



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo Integración Curricular

**Artículo Investigativo para la obtención del título de Ingeniería en Mecánica
Automotriz**

AUTORES:

Jalisson Carrera

David Tituaña

TUTOR:

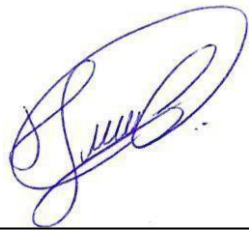
Ing. Pablo Ante

**Análisis de vida de baterías plomo ácido y ciclo profundo
en vehículos M1 y el impacto ambiental
que generan en su etapa de reciclaje.**

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Jalisson Josué Carrera Gaibor** y **David Daniel Tituaña Jima**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Jalisson Carrera



David Tituaña

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ante Sánchez Pablo Fernando, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

**ANTE
SANCHEZ
PABLO
FERNANDO**



Firmado
digitalmente por
ANTE SANCHEZ
PABLO FERNANDO
Fecha: 2026.05.15
15:12:50 -05'00'

Firma profesor

DEDICATORIA

En este apartado quiero dedicar este trabajo con todo mi afecto a mis seres queridos quienes son los pilares fundamentales en mi vida académica y motivo constante de mi superación, para poder lograr culminar con éxito esta carrera.

Agradezco principalmente a mis padres los quienes, con todo su amor incondicional, por sus grandes sacrificios silenciosos y el haberme enseñado que el esfuerzo y la constancia son la base de todo logro soñado. Gracias por creer en mí incluso cuando las circunstancias parecían adversas y por ser mi ejemplo de fortaleza y dedicación día tras día.

Mi gratitud a mi hermana menor, por su compañía, su comprensión y por hacerme sentir que nunca camino solo. Su presencia ha sido una fuente de motivación en cada día a seguir. A mis primos, quienes me supieron ayudarme y darme un empujón en cada momento adverso, sacando lo mejor de mí.

Extiendo este reconocimiento a mis abuelitos quienes desde su conocimiento y amor siempre me han impulsado a seguir adelante, al igual estoy dando mi agradecimiento a mis tíos y tías que me han dado el carácter y me enseñaron a no carecer en los momentos más difíciles.

Y de manera especial a mi novia por su amor, su gran comprensión y el apoyo incondicional que me lo ha brindado. Gracias por acompañarme en este proceso, en el cual pude creer en mis capacidades, por ser mi refugio en los momentos de cansancio y duda. Al igual que su presencia ha sido una inspiración constante que me ha motivado a seguir adelante y dar siempre lo mejor de mí.

A todos ustedes, que han formado parte de mi vida y de este camino universitario, les dedico este logro que no es solo mío, sino también fruto de su apoyo, paciencia y cariño

Jalisson Josue Carrera Gaibor

DEDICATORIA

En primera instancia todo este logro lo dedico a toda mi familia, quienes estuvieron pendientes y preocupados por mí en todo este transcurso de la vida universitaria, con sus constantes palabras de aliento a no caer en ninguna circunstancia de la vida.

Este logro es más dedicado a mis padres, quienes son mis pilares importantes para mi crecimiento personal y profesional, por todo lo que no pudieron comprarse por darme los estudios y verme ser alguien en la vida, por las constantes circunstancias de la vida que aparecieron, fueron ellos que no decayeron en darme consejos para mi crecimiento y sobre todo en una buena educación para ser una persona de bien, mis padres son mi gran inspiración.

A mis dos hermanos mayores que velaron por mi como hermano menor, ayudándome en todo lo que yo necesitaba, cuando cada uno de ellos me hacían sentir que podía confiar abiertamente con ellos para cualquier tipo de circunstancia, este logro es igual para ellos que son mi referencia de que cuando uno se lo propone lo llega a lograr a pesar de cualquier tipo de circunstancia.

David Daniel Titiaña Jima

AGRADECIMIENTO

Comienzo por agradecer a Dios, quien me ha ayudado en todo momento de mi travesía por esta carrera, quien me ha sabido dar las fuerzas para seguir y no perecer. Deseo decir mi más sincero reconocimiento a la Universidad Internacional Del Ecuador por brindarme las herramientas necesarias para este trabajo, a cada uno los docentes que compartieron sus conocimientos y sus experiencias siendo así permitiéndome fortalecer mis capacidades profesionales. Quiero agradecer a mi tutor al Ingeniero Pablo Ante y al Ingeniero Gorky Reyes, por su orientación, su compromiso y tiempo dedicado durante cada uno de los pasos para poder desarrollar esta investigación.

Con mis padres a quienes, con su amor incondicional, comprensión y sacrificio me inspiraron a seguir adelante. Gracias por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, por motivarme siempre a dar lo mejor de mí y por acompañarme en cada paso de esta meta alcanzada.

A toda mi familia, que con palabras de aliento, paciencia y apoyo constante me dio la confianza necesaria para no rendirme y dar lo mejor de mí. Su presencia fue esencial para mantenerme firme en los momentos más severos.

