



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

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

TEMA:

**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE VEHÍCULOS URBANOS ELÉCTRICOS Y
PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE**

**AUTORES: OLGER FABIÁN CAMUENDO CABASCANGO
MANUEL PATRICIO PASTAZ TAMBI**

DIRECTOR: ING. ZAMIR ANDRÉS MERA ROSERO Ph.D.

IBARRA, NOVIEMBRE 2021

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

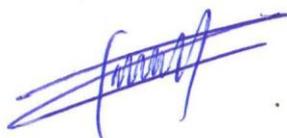
En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “Análisis de ciclo de vida de vehículos urbanos eléctricos y propuesta de reutilización de baterías de alto voltaje” presentado por los señores: Camuendo Cabascango Olger Fabián con número de cédula 100395949-9 y Pastaz Tambi Manuel Patricio con número de cédula 100288743-6, 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 09 días del mes de noviembre del 2021.

Atentamente



Ing. Zamir Andrés Mera Rosero Ph.D.

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 cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, 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:	100395949-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Camuendo Cabascango Olger Fabián		
DIRECCIÓN:	San Pablo – Araque		
EMAIL:	ofcamuendoc@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062919307	TELÉFONO MÓVIL:	0986915647
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100288743-6		
APELLIDOS Y NOMBRES	Pastaz Tambi Manuel Patricio		
DIRECCIÓN:	Angochagua – Magdalena		
EMAIL:	mppastazt@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0939872934
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE VEHÍCULOS URBANOS ELÉCTRICOS Y PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE ALTO VOLTAJE		
AUTOR (ES):	Camuendo Cabascango Olger Fabián Pastaz Tambi Manuel Patricio		
FECHA:	20 de agosto del 2021		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ		
ASESOR/DIRECTOR:	Ing. Zamir Andrés Mera Rosero Ph.D.		

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 09 días del mes de noviembre del 2021

AUTORES:



Firma

Camuendo Cabascango Olger Fabián

100395949-9



Firma

Pastaz Tambi Manuel Patricio

100288743-6

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedico con todo cariño a los dos pilares fundamentales que forman parte de mi vida, a mi madre Aida Cabascango que en los momentos difíciles que se presentaron me supo brindar todo su apoyo para no desistir de este gran sueño de ser un ingeniero y por ser mi soporte durante todos estos años de estudio tanto moral como económicamente, a mi hermano Santiago Camuendo que de una u otra forma me ayudo para cumplir mi sueño, por los consejos, anécdotas buenas y malas compartidas, por enseñarme el valor que tiene el estudio y por ayudarme a luchar y a no desistir pese a las adversidades.

Olger Camuendo

El presente trabajo de grado está dedicado, primeramente, a Dios por guiar mi camino y por ayudarme a cumplir con todos mis objetivos propuestos, y como segundo a mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida quienes me han brindado todo su apoyo incondicional en todo momento, formándome en una persona de bien con muchos valores, los cuales me han permitido culminar mis estudios con mucho éxito.

Manuel Pastaz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud y vida a lo largo de mi carrera universitaria, agradezco a la Virgen del Quinche que de manera espiritual me supo escuchar todas mis plegarias cuando se presentaban obstáculos y conflictos que sentía que eran difíciles de superar. Agradezco a toda mi familia quienes me ayudaron a levantarme de la etapa quizá más difícil que tuve que pasar como hijo.

Agradezco infinitivamente a mi madre que desde un inicio siempre confió en mí, en mis habilidades, destrezas y cualidades y que pese a las adversidades que suscitaron durante mi formación hasta el culmino de la carrera siempre me supo dar ánimos, palabras alentadoras que cuando me sentía perdido me supieron ayudar a buscar el camino. Agradezco a mi hermanando con quien he vivido momentos alegres como momentos difíciles de levantarnos, pues el apoyo mutuo ha sido de gran ayuda para superar todos los momentos desagradables que se presentaron al término de mi formación académica.

Asimismo, agradezco a la Universidad Técnica del Norte por abrirme las puertas para cumplir con mi meta más anhelada, por formarme en una persona de bien y por convertirse en mi segundo hogar durante toda mi formación como ingeniero, como no agradecer a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, a la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz a cada uno de los profesores que compartieron sus conocimientos y en especial al Ing. Zamir Mera, Ing. Ramiro Rosero y al Ing. Fausto Tapia quienes formaron parte del presente trabajo de grado, por su predisposición y la ayuda brindada a lo largo del desarrollo del trabajo de grado.

Olger Camuendo

AGRADECIMIENTO

Expreso mi gratitud a Dios, por darme la vida y su bendición para seguir adelante y mantener a mi familia unida que siempre están presentes y prestos para apoyarme.

Agradezco a mis padres que siempre han estado pendientes de mí, motivándome y apoyándome en todos mis propósitos trazados, por ayudarme a tomar los caminos correctos durante mi etapa universitaria, por esa confianza y por creer en los sueños, por sus buenos consejos, valores y principios que me hicieron crecer como persona de bien en la sociedad.

A mis hermanos por ese apoyo que me brindaron, por los ánimos que me supieron dar en los momentos de dificultad para seguir adelante, y por ese cariño y afecto de familia que nos impulsa hacia al éxito.

Agradezco a todos los docentes que forman parte de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, por sus enseñanzas brindadas y todos sus conocimientos impartidos en las aulas de clase, mismos que fueron una herramienta importante para mi formación que siempre me han permitido seguir aprendiendo cada día más hasta lograr mi objetivo de ser un ingeniero.

A la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, por brindarme una educación de excelencia, formándome como un profesional de emprendimiento y culto, capaz de desenvolver en cualquier campo de la industria automotriz.

Manuel Pastaz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPÍTULO I	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación actual	2
1.3 Prospectiva	3
1.4 Planteamiento del problema	3
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo general	4
1.5.2 Objetivos específicos	4
1.6 Alcance	5
1.7 Justificación	5
1.8 Contaminación ambiental	7
1.8.1 Acuerdo de París	7
1.8.2 Objetivos de desarrollo sostenible	7
1.8.3 Movilidad sostenible	8
1.8.4 Impacto ambiental	8
1.8.5 Categorías de impactos de punto medio	9
1.8.6 Emisiones contaminantes	12
1.8.7 Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	12
1.9 Vehículo eléctrico (VE)	14
1.9.1 Arquitectura del vehículo eléctrico	15
1.9.2 Tren motriz del vehículo eléctrico	16
1.9.3 Motor eléctrico	16
1.9.4 Inversor o convertidor	19

1.10	Baterías del vehículo eléctrico (VE)	19
1.10.1	Principio de funcionamiento de la batería	20
1.10.2	Parámetros de funcionamiento de la batería	21
1.10.3	Tipos de baterías del vehículo eléctrico (VE)	22
1.10.4	Comparativa de los diferentes tipos de baterías	24
1.11	Análisis de ciclo de vida (ACV)	25
1.11.1	Adquisición de materia prima	26
1.11.2	Fabricación de componentes	27
1.11.3	Ensamblaje	27
1.11.4	Transporte y distribución	27
1.11.5	Uso y mantenimiento	28
1.11.6	Producción de combustible y electricidad	28
1.11.7	Final de vida	29
1.11.8	Software para el análisis de ciclo de vida	29
	CAPÍTULO II	31
	2. MATERIALES Y MÉTODOS	31
2.1	Normativa del análisis de ciclo de vida	31
2.1.1	Definición del objetivo	31
2.1.2	Alcance	31
2.1.3	Unidad funcional	32
2.1.4	Límites del sistema	32
2.1.5	Especificaciones de la motocicleta eléctrica	33
2.2	Inventario del ciclo de vida (ICV)	35
2.2.1	Recopilación de datos de entrada/salida	37
2.2.2	Datos de la etapa de fabricación	37
2.2.3	Datos de la etapa de transporte	38
2.2.4	Datos de la etapa de uso de la batería	39
2.2.5	Datos de la etapa de disposición final	47
2.2.6	Proceso general del acv de la batería	48
2.3	Prueba para el análisis del estado de la batería	48
2.3.1	Estado de carga y de salud del paquete de batería	49
2.3.2	Medición del voltaje nominal del paquete de batería	50
2.3.3	Reutilización de la batería de alto voltaje	50
2.3.4	Alternativa para reutilización de la batería de alto voltaje	53

CAPÍTULO III	57
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
3.1 Pruebas de autonomía de la batería de la moto	57
3.1.1 Vida útil de la batería de ion-litio	59
3.2 Evaluación del impacto (EICV)	60
3.2.1 Impactos batería ion - litio motocicleta eléctrica super soco tc-max	60
3.3 Interpretación de resultados del ACV de la batería ion-litio	66
3.3.1 Discusión de los resultados de ACV de la batería de ion-li	69
3.4 Análisis del voltaje nominal de batería ion-litio	69
3.4.1 Análisis de la capacidad teórica y real de la batería	70
3.5 Determinación del número de baterías para la reutilización dentro del sector doméstico	72
CAPÍTULO IV	74
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
4.1 Conclusiones	74
4.2 Recomendaciones	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Ventajas y desventajas de la batería Ni - MH	23
1.2	Ventajas y desventajas de la batería ion - Li	24
1.3	Cuadro comparativo de los tipos de baterías	25
1.4	Método de ponderados software ACV	29
1.5	Criterios de selección software ACV	30
2.1	Detalles técnicos de la motocicleta eléctrica	33
2.2	Características de la batería de alto voltaje de ion - Li	35
2.3	Valores estadísticos del ICV de electricidad	40
2.4	Datos de la ciudad de ensayo	43
2.5	Consideraciones de ensayo	44
2.6	Características de la ruta de ensayo en función de la norma (EU) 2018/1832	46
2.7	Voltajes promedios a diferentes estados de carga del tablero	50
2.8	Valores de la batería ion-Li	52
2.9	Consumo mensual aproximado de una casa en el sector rural	55
3.1	Valores de autonomía y capacidad de la motocicleta eléctrica	58
3.2	Vida útil de batería ion - Li en km	59
3.3	Resultados del ACV de la batería de ion - litio	67
3.4	Valores del voltaje nominal en diferentes condiciones	70
3.6	Valores teóricos y reales de la capacidad de la batería	71
3.7	Consumo promedio del hogar del sector rural	72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Configuración básica de un VE	14
1.2	Arquitectura del VE debido a variaciones en la propulsión eléctrica	15
1.3	Esquema del powertrain de un vehículo eléctrico	16
1.4	Motor asíncrono trifásico	17
1.5	Motor síncrono de imanes permanentes	18
1.6	Inversor	19
1.7	Estructura de una batería	20
1.8	Análisis de ciclo de vida	25
2.1	Límites del sistema	32
2.2	Batería de ion de litio y su peso	34
2.3	Proceso metodológico del desarrollo del ICV	36
2.4	Datos de la batería ion – Li	37
2.5	Proceso de fabricación batería ion – Li	38
2.6	Proceso de transporte de la batería ion – Li	39
2.7	Mix energético del Ecuador en GaBi 9	41
2.8	Electricity grid mix del Ecuador	41
2.9	Ruta de ensayo	42
2.10	GPS Datalogger	43
2.11	Analizador de energía	44
2.12	Pruebas de la motocicleta en ruta	45
2.13	Proceso de disposición final de la batería ion – Li	47
2.14	Proceso general del ACV de batería ion – Li	48

2.15	Flujograma propuesta de reutilización de la batería	51
2.16	Estructura interna de la batería ion-Li	52
2.17	Voltaje de la celda con 100% de carga	53
2.18	Esquema de reutilización de la batería ion-Li	54
3.1	Impactos Batería ion litio – Cambio climático	60
3.2	Impactos Batería ion litio – Acidificación terrestre	61
3.3	Impactos Batería ion litio – Eutrofización de agua dulce	61
3.4	Impactos Batería ion litio – Agotamiento de la capa de ozono	62
3.5	Impactos Batería ion litio – Ecotoxicidad de agua dulce	62
3.6	Impactos Batería ion litio – Agotamiento de recursos fósiles	63
3.7	Impactos Batería ion litio – Toxicidad humana	63
3.8	Impactos Batería ion litio – Ecotoxicidad marina	64
3.9	Impactos Batería ion litio – Eutrofización marina	64
3.10	Impactos Batería ion litio – Formación de partículas	65
3.11	Impactos Batería ion litio – Oxidación fotoquímica	65
3.12	Impactos Batería ion litio – Agotamiento del agua	66

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
2.1	Estado de carga SOC	49
2.2	Estado de salud SOH	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.	Diagrama de conexión del analizador de energía a la motocicleta	84
2.	Conexiones de pinzas amperimétricas a las fases del motor	84
3.	Conexiones de pinzas de tensión a las fases del motor	85
4.	Montaje completo de equipos a la motocicleta eléctrica super soco Tc Max	85
5.	Medición del peso de la moto en las balanzas	86
6.	Valor del peso rueda posterior	86
7.	Diseño del Circuito del Medidor de Voltaje – Datalogger	87
8.	Construcción y comprobación del circuito electrónico del medidor de voltaje	87
9.	Inicio de ensayo en ruta	88
10.	Término de ensayo	88
11.	Diagrama de conexión del analizador de energía a la red eléctrica	89
12.	Estructura interna de la batería de ion – Li	89
13.	Placa positiva – Entradas y salidas	90
14.	Placa negativa – Entradas y salidas	91
15.	Separadores – Entradas y salidas	92
16.	Electrolito aditivo – Entradas y salidas	92

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACV	Análisis de ciclo de vida
BBDD	Base de datos
BESS	Sistema de almacenamiento de energía
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático
EICV	Evaluación del impacto de ciclo de vida
ICV	Inventario de Ciclo de Vida
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	Organización Internacional de Normalización
GEI	Gases de efecto invernadero
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
SOC	Estado de carga
SOH	Estado de salud
TTW	Tank to wheel
VE	Vehículo eléctrico
WTT	Well to tank

RESUMEN

Los vehículos eléctricos se promueven con el fin de reducir los impactos ambientales y aumentar la tendencia del transporte urbano sostenible, pero el proceso de producción de sus componentes genera contaminación ambiental. Este trabajo se efectuó con el objetivo de analizar el ciclo de vida de los vehículos urbanos eléctricos enfocado a la batería de la motocicleta eléctrica Super Soco Tc Max y de establecer una propuesta de reutilización para la batería de alto voltaje. El estudio de análisis de ciclo de vida (ACV) de la batería de ion de litio se realizó en el software computacional GaBi 9 en su versión estudiantil, empleando las bases de datos de Ecoinvent disponibles en la Web para la elaboración del inventario de ciclo de vida (ICV) de los diferentes componentes de la batería. Los impactos ambientales con indicadores de punto medio se calcularon en el software mediante la metodología de ReCiPe 2016 para las etapas de fabricación, transporte, uso y disposición final del ACV de la batería. Los resultados de los impactos mostraron que la etapa en la cual se generan mayores cargas ambientales es la etapa de fabricación de los componentes en el impacto del cambio climático, mientras que el impacto causado por el uso de la batería fue bajo debido a que alrededor del 90% de la electricidad en el Ecuador proviene de fuentes de energía alternativas. Además, en la etapa de uso del ACV de la batería se evaluó su autonomía y capacidad en condiciones reales de funcionamiento por áreas urbanas, rurales y autopistas de la ciudad de Ibarra mediante los ensayos en ruta. La autonomía fue de 75 km con la carga de la batería del 100 - 0% evaluada en el modo normal de conducción y una capacidad de 3.46 kWh. La propuesta de reutilización de la batería de alto voltaje de la moto se planteó con la finalidad de buscar nuevas aplicaciones de uso, pues a medida que los vehículos eléctricos se vayan adentrando dentro del parque automotor existirá mayor cantidad de baterías para desecho; por lo cual, resulta beneficioso tener claro las aplicaciones donde pueden servir. En este trabajo se propuso una alternativa de reutilización dirigida a los hogares del sector rural, pues serviría como un sistema de acumulador de energía de emergencia para poder abastecer de energía eléctrica cuando se produzcan los cortes de energía por un tiempo estimando de dos días, tomando en cuenta el consumo promedio de los aparatos electrónicos del hogar.

ABSTRACT

Electric vehicles are promoted to reduce environmental impacts and increase the trend of sustainable urban transport, but the production process of their components generates environmental pollution. This work was carried out with the objective of analyzing the life cycle of urban electric vehicles focusing on the battery of the Super Soco Tc Max electric motorcycle and to establish a reuse proposal for the high voltage battery. The life cycle analysis (LCA) study of the lithium-ion battery was carried out in the software computational GaBi 9 in its student version, using the Ecoinvent databases available on the Web for the preparation of the life cycle inventory (LCI) of the different components of the battery. The environmental impacts with midpoint indicators were calculated in the software using the ReCiPe 2016 methodology for the manufacturing, transportation, use and final disposal stages of the battery LCA. The results of the impacts showed that the stage in which the greatest environmental loads are generated is the stage of manufacturing the components in the impact of climate change, while the impact caused using the battery was low since around the 90% of the electricity in Ecuador comes from alternative energy sources. In addition, in the phase of using the LCA of the battery its autonomy and capacity under real-world condition in urban, rural areas and motorway of the city of Ibarra were evaluated through driving tests. The range was 75 km with 100 - 0% battery charge evaluated in normal driving mode and a capacity of 3.46 kWh. The proposal to reuse the motorcycle's high-voltage battery was raised with the aim of looking for new applications for use, since as electric vehicles enter the automotive fleet, there will be more batteries for disposal; Therefore, it is beneficial to be clear about the applications where they can be used. In this work, a reuse alternative was proposed aimed at households in the rural sector, as it would serve as an emergency energy accumulator system to be able to supply electricity when power cuts occur for an estimated time of two days, taking consider the average consumption devices electronic of home.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de vehículos de propulsión eléctrica se están considerando como posibles soluciones para reducir los problemas ambientales y la dependencia de los combustibles fósiles. Los vehículos eléctricos (VE) ofrecen una disminución del 10% - 80% del potencial del calentamiento global en comparación con los vehículos convencionales de gasolina o diésel (Hawkins, Singh, Majeau-Bettez, & Strømman, 2012, pág. 53). Varios estudios han utilizado la técnica de análisis del ciclo de vida (ACV) para evaluar el uso de energía y las emisiones de CO₂, abordando el ciclo de vida de los combustibles o los materiales del vehículo de la cuna a la tumba. La fase del ACV más considerada es la fase de uso al comparar las opciones de transporte, en tanto que la fase de la producción de vehículos resulta significativa cuando se comparan los vehículos convencionales de combustión y los vehículos eléctricos; el VE tiene un fuerte impacto que se centra en la fase de fabricación de las baterías y el motor a diferencia de los vehículos convencionales que tienen un impacto que se produce en su uso (Lucas, Silva, & Costa Neto, 2012, pág. 537).

A medida que ingrese más electricidad renovable a la red eléctrica para abastecer de energía a los vehículos eléctricos, el impacto climático de los VE disminuirá aún más, así como la mejora tecnológica de la química de las baterías, la reutilización de la batería con fines de almacenamiento y el desarrollo de una industria de reciclaje de baterías para vehículos eléctricos conducirán a mejoras en su sostenibilidad (Bannon, 2017, pág. 2).

La base del análisis de ciclo de vida es el inventario del ciclo de vida, el cual es una recopilación de datos existentes en las bases de datos disponibles para poder evaluar el ACV en una variedad de categorías de impactos (Hawkins et al., 2012, pág. 53). En la presente investigación se busca realizar un estudio de ACV de la batería de una motocicleta eléctrica en un software computacional con el fin de identificar y cuantificar la cantidad de energía y materiales, a más de las cargas ambientales que emite al medio ambiente en condiciones reales en el contexto ecuatoriano. Además, se busca establecer una propuesta de reutilización que pueden tener este tipo de baterías de ion de litio dentro del sector doméstico, en función del estado resultante de cada una de sus celdas al término de su vida útil dentro del VE.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 ANTECEDENTES

La sostenibilidad se ha convertido en un tema crítico para la industria automotriz, motivando reducciones más significativas al impacto ambiental general de los automóviles (Onat, Kucukvar, & Afshar, 2019, pág. 516). Los vehículos eléctricos representan una opción viable para la disminución de gases de efecto invernadero; sin embargo, al considerar el ciclo de vida en su totalidad los posibles beneficios que se relacionan con la reducción de las emisiones de CO₂ depende en gran medida de la forma como la energía eléctrica es generada. Actualmente tienen el inconveniente del tiempo de recarga y autonomía del vehículo (Ortiz, 2010, pág. 28).

El empleo del ACV y las herramientas informáticas necesarias para su aplicación, cada día tienen una mayor aceptación y utilización en el diseño de vehículos, permitiendo evaluar el resultado de las prácticas de reciclaje y desensamblaje, así como otros problemas medioambientales como la reducción de emisiones (Vivancos, Gómez, López, Bastante, & Capuz, 2003, pág. 2). El proceso de desarrollo de una nueva tecnología como el vehículo eléctrico no está exento de tener un impacto medioambiental en todo su ciclo de vida, desde la construcción de los diferentes componentes, su uso como medio de transporte hasta la fase última de reciclaje y destrucción. Durante su vida útil se hace uso de distintos recursos, el litio o cobalto en la fabricación de las baterías, gas natural para producir la energía almacenada en la batería, haciendo que se produzcan impactos ambientales (Marín & Perales, 2019, pág. 45).

El uso creciente de tecnologías de energía renovable para la generación de electricidad en edificios requiere de un número creciente de sistemas de almacenamiento de energía de batería (BESS) para mejorar la confiabilidad del suministro de electricidad (Datta, Kalam, & Shi, 2020, pág. 2), donde las baterías retiradas de los vehículos eléctricos pueden satisfacer esta demanda, ya que las baterías de los VE pueden usarse como BESS, teniendo en cuenta que tienen aproximadamente el 80% de su capacidad de energía original (Cusenza, Guarino, Longo, Mistretta, & Cellura, 2019, pág. 340).

Las baterías de vehículos eléctricos demuestran las dificultades presentes y futuras para el desmantelamiento, el reciclaje, la reutilización y demuestran la necesidad de cambios en su ciclo de vida (Maharshi & Reddy, 2019, pág. 138). Investigaciones efectuadas sobre las baterías de vehículos que han cumplido su vida útil y que quedan en desuso, muestran que es necesario realizar ciertos estudios que permitan verificar cual es el porcentaje probable para poder reutilizar este tipo de baterías, a través de pruebas de envejecimiento. Estos estudios permiten evaluar con mayor exactitud la degradación de una batería de entorno automotriz y su aplicación como segundo uso (Maharshi & Reddy, 2019, pág. 137).

1.2 SITUACIÓN ACTUAL

El cambio hacia la electrificación de los vehículos urbanos está cada vez más cerca tomando en consideración el punto del cambio de matriz energética dentro de nuestro país, ya que existe un porcentaje de vehículos eléctricos que circulan en las ciudades como: Guayaquil, Cuenca, Loja, las que cuentan con más VE. En el 2019, 740 vehículos híbridos y 42 eléctricos se han comercializado en el país, se estima que hasta el 2025, dentro del mercado ecuatoriano circulen alrededor de 14950 vehículos eléctricos (EL TELEGRAFO, 2019); por tal razón, para los próximos años se contará con más de estos tipos de vehículos en nuestro país, lo que con lleva al aumento de desechos de elementos eléctricos como las baterías de alto voltaje que incorporan los VE, las mismas que en cuestión de reciclaje aún no se tiene un plan apropiado, que permita satisfacer de una manera correcta, el dar tratamientos y volver a reutilizar.

Muchas de las baterías por ciertos factores quedan en el olvido, por ejemplo, una batería ion de litio que se encuentra averiada de tres o cuatro celdas no se realiza la reparación, ya sea por falta de estudios o prácticas, lo que limita garantizar su buena funcionalidad para la reutilización, por lo cual se opta por una batería nueva. Fidalgo (2020) en el sitio Web de Autocasión, señala que al momento de caer el rendimiento de las baterías de ion-litio, estas ya no pueden servir como suministro de energía para la propulsión de los vehículos eléctricos, pero son destinadas a nuevas aplicaciones tales como: generadores eléctricos de emergencia, para iluminación de escenarios de fútbol o incluso para estaciones de carga.

1.3 PROSPECTIVA

Al realizar el análisis de ciclo de vida de los vehículos urbanos eléctricos se desea conocer los diferentes impactos ambientales de los vehículos eléctricos respecto a los vehículos de combustión interna, dado que los VE de una o de otra manera son los llamados a conservar la sostenibilidad del medio ambiente para las futuras generaciones, ya que reducen en gran medida el porcentaje de las emisiones de gases contaminantes que producen los vehículos convencionales de combustión interna. Además, con el ACV de los VE se pretende conocer sobre las tecnologías con las que cuentan estos tipos de vehículos, por ende, se hace necesario conocer desde un inicio hasta un fin las diferentes etapas de fabricación, utilización y disposición final de los VE, para poder determinar las ventajas y desventajas que traen consigo la implementación de este tipo de vehículos dentro de nuestro medio.

Por otro lado, a través de la propuesta de la reutilización de las baterías de los vehículos eléctricos se anhela dar una segunda vida a las baterías de los VE en desuso, las cuales han cumplido su vida útil, resultando muy ventajoso buscar alternativas de nuevos usos o aplicaciones de las baterías antes de que estas pasen a su disposición final, las cuales pueden servir como una fuente de almacenamiento de energía para el sector doméstico.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la gran cantidad de contaminación que se produce en nuestro entorno se debe a la utilización de los vehículos de combustión interna, los cuales emanan un gran cantidad de gases contaminantes hacia la atmósfera, haciendo que la conservación o protección del medio ambiente vaya disminuyendo día a día, donde también la falta de información sobre el análisis del ciclo de vida (ACV) de los diferentes componentes del vehículo eléctrico, ha con llevado a que también se contamine y/o degrade más el planeta al no tener claras las diferentes etapas por las que atraviesa cada uno de los componentes constitutivos del automotor a lo largo de su existencia (de la cuna a la tumba).

