gases, lixiviados en cápsulas de disposición final, entre otros, que se involucren en los procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos.
- Diseñar un reglamento técnico que regularice no únicamente a las casas comerciales, sino a su vez a los talleres especializados y negocios privados que se desenvuelvan en procesos que involucren esta categoría de vehículos y sus mantenimientos.
- Efectuar investigaciones y trabajos futuros que se relacionen con este proyecto de grado con el fin de acrecentar la factibilidad de implementar más procesos de reciclaje a nivel nacional como el uso de baterías en Power Banks o como almacenadores de uso doméstico, con el fin de reducir el impacto ambiental que generan.
- Para las personas que vayan a manipular las baterías de vehículos híbrido-eléctricos se recomienda tomar las debidas precauciones debido a que se están exponiendo a altos voltajes que pueden ser perjudiciales para la salud, por este motivo se recomienda trabajar con los equipos de protección personal como guantes dieléctricos de clase 0, gafas y trajes protectores para el cuerpo; herramientas dieléctricas profesionales como multímetros de categoría III y equipos de seguridad pertinentes al caso para de esta manera evitar riesgos de accidentabilidad.

5 REFERENCIAS

- Alfaro-Algaba, M., & Ramirez, F. J. (2020). Techno-economic and environmental disassembly planning of lithium-ion electric vehicle battery packs for remanufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104461. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104461>
- Barrera Doblado, O., & Ros Marín, J. (2017). *Vehículos eléctricos e híbridos* (C. Lara Carmona (ed.); 1era Edición). Parainfo. <https://books.google.com.ec/books?id=3LwrDwAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Camacás, J. O. (2020). *Implementación de un dispositivo de diagnóstico para módulos de batería de vehículos híbridos y eléctricos* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10870>
- Carlos Gonzáles. (2022, February). *¿Qué son las celdas de la batería de un coche eléctrico?*
- Chen, M., Ma, X., Chen, B., Arsenault, R., Karlson, P., Simon, N., & Wang, Y. (2019). Recycling End-of-Life Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries. *Joule*, 3(11), 2622–2646. <https://doi.org/10.1016/J.JOULE.2019.09.014>
- Cuesta Torres, I. R., & Villa Auquilla, W. P. (2019). *Análisis de factibilidad técnica del proceso pirometalúrgico para reciclaje de baterías de vehículos con motores eléctricos en Ecuador*.
- Denton, T. (2016). *Hybrid and electrical vehicles* (Primera ed). Routledge. [https://swab.zlibcdn.com/dtoken/45034077a4efaec34b29de36715abc4a/Electric and Hybrid Vehicles %28Tom Denton%29 %28z-lib.org%29.pdf](https://swab.zlibcdn.com/dtoken/45034077a4efaec34b29de36715abc4a/Electric%20and%20Hybrid%20Vehicles%20Tom%20Denton%29%20z-lib.org%29.pdf)
- Ehsani, M. E., Gao, Y., Gay, S., & Emandi, A. (2004). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: Fundamentals, theory, and design*. CRC Press. [http://ceb.ac.in/knowledge-center/E-BOOKS/Modern Electric%2C Hybrid Electric %26 Fuel Cell Vehicles - Mehrdad Ehsani.pdf](http://ceb.ac.in/knowledge-center/E-BOOKS/Modern%20Electric%20Hybrid%20Electric%20Fuel%20Cell%20Vehicles%20-%20Mehrdad%20Ehsani.pdf)
- Enrique Pérez. (2021, December). *El nuevo centro de baterías de Seat, por dentro: así se diseñan y prueban las baterías de un coche eléctrico*.
- Fuentes Majano, A. (2010). *Análisis estratégico de reciclado de baterías para vehículos*