Este trabajo es el reflejo del esfuerzo en conjunto ya que, con su apoyo, confianza y cariño, me acompañaron en la construcción de esta meta tan reveladora en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por regalarme la vida y ante todo salud para poder realizar este trabajo importante para mí, gracias a dios por ayudarme a salir de las adversidades complicadas que he tenido que pasar para poder obtener este logro.

Agradezco a mis padres porque gracias a ellos soy quien soy, por sus buenas enseñanzas que de pequeño me decían y ahora en la vida las pongo en práctica, soy consciente de sus sacrificios por las cuales tuvieron que pasar para regalarme los estudios, por eso soy muy agradecido con mis padres por brindarme todo el cariño, amor, bondad y sobre todo buenos valores que un hijo necesita para poder continuar con la carrera, gracias por ser mis padres.

Como hermano menor soy también agradecido con mis hermanos mayores, ya que ellos son la otra parte de mi parte de crecimiento, ya que ellos fueron inculcándome el valor de sacrificarse para poder llegar a obtener lo que uno desea, así sea lo más pequeño, gracias a ellos que son como mis segundos padres que cuando necesite un consejo de vida sé que ellos estarán ahí para mí.

En la parte académica, quiero agradecer a mi tutor al Ingeniero Pablo Ante y al Ingeniero Gorky Reyes, por su orientación, compromiso y tiempo dedicado durante cada uno de los pasos para poder desarrollar esta investigación, a la par agradecer a la Universidad Internacional del Ecuador, ya que me abrió las puertas para aprender nuevos conocimientos relacionado a la Mecánica Automotriz, gracias a los docentes quienes impartieron día a día sus conocimientos de cada materia para poder tratar de enriquecer más mis conocimientos y ponerlos en práctica en la vida laboral, gracias por su tiempo en enseñarnos y así poder realizar este trabajo que con el conocimiento ya aprendido en la universidad se lo pueda poner en práctica en este trabajo.

1. INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
Introducción	13
Marco Teórico	15
Contaminación de las baterías.....	15
Ciclo de vida de las baterías.....	15
Batería de Plomo Acido.....	16
Batería de Ciclo Profundo	16
Componentes de la Batería Automotriz.....	17
Reciclaje de las baterías	18
Métodos de reciclaje.....	18
Contaminación del Plomo	19
Acuerdo Ministerial MATTE 2021-034.....	19
Corporación BAPU	20
Materiales y métodos	20
Diagnóstico de batería en vehículos M1	24
Técnica para la asignación de valores de riesgo en el transporté de baterías acido- plomo ciclo profundo.....	25
Análisis del gestor autorizado frente al tratamiento del reciclaje de baterías plomo ácido y ciclo profundo.....	27
Muestra	28
Resultado y discusión	31
Conclusiones	34
Bibliografía	36

Anexo 1.....	38
Anexo 2.....	39
Anexo 3.....	41

2. INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes de la batería.....	17
Figura 2 Recorrido de locales informales de baterías usadas.....	30
Figura 3 Comparativa de indicadores operativos del proceso de recolección.....	33
Figura 4 Comparativa de indicadores operativos del proceso de transporte.....	34
Figura 5 Comparativa de indicadores operativos del proceso de almacenamiento.....	35
Figura 6 Comparativa de indicadores operativos del proceso de trituracion	36
Figura 7 Comparativa de indicadores operativos del proceso de fundicion.....	37

3. INDICE TABLAS

Tabla 1 Parametros tecnicos de las baterias plomo acido y ciclo profundo	16
Tabla 2 Valor de la ponderacion de riesgo	21
Tabla 3 Nivel de Impacto	22
Tabla 4 Identificacion de Riesgo.....	22
Tabla 5 Residuos Peligrosos	24
Tabla 6 Evaluacion de riesgos en el transporte de baterias ácido-plomo ciclo profundo en Ecuador.....	27
Tabla 7 Indicadores operativos del proceso de recoleccion	33
Tabla 8 Indicadores operativos del proceso de transporte	34
Tabla 9 Indicadores operativos del proceso del almacenamiento	35
Tabla 10 Indicadores operativos del proceso de trituracion	36
Tabla 11 Indicadores operativos del proceso de fundicion	37
Tabla 12 Invetario cuantitativo de baterias de plomo-acido y ciclo profundo	38
Tabla 13 Grado de cumplimineto de parametros normativos y ambientales en los establecimientos	40

ANALISIS DE VIDA DE BATERIAS PLOMO ACIDO Y CICLO PROFUNDO EN VEHICULOS M1 Y EL IMPACTO AMBIENTAL QUE GENERAN EN SU ETAPA DE RECICLAJE

Ing. Pablo Ante C. MSc¹, Jalisson Carrera C.², David Tituaña D.³

¹Maestría Especialidad - Universidad, Titulo Obtenido, paantes@uide.edu.ec, Quito –