La problemática existente en referencia a la autonomía de los VE genera una mala perspectiva referente al uso de los vehículos eléctricos dentro del sector automotor, ya que los VE al contar con una autonomía inferior a los de combustión tienden en su defecto hacer

poco atractivos para los compradores de este tipo de vehículos, influyendo además el hecho que en nuestro medio no se cuente con ciertas electrolinerías de carga rápida, para el abastecimiento o recargo de las baterías de los VE y del mismo modo las baterías de los VE o bien su sistema de almacenamiento emplea materiales procedentes de fuentes de energía no renovables (litio, níquel), los cuales contribuyen de igual manera al deterioro del medio ambiente a más de sus elevados costos de adquisición para un recambio de esta, por ende se necesita contar con planes estratégicos de reciclaje o reutilización de este tipo de baterías.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar el ciclo de vida de los vehículos urbanos eléctricos y plantear una alternativa para la reutilización de las baterías de los VE dentro del sector doméstico.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y cuantificar la energía y materiales utilizados a lo largo del ciclo de vida de una motocicleta eléctrica según la normativa ISO-14044, enfocado en su batería de ion de litio.
- Evaluar los aspectos ambientales e impactos potenciales de la batería de alto voltaje de una motocicleta eléctrica a través de la normativa ISO-14040, por medio del software computacional GaBi 9.
- Establecer una propuesta de reutilización de las baterías que cumplieron con su vida útil dentro de las motos eléctricas, y que pueda ser aplicada en los hogares del sector rural como un acumulador de energía de emergencia.

1.6 ALCANCE

La presente investigación del análisis de ciclo de vida de los vehículos urbanos eléctricos se lo llevará acabo en una motocicleta eléctrica de la marca Super Soco Tc-Max, para la cual se hará uso de diferentes normativas, específicamente la ISO-14040 y ISO-14044, las cuales nos permitirán determinar los impactos medio ambientales, los principales materiales que incorporan y las emisiones de los vehículos eléctricos. Además, para un mejor entendimiento de las diferentes etapas del ACV tales como: la adquisición de las materias primas, producción, uso y disposición final (Cuna-tumba) se dispondrá de un software para el análisis de ciclo de vida.

La propuesta de reutilización de la batería de alto voltaje se la efectuará en función a la evaluación del estado de las celdas de la batería de la motocicleta eléctrica, pues se efectuarán una serie de mediciones en condiciones reales como directamente en cada una de las celdas de la batería a fin de saber sobre la cantidad de energía real total de almacenamiento con el que cuenta la batería de la moto y según los datos obtenidos del nivel de energía poder establecer la propuesta de la reutilización basada en el cálculo del consumo energético de los aparatos eléctricos de un hogar promedio del sector rural.

1.7 JUSTIFICACIÓN

La creciente conciencia respecto de la importancia de la protección ambiental, y los posibles impactos asociados con los productos, tanto manufacturados como consumidos, han aumentado el interés por el desarrollo de métodos para comprender mejor y tratar esos impactos, una de las técnicas desarrolladas en este sentido es el análisis del ciclo de vida (ISO, 2006, pág. 8), razón por la cual para la presente investigación se ha visto la necesidad de realizar un análisis de ciclo de vida de los VE, para así analizar sus diferentes etapas y poder determinar los impactos ambientales, las ventajas y desventajas que conllevan los vehículos eléctricos dentro del contexto ecuatoriano.

La propuesta de reutilización de las baterías de los VE parte de la necesidad de buscar nuevas alternativas que se puedan dar a este tipo de baterías, puesto que en su gran mayoría las baterías de vehículos eléctricos cuando llegan al final de su vida tienen dos opciones: la primera opción es devolver las baterías al fabricante para que sean almacenadas de forma

segura y la segunda opción es realizar las reparaciones especializadas de estos dispositivos para poder reutilizarlas o para que adopten otras funciones ya que la idea es no desaprovechar su vida útil (EL COMERCIO, 2019).

A través de la presente investigación se va a aportar de una u otra manera con el objetivo N°3 del Plan Nacional de Desarrollo - Toda una vida, que manifiesta: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones (Senplades, 2017, pág. 64). De la misma manera con sus política 3.4 y 3.7 que mencionan lo siguiente: 3.4 Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global (Senplades, 2017, pág. 66), y la política 3.7 que dice: Incentivar la producción y consumo ambientalmente responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada (Senplades, 2017, pág. 66), las cuales encajan de buena manera ya que el presente proyecto de investigación tiene la finalidad de establecer una propuesta de reutilización de las baterías de alto voltaje de los vehículos urbanos eléctricos, lo que supone menos cargas ambientales y menos residuos para el medio ambiente.

Así también se contribuirá con el objetivo N°5 del Plan Nacional de Desarrollo - Toda una vida que menciona: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria (Senplades, 2017, pág. 80) y de la misma manera encajando en su política 5.6, la cual manifiesta: Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades (Senplades, 2017, pág. 83), en la cual se da entender que es muy importante realizar el aprovechamiento de los recursos con los que cuenta el país, promoviendo de una manera sostenible y responsable la productividad de los recursos existentes, los cuales permitan impulsar a mejores vías de desarrollo o a el cambio de la matriz energética. De este modo solventar la contaminación ambiental de los residuos provenientes de vehículos eléctricos que existen en el país.

1.8 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Se denomina contaminación ambiental a la presencia de sustancias nocivas no deseables que se forman en el medio ambiente ya sea en el agua, aire o suelo, que afectan directamente a la salud, confort y el bienestar de cada una de las personas y demás seres vivos que habitan en el planeta. La contaminación tanto del aire, agua y del suelo se encuentran relacionadas entre sí, pues dichos contaminantes pasan cómodamente de un medio a otro, generando complicaciones en la resolución de los problemas de contaminación (Encinas, 2011, pág. 4).

Los contaminantes a su vez son emitidos por fuentes artificiales y naturales netamente derivadas o causadas por las actividades humanas; las fuentes artificiales se subdividen en estacionarias y móviles. Para el caso de las estacionarias su ejemplo más claro son las industrias, mientras que para las móviles es el tráfico que se genera en las ciudades.

1.8.1 ACUERDO DE PARÍS

El acuerdo de París es un tratado internacional que sustituye al protocolo de Kioto y forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC), el cual es un punto de partida para tener un futuro sostenible y un mundo con energía limpia con bajas emisiones de carbono, puesto que se enfoca principalmente en la cooperación para combatir al cambio climático. Este acuerdo establece diversas medidas para la reducción y mitigación de las emisiones contaminantes globales de gases de efecto invernadero (GEI) hacia el medio ambiente (NACIONES UNIDAS, 2015, pág. 8).

1.8.2 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) son un llamado universal a la toma de acciones para erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad. Entre uno de sus objetivos está el adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (Naciones Unidas, 2018), el cual busca contemplar uno de los grandes desafíos que amenaza con destruir todos los esfuerzos de desarrollo y la existencia humana, pues no existe país en el mundo que no haya sufrido los estragos de los

efectos del cambio climático, tomando en cuenta que las emisiones de gases de efecto invernadero siguen en aumento y conllevando a la toma de medidas, como es el caso del acuerdo de París, que tiene la finalidad de reforzar y hacerle frente a la problemática existente del cambio climático a nivel mundial.

1.8.3 MOVILIDAD SOSTENIBLE

La movilidad sostenible consiste en un análisis exhaustivo que busca encontrar alternativas que ayuden a mitigar los efectos dañinos y negativos ocasionados por problemas medioambientales, en particular los ocasionados por el uso del vehículo automotor como medio de transporte, ya que la mayoría de los vehículos tienen como principal fuente de energía a los combustibles fósiles derivados del petróleo (Torres, 2015, pág. 3).

Las acciones para una movilidad sostenible repercuten en gran medida de las prácticas responsables de movilidad que desarrollan las personas con mayor criterio ambiental; es decir, aquellas que para desplazarse en trayectos cortos en la mayoría de los casos deciden prescindir del vehículo particular y desplazarse a pie, en bicicleta o en transporte público en lugar del vehículo, en donde el compartir el vehículo con compañeros de trabajo o de la zona, es otra acción que a más de ser sostenible ayuda a descongestionar el tráfico de las ciudades.

El enfoque de la movilidad sostenible se considera que debe contribuir a la seguridad vial urbana, para así lograr alcanzar la máxima reducción de siniestralidad (García, 2019, pág. 3), por ende, las políticas de movilidad que se implementen para una movilidad sostenible deben estar centradas en la disminución de la congestión vial y en la búsqueda de tecnologías impulsadas por fuentes de energía alternativas.

1.8.4 IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental es el efecto que se produce por una determinada acción humana sobre el medio ambiente (Gutiérrez, 2009, pág. 1). Los impactos ambientales pueden ser agrupados en 4 principales grupos según su efecto en el tiempo de la siguiente manera:

1.8.4.1 Impacto temporal

Es aquel impacto donde su magnitud no produce consecuencias mayores, permitiendo al medio recuperarse en un corto plazo de tiempo a su línea original de base.

1.8.4.2 Impacto reversible

En este impacto el medio puede ser recuperado con el pasar del tiempo, sea este a corto, mediano o largo plazo, pero no precisamente volviendo a su línea de base.

1.8.4.3 Impacto irreversible

La trascendencia de este impacto en el medio es de gran magnitud que es imposible de devolverlo a su línea de base original.

1.8.4.4 Impacto persistente

En este impacto se consideran a todas las acciones llevadas a cabo en el medio ambiente, pues estas son de mucha influencia a largo plazo y prolongables con el paso del tiempo, como las emanaciones de agentes químicos peligrosos, o bien los derrames de crudo.

1.8.5 CATEGORÍAS DE IMPACTOS DE PUNTO MEDIO

Las categorías de impactos más relevantes que se deben tomar en cuenta para la evaluación de los estudios de ACV en vehículos son los que se detallan a continuación:

1.8.5.1 Cambio climático

Al cambio climático se lo puede definir como la variación global del clima en el planeta tierra o bien como el calentamiento global, esta variación tiene su origen debido a la propia

naturaleza, la cual se produce a grandes y diversas escalas apoyadas sobre el conjunto de parámetros climáticos tales como: la temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. (UNIÓN EUROPEA, 2015). En este impacto el principal responsable del calentamiento global es la emisión de los diferentes gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera.

1.8.5.2 Agotamiento de ozono

La capa de ozono se encuentra presente en una región denominada como estratosfera y sirve como un filtro que absorbe la radiación ultravioleta emitida por el sol. El agotamiento de la capa de ozono repercute considerablemente en el incremento de la cantidad de radiación UV-B hacia la superficie de la tierra. Estas radiaciones son causa de algunas enfermedades en los humanos tales como: el cáncer de piel, cataratas, supresión del sistema inmunitario, etc., afectando de igual manera a la producción agrícola y a la degradación de los materiales plásticos (Vallejo, 2004, pág. 113).

1.8.5.3 Formación oxidantes fotoquímicos

La formación de oxidantes fotoquímicos se refiere a la contaminación fotoquímica que se produce debido a la aparición de oxidantes contaminantes en la atmósfera, que pueden proceder de diversas fuentes con características físicas y químicas diferentes, originadas principalmente al reaccionar entre sí los óxidos de nitrógeno (NOx) y los diferentes compuestos orgánicos volátiles. Estos oxidantes fotoquímicos tienen la particularidad de ser altamente perjudiciales para la salud de los seres vivos, a más de la agricultura y el ecosistema en el que vivimos (Cordero, 2009, pág. 20).

1.8.5.4 Eutrofización

La eutrofización es un fenómeno ambiental que afecta principalmente a los lagos y embalse y se define como el proceso del deterioro de la calidad de los recursos, el cual se origina por el enriquecimiento de nutrientes, principalmente del nitrógeno y fósforo, condicionando su utilización y provocando grandes impactos ecológicos y económicos (Ledesma, Bonansea,

Rodriguez, & Delgado, 2013, pág. 420). Este impacto es causado independientemente por la actividad del hombre, pues sufre graves daños por parte de las actividades diarias de la sociedad, en el cual se ve afectado la ética, el turismo y la economía.

1.8.5.5 Acidificación

La acidificación de la atmósfera se define como la pérdida de la capacidad de neutralizantes del agua y del suelo. Este impacto se produce a causa del retorno a la superficial de la tierra, en forma de ácidos de los óxidos de nitrógeno y azufre descargados directamente a la atmósfera, afectando directamente a la flora y fauna. Los efectos más usuales de la acidificación es la deforestación de los bosques, por las denominadas lluvias ácidas y por el dióxido de carbono que es el principal causante de la acidificación marina (Cordero, 2009, pág. 18).

1.8.5.6 Toxicidad humana

La toxicidad humana contempla los efectos sobre los humanos y de los ecosistemas acuáticos y terrestres en función de las sustancias tóxicas existentes en el medio ambiente. La toxicidad de una sustancia depende de la propia sustancia que contiene pero también de la vía de exposición, administración o bien de la dosis como se administra, etc. (Cordero, 2009, pág. 22).

La toxicidad es un impacto que afecta de manera directa tanto a la salud de los humanos como al entorno natural y de sus recursos naturales. Esta sustancia proviene de diferentes químicos contaminantes que son elaborados para diferentes actividades, un claro ejemplo son los fungicidas que se utilizan para los cultivos, así como los componentes utilizados para dar el recubrimiento a los vehículos, estos suelen liberar ciertos gases tóxicos.

1.8.6 EMISIONES CONTAMINANTES

El sector automotriz tiene gran parte de responsabilidad de la contaminación atmosférica que se genera en la tierra, debido a que los gases producidos por los motores de combustión interna son emanados directamente al medioambiente, a más de utilizar los combustibles fósiles derivados del petróleo para moverse. Estos motores contribuyen en gran medida al deterioro del medioambiente por las diferentes emisiones contaminantes que producen y conllevan a un aumento del efecto invernadero, la lluvia ácida y a la larga ocasionando enfermedades pulmonares a la población.

1.8.7 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases presentes en la atmósfera, tanto antropógenos como naturales, los cuales emiten y absorben radiación infrarroja (energía térmica neta) en el rango de longitud de onda emitida por la tierra, provocando así el efecto invernadero (Benavides & León, 2007, pág. 36). El aumento de este tipo de gases de efecto invernadero en la atmósfera, repercuten directamente en las actividades humanas o fuentes antropogénicas que son desarrolladas en la vida cotidiana como por ejemplo la utilización del transporte, en el cual se utiliza ciertos agentes fósiles para su funcionamiento.

1.8.7.1 Principales gases de efecto invernadero

Los principales GEI en la atmósfera terrestre son el vapor de agua (H_2O), el óxido nitroso (N_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el ozono (O_3).

- **Dióxido de carbono (CO_2)**

El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero más importante relacionado a las actividades humanas y el segundo gas después del vapor de agua del calentamiento global que tiene fuentes naturales y antropogénicas. La emisión del CO_2 en lo referente a las actividades humanas aparece o ingresa a la atmósfera por el consumo de los combustibles

fósiles (petróleo, carbón y gas natural) para energía y transporte, por la tala y quema de bosques, así también por el resultado de ciertas reacciones químicas para la fabricación del cemento (Trespalacios, Blanquicett, & Carrillo, 2018, pág. 2). Es importante mencionar que el dióxido de carbono se elimina de la atmósfera terrestre cuando este es absorbido por las plantas durante la fotosíntesis como parte del ciclo biológico del carbono.

- **Vapor de agua (H_2O)**

El vapor de agua es un gas que se produce por la evaporación del agua líquida y tiene como una fuente de emisión al transporte, a consecuencia de la combustión de la mezcla aire-combustible por medio de la oxidación del hidrógeno y es expulsado junto con los demás gases emitidos por el escape del automotor (Andrino, 2016, pág. 48).

- **Metano (CH_4)**

El metano es considerado como un gas de efecto invernadero fuerte que tiene cierta influencia en la determinación de la capacidad de oxidación de la troposfera y es emitido durante el proceso de producción y transporte del petróleo, gas natural y carbón. Otra de las fuentes de emisiones del metano son las resultantes de la ganadería y demás prácticas agrícolas en las que se incluye la descomposición de los desechos orgánicos (Benavides & León, 2007, pág. 37).

- **Óxido nitroso (N_2O)**

El óxido nitroso es un gas de efecto invernadero que se emite a la atmósfera durante el tratamiento de las aguas residuales, por la quema o combustión de los combustibles fósiles y residuos sólidos (biomasas), así como también durante las actividades industriales y agrícolas (Trespalacios et al., 2018, pág. 2).

- **Ozono (O₃)**

El ozono es un gas traza que existe de forma natural en la atmósfera y sus fuentes de emisión son las emisiones del transporte y de la industria (Racines, 2018, pág. 30). El ozono es considerado como uno de los factores principales en la creación de la neblina en áreas urbanas, pese a que este GEI actúe como un filtro protector de la radiación ultravioleta. La emisión del O₃ puede ser perjudicial en la población, debido a que puede conllevar a graves daños a nivel de las vías respiratorias en las personas (Benavides & León, 2007, pág. 41).

1.9 VEHÍCULO ELÉCTRICO (VE)

Un vehículo eléctrico (VE) es un vehículo impulsado por uno o más motores eléctricos que utilizan la energía eléctrica almacenada en las baterías y la transforman en energía mecánica. A diferencia de los vehículos de combustión interna que funcionan quemando combustible, un vehículo eléctrico obtiene la tracción de sus mismos motores (Trashorras, 2019, pág. 2).

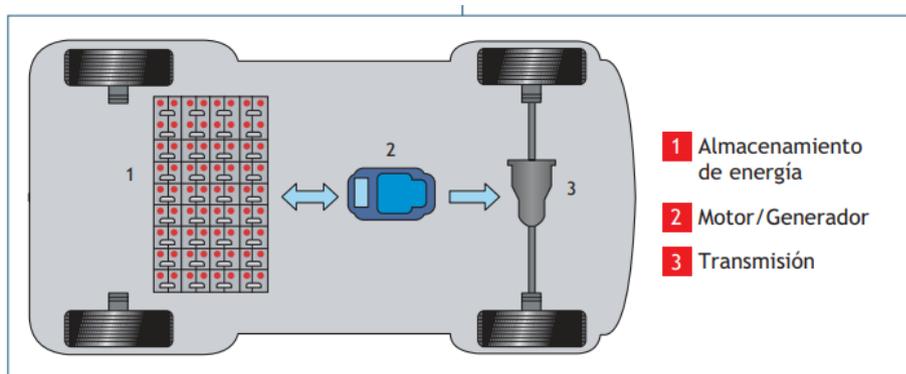


Figura 1.1 Configuración básica de un VE
(Escudero, Gonzáles, Rivas, & Suárez, 2009, pág. 391)

En la Figura 1.1 se puede apreciar una configuración básica de un vehículo eléctrico cuyo sistema de propulsión presenta considerables ventajas respecto al vehículo de combustión interna convencional desde el punto de vista medioambiental, pues su eficiencia energética es mucho mayor y su notable disminución en los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Sin embargo, sus puntos bajos son sus elevados costos de adquisición y su limitada autonomía.

1.9.1 ARQUITECTURA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

La arquitectura o configuración del VE se refiere básicamente al diseño de la fuente de energía y de los componentes del tren de transmisión del VE, una arquitectura del VE es bastante flexible en comparación con los vehículos convencionales con motor de combustión interna debido a la ausencia de una configuración compleja del motor al carecer de embrague, de tubo de escape, y de un sistema de transmisión manual (Karki, Phuyal, Tuladhar, Basnet, & Shrestha, 2020, pág. 4).

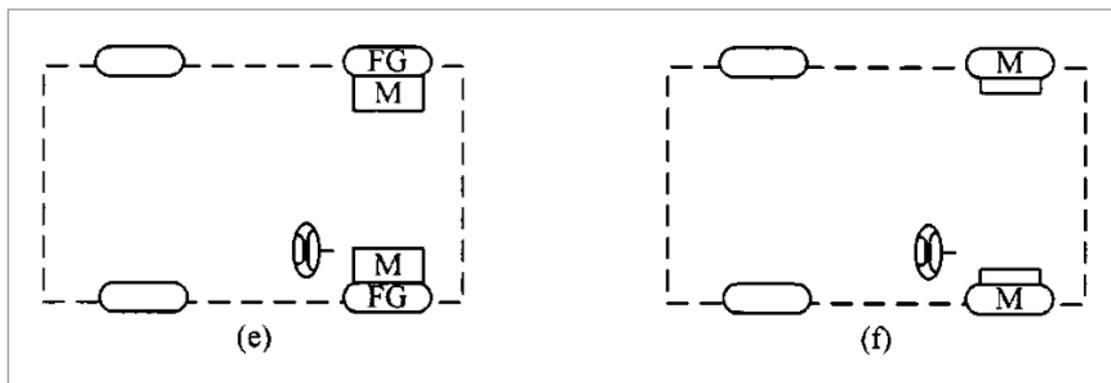


Figura 1.2 Arquitectura del VE debido a variaciones en la propulsión eléctrica
(Chan, 2002, pág. 259)

Existen diferentes sistemas de arquitectura del vehículo eléctrico factibles debido a las variaciones en los sistemas de propulsión eléctrica pero las más usuales en el vehículo eléctrico son las que se muestran en la Figura 1.2, mismas que se detallan a continuación:

1.9.1.1 Arquitectura del VE con motor de rueda y engranaje fijo

La Figura 1.2 (e) presenta una arquitectura del VE que emplea un sistema de engranaje planetario fijo para reducir la velocidad del motor a la velocidad deseada de la rueda. Esta configuración es utilizada para acortar aún más la trayectoria de transmisión mecánica desde el motor eléctrico a la rueda motriz, pues el motor eléctrico se puede colocar dentro de una rueda y ofrece las ventajas de una relación de reducción de alta velocidad como una disposición en línea de los ejes de entrada y salida (Ehsani, Gao, & E.Gay, 2005, pág. 101).

1.9.1.2 Arquitectura del VE con motor en las ruedas y sin engranaje mecánico

La Figura 1.2 (f) presenta una arquitectura del VE sin un sistema de engranajes mecánicos que, al abandonar por completo cualquier engranaje mecánico, la tracción en las ruedas se puede realizar instalando un motor eléctrico de rotor exterior de baja velocidad dentro de una rueda. De esta forma el control de la velocidad del motor eléctrico será equivalente al control de la velocidad de la rueda y, por tanto, la velocidad del vehículo. Sin embargo, esta configuración requiere que el motor eléctrico cuente con un par mayor para arrancar y acelerar el vehículo (Un-noor, Padmanaban, Mihet-popa, Mollah, & Hossain, 2006, pág.11).

1.9.2 TREN MOTRIZ DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

El tren motriz (*powertrain*) abarca a todos los componentes que intervienen en un vehículo para la generación o conversión de la fuerza para el movimiento.

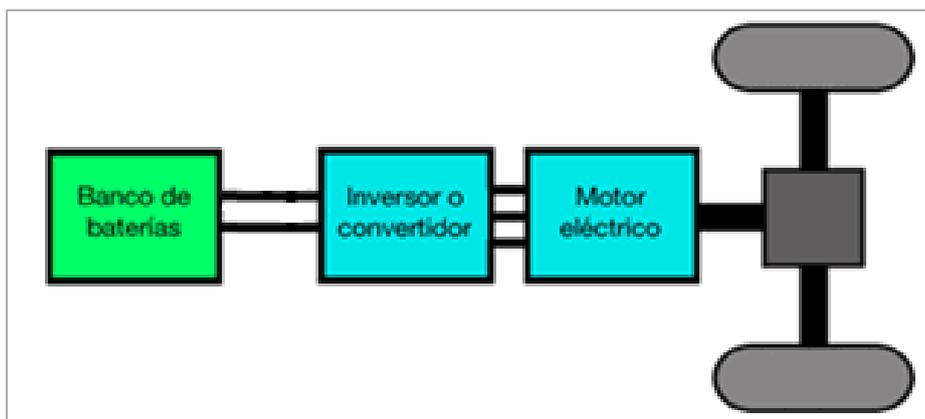


Figura 1.3 Esquema del powertrain de un vehículo eléctrico
(Cuesta, 2017, pág. 18)

En la Figura 1.3 se muestran los principales componentes del tren motriz de un vehículo eléctrico, los cuales son: Motor eléctrico, inversor y las baterías.

1.9.3 MOTOR ELÉCTRICO

Un motor eléctrico es un dispositivo electromecánico rotativo, el cual a través de un campo magnético transforma la energía eléctrica en energía mecánica de rotación para mover el vehículo (Galán, 2019, pág. 44). Un vehículo eléctrico puede contar con uno o varios

motores, dependiendo de su diseño y se clasifican principalmente según el tipo de corriente que los alimentan, estos pueden ser de corriente continua (DC) sin escobillas - Brushless y los de corriente alterna (AC) síncronos y asíncronos, siendo estos los más utilizados actualmente en los vehículos eléctricos.

1.9.3.1 Motor de corriente alterna (AC) asíncrono o de inducción

Es uno de los motores más utilizados en el vehículo eléctrico y consiste en una máquina de corriente alterna, que funciona mediante un campo magnético giratorio (Trashorras, 2019, pág. 14). Está formado por un estator, el cual se alimenta de corriente trifásica y en el que se produce el campo magnético giratorio y por un rotor instalado en el interior del estator que conforma el circuito inducido de la máquina.