eléctricos. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/10060>

- Gallegos, W., Vega, M., & Noriega, P. (2012). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos | La Granja. *La Granja, Revista de Ciencias de La Vida*, Vol. 15(Enero-Junio 2012), 19–20. <https://revistas.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/15.2012.02>
- Héctor Siza Morales. (2020, August). *Así se clasifican los vehículos híbridos, según su tecnología*.
- Hua, A. C. C., & Syue, B. Z. W. (2010). Charge and discharge characteristics of lead-acid battery and LiFePO₄ battery. *2010 International Power Electronics Conference - ECCE Asia -, IPEC 2010*, 1478–1483. <https://doi.org/10.1109/IPEC.2010.5544506>
- Hua, Y., Zhou, S., Huang, Y., Liu, X., Ling, H., Zhou, X., Zhang, C., & Yang, S. (2020). Sustainable value chain of retired lithium-ion batteries for electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 478, 228753. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2020.228753>
- Husain, I. (2005). *Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals*. CRC Press LLC. [https://bunker2.zlibcdn.com/dtoken/0417eef7405c173a77ddaef54a37de33/Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals %28Iqbal Husain%29 %28z-lib.org%29.pdf](https://bunker2.zlibcdn.com/dtoken/0417eef7405c173a77ddaef54a37de33/Electric%20and%20Hybrid%20Vehicles%20Design%20Fundamentals%20Iqbal%20Husain%29%20z-lib.org%29.pdf)
- Kotak, Y., Fernández, C. M., Casals, L. C., Kotak, B. S., Koch, D., Geisbauer, C., Trilla, L., Gómez-Núñez, A., & Schweiger, H.-G. (2021). End of Electric Vehicle Batteries: Reuse vs. Recycle. *Energies 2021*, Vol. 14, Page 2217, 14(8), 2217. <https://doi.org/10.3390/EN14082217>
- Lander, L., Cleaver, T., Rajaeifar, M. A., Nguyen-Tien, V., Elliott, R. J. R., Heidrich, O., Kendrick, E., Edge, J. S., & Offer, G. (2021). Financial viability of electric vehicle lithium-ion battery recycling. *IScience*, 24(7), 102787. <https://doi.org/10.1016/J.ISCI.2021.102787>
- Lino, N. (2018). *Simulación y ensayo de la unidad de control electrónico de un vehículo de tracción híbrida* [Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/49753/1/TFG_NAOMI_LINO_SAMANIEGO.pdf
- López Martínez, J. M. (2015). *Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor*.

- Dextra Editorial. <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/131530>
- Martín Obaya, & Mauricio Céspedes. (n.d.). *Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio: implicaciones para los países del triángulo del litio.*
- Morales, L. T. (2005). *Desarrollo de una propuesta para la construcción de una planta de reciclado de baterías de Ni-Cd por vía hidrometalúrgica.*
- Murillo García, J. (2016). *Análisis de viabilidad de una planta de reciclado de baterías de Li-ion* [Universidad de Sevilla]. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90759/fichero/Análisis+de+viabilidad+de+una+planta+de+reciclado+de+baterías+de+Li-ion.+Juan+Murillo+García.pdf>
- Néstor Antuñano, & Iñigo Careaga. (2021, June). *Análisis de los grandes procesos de reciclaje en el sector de las baterías | CIC energiGUNE.*
- Patel, D. D., & Salameh, Z. M. (2015). Characterization of GP30EVLf 30 Ah Lithium Iron Phosphate battery cells. *IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2015-September*. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2015.7286586>
- Steele, N. L. C. (1995). Recycling electric vehicle batteries in California. *Proceedings of the Annual Battery Conference*, 101–106. <https://doi.org/10.1109/BCAA.1995.398500>
- Toyota. (2010). *Toyota Prius Repair Manual*. <https://doi.org/10.1109/leoswt.2008.4444364>
- Toyota. (2011). *Highlander Owner's Manual*. <https://doi.org/10.1109/leoswt.2008.4444364>
- Trading Economics. (2022). *Trading Economics*. Nickel - 2022 Data - 1993-2021 Historical - 2023 Forecast - Price - Quote - Chart. <https://tradingeconomics.com/commodity/nickel>
- Universidad Central del Ecuador. (2020). *Método directo de llama de aire-acetileno (Absorción atómica Níquel)*. https://utneduec-my.sharepoint.com/:w:/r/personal/easolanoq_utn_edu_ec/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B2E703CA1-3D6B-4E9A-9C7B-7E6AE5B7822A%7D&file=M-GO-AM-21-NIQUEL.docx&action=default&mobileredirect=true&cid=3e9a3303-53a3-4739-bfa2-a3563921f99a
- Wang, J., Sun, Z., & Wei, X. (2009). Performance and characteristic research in LiFePO₄ battery for electric vehicle applications. *5th IEEE Vehicle Power and Propulsion*