Ecuador

²Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, jacarreraga@uide.edu.ec, Quito–

Ecuador

³Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, dajimati@uide.edu.ec, Quito –

Ecuador

RESUMEN

Introducción: El presente estudio analiza los problemas asociados a la gestión y reciclaje de baterías de plomo-ácido ciclo profundo en el Ecuador, debido a su contenido de componentes peligrosos como el Plomo (Pb), dióxido de plomo (PbO₂), sulfato de plomo (PbSO₄), ácido sulfúrico H₂SO₄, agua destilada H₂O, polipropileno PPO, hidrógeno H y oxígeno O, con una gestión inadecuada representan riesgos significativos para la salud humana, representado en enfermedades crónicas lo que conlleva el contacto directo con el plomo y en el ambiente su afectación a las tierras en su fertilidad. **Metodología:** El estudio se logró mediante un análisis documental cuantitativo para el ciclo de vida de las baterías de ácido plomo ciclo profundo y el impacto ambiental en la etapa de reciclaje, basando en el acuerdo Ministerial MAATE 2021-034, donde se fundamenta en la Sección I Ámbito de Aplicación y Sección II responsabilidades, para la gestión integral de baterías de plomo ácido usadas, esto acompañado de la entidad BAPU quien es el principal ente que maneja las baterías usadas a nivel nacional. **Resultados:** Proyectar una deficiencia crítica en la logística de las baterías de vehículos M1 donde la ausencia de medidas técnicas en reciclaje acelera la acumulación litosférica de metales no biodegradables, contrastando la efectividad de procesos industriales controlados como las empresas BAPU y FUNDAMENTZ, frente al impacto ambiental degenerativo del reciclaje empírico de baterías usadas. **Conclusión:** En Ecuador presenta un alto riesgo ambiental debido al incumplimiento de las normativas y la prevalencia del reciclaje informal, la falta de control técnico en las baterías y en el tratamiento final de estos dispositivos aceleran la acumulación litosférica de materiales pesados provocando la degradación irreversible de la fertilidad del suelo y enfermedades crónicas por exposición al Pb.

Palabras clave: Propileno, Inadecuada, Manipulación, Aplicación, Impacto.

ABSTRACT

Introduction: This study analyzes the problems associated with the management and recycling of deep cycle lead-acid batteries in Ecuador, due to their content of hazardous components such as lead (Pb), lead dioxide (PbO₂), lead sulfate (PbSO₄), sulfuric acid (H₂SO₄), distilled water (H₂O), polypropylene (PPO), hydrogen (H), and oxygen (O). Inadequate management of these batteries poses significant risks to human health, including chronic diseases resulting from direct contact with lead, and to the environment, affecting soil fertility. **Methodology:** This study was conducted through a quantitative documentary analysis of the life cycle of deep-cycle lead-acid batteries and the environmental impact of the recycling stage. It was based on Ministerial Agreement MAATE 2021-034, specifically Section I (Scope of Application) and Section II (Responsibilities), for the comprehensive management of used lead-acid batteries. This was further supported by BAPU, the main entity managing used batteries nationwide. **Results:** The study reveals a critical deficiency in the logistics of M1 vehicle batteries, where the lack of technical recycling measures accelerates the lithospheric accumulation of non-biodegradable metals. The effectiveness of controlled industrial processes, such as those implemented by BAPU and FUNDAMENTZ, was contrasted with the degenerative environmental impact of empirical recycling of used batteries. **Conclusion:** In Ecuador, there is a high environmental risk due to non-compliance with regulations and the prevalence of informal recycling. The lack of technical control over batteries and the final treatment of these devices accelerates the lithospheric accumulation of heavy materials, causing irreversible degradation of soil fertility and chronic diseases due to lead exposure.

Keywords: Propylene, Inadequate, Handling, Application, Impact.

Introducción

La expansión de la industria de movilidad en particular de los vehículos M1 llega a un incremento notable y significativamente en la demanda de baterías de plomo ácido y de ciclo profundo, posicionando estos dispositivos como elementos críticos dentro de la gestión de residuos peligrosos. El principal propósito de esta investigación es analizar integralmente las consecuencias ambientales generadas durante las diversas etapas del proceso de reciclaje de las baterías de plomo ácido y ciclo profundo, con esto se puede llegar a determinar el gran impacto de contaminación que generan las baterías con un pésimo control de manejo, transporte y almacenamiento de las mismas.

Con el presente estudio se llega a abarcar la identificación y la clasificación de los componentes de las baterías de plomo ácido ciclo profundo, con la función de la peligrosidad que se verá representada en una tabla estructurada que se llegue a diferenciar claramente los elementos peligrosos de los no peligrosos según su proporción. Con este análisis permitirá identificar con mayor exactitud cuáles de estos elementos llegan a representar un riesgo potencial para el ambiente y la salud humana, como en el interior se encuentra plomo, ácido sulfúrico, separadores y en el exterior notamos la carcasa de polipropileno, terminales metálicos, tapas. Estos dichos materiales se ven reflejados en su nivel de peligrosidad con esto se puede facilitar al establecer medidas técnicas y de prevención más específicas para su debida manipulación.