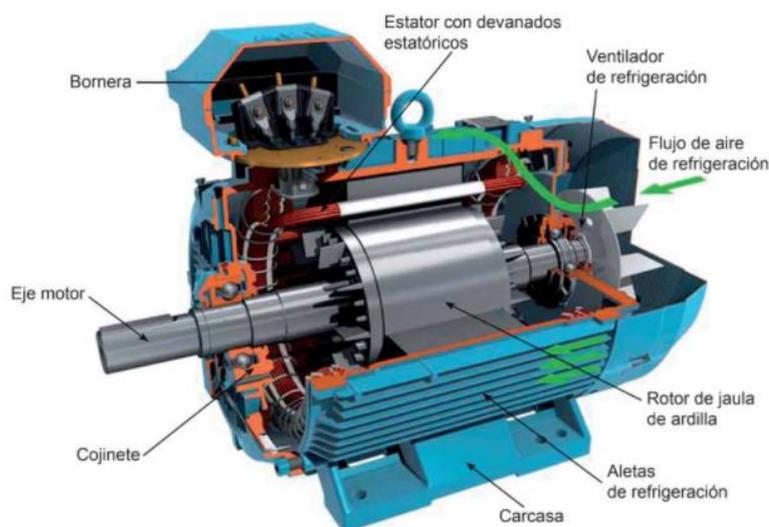


Figura 1.4 Motor asíncrono trifásico

(Trashorras, 2019, pág. 17)

En la Figura 1.4 se muestra un motor asíncrono trifásico, en el cual el campo magnético giratorio para el funcionamiento del motor se genera gracias a las bobinas del estator que tienen un desfase de 120° una respecto de otra y este a su vez induce en el rotor una tensión eléctrica, la cual en conjunto con el campo magnético generado por las bobinas ocasionan el movimiento del rotor y por consiguiente el movimiento del motor (Cuesta, 2017, pág. 24).

1.9.3.2 Motor síncrono de imanes permanentes (AC)

Los motores síncronos de imanes permanentes de AC son máquinas que se usan para convertir la potencia eléctrica en potencia mecánica de rotación. La característica principal de este tipo de motores síncronos es que trabajan a velocidad constante que depende de la frecuencia de la red de corriente alterna que los alimentan (Cembranos, 2014, pág. 7).

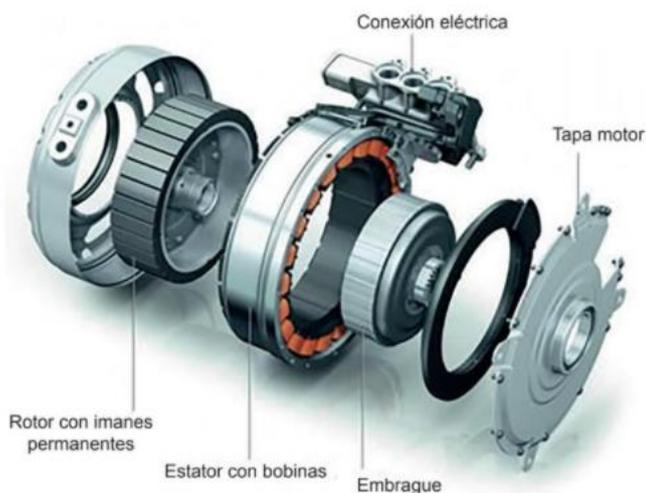


Figura 1.5 Motor síncrono de imanes permanentes
(Trashorras, 2019, pág. 19)

En la Figura 1.5 se presenta de forma general el despiece de un motor síncrono de imanes permanentes, el cual tiene como elementos principales al estator y rotor; el estator consiste en tres bobinados conectados en estrella, mientras que el rotor está compuesto por electroimanes o imanes permanentes que son los encargados de generar un flujo constante en el entrehierro (Trashorras, 2019, pág. 18).

Su funcionamiento se produce cuando el estator es alimentado mediante corriente alterna trifásica AC, produciendo un campo magnético giratorio y de forma consecuente el rotor es alimentado con corriente continua DC, que provoca de la misma manera otro campo magnético, el cual se alinearé con el campo del estator, es decir que este lo perseguirá a una velocidad conocida como velocidad síncrona, que es la velocidad a la que gira el flujo magnético rotante (Murillo, 2014, pág. 1).

1.9.4 INVERSOR O CONVERTIDOR

El inversor es un convertidor estático de energía que se encarga de transformar la corriente continua de alta tensión almacenada en la batería en corriente alterna trifásica para impulsar el motor eléctrico (Vélez, 2017, pág. 42).



Figura 1.6 Inversor
(Galán, 2019, pág. 56)

Asimismo, hay que considerar que el inversor como se lo muestra en la Figura 1.6 incluye un transformador que se encarga de armonizar los voltajes tanto de la batería y el motor de tracción, ya que generalmente el motor trabaja a una tensión superior de lo que trabaja la batería, haciendo necesario rectificar ambas frecuencias de tensión y corriente (Galán, 2019, pág. 54).

1.10 BATERÍAS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO (VE)

La batería es la parte más importante en el diseño de un vehículo eléctrico, pues se trata de un dispositivo que almacena energía eléctrica mediante procesos electroquímicos y que la devuelve posteriormente con ciertas pérdidas. Las baterías están limitadas por un determinado número finito de ciclos de carga y descarga, llamados ciclos de vida, mismos que depende del tipo de batería (Arias, 2017, pág. 3).

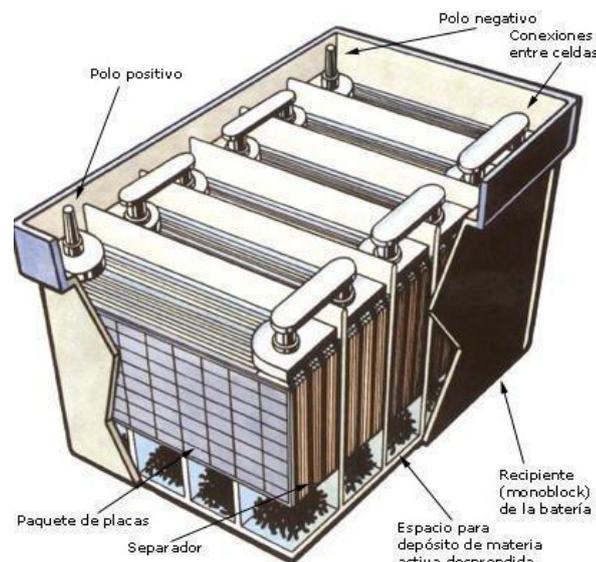


Figura 1.7 Estructura de una batería
(Lara, 2013)

En la Figura 1.7 se muestran los componentes básicos de una batería, pues en general todas las baterías se componen de manera muy similar con un determinado número de celdas electroquímicas colocadas y conectadas entre sí formando módulos, a través de conexiones en serie o paralelo, para así conseguir las especificaciones necesarias en aplicaciones concretas de corriente y tensión.

Las celdas son la unidad más pequeña que las constituye y están formadas por dos electrodos, un electrodo negativo (ánodo) y otro positivo (cátodo), sumergidos en un electrolito, en dónde el primero de ellos se oxidará mientras que el segundo ganará electrones, reduciéndose y para limitar el electrolito en las celdas, éste se impregna en un separador, evitando así de esta manera el contacto directo entre ambos electrodos (Iniesta, 2015, pág. 30).

1.10.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BATERÍA

La explicación química del funcionamiento de los diferentes tipos de batería para el vehículo eléctrico es que estas aprovechan la energía desprendida de las reacciones de oxidación – reducción (Redox) para producir una corriente eléctrica, fundamentalmente durante el proceso de carga y descarga (Trashorras, 2019, pág. 42), siendo así que durante el proceso de descarga, el ánodo pierde electrones al oxidarse y en tanto que el cátodo se reduce al

ganarlos, estos electrones ganados circulan por medio de un circuito externo y originan una corriente que suministra de energía a una determinada carga. En cambio, durante el proceso de carga, el ánodo y cátodo se invierten para que el primero vuelva a ganar los electrones perdidos durante la conducción del vehículo (Macías, 2017, pág. 10).

Las funciones principales de una batería de un vehículo eléctrico son:

- Almacenar la electricidad proporcionada por la red eléctrica mediante el cargador de baterías.
- Suministrar al motor eléctrico la energía y potencia necesarias para el movimiento idóneo del vehículo.

1.10.2 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LA BATERÍA

Las prestaciones de autonomía y fiabilidad de la batería van a depender en gran parte de las características de las celdas por las que están compuestas y de los elementos empleados para su fabricación; razón por lo cual, los parámetros principales a tomar en cuenta para caracterizar una batería son:

- **Densidad energética:** Es la cantidad de energía que puede almacenar la batería en relación con su peso, se mide en vatios-hora por kilogramo (Wh/kg). Este parámetro es muy importante para el vehículo eléctrico EV, ya que influye directamente en su autonomía y en las prestaciones como vehículo como tal, pues cuanto mayor sea este valor, más autonomía tendrá el vehículo y menor será su peso.
- **Capacidad específica:** La capacidad específica es el parámetro que indica la cantidad de carga total eléctrica que puede almacenar la batería y su unidad de medida es el amperio-hora (Ah). Al momento de comparar diferentes tipologías de baterías se suelen referir respecto a dos importantes magnitudes, como a la masa (Ah/kg) o el volumen (Ah/l) de cada batería.

- **Resistencia Interna:** Está definida como un concepto que ayuda a modelar en forma de resistencia las diferentes consecuencias eléctricas de las reacciones químicas más complejas que se generan en el interior de una batería (Peña, 2011, pág. 18).
- **Potencia específica:** La potencia específica es la capacidad de proporcionar potencia o máximo amperaje durante el proceso de descarga, ya que se tiene que a más potencia las prestaciones del vehículo eléctrico serán mejores. Se mide en vatios-kilogramo (W/kg).
- **Ciclos de vida:** Los ciclos de vida o “life cycle” de una batería son el número de ciclos completos de carga y descarga que pueden soportar o ser llevados a cabo hasta que la capacidad de la batería sea del 80% de su valor nominal, pues cuanto más ciclos mejor ya que la batería tendrá más años de vida.

1.10.3 TIPOS DE BATERÍAS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO (VE)

Existen diferentes tipos de baterías empleadas dentro de los vehículos eléctricos tales como: Plomo-ácido (Pb-Ac), Níquel cadmio (Ni-Cd), Níquel metal hidruro (Ni-MH), Ion de litio (ion-Li), y Polímero de litio (Po-Li), de las cuales las más empleadas actualmente dentro de la industria de los VE son las de tipo Ni-MH y las de Ion-Li. En tanto que el resto de los tipos de baterías no son muy usuales ya que son tecnologías de baterías antiguas o en desarrollo, así como también por ser tecnologías que incorporan materiales tóxicos.

1.10.3.1 Batería de Níquel - Metal - Hidruro

La Batería de Níquel - Metal - Hidruro (Ni - MH) es una evolución de la batería de Níquel-Cadmio, pues utilizan un cátodo de níquel y un ánodo de aleación de hidruro metálico que mejora el comportamiento de la batería, aumentando su capacidad de carga y reduciendo el efecto memoria.

Este tipo de baterías actualmente es una de las baterías que se utilizan para los vehículos eléctricos híbridos como es el caso del Toyota Prius, debido a que estas cuentan con una alta

capacidad para retener energía, un ciclo de vida mucho más largo y un peso más ligero en comparación con la batería de plomo - ácido (Macías, 2017, pág. 13).

A continuación, en la Tabla 1.1 se presentan las principales ventajas y desventajas de las baterías del tipo Ni – MH.

Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de la batería Ni - MH

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Son más ligeras en comparación con las de Pb- ácido y Ni-Cd. ➤ Cuentan con una alta energía específica, y densidad energética que supera a las de plomo - ácido. ➤ No demandan de ningún tipo de mantenimiento adicional. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El coste de fabricación es elevado. ➤ Tiempo de carga superiores a las de Ni-Cd. ➤ Su fiabilidad es menor respecto a las Ni-Cd. ➤ No soportan fuertes descargas. ➤ Su rendimiento bajo en temperaturas bajas. ➤ Voltaje bajo de 1.2 V entre sus celdas.

Fuente: (Macías, 2017, pág. 13)

1.10.3.2 Batería de Ion - Litio

La batería de Ion de Litio (ion - Li), es una tecnología predominante dentro del vehículo eléctrico (VE), por diversos factores tales como: su alta capacidad de energía dentro de un paquete mucho más liviano, su buen rendimiento de temperatura, su baja auto descarga, a más de un factor ecológico que permite que todos los componentes de la batería puedan ser reciclables (Hanifah, Toha, & Ahmad, 2015, pág. 252). Por todas estas cualidades descritas es que la batería tiene un costo elevado a diferencia del resto y que, pese a ello, la batería de ion-Li continúa siendo en la industria una de las alternativas dominantes para los vehículos híbridos eléctricos y eléctricos con batería VE actuales como el BMW i3, y el Nissan Leaf.

Las baterías de ion-litio tienen un rango óptimo de funcionamiento que varía en función de la temperatura, pues su mejor eficiencia se tiene en ambientes ligeros con temperaturas de 15°C a 25°C, reduciéndose de cierta manera el efecto de envejecimiento que sufren durante su uso. Sin embargo, pueden funcionar entre los -20°C y los 60°C, pero en lo que va a influir

directamente todos estos rangos de temperaturas de funcionamiento es en su autonomía, puesto que, a temperaturas muy bajas o excesivamente altas, esta se va a reducir drásticamente (Galán, 2019, pág. 27).

Las principales ventajas y desventajas que tiene las baterías de ion de litio, se las detalla en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de la batería ion - Li

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cuentan con un elevado valor de tensión nominal en sus celdas de 3.6 V. ➤ Bajo impacto medioambiental, debido a que el litio es menos contaminante. ➤ Tienen un bajo efecto memoria, por lo que tienen una buena capacidad de recarga. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Su costo es elevado, en comparación con los demás tipos de baterías. ➤ Pérdida de prestaciones a temperaturas altas. ➤ Se degradan cuando se sobre descargan o se sobrecargan.

Fuente: (Macías, 2017, pág. 14)

1.10.4 COMPARATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE BATERÍAS

Las características más importantes que se deben tener presentes a la hora de comparar las baterías unas con otras son las siguientes:

- La energía específica
- Los ciclos de carga/descarga
- La potencia específica

Es muy importante que estas variables siempre tengan valores altos, por lo que a continuación, en la Tabla de 1.3 se ilustra los valores comparativos a tomar en cuenta, al momento de comparar una batería con otra.

Tabla 1.3 Cuadro comparativo de los tipos de baterías

Tipo	Energía/Peso [Wh/kg]	Voltaje por Celda [V]	Número de ciclos carga/descarga	Tiempo de carga [h]	Efecto Memoria	Eficiencia energética [%]
Pb - Ácido	30 - 50	2	200 - 500	8 - 16	No	82.5
Ni - Cd	48 - 80	2.25	1500	1	Sí	72.5
Ni - MH	60 - 120	1.25	500 - 800	2 - 4	Sí, menor	70
Ion - Li	110 - 160	3.6	500 - 1000	2	Sí	90
Po - Li	100 - 130	3.6	300 - 500	1 - 1.5	No	90

Fuente: (Escudero et al., 2009, pág. 397)

1.11 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

El ACV básicamente consiste en la realización de un tipo de contabilidad ambiental de las cargas ambientales de algún artículo, cosa o producto, con el fin de determinar los impactos ambientales adversos que son generados a lo largo de su ciclo de vida (cuna – tumba).



Figura 1.8 Análisis de ciclo de vida
(IK ingeniería, 2021)

Está considerado como el ciclo de vida de un producto a la historia que este tiene a lo largo de su existencia desde la obtención de la materia prima hasta su disposición final como se muestra en la Figura 1.8, en donde también se toman en cuenta las fases intermedias como la producción, transporte a mercados, distribución y uso.

Para la realización del análisis de ciclo de vida ACV existen dos normativas guías fundamentales que son la ISO 14040:2006 Gestión Ambiental – Análisis de ciclo de vida Principios y marco de referencias e ISO-14044:2006 Gestión Ambiental – Análisis de ciclo de vida Requisitos y directrices, en las que además incluyen las diferentes fases que se deben contemplar dentro del ACV tales como: Definición del objetivo y alcance, análisis del inventario (ICV), evaluación del impacto (EICV) y la interpretación de los resultados.

La normativa ISO-14044 permite la medición y cuantificación de los materiales y de la energía que son empleados durante el ciclo de vida de un determinado producto, en tanto que la normativa ISO-14040 es una metodología para poder realizar la evaluación de los aspectos ambientales e impactos potenciales que tiene dicho producto en el medio.

1.11.1 ADQUISICIÓN DE MATERIA PRIMA

Para la construcción de cualquier objeto como fase inicial se tiene la adquisición de la materia prima, esta se la obtiene en su gran mayoría de los recursos naturales existentes en el ecosistema en el que vivimos; por ende, materias primas se consideran a todas aquellas que mediante un proceso de elaboración o transformación serán destinadas a ser parte de un determinado producto que se fabricará en una empresa.

En la actualidad como materia prima para los vehículos existen una gran cantidad de materiales tales como: hierro, acero, cobre, aluminio, etc., que se extraen desde nuestro medio a través de procesamientos adecuados, tomando en cuenta varios factores favorables y desfavorables para el entorno natural, y del mismo modo existen otros tipos de materiales compuestos como: caucho, plástico, hule, etc. que sirven como materia prima para la elaboración de diferentes elementos del vehículo automotor.

1.11.2 FABRICACIÓN DE COMPONENTES

Es el proceso de elaboración de todos los elementos que componen un vehículo, empleando los materiales extraídos y procesados desde un inicio, que dependiendo de dónde van a ser utilizados pueden ser de diferentes tipos de material, como por ejemplo para la carrocería se suele utilizar la chapa de hierro, acero o aluminio, a través del proceso de estampado para dar la forma correspondiente al vehículo. Por otro lado, las partes plásticas o de cauchos se lo realiza mediante inyección del material en un molde como: volantes, tablero, manijas de puertas etc. Finalmente, otro proceso que se utiliza son las fundiciones para la elaboración de los bloques del motor y culata, siendo el material más utilizado por lo general el aluminio reforzado y en algunos casos el hierro.

1.11.3 ENSAMBLAJE

La etapa de ensamblaje consiste en la unión de varios elementos previamente fabricados, formando un solo conjunto de piezas o cuerpo y consiguiendo dar el diseño de la estructura del vehículo deseado. Este proceso de ensamblaje tiene una gran evolución a diferencia del proceso de hace varios años atrás, ya que hoy en día este proceso es alrededor del 90% robotizado y, por ende, se puede fácilmente producir cientos de vehículos diariamente.

1.11.4 TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

El uso de transporte es indispensable en todo el proceso de fabricación de un vehículo, ya que el transporte se utiliza desde la extracción de los materiales hasta su distribución como tal, siendo necesario para transportar los materiales desde las minas hasta la estación de procesamiento. Posteriormente el transporte se utiliza para transportar los elementos o piezas fabricadas hasta la ensambladora y de igual forma para la distribución de los vehículos fabricados desde la planta hacia las diferentes concesionarias. El medio de transporte puede ser diferente, pues dependiendo de los diferentes accesos al lugar de destino pueden diferir, pudiendo ser por vías terrestres, aéreas o marítimas.

1.11.5 USO Y MANTENIMIENTO

En los vehículos eléctricos para su funcionamiento es necesario de un abastecimiento de energía para la propulsión, por parte de un acumulador de energía denominado como batería, cuyo suministro de corriente será dependiendo la necesidad y tamaño de vehículo. Estudios realizados por profesionales del sector del vehículo eléctrico y de su vida útil, en lo referente a la vida útil de la batería de alto voltaje, recomiendan que la sustitución de esta se debe realizar cuando su capacidad real oscile entre el 70 - 80%, en relación con el recorrido que se debe acumular entre 160000 a 300000 km (LIVE, 2019).

1.11.6 PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLE Y ELECTRICIDAD

Es la fase que hace referencia a la adquisición de ciertos materiales y/o compuestos que al ser mezclados con cualquier otro componente liberan energía y pueden ser utilizados para la propulsión de los vehículos. Para el caso de los vehículos tradicionales de combustión interna se utiliza un combustible fósil, el cual requiere pasar por varios procedimientos desde la extracción del material hasta que quede su producto final utilizable, mientras que en los vehículos eléctricos la energía requerida para la propulsión es la electricidad y de igual forma tiene sus procesos para la generación, transmisión y distribución de tal modo que esta pueda ser utilizada en electrolíneas o a través de la red eléctrica.

- **Matriz de generación eléctrica**

La matriz de producción eléctrica consiste en una representación cuantitativa de las fuentes primarias y secundarias de energía que oferta el país, ya sea en energía renovable y no renovable. La generación de energía en base a fuentes renovables como la hidráulica, eólica, fotovoltaica, biogas y biomasa representan el 90.33% de producción; seguida de la generación de energía con fuentes no renovables compuestas por un sistema de energías térmicas del motor de combustión interna, turbo gas y turbo vapor que tienen un 8.76% de participación dentro de la matriz de producción eléctrica del Ecuador, según los datos estadísticos del Balance Nacional de energía Eléctrica, emitido por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No renovables (ARC).

1.11.7 FINAL DE VIDA

Es la etapa final de uso de un determinado producto/material, y que para el caso de los vehículos específicamente, comprende a todos los desechos o piezas que bien pueden ser reutilizados o también directamente triturados para ser separados en metales reciclables, pues este debe ser enviado a un centro autorizado de tratamiento, para que se encargue de emitir un certificado de destrucción y se pueda ejecutar un proceso de reciclado adecuado, según con las políticas previstas establecidas por el régimen o ente supervisor.

1.11.8 SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

En la actualidad y basados en la metodología del análisis del ciclo de vida ACV existen numerosos programas para realizar el cálculo y predecir determinados consumos de energía e impactos ambientales. La gran mayoría de dichos programas incluyen bases de datos que pueden variar en su extensión y calidad de los datos, dependiendo si es una versión libre - educativa o pagada, por ello se debe considerar los siguientes criterios para su elección y posterior utilización como herramienta de estudio para el ACV (Vallejo, 2004, pág. 55).

En la Tabla 1.4 se detalla el método de ponderados para evaluar el software y poder hacer la mejor elección en función a ciertos criterios como la base de datos, versión, costo y manejo.

Tabla 1.4 Método de ponderados software ACV

Software	Base de datos	10	Versión	9	Costo	8	Manejo	5	Total
GaBi	7	70	7	63	10	80	8	40	253
LCAit	5	50	4	36	6	48	4	20	154
Open LCA	7	70	6	54	7	56	5	25	205
SimaPro	10	100	9	81	4	32	5	25	238
Umberto	5	50	6	54	6	48	3	15	167
BEES	6	60	5	45	4	32	4	20	157
Athena	5	50	4	36	5	40	6	30	156
LEGEP	6	60	3	27	3	24	4	20	131

A continuación, en la Tabla 1.5 se detallan los criterios que se consideraron para la evaluación y elección del software en el presente trabajo de investigación.

Tabla 1.5 Criterios de selección software ACV

Software	Versión	Disponibilidad	Costo	BBDD	Manejo
GaBi	-Estudiantil -Profesional	Disponible	- Gratuito (1 año vigencia) -No gratuito (Lice.Pagada)	-GaBi Professional -Ecoinvent -ILCD -ELCD -US LCI	Fácil
LCAit	Empresarial	No disponible	No Gratuito	CPM LCA Database	Fácil
Open LCA	- Libre Educativo - Libre Comercial	Disponible	Gratuito	-ELCD -ARVI	Fácil
SimaPro	-Empresarial -Educativo	Disponible	No Gratuito (Lice. Pagadas)	-Ecoinvent -ILCD -Agri-footprint	Fácil
Umberto	Empresarial	Disponible	-No Gratuito	-Umberto library -Ecoinvent -US LCI	Fácil
TEAM	Profesional	No disponible	Gratuito	No tiene una propia, utiliza otras bases de datos	Fácil
BEES	Online	Disponible	Gratuito	US LCI	Fácil
Athena	-Comerciales -Residencial	Disponible	Gratuito	Base de datos propia	Fácil
LEGEP	Profesional	Disponible	No Gratuito	LEGET Database	Fácil

Fuente: (Ruiz, 2016, pág. 96)

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 NORMATIVA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Tomando en cuenta la importancia de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación de los efectos ambientales, se han establecido en el país las normas técnicas ecuatorianas denominadas NTE INEN – ISO 14040 y NTE INEN – ISO 14044, mismas que son traducciones de las normativas internacionales ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. Estas dos normativas detallan los principios y las directrices para efectuar el estudio de ACV de la motocicleta eléctrica dentro del contexto ecuatoriano, iniciando primeramente por la selección y evaluación de las entradas y salidas de los impactos ambientales potenciales que se presentan en sus diversas etapas por las que atraviesa el VE, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

2.1.1 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO

El objetivo de este ACV fue evaluar los impactos ambientales de la batería de alto voltaje de la motocicleta eléctrica Super Soco Tc Max, a fin de determinar el grado de impacto en lo referente a las emisiones contaminantes que traen consigo este tipo de motocicletas dentro del parque automotor ecuatoriano.

2.1.2 ALCANCE

El presente estudio de ACV se enfocó a la batería de alto voltaje de la moto eléctrica en el que se incluyó las etapas de producción-Fabricación, transporte, uso y disposición final como objetos de estudio. La recopilación de los datos para el inventario se la realizó con los datos que proporciona la base de datos de Ecoinvent y adaptados con el peso bruto que tiene la batería, mediante los cuales con el sistema a estudiar se pueden tener una contribución representativa del total de las emisiones en el ciclo de vida de la batería de ion de Litio. Por otro lado, a la etapa de extracción de materiales no se la consideró dentro del presente estudio de ACV debido a los pocos datos tanto en la base de Ecoinvent como en la del software de

los diferentes componentes de la batería de ion-Li. El software computacional que se empleó para este ACV considerando la base de datos, costo, accesibilidad y disponibilidad fue el programa de GaBi 9 en su versión educacional, el cual brinda una base de datos moderada para la realización del estudio del ACV de la batería.