Conference, VPPC '09, 1657–1661. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2009.5289664>

Xu, P., Tan, D. H. S., Gao, H., Rose, S., & Chen, Z. (2021). Recycling of Li-Ion Batteries for Electric Vehicles. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819723-3.00079-2>

Ziemann, S., Müller, D. B., Schebek, L., & Weil, M. (2018). Modeling the potential impact of lithium recycling from EV batteries on lithium demand: A dynamic MFA approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 76–85. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.01.031>

6 ANEXOS

ANEXO I

Manual de operación de equipo de diagnóstico para módulos de vehículos híbrido-eléctricos

1. Como primer paso para la operación del equipo se conectarán los cables en sus respectivos terminales, estos se encuentran ubicados en la parte central del equipo. Del mismo modo se conectarán las pinzas tipo lagarto a los terminales del módulo que se vaya a diagnosticar. Es importante respetar el color del cable debido a que para realizar el proceso de diagnóstico se deberá tomar en cuenta la polaridad. El cable rojo será para el terminal positivo mientras que el cable negro será para el terminal negativo.
2. A continuación, se deberá encender el dispositivo por medio del interruptor denominado “Encendido” que se encuentra ubicado en la parte superior izquierda.
3. Con el equipo encendido primero se regulará el voltaje nominal del módulo que se vaya a cargar. El ajuste se lo realizará por medio de la perilla denominada “Voltaje” ubicada en la parte lateral derecha. Posteriormente se accionará el selector de funciones a la posición de carga y después se activará el interruptor denominado “Carga”. El módulo se cargará hasta la capacidad nominal ajustada, cuando esto suceda el amperaje de carga disminuirá hasta cero indicando que terminó el proceso de carga. Cuando finalice el proceso de carga se deberá desactivar el interruptor de carga y del mismo modo el selector de funciones de colocará en posición neutral. Para dar seguimiento al proceso los valores estarán reflejados en la pantalla LCD ubicada en la parte central izquierda, donde la primera fila corresponderá al voltaje de carga y la segunda fila corresponderá al amperaje de carga.
4. En cuanto al proceso de descarga y verificación de la resistencia interna primeramente se deberá colocar el selector de funciones en la posición de descarga. Seguidamente se accionará el interruptor de descarga ubicado en la parte superior derecha del equipo. En este punto se deberá registrar el valor de la resistencia interna del módulo (Siendo las baterías de níquel hidruro metálico su resistencia deberá oscilar entre los 200 y 300 ohmios). El módulo deberá ser descargado hasta el 80 por ciento de la capacidad nominal y anotar el tiempo que se demora.
5. Una vez concluida la descarga del módulo nuevamente se realiza la carga de esta en donde se seguirá el paso 3 y es necesario anotar el tiempo para su posterior análisis.

6. El proceso se repetirá para cada uno de los módulos en forma individual, por este motivo se requerirá reiniciar el proceso en cada módulo usando el botón “reset” que se encuentra en la parte izquierda del equipo.

ANEXO II

Encuesta dirigida a las casas comerciales

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

- 1) ¿Cuántos y cuáles modelos de vehículos híbrido-eléctricos en los últimos 15 años han incursionado en el mercado local la casa comercial?
- 2) ¿Hace que tiempo se empezaron a comercializar vehículos híbrido-eléctricos en la casa comercial?
- 3) ¿Qué tipo de tecnología de baterías se utiliza en los vehículos híbrido-eléctricos?
- 4) ¿Con que frecuencia y cuál es el proceso de mantenimiento que el fabricante recomienda realizar a las baterías de los vehículos híbrido-eléctricos?
- 5) ¿Cuál es el tiempo promedio de recambio de las baterías?
- 6) ¿La casa comercial realiza reparaciones de las baterías? ¿Sería posible una repotenciación de estas?
- 7) ¿Qué precios tienen las baterías?
- 8) ¿La casa comercial se encarga de la gestión y reciclaje de las baterías en desuso?
- 9) ¿Cuentan con gestores calificados para el reciclaje de baterías?
- 10) ¿Cuáles son los protocolos deben cumplir en cuanto al reciclaje de baterías? (acopio, almacenamiento, transporte, medidas ambientales)
- 11) ¿Qué procedimiento y requerimientos deben cumplir los gestores ambientales en cuanto al reciclaje de baterías?
- 12) ¿Cuentan con una normativa interna en cuanto al reciclaje de baterías o se rigen a una normativa nacional?
- 13) ¿Cuál es el costo anual o mensual que se paga al gestor ambiental?
- 14) ¿Es posible una reutilización de las baterías?
- 15) ¿Qué precio estaría dispuesto a pagar por el reciclaje de una batería?
- 16) ¿Considera viable la instalación de una fábrica de reciclaje local de baterías?