Evaluaremos los riesgos asociados con el transporte de las baterías, con lo que se incluyen la posibilidad de fugas en las baterías que se llegan a obtener, dando como prioridad el reconocer el peligro que conlleva la manipulación de las baterías en mal estado y al momento del transporte según el libro de Manejo Ambientalmente Adecuados de Baterías de Plomo Ácido Usadas. Con esto se podrá llegar a la evaluación del tratamiento de las baterías de plomo ácido en vehículos M1, donde llegan a un lugar de recogida y se aplique métodos de reciclaje.

El presente estudio es para comprender los problemas con la gestión y reciclaje de las baterías en nuestro país, ya que el incremento del parque automotor se ha impulsado a una mayor demanda de acumuladores eléctricos. Este componente llega a ser esencial para el arranque, respaldo y funcionamiento de los sistemas de un vehículo M1, su vida útil es limitada lo cual genera una cantidad considerable de residuos peligrosos. Las baterías de plomo ácido llegan a contener plomo, ácido sulfúrico y otros compuestos que, al no tener un manejo adecuado,

puede ser un contaminante directo, lo cual afecta a los ecosistemas y a la salud humana.

En Ecuador el reciclaje y el tratamiento final de las baterías presentan una deficiencia en el control ambiental, en lo cual se ve notablemente en los locales de ventas de baterías y recicladoras informales que no llegan a contar con ciertas medidas técnicas y de seguridad.

Para dicho estudio se utiliza la metodología de análisis documental y cuantitativo, en lo que se respecta a la etapa de reciclaje de las baterías de ciclo profundo y plomo ácido, para lo cual, se destaca la normativa MAATE 2021-034, donde consta los requerimientos que se debe seguir al manipular estos elementos con su dicha seguridad y pasos a constar. Acompañado de la empresa BAPPU el cual se encarga de las baterías usadas y darles un correcto reciclaje para disminuir la contaminación.

La importancia de este análisis recae en la contaminación de las baterías de ciclo profundo y plomo ácido, lo cual da una alta exposición al plomo y al ácido sulfúrico, esto se produce durante el proceso de reciclaje informal, estos materiales liberan partículas de plomo que pueden ser inhaladas o ingeridas a través del suelo o fuentes de agua contaminadas, esto es más considerable en trabajadores de reciclaje de baterías, lo cual pueden contraer enfermedades como intoxicación crónica, que ocurre por inhalación de humos o ingesta de polvo contaminado del plomo, lo que recae en los huesos y dientes dañando el sistema nervioso, riñones, sistema cardiovascular y causando la infertilidad. También se ve afectado a nivel ambiental por la huella de contaminación del plomo, ya que es un material no biodegradable y tener una fácil impregnación en la capa superficial del suelo, provocando la acumulación litosférica la cual altera el microbiota del suelo reduciendo la fertilidad de los campos agrícolas.

Marco Teórico

Contaminación de las baterías

Las baterías de plomo-ácido y de ciclo profundo suponen un grave riesgo para el medio ambiente, una batería de 15 kg contiene alrededor de 10 kg de plomo y 3 litros de ácido sulfúrico. Si estas se desechan incorrectamente, el plomo puede contaminar hasta 25,000 kg de tierra, sobrepasando los niveles de seguridad internacional establecidos de 400 mg/kg; al mismo tiempo, el ácido puede modificar el pH de hasta 10,000 litros de agua, generando un ambiente mortal para la vida acuática. Por otro lado, su ciclo de vida produce una emisión de carbono que varía entre 22.5 y 45 kg de dióxido de carbono equivalente por batería. Igualmente, en procesos de reciclaje informal se pierden hasta 2.5 kg de plomo por cada batería, lo que incrementa las concentraciones en suelos adyacentes hasta 5,000 mg/kg, lo que supera en más de 25 veces los límites saludables y causa la acumulación de metales pesados que pueden permanecer en el ecosistema durante años (CM Consulting, Kelleher Environmental y Greeneye Partners, 2016).

Ciclo de vida de las baterías

El tiempo de existencia de las baterías de plomo ácido y de ciclo profundo se define por una conexión técnica rigurosa entre el voltaje y la cantidad de uso, donde una carga completa oscila entre 12. 65V y 12. 70V, mientras que una descarga segura no debe caer por debajo de 12. 24V 50% DoD (profundidad de descarga), para evitar un desgaste prematuro. Una batería convencional puede ofrecer entre 200 y 500 ciclos, una batería de ciclo profundo puede lograr entre 1,000 y 2,500 ciclos si es utilizada con descargas parciales, funcionando bajo un sistema de carga de tres etapas que varía entre 14. 7V en la fase de absorción y 13. 8V en la fase de flotación. Este proceso electroquímico depende en gran medida de la temperatura, ya que temperaturas elevadas pueden aumentar la corrosión interna, mientras que mantener estos niveles de voltaje asegura una conversión eficiente del sulfato de plomo, protegiendo la estructura de las placas gruesas de plomo y prolongando la vida útil del sistema durante varios años (Sanchez, 2019).