2.1.3 UNIDAD FUNCIONAL

Es importante proporcionar una referencia a partir de la cual las entradas y salidas de un sistema puedan ser normadas en sentido matemático. Para este caso de estudio de ACV, la unidad funcional de referencia fue el km, para poder cuantificar la distancia recorrida durante su vida útil.

En el presente estudio la unidad funcional se define como 1 kilómetro recorrido en condiciones reales de funcionamiento, puesto que dos de las cuatro etapas que se estudiaron son las etapas de uso y de disposición final de la batería de la moto eléctrica en las cuales se puede obtener datos más representativos. El flujo de referencia que se tomó en cuenta es la vida útil de la batería de 64330 km, calculada con el dato de los ciclos de carga dado por el fabricante y con los ensayos realizados en el modo 2 de conducción (ver sección 3.1.1).

2.1.4 LÍMITES DEL SISTEMA

Los límites del sistema que se tomaron en cuenta para la etapa de uso de la batería de ion de litio de la moto eléctrica son los procesos de producción y distribución de la energía eléctrica.

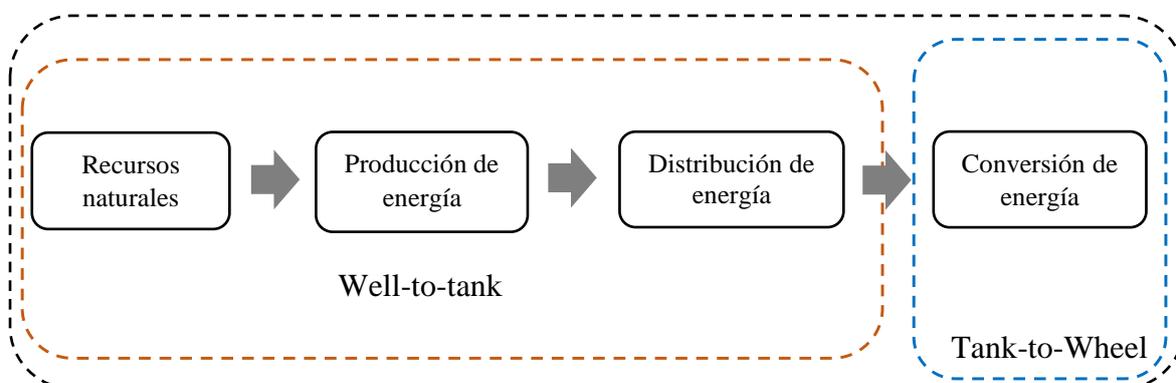


Figura 2.1 Límites del sistema

La Figura 2.1 muestra el proceso de generación de la electricidad considerado desde la etapa de los recursos naturales hasta la distribución de energía well-to-tank (WTT) o del pozo al tanque y la etapa de conversión de energía como el consumo de la energía eléctrica en la conducción tank-to-wheel (TTW) o del tanque a la rueda.

2.1.5 ESPECIFICACIONES DE LA MOTOCICLETA ELÉCTRICA

En la Tabla 2.1 se denotan las características principales con las que cuenta la moto eléctrica de la marca Super soco Tc-Max, cuyos detalles técnicos han sido extraídos de la ficha técnica oficial en la que se detallan el número de chasis, tipo de vehículo, Modelo, Año, etc.

Tabla 2.1 Detalles técnicos de la motocicleta eléctrica

Parámetro	Detalle	Unidad
Modelo	TC EV	-
País de procedencia	CHINA	-
Peso bruto	135	kg
Tipo de vehículo	ELECTRICO-M	
Año	2020	-
N° Chasis	LYSESC007L1000122	-
Longitud	1982	mm
Ancho	740	mm
Altura	1031	mm
Motor eléctrico	-	-
Motor N°	16ZWJ7230410NA0319J1279	-
Tipo	Síncrono AC	
Potencia nominal	3.9	kW
Potencia máxima	5.1	kW
Torque máximo	180	Nm
Velocidad máxima	95	km/h
Inversor	-	-
Voltaje de trabajo	72	V
Límite Actual	80 ± 1	A
Voltaje del acelerador	1.0 – 3.6	V

Fuente: Manual Super Soco

Por otro lado, para la caracterización de la batería de la motocicleta eléctrica, la cual es objeto de estudio del presente análisis de ciclo de vida se ha realizado el desmontaje para su identificación y posterior medición de su peso bruto.

- **Batería**

La batería es la encargada de suministrar la energía necesaria al motor para el correcto funcionamiento de la moto, su tensión pasa primeramente por el inversor el cual transforma el voltaje de corriente continua a alterna.



Figura 2.2 Batería de ion de litio y su peso

En la Figura 2.2 se puede apreciar el diseño e infraestructura de la batería de ion de litio con la que trabaja este tipo de motocicleta eléctrica, además indica el valor total del peso bruto de la batería que es de 22.2 kg. Para su medición del peso se desconectó el conector de alimentación de alto voltaje y se procedió a su desmontaje para la medición respectiva sobre una balanza electrónica.

En la Tabla 2.2 se muestra las características con las que cuenta la batería de la motocicleta eléctrica Super Soco TC Max. Dentro de las cuales es importante mencionar que la autonomía de la batería va a depender del peso del conductor, condiciones del terreno y la temperatura. El manual del fabricante indica que el dato de la autonomía es referencial tomado en pruebas con un peso del conductor de 70 kg con una velocidad promedio de 25 km/h y en un terreno plano.

Tabla 2.2 Características de la batería de alto voltaje de ion - Li

Parámetro	Valor	Unidad
Peso bruto	22.2	kg
Voltaje nominal	72	V
Capacidad nominal	45	Ah
Energía nominal	3.24	kWh
Autonomía	110	km
Vida útil (Ciclos de carga)	500 - 1000	-

Fuente: Manual Super Soco

2.2 INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

Esta fase del inventario del ciclo de vida (ICV) comprende la recopilación y cuantificación de los datos de entrada/salida del sistema en términos de impactos ambientales potenciales. Las entradas están definidas como las materias primas y las fuentes de energía, mientras que las salidas están comprendidas por las emisiones al ambiente, al agua (vertidos), a los suelos (residuos) para cada una de las etapas objetas de estudio.

Para poder elaborar el inventario de ciclo de vida fue necesario seguir un proceso metodológico con el fin de conocer los datos disponibles para el estudio del ACV, como se muestra en el siguiente flujograma.

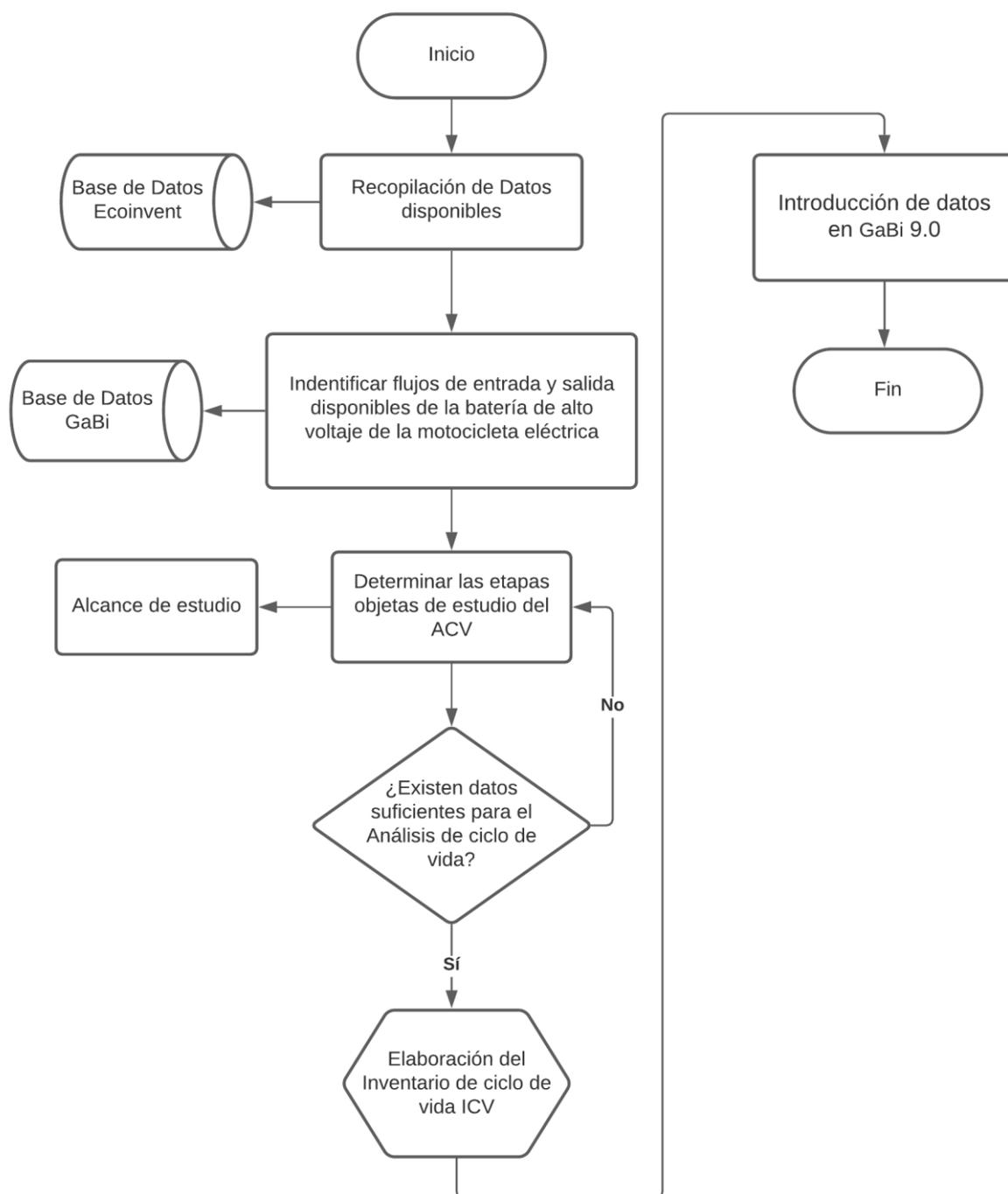


Figura 2.3 Proceso metodológico del desarrollo del ICV

En la Figura 2.3 se puede apreciar un flujograma del proceso metodológico del desarrollo del ICV, el cual detalla los pasos a seguir para la elaboración del Inventario de ciclo de vida relacionado a la batería de alto voltaje, tomando en cuenta los diferentes flujos de entradas y salidas (datos) disponibles para poder realizar el estudio de análisis de ciclo de vida planteado en la presente investigación.

2.2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS DE ENTRADA/SALIDA

La recopilación de datos de entrada y salida para la elaboración del ICV se la realizó en función a la base de datos de Ecoinvent en su versión de visitante que está disponible en la Web. Esta base de datos proporciona una cantidad de flujos representativos para poder realizar el inventario de la batería de alto voltaje de la moto eléctrica.

Name	Amount	Unit	Uncertainty	SD
Reference Products				
+ battery cell, Li-ion	1	kg		
By-product/Waste				
+ used Li-ion battery	0.0525	kg	Lognormal	1.4918
To Environment				
From Environment				
From Technosphere				
+ aluminium, wrought alloy	0.016485	kg	Lognormal	1.2214
+ anode, graphite, for lithium-ion battery	0.4011	kg	Lognormal	1.2214
+ battery separator	0.053655	kg	Lognormal	1.2214
+ cathode, LiMn2O4, for lithium-ion battery	0.32686	kg	Lognormal	1.2214
+ chemical factory, organics	4E-10	unit	Lognormal	3.2649
+ electricity, medium voltage	0.1056	kWh	Lognormal	1.4918
+ ethylene carbonate	0.15957	kg	Lognormal	1.2214
+ extrusion, plastic film	0.07329	kg	Lognormal	1.2214
+ heat, district or industrial, natural gas	0.065234	MJ	Lognormal	1.3269
+ lithium hexafluorophosphate	0.019037	kg	Lognormal	1.2214
+ nitrogen, liquid	0.01	kg	Lognormal	1.3269
+ polyethylene, low density, granulate	0.07329	kg	Lognormal	1.2214
+ sheet rolling, aluminium	0.016485	kg	Lognormal	3.0452

Link to: [Exchanges - Activity Information](#)

Figura 2.4 Datos de la batería ion – Li
(ecoinvent, 2021)

En la Figura 2.4 se pueden apreciar los diferentes datos referentes a la batería de ion de litio con los que cuenta la base de datos Ecoinvent para la elaboración del ICV. En la base de datos (BBDD) casi todos los datos tanto para las entradas y salidas tienen como unidad base el kg, razón por la cual se procedió a multiplicar por el peso bruto de la batería para la introducción de los distintos flujos en el software de GaBi 9.

2.2.2 DATOS DE LA ETAPA DE FABRICACIÓN

En la etapa de fabricación, los datos recopilados fueron de los principales elementos que conforman la batería de alto voltaje de ion-Li tales como: Placa, separador, ánodo, cátodo, litio, etc. en su gran mayoría de origen chino y ciertos materiales de origen global.

- **Proceso de fabricación de la Batería de Ion-Li en GaBi**

Con todos los datos receptados de la base de datos Ecoinvent, se procedió a introducir los diferentes flujos de entrada y salida de cada uno de los elementos en el software. Dentro de este proceso no se tomó en cuenta al transporte de materias primas por la poca información en la base de datos respecto al transporte de cada uno de los componentes.

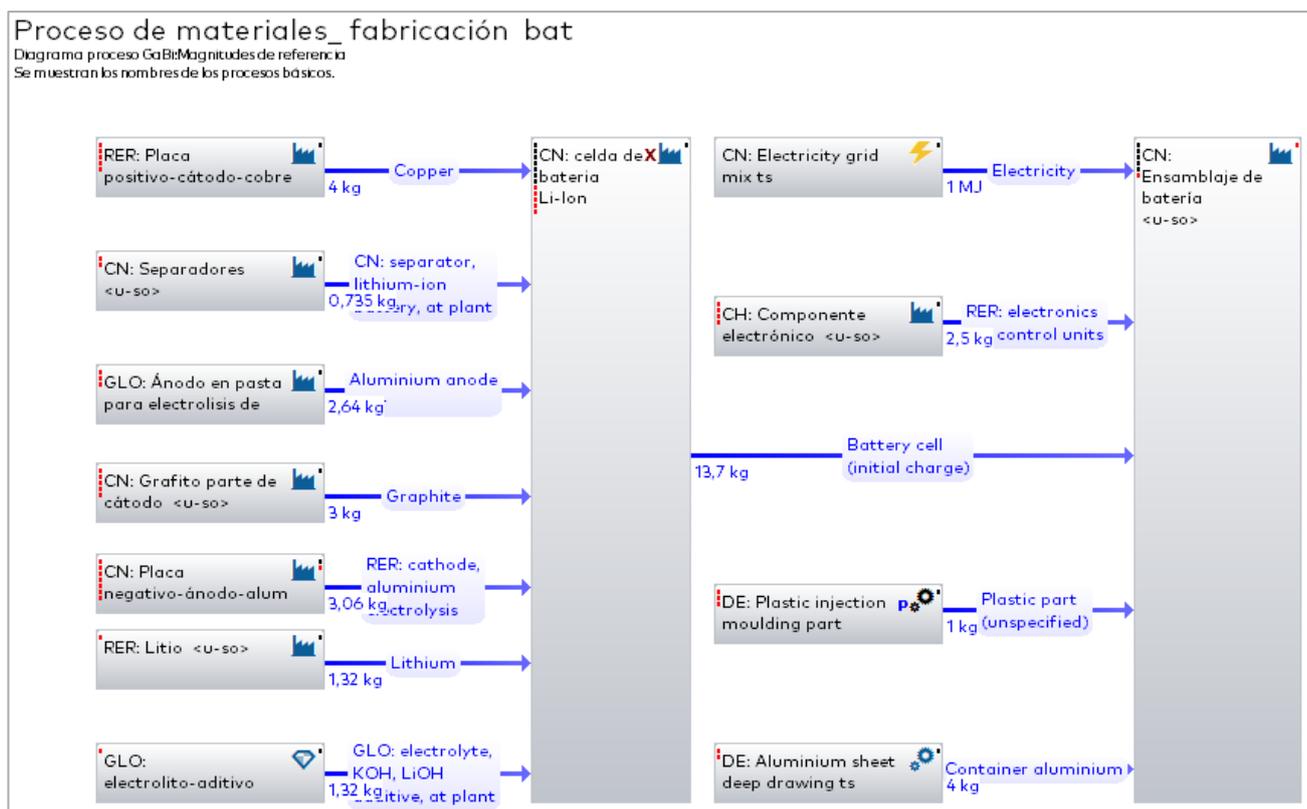


Figura 2.5 Proceso de fabricación batería ion – Li

La Figura 2.5 indica el proceso de fabricación de la batería de ion de litio, en el cual se crearon bloques de producción de cada uno de los elementos que conforman la batería dentro del menú de procesos de producción del software de GaBi, para al final poder introducir todos estos procesos y juntarlos a un solo proceso de los diversos componentes de la batería para el análisis general del ciclo de vida.

2.2.3 DATOS DE LA ETAPA DE TRANSPORTE

Los datos de transporte para el análisis de ciclo de vida se recopilaron en función de los diversos medios de transporte que utiliza la batería de este tipo de motocicletas para ingresar

a nuestro país. En este caso se recopiló los datos referentes al transporte terrestre y fluvial, los mismos que son más utilizados para transportar la batería desde el fabricante hacia el usuario y de igual manera se extrajeron los datos de las fuentes de energía que usan estos medios de transporte para moverse.

- **Proceso de transporte de la Batería de Ion-Li en GaBi**

Una vez juntados todos los datos, se procedió a introducir los diferentes flujos de entrada y salida de cada uno de los medios de transporte.

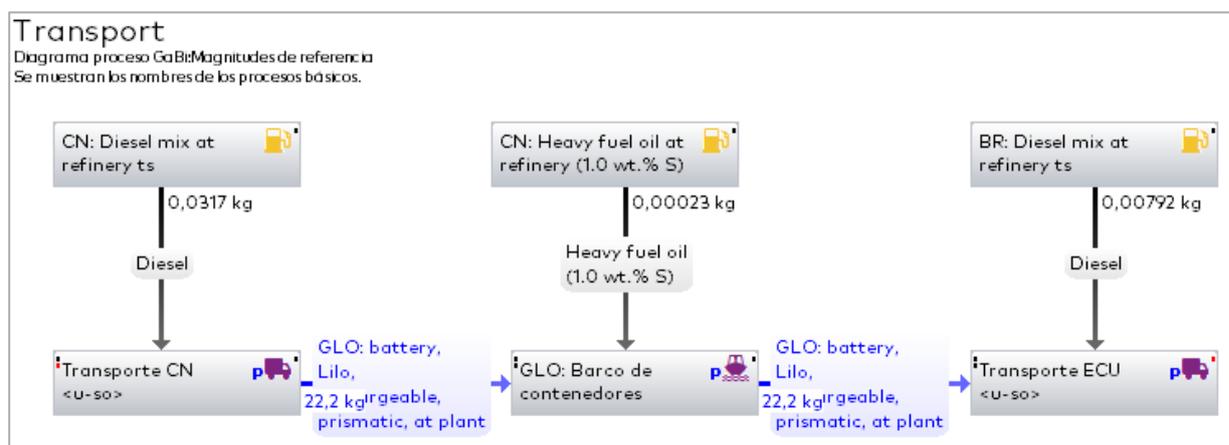


Figura 2.6 Proceso de transporte de la batería ion – Li

En la Figura 2.6 se denota el proceso de transporte que tiene la batería ion – Li, se realizó introduciendo los bloques de los medios de transporte terrestre y fluvial en el software de GaBi 9 en la parte de procesos de transporte para de allí poder importar un solo proceso con todos los bloques creados al proceso general del ACV.

2.2.4 DATOS DE LA ETAPA DE USO DE LA BATERÍA

Dentro de la etapa de uso de la batería de alto voltaje de la motocicleta un factor que se tomó en cuenta como entradas del ICV es la producción de la electricidad, teniendo así que para el caso de la motocicleta eléctrica la producción de electricidad depende del mix energético y de las pérdidas por transmisión eléctrica.

2.2.4.1 Producción de electricidad

Los datos de la producción de electricidad y matriz energética se han extraído del Balance Nacional de Energía Eléctrica que proporciona la Agencia de Regulación y control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARC). El suministro de corriente eléctrica es considerado como la adquisición de corriente por parte del usuario final, por ello forman parte las pérdidas por transmisión, que para el año 2020 las pérdidas eléctricas fueron un total aproximado de 17.62% distribuidas en 12.79% por distribución y 4.83% pérdida por transmisión (ARC, 2020).

Para la generación de electricidad se tomó en consideración como entradas a las fuentes de generación de energía eléctrica tales como: las energías renovables (hidráulica, eólica, fotovoltaica, biomasa, gas) y no renovables (térmicas) con cada uno de sus porcentajes participativos dentro del mix 2020 de la matriz energética y como salidas la energía eléctrica que se consume anualmente como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Valores estadísticos del ICV de electricidad

ENTRADAS		
Flujo	Valor	Unidad
Hidráulica	88.29	%
Eólica	0.26	%
Fotovoltaica	0.12	%
Biomasa	1.50	%
Gas	0.16	%
Termoeléctrica	8.76	%
Pérdidas eléctricas	17.62	%
SALIDAS		
Flujo	Valor	Unidad
Electricidad	976.71	kWh

Fuente: (ARC, 2020)

- **Ingreso de datos de la producción de electricidad del Ecuador en GaBi 9.**

⚡ EC: Electricity mix <u-so> -- Cuadro de proceso

Nombre local: EC: Electricity mix <u-so> Ninguna imagen

Configuraciones locales: LCC

Factor de escala: 3,6 Fijado

Parámetros libres

Parámetros	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desviaci	Comentario, unidad, default
Hydro		88,3			0 %	[10] [%] percentage power from hydro power
Lignite		0			0 %	[02] [%] percentage power from lignite
Natural_gas		0,16			0 %	[05] [%] percentage power from natural gas
Nuclear		0			0 %	[01] [%] percentage power from nuclear power
Output_tota		1			0 %	[24] [MJ] electricity output
Own_consum		0			0 %	[18] [%] power own consumption related to gross generation; for p
Heat		0			0 %	[15] [%] percentage power from heat

Parámetros fijos

Parámetros	Fórmula	Valor	Mínimo	Máximo	Desviaci	Comentario, unidad, default
Biogas_norm	Biogas * Gross_total	0				[33] [MJ] power from biogas
Biomass_s_r	Biomass_solid * Gross_total	1,5				[32] [MJ] power from biomass solid
Coal_gases	Coal_gases * Gross_total	0				[29] [MJ] power from coal gases

Figura 2.7 Mix energético del Ecuador en GaBi 9

En la Figura 2.7 se puede apreciar el porcentaje de fuentes de energías renovables y no renovables con las que cuenta el país introducido en la interfaz de GaBi 9 en función a los valores estadísticos de electricidad indicados en la Tabla 2.3. Con los datos del mix energético del país se pudo realizar el estudio de ACV de la batería, pues esta usa la energía como fuente de alimentación para la propulsión de la motocicleta eléctrica.

- **Electricity grid mix del Ecuador en GaBi 9**

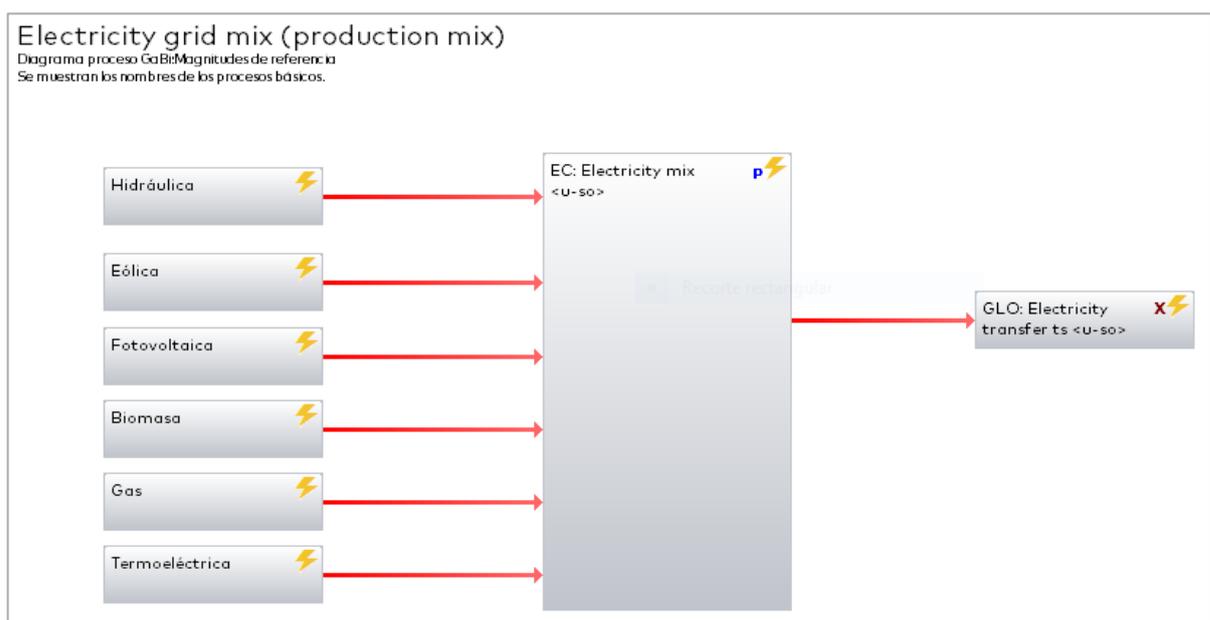


Figura 2.8 Electricity grid mix del Ecuador

En la Figura 2.8 se puede observar el mix eléctrico del Ecuador o Electricity grid mix (production mix) para el año 2020 tomado del balance nacional de energía publicado por la ARC. Para la realización del mix eléctrico se comenzó creando bloques de cada una de las fuentes de energía con los datos referenciales del mix energético de Brasil que proporciona el software, y de allí se procedió a sustituir los datos del mix eléctrico del país.