ANEXO III

Encuesta dirigida a los gestores ambientales

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ENCUESTA PARA GESTORES AMBIENTALES

- 1) ¿Qué tipos de baterías reciben?
- 2) ¿Qué métodos de reciclaje utilizan?
- 3) ¿Cuál es el costo del proceso de reciclaje?
- 4) ¿Cuántas baterías se han reciclado hasta la actualidad?
- 5) ¿A qué normativa nacional se rige la empresa para el proceso de reciclaje?
- 6) ¿Cuáles son los protocolos que deben cumplir en cuanto al reciclaje de baterías?
(acopio, almacenamiento, transporte, medidas ambientales)
- 7) ¿Cuáles son las sanciones al incumplimiento del proceso de reciclaje establecido?
- 8) ¿Cuál es el porcentaje de recuperación de los materiales en el proceso?
- 9) ¿Cree usted que la normativa ecuatoriana en cuanto al reciclaje de baterías necesita modificaciones?
- 10) ¿Existe un seguimiento hacia las casas comerciales en cuanto al proceso de fin de vida útil de las baterías?
- 11) ¿Considera factible la reutilización de las baterías que terminaron su vida útil?

ANEXO IV

Resultados de laboratorio



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS
ÁREA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF.N°: 2022-0300-1

SOLICITADO POR ³ :	SOLANO QUILUMBANGO ELVIS ANDRES		
DIRECCION DEL CLIENTE ³ :	IMBABURA/ ANTONIO ANTE/ ATUNTAQUI		
MUESTRA DE ³ :	CELDA DE BATERIAS DE VEHICULOS		
DESCRIPCIÓN ³ :	CELDA DE BATERIAS NIMH DE VEHICULOS		
FECHA DE RECEPCIÓN:	25/8/2022	HORA DE RECEPCIÓN:	15H51
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 25/8/2022 AL 09/09/2022		
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	12/9/2022		
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
CARACTERÍSTICA:	CARACTERÍSTICO	ESTADO:	SOLIDO
		CONTENIDO:	20 g
OBSERVACIONES:	* Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.		

INFORME			
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODOS
NIQUEL	%(p/p)	53,8	ABSORCIÓN ATÓMICA

3: DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE Y DE SU RESPONSABILIDAD.

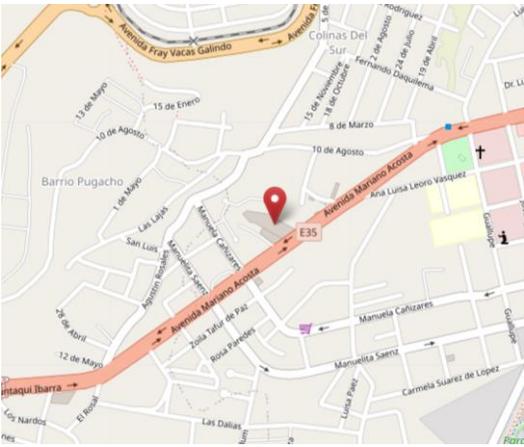
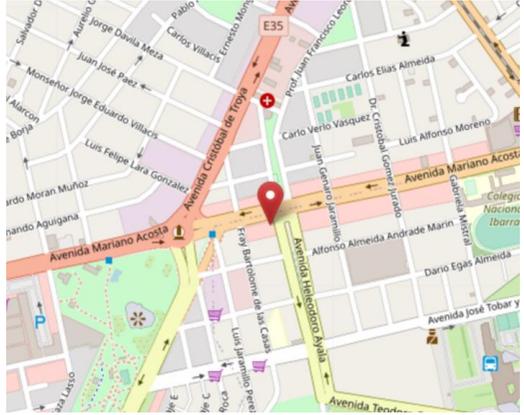