Tabla 1

Parámetros técnicos de las baterías Plomo ácido y Ciclo profundo.

Parámetros técnicos	Plomo ácido	Ciclo profundo
Densidad energética	70 Wh/kg	80 Wh/kg
Vida útil	3-5 años	3-7 años
Profundidad de descarga recomendada	50% - 60%	50% - 90%
Ciclos de vida	200-400 ciclos	500-1200 ciclos

Fuente: (Sanchez,2019)

La tabla hace referencia los diferentes parámetros a la cual está adaptada a la temperatura y altitud de la ciudad de Quito, donde la temperatura entre 10°C y 25°C y con una altitud promedio de 2.850 metros sobre el nivel del mar.

Batería de Plomo Acido

Es un dispositivo que, a través de un proceso de electroquímico, puede guardar energía eléctrica como energía química y liberarla al ser unida a un circuito externo que consuma. Las reacciones tales como químicas que ocurren son reversibles y pueden ser recargadas al conectar los terminales como una fuente de energía externa, aunque con la polaridad invertida.

Proporciona energía mediante reacciones químicas que incluyen la oxidación de plomo metálico a sulfato de plomo en el ánodo y la reducción de óxido de plomo a sulfato de plomo en su cátodo, utilizando un material conductor conocido como electrolito, suele contener seis celdas de alrededor de 2. 1 voltios cada una, su capacidad se expresa en amperios-hora (Ah) y típicamente varía entre 40 y 100 Ah según el tipo de vehículo. La corriente de arranque en frío señala su fuerza de arranque y generalmente se sitúa entre 300 y 700 CCA, mientras que la reserva de capacidad fluctúa entre 90 y 120 minutos (Fundación Energizar, 2020).

Batería de Ciclo Profundo

Esta es una batería de (Pb) diseñada para proporcionar energía de manera continua durante un tiempo extendido y de forma segura, hasta que la carga alcance el 80% o más, siendo este el momento más adecuado para cargarla. Es fundamental recordar que las baterías de ciclo profundo pueden descargarse hasta un 80%. La mayoría de fabricantes sugieren no reducir

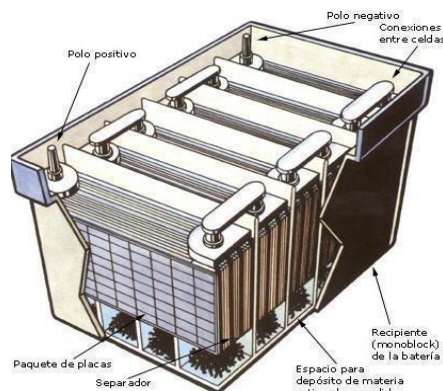
la carga por debajo del 45 %, lo cual ayuda a alargar la durabilidad de la batería. El nivel de descarga se denomina ciclo profundo, y en contraste con otros tipos de baterías que solo pueden emitir cortas ráfagas de energía antes de requerir recarga. En particular, una batería destinada al arranque descarga solo una pequeña fracción, generalmente entre el 2 y el 5%, cada vez que se utiliza. Sostiene un voltaje estándar de 12 voltios a 12.6 voltios cuando está llena y cerca de 12.0 voltios cuando está vacía, ofreciendo una capacidad superior en comparación con una batería estándar, generalmente en un rango de 70 a 200 Ah, pero muestra una corriente de arranque en frío inferior cerca de 200–500, porque no está creada principalmente para arrancar el motor, sino para manejar descargas largas y repetitivas, su reserva de energía normalmente es mayor a 120 minutos aproximadamente (Cavasassi, 2010).

Componentes de la Batería Automotriz

Los componentes principales de una batería automotriz incluyen las celdas de plomo ácido, por lo general tiene seis celdas conectadas en serie, cada una con un voltaje de aproximadamente 2,1 voltios, para un total de cerca de 12,6 voltios. Las placas se encuentran internamente de cada batería, contienen placas positivas y negativas hechas de plomo o compuestos de plomo, y así el electrolito de una solución de ácido sulfúrico y agua que promueve reacciones químicas entre placas de plomo para generar electricidad y el terminal contiene puntos de conexión de un cable que proporciona corriente hacia o desde la batería (Enovateam, s.f.).