2.2.4.2 Ensayos de conducción

Los ensayos de conducción en ruta de la motocicleta eléctrica se los llevaron a cabo en condiciones reales de funcionamiento en una sola ruta por la ciudad de Ibarra, en la que se incluyó secciones de conducción tanto en el sector urbano, rural y autopista. Para el sector rural se tomó en cuenta diferentes puntos de atracción dentro de la ciudad por donde más comúnmente se mueven las personas ya sea a pie, en bus o auto.

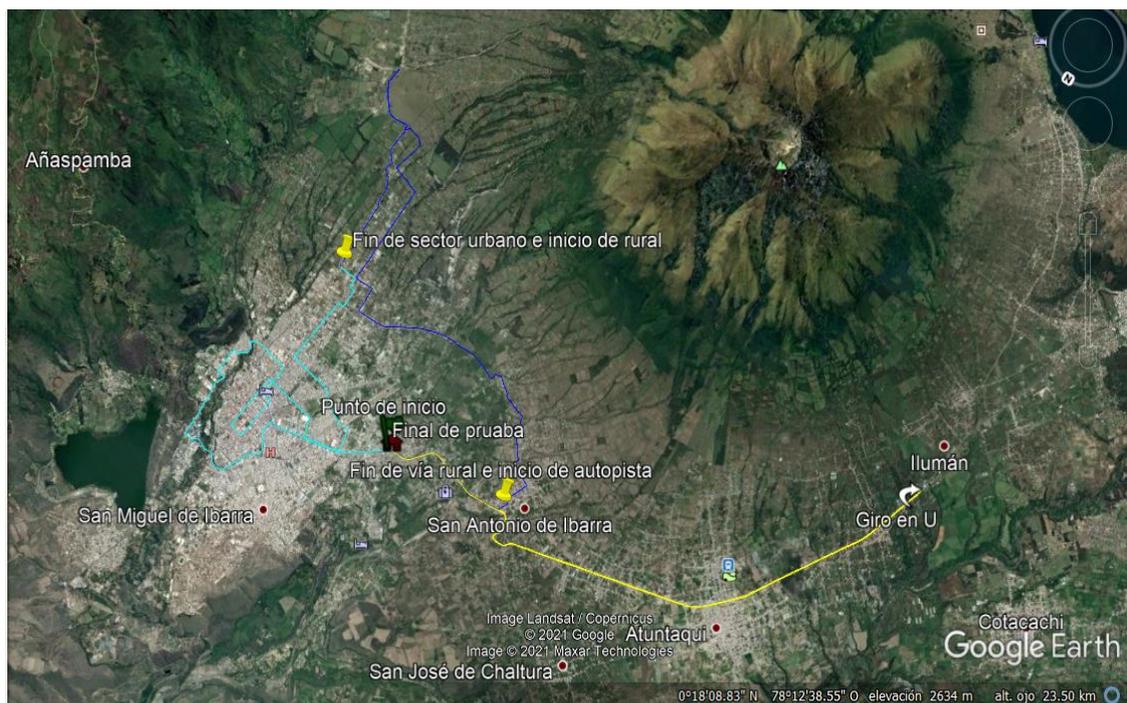


Figura 2.9 Ruta de ensayo

En la Figura 2.9 se puede observar la ruta de ensayo de prueba trazada en Google Earth en la que se denotan por colores las distintas secciones por donde se realizaron las diversas pruebas, teniendo así que el color celeste representa el sector urbano e inicio/fin de prueba dentro de la ciudad, el color azul el sector rural y el amarillo la autopista.

Para el desarrollo de los ensayos de pruebas se debe denotar que el punto de inicio y fin es el mismo lugar en el sector urbano que tiene las siguientes características como se indica en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Datos de la ciudad de ensayo

Provincia	Imbabura
Ciudad	Ibarra
Parroquia	San Francisco
Altitud	2258
Temperatura prom.	18 °C
Coordenadas	Latitud:0.340337 Longitud: -78145595

- **Protocolo de ensayo**

Para realizar los ensayos de prueba en ruta de la motocicleta eléctrica se contó con varios equipos tales como: el GPS Datalogger y el analizador de energía a fin de recopilar datos concisos y exactos durante la conducción.



Figura 2.10 GPS Datalogger

En la Figura 2.10 se observa un GPS Datalogger el cual fue registrando la altura, velocidad y el tiempo de los diferentes tramos de la ruta por la que recorrió la motocicleta.



Figura 2.11 Analizador de energía

En la Figura 2.11 se muestra al analizador de energía utilizado en los ensayos, mismo que se encargó del registro de los diferentes valores de voltaje, corriente y potencia del motor durante la conducción. El analizador en el periodo de carga de la batería midió la cantidad de energía real con la que se provee la batería de la red eléctrica, dato útil para nuestro caso de estudio del análisis de ciclo de vida en la fase de uso.

- **Consideraciones de ensayo**

Las diferentes pruebas de ensayo se las efectuó en el modo de conducción 2 o NORMAL con el que cuenta la motocicleta eléctrica Super soco TC Max, considerando que en este modo se tiene un consumo medio de la batería, ya que si se lo hace con los modos 1 y 3 de conducción se recorren distintas distancias a las establecidas previamente en la ruta. Además, se tomó en cuenta el peso del conductor como se muestra en la Tabla 2.5, no se incluye el peso de ocupantes, pues solo se realizó con una persona abordo que fue el conductor.

Tabla 2.5 Consideraciones de ensayo

Parámetro	Valor	Unidad
Peso del conductor	68	kg
Peso del vehículo en el ensayo	107.22	kg
Modo de manejo	2	-

- **Desarrollo de ensayos en ruta**

Para el desarrollo de los ensayos en la ruta se consideró las condiciones climáticas, pues al tratar con un equipo de elevado costo como el analizador de energía se tuvo que prevenir de cualquier inconveniente que se pueda presentar en la ruta. Como parte complementaria se incorporó una cámara GoPro en el manubrio, que se encargó de grabar la velocidad, el porcentaje de carga del tablero con la que se desarrollaron cada uno de los ensayos.

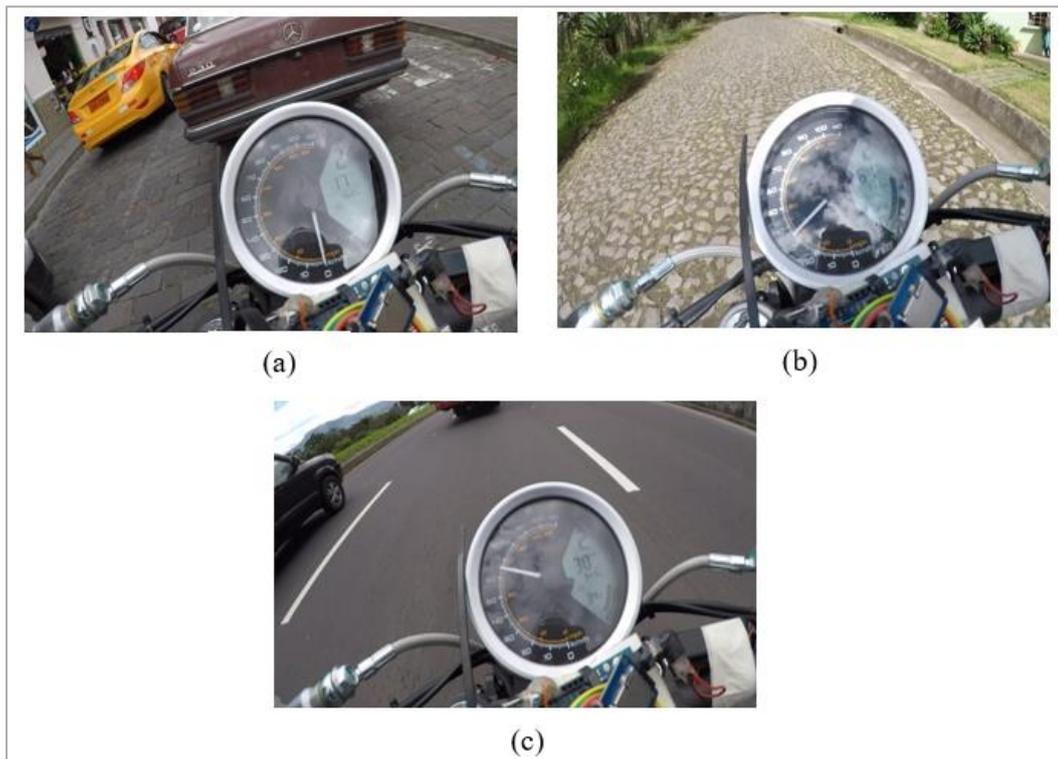


Figura 2.12 Pruebas de la motocicleta en ruta
(a) Sector Urbano (b) Sector Rural (c) Autopista

En la Figura 2.12 se muestra a la motocicleta eléctrica en funcionamiento por la ruta de ensayo establecida que involucra el sector urbano, rural y autopista. Para una mejor recolección de datos estas pruebas se las realizaron por varios días en la cual se pudo determinar la autonomía que tiene la batería en kilómetros recorridos, pues se empezó las pruebas con el 100% de carga de la batería y se concluyó con el 0% hasta donde se detenga por si sola la moto en cada uno de los días realizados. Dentro de los diferentes sectores de la ruta fueron evidentes observar cambios en la conducción, pues se pudo observar que hubo zonas rectas, pendientes y descensos en donde la motocicleta no realizó mayor esfuerzo en la conducción indistintamente de la altura.

La Tabla 2.6 indica los valores obtenidos en la ruta, y evaluados con la norma europea para el análisis de las emisiones reales de conducción y la energía.

Tabla 2.6 Características de la ruta de ensayo en función de la norma (EU) 2018/1832

Parámetro de ruta		Requisitos en la regulación STD	Requisitos Obtenidos de la ruta	Cumple (Si/No)
Duración total de la ruta		Entre 90-120 min	101 min (1h41min)	Si
Distancia	Urbano		18 km	Si
	Rural	>16 km	18 km	Si
	Autopista		20 km	Si
Composición de la ruta	Urbano	29-44 % de distancia	32.14 % de distancia	Si
	Rural	23-43% de distancia	32.14 % de distancia	Si
	Autopista	23-43 % de distancia	35.71 % de distancia	Si
Velocidades promedios	Urbano	15-40km/h	22.97km/h	Si
	Rural	Entre 60-90 km/h	31.76 km/h	No
	Autopista	<90 km/h	60 km/h	Si
Carga útil		<90 % del peso máximo del vehículo	68 kg	Si
Altitud	Moderada	0-700m	2245 m	No
	Extendida	Entre 700-1300 m	2196 - 2664 m	No
	Diferencia	No más de 100 m de diferencia de altitud	468 m	No
	Ganancia acumulada	1200 m por 100 km	760 m por 100 km	No
Temperatura ambiente	Moderada	0°C -30°C	16 °C	Si
	Extendida	-7°-0°C y 30-35°C	-	-
Porcentaje de parada		Entre 6-30% del tiempo urbano	5 - 8min 15%	Si
Máxima velocidad		145 km/h (160 km / h para el 3% del tiempo de conducción en autopista)	80 km/h	No
Uso de sistemas auxiliares		De uso gratuito como en la vida real (operación no registrada)	Foco se mantiene encendido y consume 0.8 W	-

2.2.5 DATOS DE LA ETAPA DE DISPOSICIÓN FINAL

Los datos de disposición final fueron recopilados con la finalidad de esclarecer el fin de vida de cada uno de los materiales primordiales que conforman la batería, pues de allí parte la segunda parte de este proyecto de investigación que es la propuesta de reutilización de la batería que implementa la motocicleta eléctrica Super socio TC Max.

- **Proceso de disposición final de la Batería de Ion-Li en GaBi**

Para la elaboración del proceso de disposición final o de fin de vida de la batería de ion-Li se tomaron los datos disponibles en la base de datos de Ecoinvent referentes a los materiales de aluminio, plástico y partes electrónicas, sumado al peso de la batería, al mercado y almacenamiento.

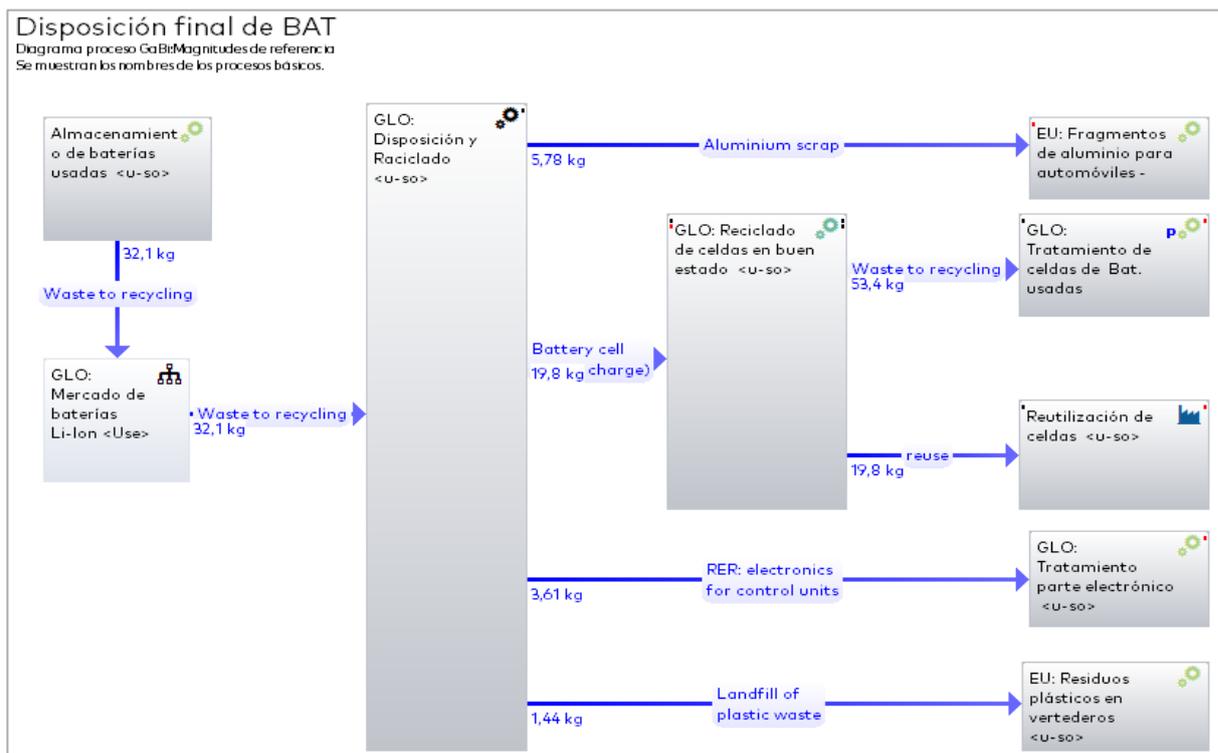


Figura 2.13 Proceso de disposición final de la batería ion – Li

En la Figura 2.13 se aprecia el proceso de disposición final de la batería, el cual se desarrolló insertando diferentes bloques de los ítems que forman parte de esta etapa del análisis de ciclo de vida dentro del programa de GaBi 9 en la parte de procesos de disposición final para posteriormente unirlos y hacerlos un solo para el análisis general del ACV de la batería de ion - Li de la motocicleta eléctrica.

2.2.6 PROCESO GENERAL DEL ACV DE LA BATERÍA

El proceso general del ACV de la batería reúne todas las etapas objetas de estudio del presente proyecto como son las etapas de fabricación, transporte, uso y disposición final.

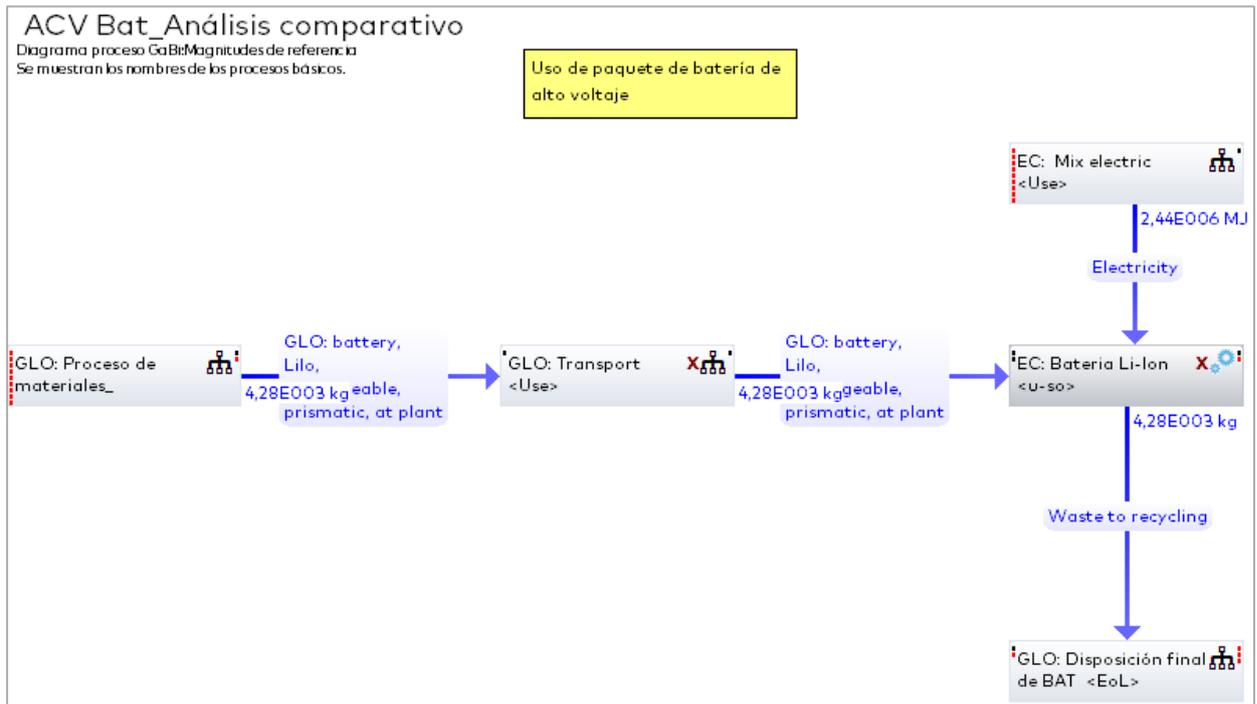


Figura 2.14 Proceso general del ACV de batería ion – Li

En la Figura 2.14 se denota el proceso general del ACV de la batería de ion de litio, se hizo uso de un nuevo proyecto en el cual se insertó un plan con los diversos procesos creados anteriormente en el software de cada una de las etapas objetas de estudio interrelacionadas de una manera jerárquica según el ciclo de vida de la batería.

2.3 PRUEBA PARA EL ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA BATERÍA

La batería de alto voltaje en la moto a medida que va pasando el tiempo de uso o bien de funcionamiento, sus celdas se degradan unas más que otras, conllevando a que las baterías sean sustituidas del VE. Para el análisis del estado de la batería se calculó el estado de salud y de carga del paquete de batería del VE. Se realizó la medición del voltaje nominal directo de los terminales de la batería y de sus celdas para así garantizar de una u otra manera que se encuentren aptas para volver a ser reutilizadas en nuevas aplicaciones.

2.3.1 ESTADO DE CARGA Y DE SALUD DEL PAQUETE DE BATERÍA

El estado de carga y de salud son parámetros de funcionamiento de la batería que se deben considerar para poder determinar el estado real de la batería con el paso del tiempo y así poder establecer las aplicaciones factibles de reutilización, pues el paquete con el que cuenta la moto eléctrica es de ion de litio de un elevado voltaje.

- **Estado de carga SOC**

El SOC es un parámetro que permite conocer el tiempo de autonomía y el estado de cada una de las celdas. El SOC del paquete de la batería de alto voltaje que utiliza este tipo de motocicleta eléctrica se calculó con la ecuación 2.1 y con el dato de la capacidad de la batería de 45 Ah.

$$\text{SOC (\%)} = \frac{\text{Capacidad de carga}}{\text{Capacidad batería}} \times 100 \quad [2.1]$$

- **Estado de salud SOH**

El SOH es un indicador referente al estado de envejecimiento o falla que tiene una batería. Es la relación entre la electricidad medida durante un ciclo de descarga y la capacidad nominal o capacidad máxima durante toda la vida de una batería (Chuquimarca & Suin, 2017, pág. 6). El SOH del paquete de batería se calculó con la ecuación 2.2.

$$\text{SOH (\%)} = \frac{C_{\text{máx}}}{C_{\text{inicial}}} \times 100 \quad [2.2]$$

Donde:

$C_{\text{máx}}$ = Capacidad máxima

C_{inicial} = Capacidad inicial

2.3.2 MEDICIÓN DEL VOLTAJE NOMINAL DEL PAQUETE DE BATERÍA

La medición del voltaje nominal del paquete de batería se la efectuó en tres condiciones en función al porcentaje de carga que muestra el tablero de instrumentos de la moto; la primera con el 0% de carga (descargada totalmente), la segunda con 50% (media carga) y la última al 100 % de su capacidad de carga de la batería a fin de conocer el rango de variedad del valor de voltaje en cada una de las condiciones con la toma de 5 medidas, obteniendo como resultado un voltaje nominal promedio en cada condición de carga del tablero de instrumentos.

Los valores de voltaje medidos en los diferentes estados de carga del tablero son los que se muestran en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Voltajes promedios a diferentes estados de carga del tablero

Estado de carga del tablero [%]	Voltaje nominal Final Promedio [V]
0	68.7
50	73.6
100	82.4

2.3.3 REUTILIZACIÓN DE LA BATERÍA DE ALTO VOLTAJE

La propuesta de reutilización de la batería se la realizó en base al siguiente flujograma propuesto, en este se detallan ciertas actividades de orden jerárquico para poder llevar a cabo la propuesta de reutilización.

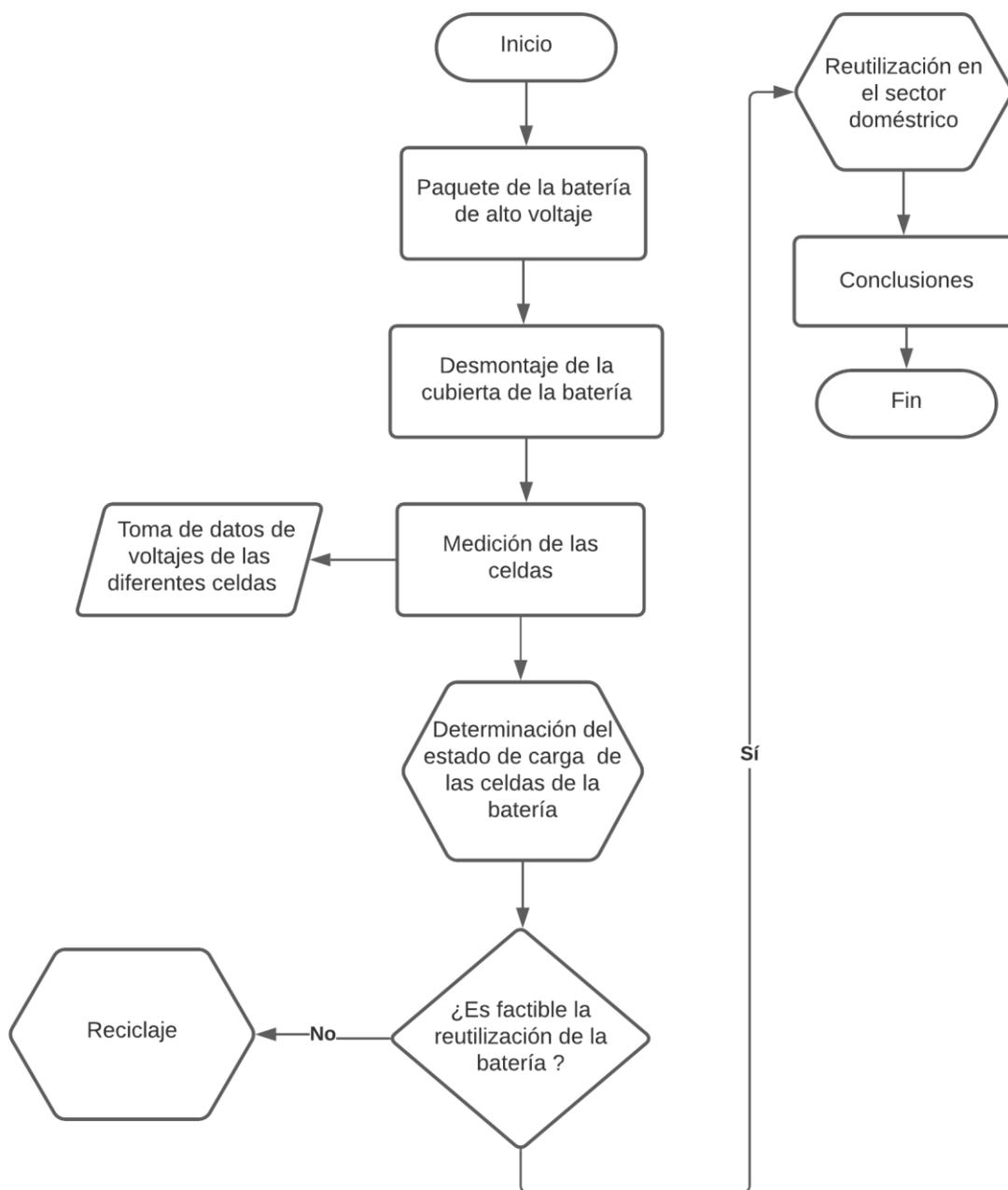


Figura 2.15 Flujograma propuesta de reutilización de la batería

En la Figura 2.15 se puede observar el proceso que se ha considerado para la reutilización de este tipo de baterías y en el que además es importante estimar el valor de voltaje nominal al cual puede descender con el pasar del tiempo cuando esta haya cumplido con sus ciclos de carga respectivos, pues se tiene que con la batería en perfectas condiciones y sin un mayor desgaste existe un voltaje nominal promedio de 82.4 V, pero considerando que con el pasar de los años al final de su ciclo de vida en la motocicleta eléctrica, esta puede terminar con valores promedios a los que se indica en el Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Valores de la batería ion-Li

Descripción	Valor [V]	SOC [%]	SOH [%]	Capacidad [kWh]
Estado de carga al 100%	82.4	93.4	90	3.46
Estado de carga al 80%	65.92	74.72	72	2.76
Estado de carga al 70 %	57.68	65.38	63	2.42

De acuerdo con los valores de la Tabla 2.8 del estado de carga del 80-70% a los que pueden descender la batería al término de su vida útil, puede decirse que el paquete de batería sirve para reutilizarla en otras aplicaciones y que puede ser enfocada fácilmente al sector doméstico el cual es objeto de estudio de la presente investigación, pues considerando que aún le resta un alto voltaje como de capacidad que pueden ser aprovechados en el sector doméstico. Se debe considerar que para la propulsión de la motocicleta eléctrica ya no es factible con el voltaje y capacidad con el que termina en el SOC 80-70%.