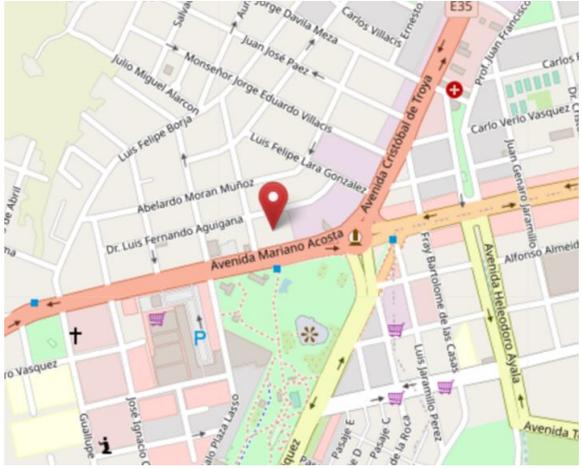
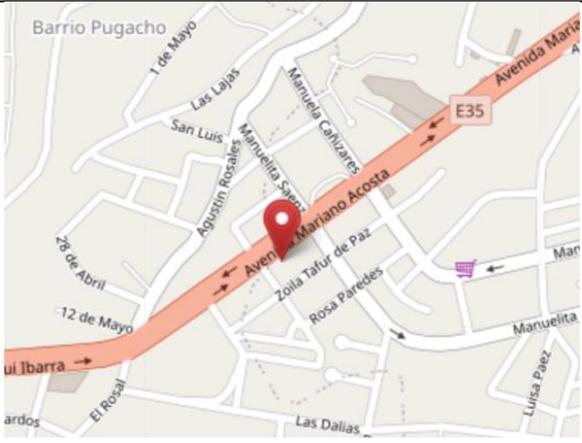
Firmado electrónicamente por:
ALICIA
BEATRIZ

B.F. ALICIA CEPA
RESPONSABLE DEL ÁREA DE AMBIENTAL

ANEXO V

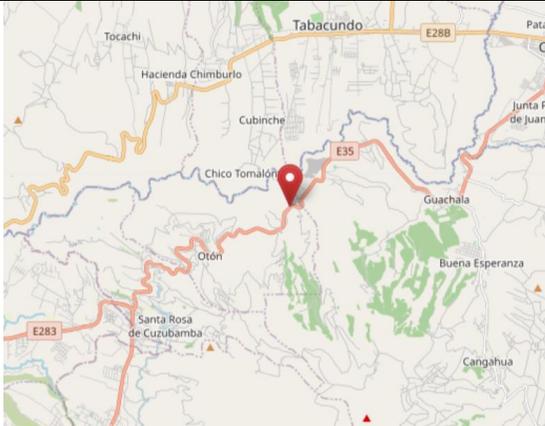
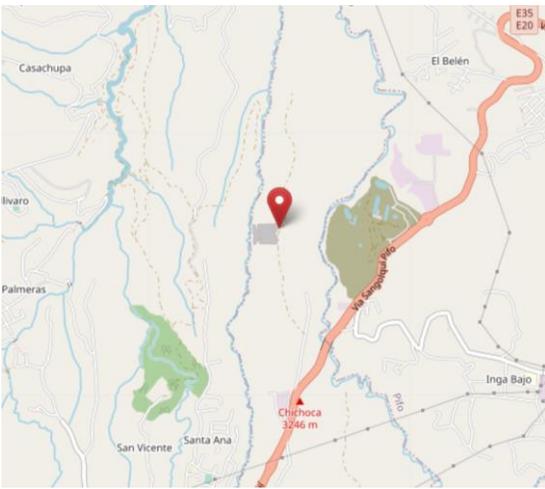
Visita casas comerciales