Figura 1

Componentes de la batería



Fuente: (Gonzalo Lara, 2013)

Reciclaje de las baterías

Para este proceso es indispensable poder recuperar materiales valiosos para poder así disminuir la contaminación ambiental, son dos propósitos fundamentales del reciclaje de baterías usadas de plomo ácido. Estas baterías, que se consideran desechos peligrosos, tienen que ser administradas de acuerdo a las regulaciones medioambientales. El procedimiento comprende la recolección y almacenamiento seguro, el desmontaje para disociar el ácido, el (Pb) y el plástico, la neutralización del ácido sulfúrico, la fundición y purificación del (Pb) y el reciclado de las cubiertas plásticas. Este proceso previene la contaminación del agua y el suelo, reduce la extracción de recursos naturales y promueve la economía circular a través de la reutilización de materiales (Organización Mundial de la Salud, 2017).

Métodos de reciclaje

El reciclaje de baterías de plomo ácido consta en recoger y transportar de manera segura a instalaciones de reciclaje, donde se pueda separar el plomo, el ácido sulfúrico y el plástico. El ácido se neutraliza en la mezcla de reciclaje, mientras que la carcasa se tritura y el material se separa mediante flotación y sedimentación.

El (Pb) reciclado se funde en un horno para eliminar impurezas y formar lingotes reutilizables, el plástico se limpia y se recicla para fabricar nuevas cajas de baterías u otros productos. La gestión de emisiones y residuos se controla estrictamente durante todo el proceso para minimizar el impacto ambiental y garantizar un reciclaje de materiales eficiente y sostenible (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

En el libro sobre el Manejo Ambientalmente adecuado de baterías de plomo-ácido usadas en América del Norte, explica también de otra manera sobre como es el manejo de las baterías de plomo-ácido cuando ya llegan a su vida útil, donde, receptan las baterías y sus componentes reciclables, donde son descargadas, pesadas y son enviadas para el procesamiento de los materiales que llevan internamente.

Proceden a la separación de cada componente, donde las baterías son trituradas en una máquina separando el plomo, el plástico y el ácido, con ayuda de la técnica del tamizado y separación por gravedad, para proceder con su procesamiento, para la contención del plomo acompañado de otros residuos para evitar posibles derrames, en este sitio se caracteriza por

tener dos capas enzima del suelo acompañado de un sistema que detecta las filtraciones.

Por ende, el tratamiento y la purificación de aguas residuales neutralizan y limpian el ácido sulfúrico, convirtiendo en un líquido con neutral, donde ya no exista ningún tipo de peligrosidad de acuerdo a las normativas (CM Consulting, Kelleher Environmental y Greeneye Partners, 2020).

Etapas del reciclaje de baterías

1. Recolección

Esta etapa llega a hacer la primera dentro de la fase de reciclaje lo cual puede ser la más crítica en todo este proceso, este es el punto de partida donde se recuperan las baterías usadas desde los usuarios finales hasta llegar a los centros de acopio que cuenten con la normativa vigente, dentro de este punto de la recolección llegan factores como son el almacenamiento de las mismas que cuentan con un cierto tiempo permitido para tenerlas almacenadas este tiempo es dado por la normativa que se llega a especificar un lapso de 3 meses.

2. Transporte

Para este punto se llega a trasladar las baterías de forma segura hacia las plantas de reciclaje, dado que estos componentes son sustancias altamente tóxicas entre ellas el plomo para este punto se llega a tener en cuenta la clasificación internacional, que está vigente por el código UN2794 que se especifica que se llega a realizar el transporte bajo esta normativa, con lo cual se especifica las condiciones que se debe regir el transporte con estos materiales, como sería contar con la ficha técnica, ficha de traslado, contar con señaléticas, tener los respectivos embalajes a las baterías, contar con un transporte autorizado y equipar.

3. Recepción y almacenamiento

Al llegar a la planta de reciclaje autorizado estas baterías se llegan a descargar en zonas específicas impermeables con un sistema de contención de derrames, seguido se realizara una inspección técnica de la batería lo cual tiene la finalidad de verificar que las baterías no tengan fugas o daños estructurales críticos, al notar estos puntos se las clasifica dependiendo el tipo de batería como en este caso se las separaría como automotrices, selladas, estacionarias de gel con la finalidad de optimizar el procesamiento.

4. Trituración y separación

Las baterías dependiendo a su clasificación de las tritura con el fin de reducirlas a

pedazos pequeños de material, seguido al tener toda esta masa triturada se la vierte en tanques que se separa por la densidad donde los componentes se dividen de forma natural Plásticos flotan en el agua los cuales se retiran, se lavan y se envían a paletizado para ser convertidas en trozos pequeños de material plástico. Plomo este metal pesado se llega a hundir y se lo extrae en forma de lodo para ser puesto en la siguiente etapa de la fundición. Ácido sulfúrico este se llega a drenar y se los envía la estación de neutralización química la cual se transforma en sulfato de sodio.