2.3.3.1 Determinación del estado carga del paquete de batería

Dentro de la reutilización de la batería es muy importante medir el voltaje de sus celdas para determinar el estado de carga y el desgaste de cada una ellas al final de su vida útil dentro de la motocicleta eléctrica. Para ello se procedió a retirar la cubierta externa que cubre la batería para así tener acceso a la parte interna, en donde se localizan las celdas y la gestión electrónica de la batería.

**Figura 2.16** Estructura interna de la batería ion-Li

Este tipo de batería cuenta con un total de 20 celdas conectadas en serie como se muestra en la Figura 2.16, en conjunto son las encargadas de proveer energía al motor para el funcionamiento de la motocicleta eléctrica.

2.3.3.2 Medición del voltaje de las celdas

La medición del voltaje de las celdas se la realizó con la batería cargada totalmente al 100% y con la carcasa que cubre al paquete descubierto para la medición del voltaje de las celdas. Considerando que la moto es nueva y no tiene mucho recorrido con el pasar del tiempo se debería realizar el mismo procedimiento y constatar de una manera más clara el desgaste de las celdas de la batería.



Figura 2.17 Voltaje de la celda con 100% de carga

En la Figura 2.17 se puede apreciar el valor del voltaje medido en cada una de las celdas de la batería en el multímetro de 3.6 V.

2.3.4 ALTERNATIVA PARA REUTILIZACIÓN DE LA BATERÍA DE ALTO VOLTAJE

La alternativa de reutilización que se planteó para la segunda vida de la batería de la motocicleta eléctrica se la propuso en función del estado de las celdas de la batería cuando estas lleguen a su fin de vida en la moto entre el 70 – 80 % de su estado de carga (4 a 5 años

de vida útil), pues de un total de 20 celdas que dispone este tipo de batería al término de su vida útil pueden dañarse unas tantas como ninguna por lo que servirían para la reutilización en otras aplicaciones. La alternativa de reutilización que se propone como segunda vida de la batería del VE es: *Reutilización de la batería de alto voltaje de ion-Li para proveer de energía a hogares del sector rural en comunidades alejadas.*

2.3.4.1 Estado de carga de las celdas del 70 - 80 % para reutilización - Uso doméstico del sector rural

Para la reutilización es importante considerar que las celdas que estén dentro del rango del 70 – 80% de carga pueden servir para la reutilización, pues si en una batería todas sus celdas están por el rango todas servirían o bien si están unas en buen estado y otras no se pueden separar las celdas que estén con dicho porcentaje de las que tengan un porcentaje inferior al indicado para poder darles una segunda vida dentro del sector doméstico.

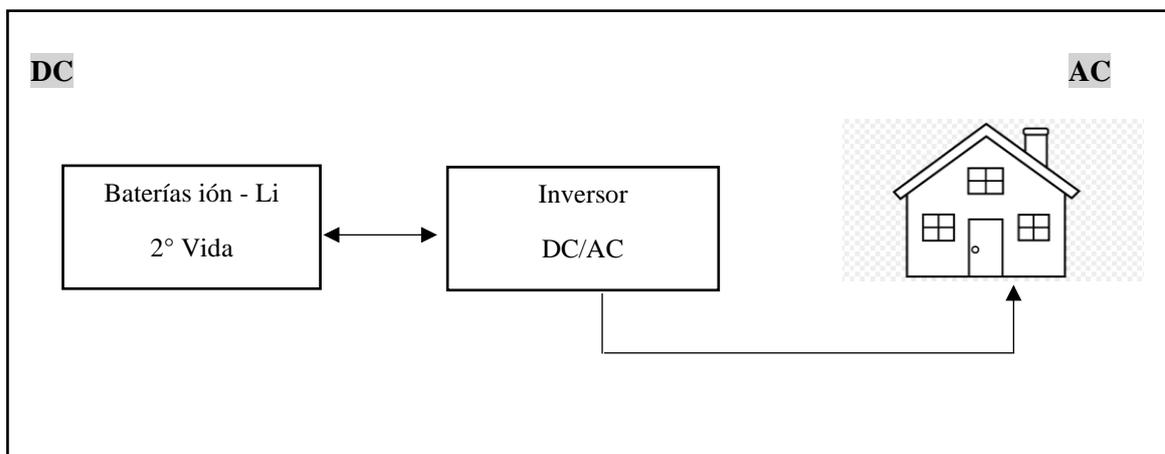


Figura 2.18 Esquema de reutilización de la batería ion-Li

Para tener un mejor funcionamiento se debe contar con varios paquetes de baterías dependiendo de la potencia instalada en el hogar y los requisitos energéticos, ya que, si solo se cuenta con un paquete de batería, esta no sería suficiente para poder abastecer de energía al hogar. Además, estas deben ser conectadas a un inversor que se encargue de convertir la corriente continua de la batería a corriente alterna del hogar como se muestra en la Figura 2.18.

La alternativa de segunda vida de la batería de ion de litio que se plantea está enfocada en una instalación de un sistema de almacenamiento de energía de emergencia capaz de abastecer de energía a un hogar del sector rural durante 2 días, en los momentos que se producen los cortes de energía por la inestabilidad de la red eléctrica con la que cuentan, siendo más propensos los cortes de energía en la temporada de invierno o a su vez también por condiciones climáticas (vientos fuertes) que provocan desprendimientos de partes de árboles que llegan hasta los cables de la red eléctrica provocando cortocircuitos y cortes de energía. Además, es importante mencionar el tiempo de arreglo o reparación, pues se estima que en estos sectores alejados muchas de las reparaciones pueden demorar.

- **Estudio de consumo de un hogar promedio - Sector rural**

En la Tabla 2.9 se puede observar el consumo mensual estimado que tienen los aparatos electrónicos básicos con los que cuenta un hogar del sector rural.

Tabla 2.9 Consumo mensual aproximado de una casa en el sector rural

Electrodoméstico	P. media [W]	Tiempo de uso día (Períodos comunes)	Tiempo de uso al mes [h]	Total. Consumo [kWh/mes]
Radio grabadora	40	1 hrs/diaria	30	1.2
Focos led 9w c/u	18	3 hrs/diaria	90	1.62
Nevera Ejecutiva 5-8 pies cúbicos	132	8 hrs/día	240	31.68
Laptop	65	2 hrs. diaria	60	3.9
Disp. telefónico 15W c/u	30	1 h. diaria	30	0.9
Tv color 13-17"	50	1 hrs. diaria	30	1.5

2.3.4.2 Estado de carga de las celdas del < 70 % para desecho

Al término de la vida útil de la batería de alto voltaje, las celdas que estén por debajo del 70% se destinarían al reciclaje o bien para la extracción de algunos materiales como materia prima para construir nuevas celdas.

Los principales materiales que se extraen al momento de reciclar las celdas de baterías ion de litio son: Níquel, cobalto y litio, estos elementos son los más costosos en comparación con el resto de los materiales que conforman la celda durante el proceso de extracción y producción de materias primas. Igualmente, todos juntos tienen un nivel alto de degradación al ambiente pues emiten una alta contaminación, por lo que se hace necesario el reciclado de estos materiales para la construcción de nuevas baterías.

El proceso de reciclaje para las baterías más utilizado en la industria es el proceso hidrometalúrgico, mismo que es un proceso factible la aplicación del reciclado ya que emite menos contaminación al medio ambiente al momento de reciclaje de materiales de las baterías y siendo menos nocivo para la salud de las personas que realizan dicho proceso.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos en los ensayos de pruebas realizados en la motocicleta eléctrica mismos que para unos casos se realizaron las comprobaciones de los valores teóricos que muestra el fabricante con lo real o lo medido en los ensayos, pues en determinados casos los valores facilitados por el fabricante son de tipo referencial. Así mismo, se presentan las dos últimas fases del análisis de ciclo de vida de la batería de alto voltaje que es la fase de evaluación del impacto (EICV) y la de interpretación de resultados, en esta última se toma en cuenta y se discute tanto los resultados del análisis de inventario ICV como los de la EICV. Dependiendo del caso, se puede tomar los resultados de las dos partes y determinar una base para las conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones. Todos los resultados de la fase de interpretación se muestran de una manera más detallada en una tabla en la que se especifica la ponderación de contaminación en los diferentes impactos.

3.1 PRUEBAS DE AUTONOMÍA DE LA BATERÍA DE LA MOTO

Las pruebas efectuadas para determinar la autonomía de la batería se las llevaron a cabo en cuatro ensayos por la misma ruta definida en el anterior capítulo de los cuales se los tomo a dos ensayos como valederos para la toma de resultados, en los que también sirvieron para determinar el consumo de energía por cada kilómetro recorrido tomado con el analizador de energía. Todos los ensayos realizados se iniciaron con el 100% de carga de la batería y se finalizaron con el 0% de carga. Al término de cada prueba de ensayo se procedió a tomar el consumo de la energía real proveniente de la red eléctrica durante su periodo de carga que fue de alrededor de 9 horas para así poder realizar los subsiguientes ensayos respectivos.

En la Tabla 3.1. se detallan los valores de autonomía obtenidos en los ensayos realizados en la ciudad de Ibarra en distintas secciones de conducción del sector urbano, rural y autopista.

Tabla 3.1 Valores de autonomía y capacidad de la motocicleta eléctrica

Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2
Capacidad Batería Teórica [kWh]	3.24	3.24
Capacidad Batería Real 0 - 100% de carga [kWh]	3.46	3.43
Capacidad Batería Real 15 - 100% de carga [kWh]	2.94	2.76
Consumo de energía [Wh/km]	46.5	45.3
Autonomía – Recorrido [km]	74.4	75.7
Desviación estándar STD [m]	11327.95	11132.36
Tiempo	02h:40m:13s	02h:43m:45s
Velocidad promedio [km/h]	27.86	27.73

En la primera prueba de ensayo realizada, se transitó por la ruta previamente establecida en el modo 2 de conducción de la moto con la batería totalmente cargada hasta su descarga completa y se recorrió un total de 74.4 km, logrando cubrir una ruta completa (área urbana, rural y autopista) más una segunda vez del área urbana en un tiempo de 02h:40m:13s, en la que se obtuvo una velocidad promedio de 27.86 km/h. En el ensayo 1 se obtuvo como resultado una capacidad de la batería real de la red eléctrica de 3.46 kWh medidos durante la carga de la batería del 0 - 100% y una capacidad real de 2.94 kWh considerada desde el 15 - 100% de carga. El consumo de energía fue de alrededor de 46.5 Wh/km.

La segunda prueba de ensayo se efectuó del mismo modo que la primera en la que se obtuvo como resultado un recorrido total de 75.7 km en un tiempo de 02h:43m:45s, avanzando 1.3 km más y un par de minutos más a comparación del ensayo 1. La velocidad promedio obtenida en la prueba de ensayo fue de 27.73 km/h. En el ensayo 2 la capacidad de la batería medida durante el periodo de carga fue de 3.43 kWh, considerada desde el 0 - 100% de carga de la batería, mientras que del 15 - 100 % se obtuvo como resultado una capacidad real de 2.76 kWh. El consumo de energía de la batería por los kilómetros recorridos dio como resultado un total de 45.3 Wh/km.

Es importante mencionar que en los ensayos de prueba realizados se denoto claramente que la autonomía de la batería o el total de kilómetros recorridos alcanzados de la motocicleta eléctrica en la ruta se ve afectado por ciertos factores, pero el que más influye directamente es el tráfico que existe en la ciudad en determinadas horas u horas pico, pues allí tomo un par de minutos más para cumplir con la ruta. El ensayo donde se logró recorrer un poco más

de distancia fue en el ensayo 2, mismo que se realizó en horas de la mañana donde se pudo observar que no existía mucha afluencia de vehículos automotores por la ciudad y en tanto que el ensayo donde se presentó afluencia del tráfico fue el ensayo 1.

3.1.1 VIDA ÚTIL DE LA BATERÍA DE ION-LITIO

La vida útil de la batería de ion-Li de la moto eléctrica se la calculo en función a los ciclos de carga dados en el manual por el fabricante y con los ensayos realizados en condiciones reales de funcionamiento en el modo 2 de conducción como se muestra en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Vida útil de batería ion - Li en km

Descripción	Valor
Autonomía 100% - 0% de carga de la batería [km]	75.7
Ciclos de carga [ciclos]	1000
Autonomía 100 - 15% de carga de la batería[km]	64.33
Vida útil de la Batería ion- Li [km]	64330

En los ensayos realizados por la ruta establecida la autonomía o distancia recorrida aproximada de la motocicleta eléctrica fue de 75.7 km con el 100% de carga de la batería hasta la descarga del 0%, por lo cual en la presente investigación se consideró la autonomía que tuvo la moto desde el 100% - 15% de carga para poder determinar la vida útil de la batería en km, ya que el 15% es un porcentaje prudente para poder volver a recargar y para mantener el SOH de la batería, pues el manual indica que se deben evitar las descargas profundas que pueden acabar con la vida útil. Además, en los ensayos realizados se constató que al llegar la moto al 20% de carga, esta empezó a dar señales de advertencia que la carga de la batería es mínima dando unos destellos de luz en el testigo de la batería en el tablero.

La autonomía promedio de la moto con el 100% - 15% de carga de la batería en los ensayos realizados por la ruta establecida fue de 64.3 km y con el dato de los ciclos de carga proporcionado por el fabricante de 1000 ciclos se procedió a calcular la vida útil optimista de la batería en kilómetros, multiplicando los ciclos de carga por la autonomía, obteniendo como resultado una vida útil de la batería de 64330 km, cabe recalcar que este valor es estimado para el modo 2 o normal de conducción en el cual fue evaluado.

3.2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO (EICV)

El objeto de la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) es analizar, interpretar y evaluar los impactos generados en cada una de las cargas ambientales identificadas en el inventario de ciclo de vida de la batería de alto voltaje.

3.2.1 IMPACTOS BATERÍA ION - LITIO MOTOCICLETA ELÉCTRICA SUPER SOCO TC-MAX

La metodología elegida en el programa de GaBi 9 para una mejor interpretación de los resultados fue la de ReCiPe 2016 v.1.1 que brinda una cantidad de 18 categorías de impactos de punto intermedio (midpoint) de los cuales se consideraron 12 como los más importantes para tratar dentro de la presente investigación de ACV de la batería de ion de litio para una unidad funcional de 64330 km en las etapas de fabricación, transporte, uso y disposición final.

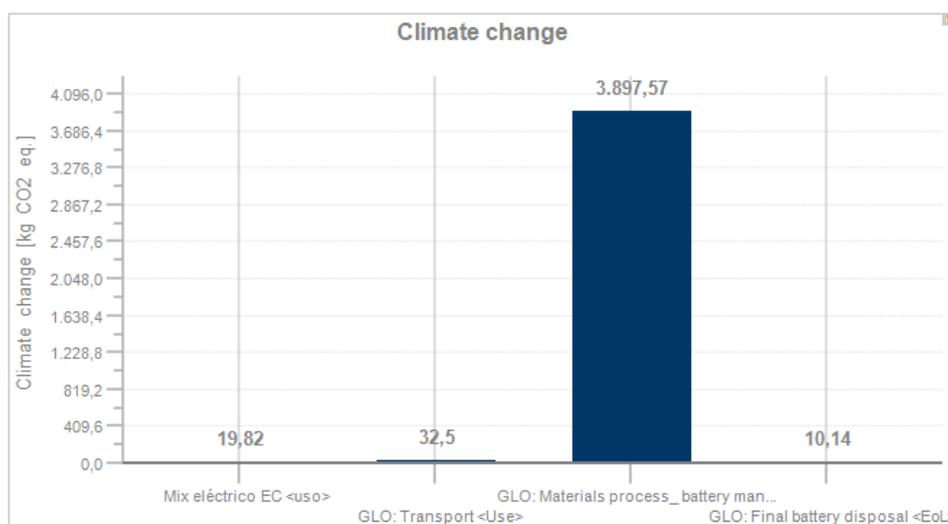


Figura 3.1 Impactos Batería ion litio – Cambio climático

La Figura 3.1 indica las cargas que se generan en el impacto del cambio climático del ACV de la batería de ion de litio, en la cual la etapa de proceso de materiales es en la que se generan mayores cargas respecto a las etapas de transporte, uso y disposición final que tienen un nivel bajo de generación de cargas al ambiente.

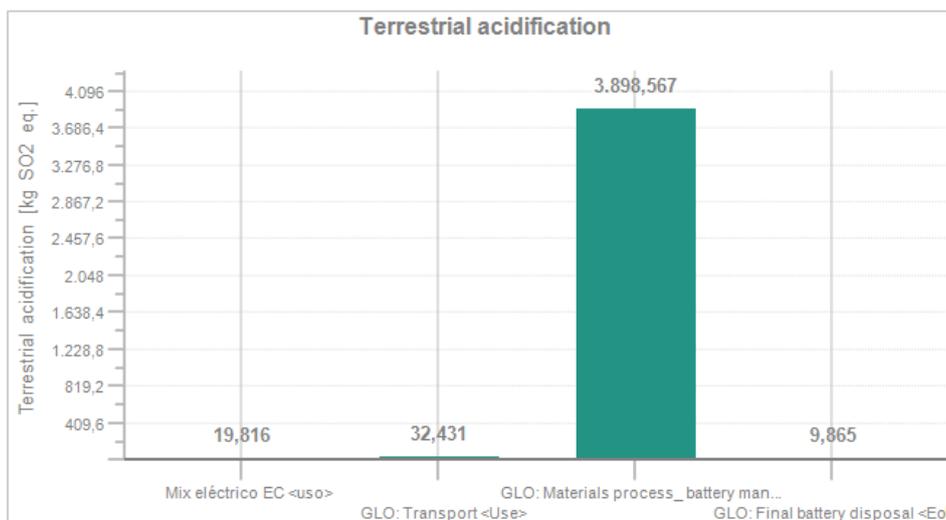


Figura 3.2 Impactos Batería ion litio – Acidificación terrestre

La Figura 3.2 ilustra el impacto de la acidificación terrestre de la batería de ion de litio, la cual tiene a la etapa de proceso de materiales en la que se produce una mayor cantidad de cargas ambientales a comparación del resto de etapas del ACV de la batería que tienen un nivel inferior.

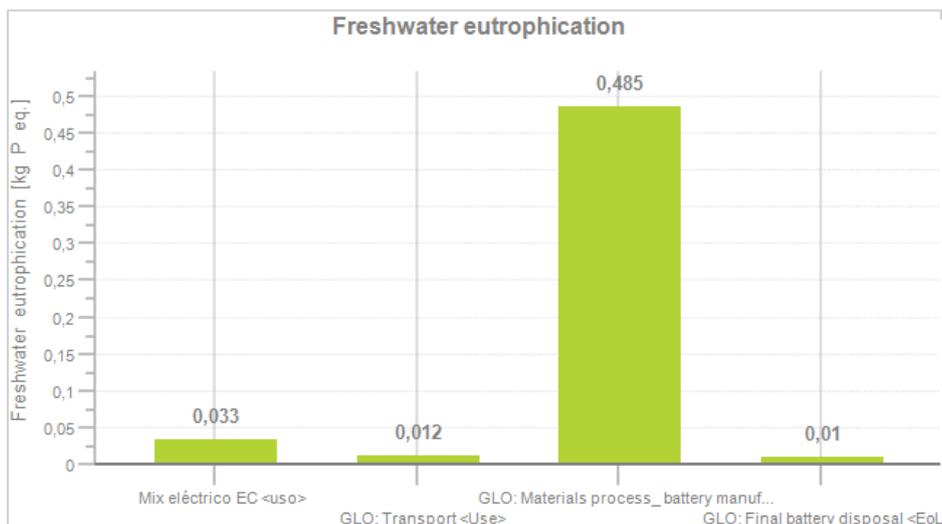


Figura 3.3 Impactos Batería ion litio – Eutrofización de agua dulce

En la Figura 3.3 se puede apreciar que para el impacto de la eutrofización de agua dulce existe un nivel elevado de cargas ambientales en la etapa de proceso de materiales a diferencia de las etapas del transporte, uso y disposición final que tiene un nivel bajo.

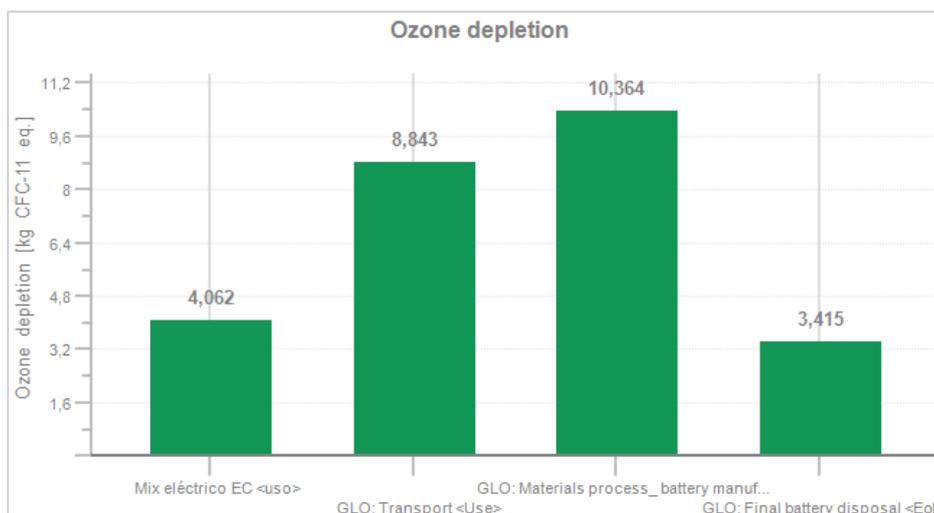


Figura 3.4 Impactos Batería ion litio – Agotamiento de la capa de ozono

La Figura 3.4 muestra las cargas que se generan en el impacto del agotamiento de la capa de ozono del ACV de la batería de ion de litio y se puede denotar que existe un porcentaje mayor de cargas en la etapa de procesamiento de materiales, seguido de la etapa de transporte y con un nivel intermedio a las etapas de uso y disposición final.

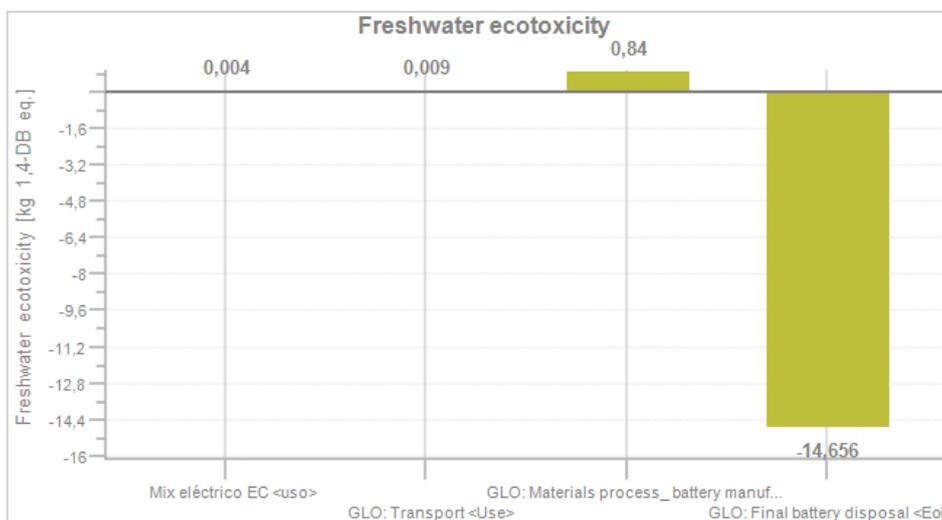


Figura 3.5 Impactos Batería ion litio – Ecotoxicidad de agua dulce

En la Figura 3.5 se puede ver que existe un porcentaje de cargas ambientales superior para la etapa de procesamiento de materiales a diferencia de la etapa de disposición final que tiene un valor de cargas ambientales al medio negativo dentro del impacto de la ecotoxicidad del agua dulce.