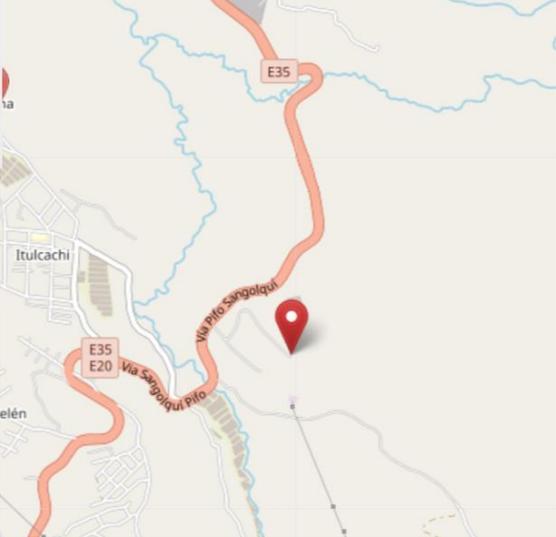
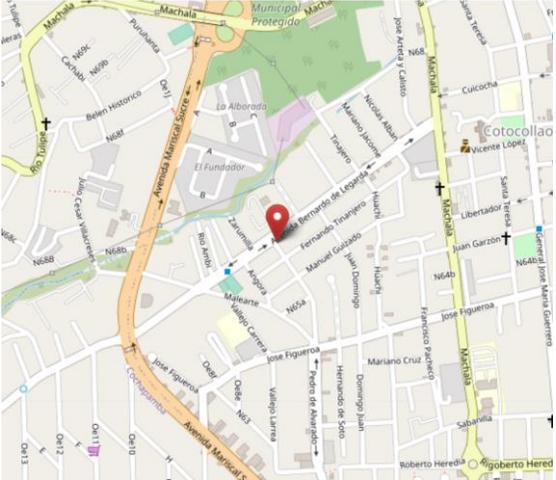
NOMBRE	DIRECCIÓN	MAPA	ANEXO
<p style="text-align: center;">FORD MOTORS</p>	<p style="text-align: center;">-Sucursal Quito Motors Ibarra 8VV5+98W, Troncal de la Sierra, Av. Mariano Acosta, Ibarra Ibarra-Imbabura</p>		
<p style="text-align: center;">HYUNDAI</p>	<p style="text-align: center;">-Comercial Hidrobo-Hyundai Av. Mariano Acosta y Av. Heleodoro Ayala, Ibarra Ibarra-Imbabura</p>		

<p>TOYOTA</p>	<p>Comercial Hidrobo-Toyota 8VW8+VF Av. Mariano Acosta y Lucio Tarquino Páez, Ibarra Ibarra-Imbabura</p>		
<p>KIA</p>	<p>Concesionario KIA-Asiauto Manuela Sáenz Av. Mariano Acosta, Ibarra 100101 Ibarra-Imbabura</p>		

ANEXO VI

Visita gestores ambientales

NOMBRE	DIRECCIÓN	MAPA	ANEXO
HAZWAT CIA LTDA.	<p style="text-align: center;">-Centro de remediación Ambiental Km 37 ½ vía Quito-Cayambe; 15 minutos de Otoncito</p> <p style="text-align: center;">Cayambe-Pichincha</p> <p style="text-align: center;">-Oficinas La niña OE 8-52 entre Diego de Almagro y Yáñez Pinzón</p> <p style="text-align: center;">Quito-Pichincha</p>		
INCINEROX	<p style="text-align: center;">-Transporte de materiales peligrosos y Planta de servicio de incineración Km 14 ½ vía Pifo Sangolquí (Planta Barriotieta)</p> <p style="text-align: center;">Quito-Pichincha</p> <p style="text-align: center;">-Oficinas José Andrade OE 1-512 y Joaquín Mancheno</p>		

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">VERTMONDE</p>	<p>-Centro de Procesamiento y Gestión Integral de residuos eléctricos y electrónicos E35 Troncal Sierra, km 4.8 Parque Industrial Quito, Lote 17C, Quito 170908 Quito-Pichincha</p> <p>-Bodega, Transporte de residuos eléctricos y electrónicos Juan Barrezueta 70154, Quito 170310 Quito-Pichincha</p>		
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">AMSER Ecuador</p>	<p>- Gestión Integral de Residuos, Clasificación In Situ, Transporte y Disposición Final Juan Domingo y Fernando Tinajero, Quito, Ecuador Quito-Pichincha</p>		

ANEXO VII

Pretratamiento mecánico de las baterías



Figura. 6.1 Descarga de las baterías



Figura. 6.2 Desarmado de los módulos



Figura. 6.3 Separación estructura metálica de las celdas

ANEXO VIII

Construcción de la maqueta



Figura. 6.4 Corte seccionado de los módulos



Figura. 6.5 Corte seccionado de la estructura interna de la celda.



Figura. 6.6 Maquetas Batería Toyota Prius