5. Fundición

El compuesto de plomo recuperado se lo coloca en hornos rotativos a elevadas temperaturas entre 1000 °C y 1200 °C con esto se agregan agentes reductores que son el carbono o hierro con el fin de separar las impurezas que pueda tener el plomo, seguido de esto se extrae el plomo derretido para ser colocados en moldes de lingotes también llamados “goas”, estos lingotes se los vende nuevamente a las fábricas de baterías para reiniciar por completo el ciclo.

Contaminación del Plomo

La contaminación del plomo con el suelo, ocurre cuando las baterías son abandonadas en vertederos o talleres y sus carcasas tienden a romperse, liberando ácido sulfúrico mezclado con plomo. Este ácido carcome la tierra y permite que el metal pesado se adhiera fuertemente a las capas del suelo, destruyendo los microorganismos que lo hacen fértil e incorporándose en las raíces de las plantas y cultivos agrícolas que luego se consumen. La contaminación del agua se produce cuando la lluvia arrastra el plomo del suelo hacia los ríos y lagos, o cuando este se filtra directamente hacia los acuíferos subterráneos que abastecen los pozos de agua potable (Ambiente Bogota, 2021).

Acuerdo Ministerial MATTE 2021-034

El documento detalla las normas y responsabilidades necesarias para implementar la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en la gestión adecuada de baterías de plomo-ácido usadas (BAPU) en Ecuador, considerando estas baterías como desechos peligrosos y asignando tareas a fabricantes, importadores, ensambladores, distribuidores y otros participantes que las comercializan. Se requiere obtener permisos ambientales, llevar a cabo el conteo y la actualización del Registro de Generadores de Residuos Peligrosos en el SUIA, desarrollar y ejecutar un Plan de Gestión Integral (PGI), organizar la recolección, transporte, almacenamiento y entrega de las baterías a procesadores autorizados, establecer puntos de recolección adecuados,

controlar el tiempo máximo de almacenamiento, comunicar el plan a todos los implicados y asegurar que todas las acciones se realicen de acuerdo con la normativa ambiental vigente, garantizando la gestión segura, responsable y rastreable de las baterías de plomo ácido usadas (MATTE,2021).

Corporación BAPU

BAPU es una entidad que se encarga de reciclar todo tipo de baterías entre ellas las de ciclo profundo y de plomo ácido, donde su única función es de reciclar las baterías para evitar la contaminación y salvaguardar el suelo, aguas y la salud de los seres humanos, se caracterizan como una corporación sin fines de lucro para coordinar con administradores autorizados por el MAATE y la gestión necesaria para recolectar y reciclar las baterías plomo ácido usadas en todo el país. Establece acuerdos con el cuidado necesario sobre el ciclo de vida de una batería, ya que son los encargados de la responsabilidad de garantizar que se reciclen adecuadamente, cumpliendo así con las metas y acuerdos fijados por las autoridades (BAPU, 2022).

Materiales y métodos

Este estudio se desarrolló mediante la metodología de análisis documental cuantitativo, orientando en el análisis de datos numéricos relacionados con la comparación y peligrosidad de los materiales que se componen las baterías de plomo ácido ciclo profundo en vehículos M1. Para esto se diseñó una matriz de riesgo recopilando ponderaciones e impactos de los componentes de la batería M1, con sus respectivos valores para la obtención de los factores de riesgos de su identificación.

Tabla 2

Valor de la ponderación de riesgo

PONDERACION		
Valor de la Ponderación	Nivel de Ponderación	Descripción
1	BAJO	Poco probable que ocurra.
2	MEDIO	Indica una posibilidad moderada; el evento podría ocurrir en ciertas circunstancias.
3	ALTO	Indica un gran suceso de que el evento ocurra, siendo frecuente o seguro.

Fuente: (Carrera, Tituaña, 2026)

Tabla 3

Nivel de Impacto

IMPACTO		
LEVE (2)	MODERADO (4)	CATASTRÓFICO (6)
FACTOR DE RIESGO		
BAJO RIESGO 5-9	MEDIO RIESGO 10-20	ALTO RIESGO 30-60

Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

Tabla 4

Identificación del Riesgo

Identificación del Riesgo	Descripción de la Actividad	Calificación del Factor de Riesgo		
		Ponderación	Impacto	Factor de Riesgo
(Pb)	Afectación severa en la salud humana como el sistema neurológico, hematológico, gastrointestinal, cardiovascular y renal.	2	20	40
(PbO₂)	Exposición al medio ambiente y daños respiratorios en las personas que lo respiran.	2	10	20
(PbSO₄)	Quemaduras e irritación en la piel de las personas al tener contacto directo con este químico.	3	10	30
(H₂SO₄)	Derrames sin ningún cuidado afectando al suelo y el agua.	2	10	20
(PP)	Residuos de las carcasas generando contaminación.	1	5	5
(H₂)	Liberación del gas permitiendo explosiones.	2	10	20
(O₂)	Al estar liberada por el medio ambiente incrementa reacciones de combustión en condiciones de la manipulación.	3	20	60

Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de riesgo, se evidencian los niveles de peligro asociados a los componentes analizados. Los resultados muestran distintos niveles de riesgo, destacándose principalmente los riesgos altos vinculados al plomo (Pb), dióxido de plomo (PbO₂), sulfato de plomo (PbSO₄), hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂), debido a sus efectos graves en la salud, el ambiente y su potencial de explosión o combustión.