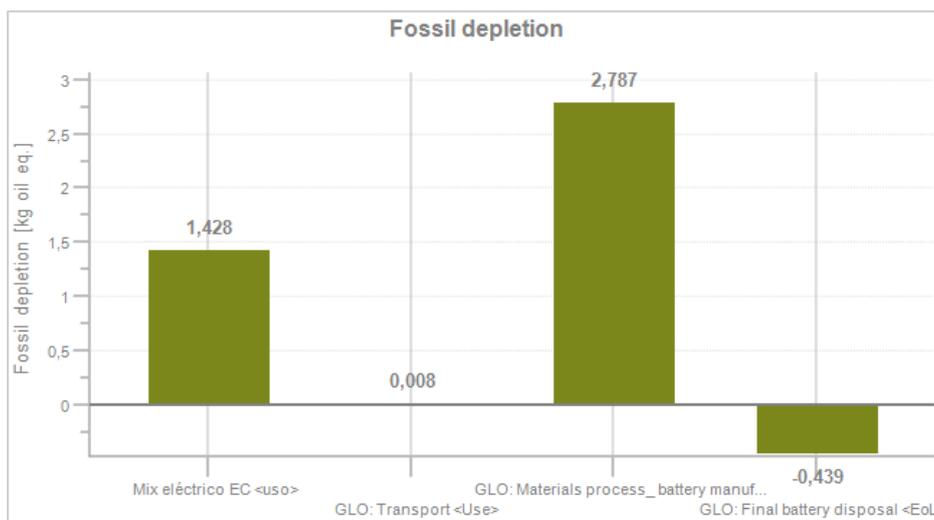


Figura 3.6 Impactos Batería ion litio – Agotamiento de recursos fósiles

La Figura 3.6 muestra la gráfica de la ponderación de las cargas que se generan en el impacto de agotamiento de recursos fósiles, la cual tiene a la etapa de procesamiento de materiales con un nivel elevado, seguido de la etapa de uso y con un nivel inferior a la etapa de disposición final que tiene sus cargas ambientales negativas.

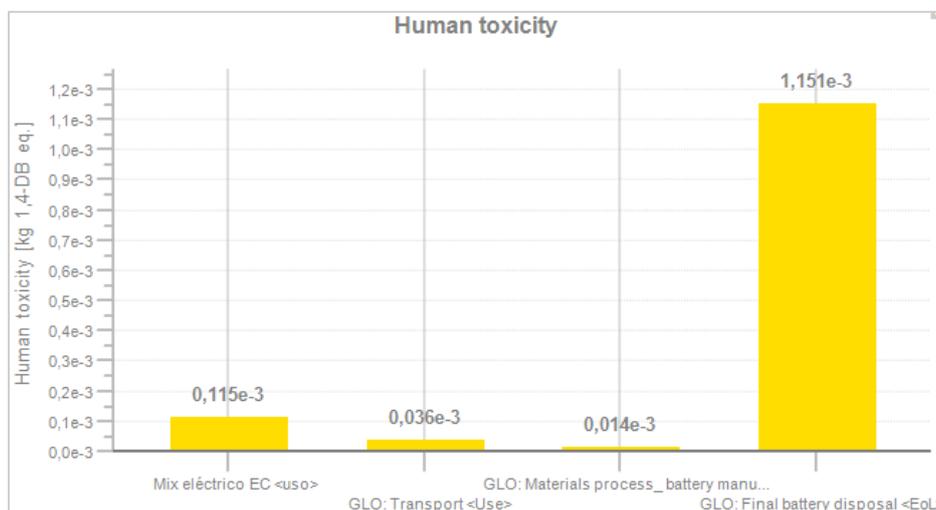


Figura 3.7 Impactos Batería ion litio – Toxicidad humana

La Figura 3.7 muestra que hay una mayor generación de cargas ambientales en la etapa de disposición final, seguido de la etapa de uso y con una producción leve de cargas en las etapas de proceso de materiales y transporte en el impacto de la toxicidad humana.

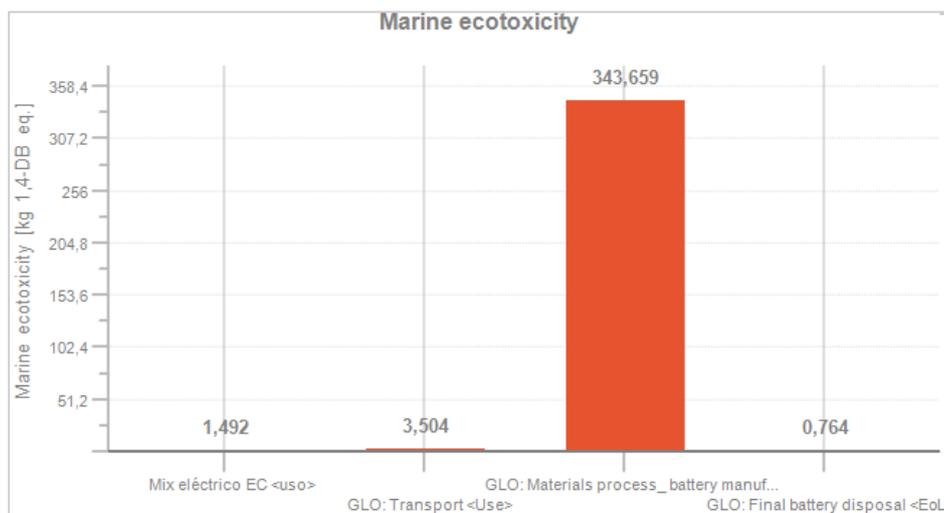


Figura 3.8 Impactos Batería ion litio – Ecotoxicidad marina

En la Figura 3.8 se puede observar que la etapa en la cual se generan mayores cargas ambientales al medio es la de procesamiento de materiales a diferencia de las etapas de transporte, uso y disposición final que tienen niveles bajos en el impacto de la ecotoxicidad marina.

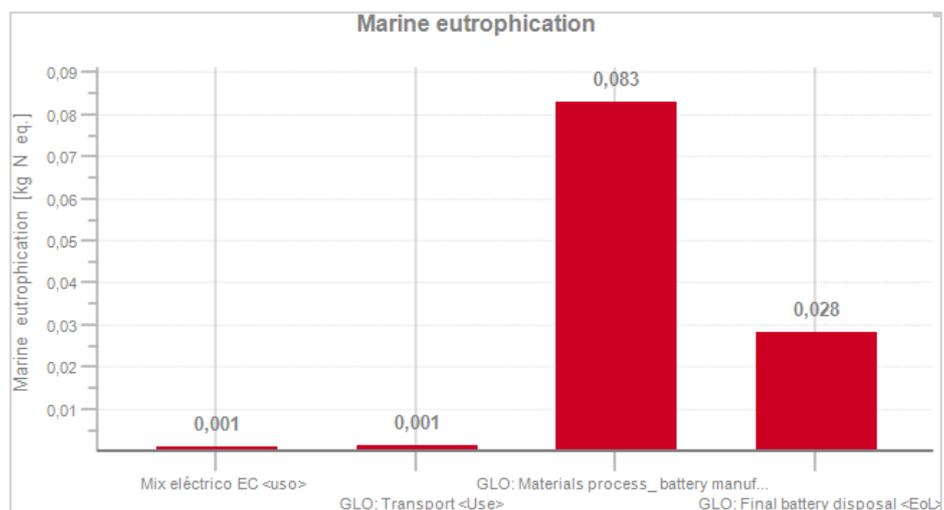


Figura 3.9 Impactos Batería ion litio – Eutrofización marina

La Figura 3.9 muestra la representación gráfica de las cargas que se generan en el impacto de la eutrofización marina y en la etapa que existe una mayor generación de cargas es en la etapa de procesamiento de materiales, seguido de la etapa de disposición final y con niveles bajos a la etapa de uso y transporte.

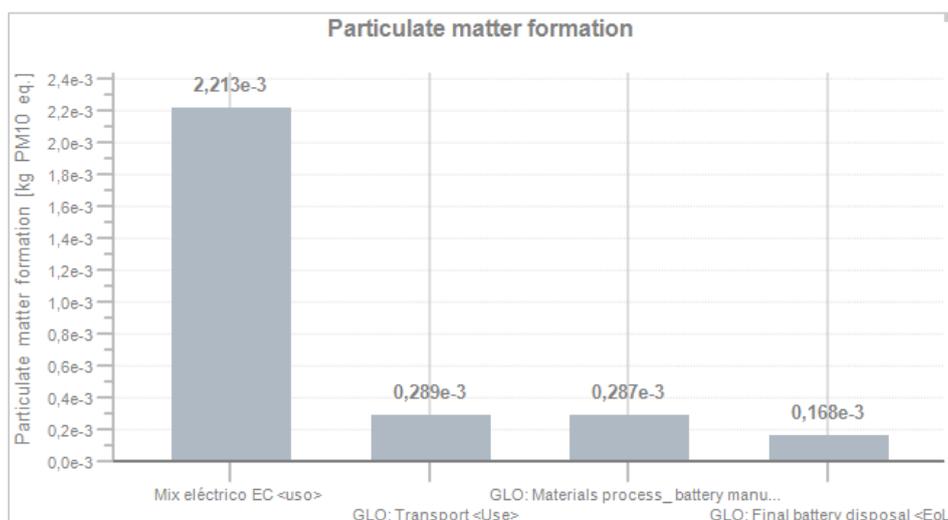


Figura 3.10 Impactos Batería ion litio – Formación de partículas

En la Figura 3.10 se puede observar que la etapa que tiene mayores cargas ambientales en el impacto de formación de partículas es la etapa de uso a diferencia de las etapas de proceso de materiales, transporte y disposición final que mantienen un nivel inferior y parejo en cada una de las etapas del ACV de la batería.

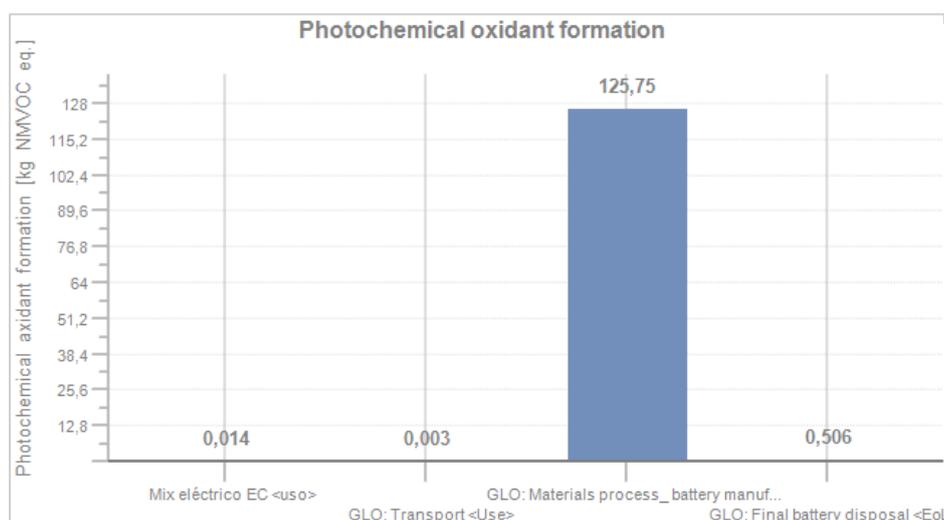


Figura 3.11 Impactos Batería ion litio – Oxidación fotoquímica

En la Figura 3.11 se puede apreciar las cargas que se generan en el impacto de la oxidación fotoquímica, en la cual se tiene un nivel elevado de cargas ambientales en la etapa de proceso de materiales a comparación de las etapas de transporte, uso y disposición final que tienen una generación de cargas muy bajas.

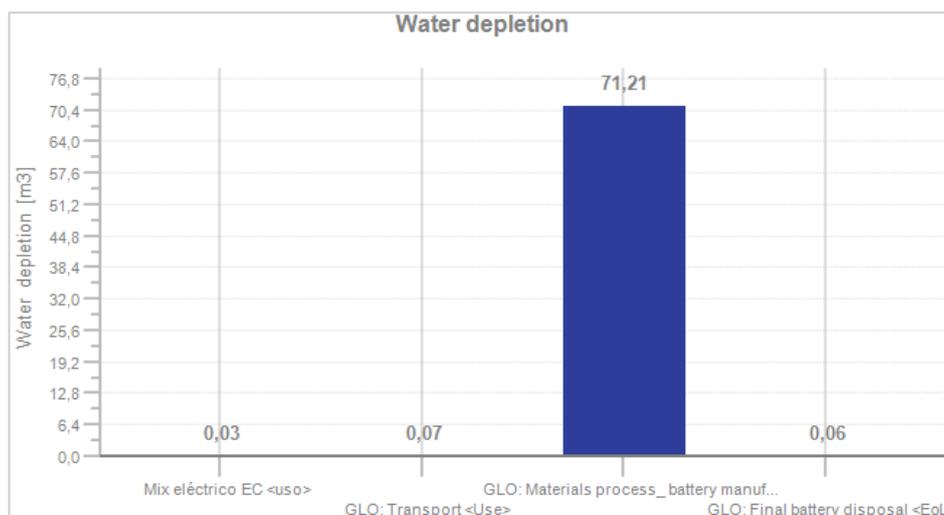


Figura 3.12 Impactos Batería ion litio – Agotamiento del agua

La Figura 3.12 ilustra la gráfica de las cargas ambientales del impacto de agotamiento del agua, la cual tiene mayores cargas al medio en la etapa de procesamiento de materiales y con una generación de cargas menores a las etapas de transporte, uso y disposición final.

3.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ACV DE LA BATERÍA ION-LITIO

Esta última fase del ACV permite identificar la etapa del ciclo de vida de la batería de ion-litio de la motocicleta eléctrica, en la cual se generan las mayores cargas ambientales y por lo tanto saber los puntos del sistema que pueden mejorarse, pudiendo ser los cambios en el proceso, producto, diseño, sustitución de materias primas etc.

En la Tabla 3.3 se muestran los diferentes resultados obtenidos del proceso general del Análisis de Ciclo de Vida de la batería que se realizó en Gabi 9, en la que se detalla la ponderación de las cargas ambientales que tienen cada uno de los impactos de categoría de punto intermedio hacia el ambiente. Los valores más altos de las cargas de cada uno de los impactos de punto medio están marcados en gris dentro de las etapas del ACV de la batería.

Tabla 3.3 Resultados del ACV de la batería de ion - litio

Categoría de impacto	Unidad	Etapas del ACV			
		Fabricación	Transporte	Mix eléctrico Uso	Disposición final
Cambio climático	kg CO2 eq	3.897,57	32,5	19,82	10,14
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	10,364	8,843	4,062	3,415
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	0,014e-3	0,036e-3	0,115e-3	1,151e-3
Formación de partículas	kg PM10 eq	0,287e-3	0,289e-3	2,213e-3	0,168e-3
Acidificación terrestre	kg SO2 eq	3.898,56	32,431	19,816	9,865
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	0,485	0,012	0,033	0,01
Agotamiento de recursos fósiles	kg oil eq	2,787	0,008	1,428	-0,439
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq	0,84	0,009	0,004	-14,656
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	343,659	3,504	1,492	0,764
Eutrofización marina	kg N- eq	0,083	0,001	0,001	0,028
Oxidación fotoquímica	kg NMVOC	125,75	0,003	0,014	0,506
Agotamiento del agua	m ³	71,21	0,07	0,03	0,06

Para la obtención de los resultados mostrados en la anterior tabla se ingresaron en el software de GaBi 9 todos los datos disponibles dentro de la base de datos de Ecoinvent para cada una de las etapas evaluadas, logrando evidenciar que los impactos que tiene la batería de la motocicleta eléctrica ion-Li son relativamente menores en las etapas de transporte, uso y disposición final a excepción de la etapa de fabricación donde es muy notorio que sus cargas ambientales son altas respecto a las demás etapas evaluadas en determinados impactos.

De manera muy genérica se puede denotar que el indicador de cambio climático es elevado en la etapa de fabricación en la que las emisiones de CO₂ se disparan respecto a las demás etapas pues en un rango más bajo se encuentran la etapa de transporte, uso y disposición final.

El indicador de la acidificación terrestre provocada por el dióxido de azufre SO₂ es uno más de los impactos potenciales en la que para la etapa de fabricación sus cargas ambientales son elevadas seguidas de la etapa de transporte y uso en un valor menor que al de la fabricación, y en tanto que en la etapa de disposición final la carga ambiental es la más baja.

La eutrofización es uno de los impactos en que sus cargas están leves no se elevan respecto a los anteriores impactos, siendo así que la etapa de fabricación tiene mayor carga que el resto ya que para las etapas de transporte, uso y disposición final las cargas que se generan son casi nulas.

La oxidación fotoquímica es un indicador en el que para la etapa de fabricación sus cargas se encuentran en niveles altos por las emisiones de compuestos orgánicos volátiles distintos del metano NMVOC respecto a las demás etapas, pues en las etapas de transporte, uso y de disposición final tienen un nivel bajo de cargas ambientales.

En el impacto de formación de material particulado se tiene niveles bajos de las cargas ambientales tanto en la etapa de fabricación, transporte y disposición final a diferencia de la etapa de uso en la que se genera un mayor porcentaje debido a la generación de contaminación de la termoeléctrica de la matriz energética estudiada.

Para la batería de ion-Li el impacto de la toxicidad humana es relativamente bajo para las diferentes etapas evaluadas a excepción de la etapa de disposición final, pues este impacto se relaciona con determinados agentes tóxicos a los que las personas pueden estar expuestos ya sea en la ingestión de agua, alimentos e inhalación del aire que a la larga pueden causar graves problemas para la salud.

Finalmente, tenemos a la ecotoxicidad del agua dulce y marina cuyas cargas no están elevadas considerablemente en las etapas de transporte, uso y disposición final a excepción de la etapa de fabricación que es la más alta en cada uno de los impactos de categoría de punto medio.

3.3.1 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE ACV DE LA BATERÍA DE ION-Li

Los resultados del ACV de la batería de ion de litio fueron comparados con un estudio de análisis de ciclo de vida de vehículos eléctricos ya realizado en otro país, en el que usan la metodología de evaluación de los impactos ambientales de ReCiPe, siendo la misma metodología que se utilizó en la presente investigación con la diferencia que ocupan el software SimaPro 8.5. El estudio se denomina *Comparative environmental life cycle assessment of electric and conventional vehicles in Lithuania* y menciona que los resultados del ACV siempre van a ser diferentes en el valor de cargas de los impactos, debido a que cada investigador realiza el inventario de ciclo de vida con datos diferentes, utiliza diferentes programas o cuenta con distintas bases de datos (Petrauskienė, Skvarnavičiūtė, & Dvarionienė, 2019, pág. 8).

Con base en los datos de dicho estudio se procedió a la comparación y se constató que la ponderación de las cargas ambientales que se generan en ciertos impactos está algo semejante a los obtenidos en el presente estudio de análisis de ciclo de vida de la batería de ion de litio de la moto eléctrica, en los impactos del calentamiento global y del agotamiento de recursos fósiles.

3.4 ANÁLISIS DEL VOLTAJE NOMINAL DE BATERÍA ION-LITIO

Primeramente, antes de realizar el análisis del voltaje nominal de la batería de este tipo de motocicleta eléctrica es necesario mencionar los valores de voltaje obtenidos en diferentes condiciones del porcentaje de carga de la batería ya sea con el 0%, 50% y 100% como se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Valores del voltaje nominal en diferentes condiciones

Condición	Valor
Batería totalmente cargada (100%)	82.4 V
Batería con media carga (50%)	73.6 V
Batería descargada (0%)	68.7 V
Fabricante Super Soco	72 V

Para denotar la diferencia del voltaje nominal de la batería, se procedió a tomar el voltaje en diferentes condiciones de carga. De inicio se midió con la batería al 100 % de carga en donde se obtuvo como resultado un valor de 82.4 V. Posteriormente se tomó el valor del voltaje cuando la batería tenía un 50% de carga y se obtuvo un valor de 73.6 V. Finalmente se tomó como último valor de voltaje cuando la batería de la moto se descargó completamente dando un valor en su voltaje nominal de 68.7 V.

En función a los distintos resultados obtenidos de los voltajes nominales promedios de la batería y del valor de voltaje del fabricante como se muestran en la Tabla 3.4, se concluye que el dato del voltaje nominal de 72 V que proporciona el fabricante es solo referencial puesto que se obtuvo un valor superior al realizar las pruebas de medición en la batería cuando está al 100 % de carga.

3.4.1 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD TEÓRICA Y REAL DE LA BATERÍA

La Tabla 3.6 muestra una tabla comparativa de la capacidad teórica y real de la batería de alto voltaje de la motocicleta eléctrica medida con el analizador de energía y con el SOC al 100 %. Para el SOC 80 - 70% los valores son estimados en función a los del fabricante y con los obtenidos en los días de ensayos de prueba en el periodo de carga de la batería, en la que fue conectada a la red eléctrica.

Tabla 3.6 Valores teóricos y reales de la capacidad de la batería

SOC [%]	Capacidad de la Batería Teórica [kWh]	Capacidad de la Batería Real [kWh]
100	3.24	3.46
80	2.59	2.76
70	2.26	2.42

El valor de la capacidad tanto teórica como real en función al estado de carga de la batería como es de esperarse va disminuyendo con el paso del tiempo por el uso de la batería dentro de la motocicleta eléctrica, ya que para que llegue al 70% deben pasar alrededor de 4 - 5 años de uso.

Partiendo del valor de la capacidad teórica de la batería de 3.24 kWh en el ensayo con el SOC del 100%, se obtuvo en el analizador de energía como resultado una capacidad real de la batería de 3.46 kWh medida en el tiempo de 9 horas, tiempo que demora en cargarse la batería nuevamente del 0 - 100%. En tanto con el SOC al 80% se estima que habría una capacidad real de la batería de consumo de 2.76 kWh medida durante las 9 horas, periodo en el que se cargaría nuevamente la batería y tomando en cuenta el valor de la capacidad teórica al que descendería de 2.59 kWh. De igual forma con el SOC al 70%, se tendría una capacidad real de la batería de consumo de 2.42 kWh y una capacidad teórica de 2.26 kWh.

Analizando los valores teóricos y reales medidos de la capacidad de la batería con el analizador de energía se pudo notar que en la capacidad real de la batería existe una cantidad de capacidad mayor en comparación con el del fabricante, pues se asume que es un cantidad de capacidad de energía que sirve para alimentar a los sistemas auxiliares de la motocicleta y para que no se apague totalmente más no para el accionamiento del motor ya que en la conducción no se consume toda la energía real de la batería al 100% debido al módulo existente en el interior de la batería que controla la descarga profunda.

3.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE BATERÍAS PARA LA REUTILIZACIÓN DENTRO DEL SECTOR DOMÉSTICO

En función al consumo de los electrodomésticos que habitualmente tiene un hogar promedio del sector rural, se procedió al cálculo del consumo promedio mensual y el consumo diario de los diferentes aparatos electrónicos como se observa en la Tabla 3.7, a partir de estos datos se realizó los cálculos pertinentes para un abastecimiento de energía de dos días.

Tabla 3.7 Consumo promedio del hogar del sector rural

Electrodoméstico	Consumo Mensual [kWh/mes]	Consumo día [kWh/día]
Radio grabadora	1.2	0.04
Focos led 9w c/u	1.62	0.054
Nevera Ejecutiva 5-8 pies cúbicos	31.68	1.056
Laptop	3.9	0.13
Disp. telefónico 15W c/u	0.9	0.03
Tv color 13-17"	1.5	0.05
Total	40.8	1.36

La batería de alto voltaje debe almacenar la cantidad de energía suficiente de modo que cubra la demanda energética del hogar por las horas de desabastecimiento de la energía eléctrica. Con el estudio del consumo de los aparatos electrónicos se tiene que para que proporcione energía durante dos días se hace necesario **3.26 kWh** de energía, considerando las pérdidas energéticas del inversor y de la batería del 20% (Mora, 2015, pág. 41), pues se tiene un consumo diario de 1.36 kWh/día de los diferentes electrodomésticos sin considerar pérdidas.

Si el SOC al 100% de la batería, la motocicleta eléctrica almacena 3.46 kWh; para hacer un segundo uso con el SOC del 80% de su estado original de acuerdo con el valor estimado al que descendería la capacidad de la batería de **2.76 kWh**, se determina que es necesario un promedio de **2** paquetes de baterías de ion de litio, los cuales suministrarían de energía eléctrica para un rango de dos días a la casa del sector rural, pues en conjunto darían una capacidad de energía total de 5.52 kWh.

La propuesta de reutilización del presente estudio está enfocada de forma general para la aplicación en hogares alejados dentro del sector rural con un consumo energético medio; no se ha definido sectores en específicos ya que es una alternativa que se deja planteada para que en futuros estudios se lo trabaje y se destine a una área en específica. Otro punto que se debe considerar antes de instalar el sistema de almacenamiento de energía de emergencia es que debe tener un espacio adecuado dentro de la vivienda, para que no se produzcan daños imprevistos durante su funcionamiento, recomendablemente que tenga buena ventilación o espacios abiertos donde se van a instalar los paquetes de baterías.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

El presente trabajo analizó el ciclo de vida de la batería ion-Li de la motocicleta eléctrica Super Soco Tc Max en las etapas de fabricación, transporte, uso y disposición final mediante el software computacional GaBi 9 y de las bases de datos de Ecoinvent, disponibles y compatibles con los datos del software. Además, se estableció una propuesta de reutilización para la batería de alto voltaje dirigida a los hogares del sector rural y, por último, este estudio evaluó la autonomía y capacidad de la batería en condiciones reales. Las principales conclusiones son:

- En el estudio de ACV de la batería de ion de litio realizado se constató, que la etapa en la cual se emiten mayores cargas ambientales es la de fabricación, pues en las diferentes categorías de impacto de punto medio evaluadas, el impacto más significativo es el cambio climático con un valor de 3.897,57 kg 1,4-DB eq por batería, mientras que en la etapa del ACV en la que se genera un menor impacto es en la etapa de uso, para cada una de las categorías de impacto estudiadas.
- Los impactos de la fabricación de la batería disminuirán más con el desarrollo de la industria del reciclaje, pues el reciclaje de los elementos tales como el litio, cobalto, y níquel que son los elementos que tiene mayor impacto servirían como materia prima para la manufactura de nuevas baterías, logrando que dichos elementos que ya generaron impacto al ambiente no vuelvan a generar al utilizarlos en nuevas baterías, reduciendo así los impactos ambientales en la etapa de fabricación.
- En los ensayos efectuados de la moto eléctrica, la autonomía de la batería varía según el modo de conducción en el cual se le evalué pues de los tres modos de conducción Normal, Eco y Sport se evaluó en el modo 2 o Normal en el que se obtuvo como resultado una autonomía de 75 km con una carga del 100 - 0% de la batería, mientras que del 100 - 15% de carga se obtuvo una autonomía de 64.3 km.

- La vida útil optimista de la batería de ion de litio de la motocicleta eléctrica Super Soco Tc Max en kilómetros fue de 64330 km, estimada en función al dato de los ciclos de carga dato por el fabricante y a los ensayos realizados en condiciones reales por áreas del sector urbano, rural y autopista. Este valor es relativo para cada uno de los modos de conducción (Eco y Sport) restantes de la moto eléctrica.
- La capacidad real con la que cuenta la batería de alto voltaje se midió con el analizador de energía Fluke 1742 al término de cada uno de los días de ensayos durante el periodo de carga del 0 - 100%. Para ello la batería fue conectada directamente a la red eléctrica según el diagrama de instalación y se obtuvo como resultado una capacidad real de 3.46 kWh de consumo, mientras que para el periodo de carga del 15 - 100% de la batería se obtuvo una capacidad real de 2.94 kWh.
- La reutilización de la batería de alto voltaje es factible dentro del sector doméstico considerando el consumo promedio que tienen los aparatos electrónicos, pues se tiene que para abastecer de energía por el lapso de dos días se necesitan dos paquetes de baterías con el SOC del 80% que en conjunto tendrían una capacidad de 5.52 kWh para cubrir una demanda energética de 3.26 kWh que es el consumo promedio por los dos días de una casa del sector rural.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para un mejor estudio del ACV es recomendable contar con un software que implemente modelos genéricos de procesos en las distintas etapas del ACV de diversos objetos, a fin de tener un modelo base para la simulación de las cargas ambientales. Un software de versión estudiantil es muy limitante en los modelos base en comparación de una versión Pro que brinda mayores bondades para el estudio de ACV y una mejor perspectiva de los resultados de las cargas ambientales con los modelos predefinidos dentro del software.
- En futuros trabajos se recomienda mejorar el estudio de análisis de ciclo de vida de la batería de ion de litio considerando todas las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de materiales hasta su disposición final (cuna-tumba) para denotar de una mejor manera las cargas que tiene con el ciclo completo, pues en esta investigación la etapa de extracción de materiales no se la tomo en cuenta.
- Para poder analizar y efectuar los distintos ensayos de prueba en este tipo de motocicletas eléctricas se recomienda contar con equipos adecuados que brinden datos precisos y concisos, sea para determinar el recorrido, consumo, potencia, voltaje, etc. En este trabajo se realizó adicionalmente un medidor de voltaje en un Arduino y se constató que tienden a tener un rango de variabilidad en los resultados en comparación con un equipo.
- En el caso de la reutilización de la batería de alto voltaje al término de su vida útil o con el SOC del 70 - 80%, es recomendable hacer un estudio previo del lugar donde se hará la instalación a fin de determinar la capacidad de energía o de la demanda energética por cubrir y así poder determinar el número de paquetes de baterías que se deben emplear.
- Al momento de realizar cualquier prueba de ensayo en la motocicleta eléctrica se recomienda usar los implementos de seguridad para evitar lesiones en accidentes impredecibles que puedan presentarse en la vía, pues al ser un vehículo automotor de dos ruedas tiene mayor riesgo de sufrir daños físicos el conductor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andrino, J. A. (2016). *MECÁNICA Y ENTRENAMIENTO SIMPLE DEL AUTOMÓVIL*. Madrid, España. Retrieved from <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/formacion-vial/cursos-para-profesores-y-directores-de-autoescuelas/XIX-curso-de-profesores/Mecanica-y-entrenamiento-simple-del-automovil.pdf>
2. ARC. (2020). *Balance Nacional de Energía Eléctrica*. Obtenido de Agencia de Regulación y control de Energía y Recursos Naturales No renovables : <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/balance-nacional-de-energia-electrica/>
3. Arias, R. (2017). CONVERSIÓN DE AUTO CONVENCIONAL EN AUTO ELÉCTRICO. *CITE Energía*.
4. Bannon, E. (2017). *Electric vehicle life cycle analysis and raw material availability*. (October), 1–11.
5. Benavides, H., & León, G. (2007). INFORMACIÓN TECNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM). <https://doi.org/IDEAM-METEO/008-2007>
6. Cembranos, F. J. (2014). Motores Síncronos. *Revista Digital de ACTA*, 11. Retrieved from http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/029001.pdf
7. Chan, C. C. (2002). The state of the art of electric and hybrid vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 90(2), 247–275. <https://doi.org/10.1109/5.989873>
8. Chuquimarca, S., & Suin, K. (2017). *Diseño y desarrollo de una batería de alto voltaje para un vehículo de competencia tipo Formula SAE eléctrico*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA.
9. Cordero, D. G. (2009). *DESARROLLO Y LA APLICACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL DE RESIDUOS Y USO DE SUELO*. 2009, 287.
10. Cuesta, G. (2017). *Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart* (Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de

Barcelona). Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
Retrieved from
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108997/tfmguillermocuestafinal.pdf?sequence=1&isAllowed=>

11. Cusenza, M. A., Guarino, F., Longo, S., Mistretta, M., & Cellura, M. (2019). Reuse of electric vehicle batteries in buildings: An integrated load match analysis and life cycle assessment approach. *Energy and Buildings*, 186, 339–354. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.032>
12. Datta, U., Kalam, A., & Shi, J. (2020). Smart control of BESS in PV integrated EV charging station for reducing transformer overloading and providing battery-to-grid service. *Journal of Energy Storage*, 28(December 2019), 101224. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101224>
13. Ehsani, M., Gao, Y., & E.Gay, S. (2005). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. New york Washington, D.C.
14. Encinas, M. (2011). Medio Ambiente Y Contamianción. Principios Básicos. In *Addi.Ehu.Es*. Retrieved from <https://bit.ly/2QDqF6R>
15. Escudero, S., Gonzáles, J., Rivas, J. L., & Suárez, A. (2009). *Motores* (Macmillan).
16. ecoinvent. (2021). *Ecoinvent Databases*. Obtenido de <https://v37.ecoquery.ecoinvent.org/Search/Index>
17. EL COMERCIO. (13 de Junio de 2019). *El uso de vehículos eléctricos implica nuevos retos ambientales a futuro*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tendencias/vehiculos-electricos-nuevos-retos-ambiente.html>
18. EL TELEGRAFO. (8 de Agosto de 2019). *Diario EL TELEGRAFO*. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/movilidad-electrica-ecuador>
19. Fidalgo, R. (17 de Febrero de 2020). *Coches Híbridos, PHEV y eléctricos*. Obtenido de <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/baterias-litio-coche-electrico-contaminacion-reciclaje>

20. Galán, R. (2019). *ANÁLISIS DE VEHÍCULOS INDUSTRIALES HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS. NOVEDADES TÉCNICAS Y PERICIALES*. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.
21. García, N. (2019). *Movilidad Sostenible*. 6, 1–16.
22. Gutiérrez, J. (2009). *MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE*.
23. Hanifah, R. A., Toha, S. F., & Ahmad, S. (2015). Electric Vehicle Battery Modelling and Performance Comparison in Relation to Range Anxiety. *Procedia Computer Science*, 76(Iris), 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.350>
24. Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H. (2012). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53–64. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>
25. Iniesta, Á. (2015). *Vehículo eléctrico: ¿Una opción de futuro en los sistemas eléctricos?* (UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID). UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. Retrieved from <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/23352#.XSurgdMQsoc.mendeley>
26. IK ingeniería. (2021). *Análisis de Ciclo de Vida - ACV*. Obtenido de <https://www.ik-ingenieria.com/es/analisis-ciclo-vida-acv>
27. ISO. (2006). Gestión ambiental - Análisis de ciclo de vida principios y marco de referencia (ISO 14040:2006). In *Normas ISO* (pp. 1–24). Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
28. Karki, A., Phuyal, S., Tuladhar, D., Basnet, S., & Shrestha, B. P. (2020). Status of pure electric vehicle power train technology and future prospects. *Applied System Innovation*, 3(3), 1–28. <https://doi.org/10.3390/asi3030035>
29. Lara, G. (5 de Febrero de 2013). *Cómo funciona una batería*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/como-funciona-una-bateria>
30. Ledesma, C., Bonansea, M., Rodríguez, C. M., & Delgado, A. R. S. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba

- (Argentina). *Revista Ciencia Agronomica*, 44(3), 419–425.
<https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000300002>
31. Lucas, A., Silva, A. C., & Costa Neto, R. (2012). *Life cycle analysis of energy supply infrastructure for conventional and electric vehicles*. 41, 537–547.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.015>
32. LIVE. (12 de Diciembre de 2019). *Live Vehículos Eléctricos*. Obtenido de
<https://livebarcelona.cat/es/cual-es-la-vida-util-de-un-coche-electrico/>
33. Macías, A. (2017). *DISEÑO DE UNA ELECTROLINERA EXPERIMENTAL A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.
34. Maharshi, S., & Reddy, J. (2019). Cloud based disassembly of electric vehicle battery. *Procedia Manufacturing*, 30, 136–142.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.020>
35. Marín, P. F., & Perales, C. D. M. (2019). Aspectos medioambientales del vehículo eléctrico. *Economía Industrial*, (411), 45–53.
36. Mora, A. (2015). Estudio para la reutilización de baterías de coches eléctricos en segunda vida para nuevas funciones. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA.
37. Murillo, H. (2014). *Motores sincronos*.
38. NACIONES UNIDAS. (2015). *ACUERDO DE PARÍS*. Obtenido de
https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf
39. Naciones Unidas. (2018). *OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE*. Obtenido de La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe:
<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
40. Onat, N. C., Kucukvar, M., & Afshar, S. (2019). Eco-efficiency of electric vehicles in the United States : A life cycle assessment based principal component analysis.

- Journal of Cleaner Production*, 212, 515–526.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.058>
41. Ortiz, M. M. (2010). *Reducción de las emisiones de CO2 en vehículos de transporte: Combustibles alternativos*.
42. Peña, C. (2011). *ESTUDIO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS*. (UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID). UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. Retrieved from http://enterprise.uc3m.es/redmine/files/101115153006_CV_MDdelamata.pdf%5Cnhttp://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/11805
43. Petrauskienė, K., Skvarnavičiūtė, M., & Dvarionienė, J. (2019). Comparative environmental life cycle assessment of electric and conventional vehicles in Lithuania. *Journal of Cleaner Production*, 246(xxxx).
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119042>
44. Racines, A. (2018). *Análisis de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante descomposición aeróbica de residuos industriales en mezcla con residuos pecuarios*. Universidad Andina Simón Bolívar.
45. Ruiz, E. (2016). *El Análisis de Ciclo de Vida. Metodología de decisión y evaluación ambiental en el sector de la edificación* (Universitat Politecnica de Valencia). Universitat Politecnica de Valencia. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10251/66016>
46. Senplades. (22 de Septiembre de 2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida*. Obtenido de Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2017-2021.compressed.pdf>
47. Torres, J. (2015). *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca* (UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA). UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8050/1/UPS-CT004893.pdf>
48. Trashorras, J. (2019). *Vehículos eléctricos* (Paraninfo). Madrid, España.

49. Trespalacios, J., Blanquicett, C., & Carrillo, P. (2018). *Gases y efecto invernadero*. 1–21.
50. Un-noor, F., Padmanaban, S., Mihet-popa, L., Mollah, M. N., & Hossain, E. (2006). *A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development*. <https://doi.org/10.3390/en10081217>
51. UNIÓN EUROPEA. (2015). *Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica*. Obtenido de <http://www.agroambient.gva.es/es/web/cambio-climatico/conceptos-basicos-del-cambio-climatico>
52. Vallejo, A. (2004). Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 37.
53. Vélez, J. (2017). *Análisis y Estimación de la Demanda Eléctrica con la Implementación de Vehículos Eléctricos conectados a una Red de Distribución en Cuenca y El Ecuador* (Vol. 4). UNIVERSIDAD DE CUENCA.
54. Vivancos, J. L., Gómez, T., López, R. C., Bastante, M. J., & Capuz, S. (2003). *REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL*. (July 2016). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/304823775_Revision_de_los_estudios_de_analisis_de_ciclo_de_vida_en_la_industria_del_automovil

ANEXOS



Figura AI.3. Conexiones de pinzas de tensión a las fases del motor



Figura AI.4. Montaje completo de equipos a la motocicleta eléctrica super soco Tc Max

ANEXO II

MEDICIÓN DEL PESO BRUTO DE LA MOTOCICLETA



Figura AII.1. Medición del peso de la moto en las balanzas



Figura AII.2. Valor del peso rueda posterior

ANEXO III

MEDICIÓN DEL VOLTAJE Y CORRIENTE EN CONDICIONES REALES DE LA MOTOCICLETA ELÉCTRICA

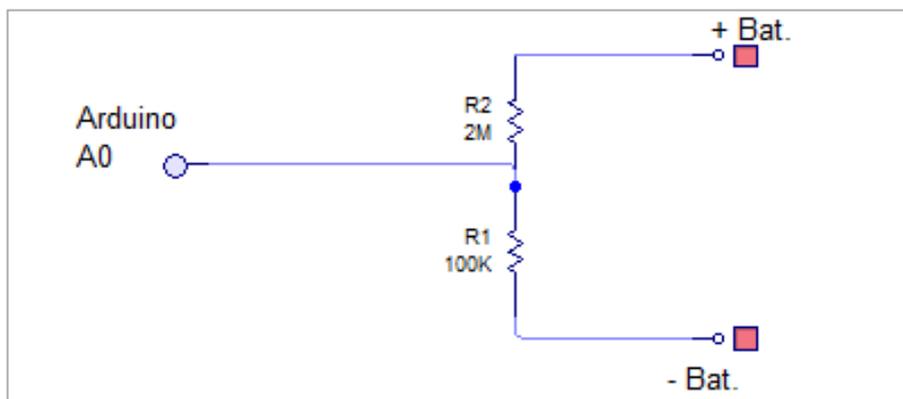


Figura AIII.1. Diseño del Circuito del Medidor de Voltaje – Datalogger

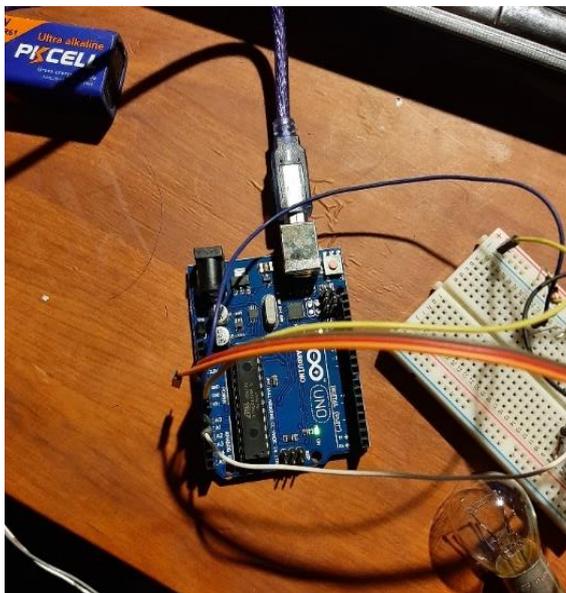


Figura III.2. Construcción y comprobación del circuito electrónico del medidor de voltaje

ANEXO IV

ENSAYOS DE PRUEBA EN RUTA DE LA MOTO ELÉCTRICA



Figura AIV.1. Inicio de ensayo en ruta



Figura AIV.2. Término de ensayo

ANEXO V

CONEXIONES DEL ANALIZADOR DE ENERGÍA A LA RED ELÉCTRICA PARA LA CARGA

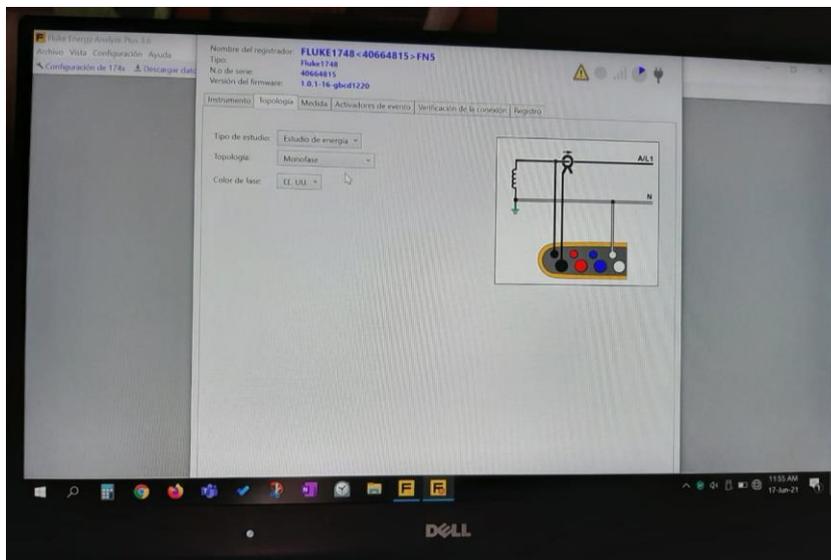


Figura AV.1. Diagrama de conexión del analizador de energía a la red eléctrica

ANEXO VI

ESTRUCTURA DE LA BATERÍA DE LA MOTOCICLETA

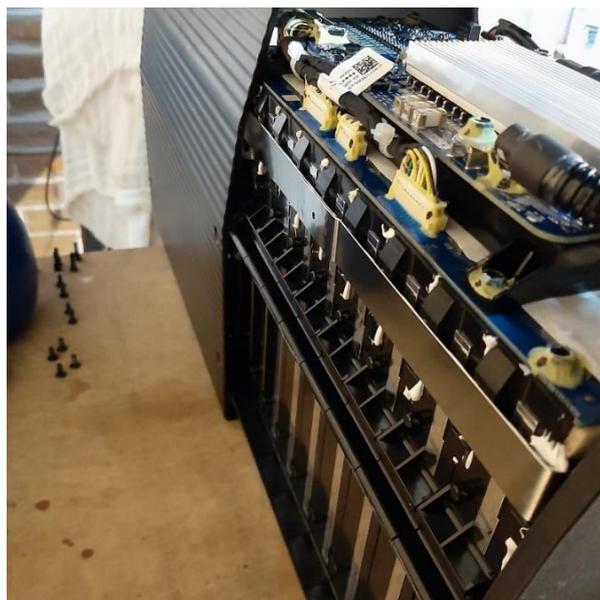


Figura AVI.1. Estructura interna de la batería de ion – Li

ANEXO VII
FLUJOS DEL ICV DE LA BATERÍA ION - LITIO DE LA BASE DE DATOS
ECOINVENT EN GaBi 9

Tabla AVII.1. Placa positiva – Entradas y salidas

Flujo de entrada	Magnitud	Cantidad	Unidad
Copper [Metals]	Mass	4	kg
Copper (99.999%; electrolyte copper) [Metals]	Mass	0,0241408	kg
Copper slag concentrate [Metals]	Mass	0,0199028	kg
Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	11,72	MJ
Thermal energy (diesel) [Thermal energy]	Energy (net calorific value)	8,96	MJ
GLO: resource correction, CuMo, copper, positive [Benefication]	Mass	3,98784	kg
Land Transformation [Transformation]	Area	0,44972	sqm
RER: chemical plant, organics [organics]	Number of pieces	1,12E-05	pcs.
Flujo de salida	Magnitud	Cantidad	Unidad
Copper [Metals]	Mass	4	kg
Arsenic, ion [ecoinvent long-term to fresh water]	Mass	0,00354336	kg
Carbon dioxide, fossil [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,36102	kg
Carbon monoxide, fossil [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,00098276	kg
Chromium [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,00163796	kg
Chromium, ion [ecoinvent long-term to fresh water]	Mass	0,0054152	kg
Mercury [Heavy metals to fresh water]	Mass	5,42E-05	kg
Mercury [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,00327592	kg
Nickel [Heavy metals to air]	Mass	1,80176	kg
Nickel, ion [surface water]	Mass	0,0040448	kg
Particulates, < 2.5 um [ecoinvent long-term to air]	Mass	1,66E-05	kg
Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,116996	kg
Tin [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,20458	kg
Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net calorific value)	7,08	MJ
Zinc, ion [surface water]	Mass	0,0160788	kg

Tabla AVII.2. Placa negativa – Entradas y salidas

Flujo de entrada	Magnitud	Cantidad	Unidad
Aluminium oxide (alumina) [Inorganic intermediate products]	Mass	0,067932	kg
Cast iron [Metals]	Mass	0,135864	kg
Coke oven gas (MJ) [Other fuels]	Energy (net calorific value)	39,474	MJ
Electricity [Electric power]	Energy (net calorific value)	0,67932	MJ
Hot water from process stages (MJ) [Thermal energy]	Energy (net calorific value)	4,437	MJ
Refractory [Minerals]	Mass	1,46268	kg
Steel, reinforcing bar [Metals]	Mass	0,86598	kg
Shot blasting dust [Waste for recovery]	Mass	0,067932	kg
Flujo de salida	Magnitud	Cantidad	Unidad
Aluminium secondary [Metals]	Mass	3,8862	kg
RER: cathode, aluminium electrolysis [Benefication]	Mass	3,06	kg
Ammonia [Inorganic emissions to air]	Mass	0,18054	kg
Carbon dioxide, fossil [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,153	kg
Carbon monoxide, fossil [ecoinvent long-term to air]	Mass	3,06E-05	kg
Chromium [Heavy metals to air]	Mass	0,00383724	kg
Dinitrogen monoxide [ecoinvent long-term to air]	Mass	6,12E-06	kg
Hydrocarbons, aromatic [ecoinvent long-term to air]	Mass	2,3564448	kg
Hydrogen chloride [Inorganic emissions to air]	Mass	1,59E-05	kg
Hydrogen fluoride [Inorganic emissions to air]	Mass	7,19E-06	kg
Mercury [Heavy metals to air]	Mass	0,00684828	kg
Methane, fossil [ecoinvent long-term to air]	Mass	3,06E-06	kg
Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass	0,0005508	kg
Nitrogen oxides [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,000306	kg
Particulates, < 2.5 um [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,016524	kg
Particulates, > 10 um [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,000918	kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um [urban air close	Mass	0,000918	kg
Pentane [ecoinvent long-term to air]	Mass	3,52E-06	kg
Propionic acid [ecoinvent long-term to air]	Mass	4,90E-08	kg
Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,0002754	kg
Toluene [ecoinvent long-term to air]	Mass	4,59E-09	kg
Water [Other emissions to fresh water]	Volume	0,0097767	m3
Zinc, ion [surface water]	Mass	0,0160788	kg

Tabla AVII.3. Separadores – Entradas y salidas

Flujo de entrada	Magnitud	Cantidad	Unidad
Thermal energy from heating (MJ) [Thermal energy]	Energy (net calorific value)	0,19327	MJ
Very fine milled silica sand d50 = 20 micrometer [Minerals]	Mass	0,21839	kg
BR: electricity, medium voltage, at grid [supply mix]	Energy (net calorific value)	0,0072	MJ
Phthalic anhydride [Organic emissions to industrial soil]	Mass	0,29118	kg
R 116 (hexafluoroethane) [Halogenated organic emissions to air]	Mass	0,026207	kg
RER: acetone, liquid, at plant [organics]	Mass	0,014377	kg
RER: chemical plant, organics [organics]	Number of pieces	4,00E-10	pcs.
RER: fleece, polyethylene, at plant [polymers]	Mass	0,35088	kg
US: polyvinylfluoride, at plant [organics]	Mass	0,19218	kg
Flujo de salida	Magnitud	Cantidad	Unidad
CN: separator, lithium-ion battery, at plant [Parts]	Mass	1	kg
Acetone [ecoinvent long-term to air]	Mass	0,014377	kg
CH: disposal, residues, shredder fraction from manual dismantling, in MSWI [municipal incineration]	Mass	0,053942	kg

Tabla AVII.4. Electrolito aditivo – Entradas y salidas

Flujo de entrada	Magnitud	Cantidad	Unidad
Lithium [Metals]	Mass	0,0224	kg
RER: oxygen, liquid, at plant [inorganics]	Mass	0,0116	kg
RER: water, completely softened, at plant [Appropriation]	Mass	0,0131	kg
RNA: Sodium hydroxide, production mix, at plant [Products and Intermediates]	Mass	1,3	kg
Flujo de salida	Magnitud	Cantidad	Unidad
GLO: electrolyte, KOH, LiOH additive, at plant [Parts]	Mass	1,32	kg
Water [Other emissions to sea water]	Volume	0,123	m3
Water [Other emissions to air]	Volume	0,00798	m3