El ácido sulfúrico (H_2SO_4) presenta un riesgo medio relacionado con la contaminación por derrames y el polipropileno (PP) tiene un riesgo bajo por su menor impacto. La interpretación indica que se deben priorizar medidas preventivas en los elementos con mayor factor de riesgo, sin descuidar el control de los demás para evitar futuras afectaciones.

Por otra parte, el método de análisis documental permitió recopilar, revisar y sistematizar la información técnica proveniente de fuentes científicas y normativas, tales como donde el Acuerdo Ministerial MAATE 2021-034 y documentos especializados en el transporte y reciclaje, con esta información se compone la organización crítica para la construcción de tablas de peligrosidad y evaluación de riesgo.

Para comprender de mejor manera los diferentes componentes que contiene la batería internamente se los caracteriza de la siguiente manera:

- **Placas positivas y negativas:** Las placas constituyen los componentes internos en los que se lleva a cabo la reacción electroquímica. Las placas positivas se componen de PbO_2 (dióxido de plomo) y las negativas, de Pb (plomo esponjoso). Las dos se encuentran dentro del electrolito y están separadas por los separadores. La alternancia y la cantidad determinan el voltaje y la capacidad de la batería.
- **Electrolito:** La batería está llena de electrolito, que es una combinación de agua destilada y ácido sulfúrico. Es fundamental para la reacción química que produce la corriente eléctrica, porque posibilita el traspaso de iones entre las placas.
- **Separadores:** son limitadores de láminas delgadas de un material plástico poroso que se colocan entre las placas negativas y positivas. Su finalidad es prevenir el contacto directo entre ellas para impedir cortocircuitos, a la vez que posibilita el tránsito del electrolito para favorecer la reacción química.
- **Rejillas o bastidores:** Son estructuras metálicas internas que desempeñan dos roles: sirven como conductoras para la electricidad y brindan soporte mecánico a la pasta del material activo.
- **Carcasa:** Por lo general, la carcasa es el contenedor externo, que está hecho de polipropileno de alta densidad o de plástico reforzado. Su tarea fundamental es, además de prevenir la fuga del electrolito, proteger los elementos internos de la batería ante vibraciones, impactos y factores externos.

- **Tapones de llenado o sistema de ventilación:** Las baterías pueden tener tapones que se pueden quitar para comprobar y reponer el electrolito, o un sistema de ventilación que posibilita la liberación de los gases producidos durante la carga y descarga, lo cual previene la acumulación de presión interna.
- **Bornes o terminales:** Los bornes son las conexiones externas de la batería con el sistema eléctrico del automóvil. Cada batería tiene un borne negativo y uno positivo, este terminal es de mayor tamaño, lo cual favorece que se instale correctamente y previene equivocaciones de polaridad (Enovateam, s.f.).

Los componentes de la batería pueden clasificarse en peligrosos y no peligrosos para la salud humana y el medio ambiente. Los peligrosos pueden causar contaminación debido a los fluidos químicos que contienen, mientras que los no peligrosos presentan menor impacto y pueden ser manipulados con mayor seguridad, especialmente en procesos de reciclaje.

Esta clasificación permite identificar su nivel de riesgo y el porcentaje en que se encuentran dentro de la batería, facilitando un manejo adecuado.

Tabla 5
Residuos Peligrosos

Residuos	Código H	Riesgo	Letra	Pictograma	Justificación técnica
(Pb)	H6	Tóxico/ Peligroso	T		Es altamente tóxico se bioacumula, afecta sistema nervioso, renal y hematológico.
(PbO ₂)	H1	Explosivo/ Peligroso	E		Reacciona con el ácido sulfúrico y expone plomo disponible es tóxico e irritante.
(PbSO ₄)	H10	Tóxico/ Peligroso	T		Subproducto de la descarga; mantiene toxicidad del plomo en forma estable pero peligrosa.
(H ₂ SO ₄)	H8	Corrosivo/ Peligroso	C		Sustancia altamente corrosiva clasificada como peligro para la salud y el ambiente.
Agua destilada	-	No tóxico/No Peligroso	-		Constituyente del electrolito diluido no representa riesgo por sí sola.

Polipropileno (carcasaplástica)	-	No tóxico/No Peligroso	-		No es tóxico ni corrosivo su peligrosidad se asocia solo a incendios al quemarse.
Vapores de hidrógeno y oxígeno (durante carga)	H3-A	Inflamable/ Peligroso	F+		Pueden generar explosiones si se acumulan sin ventilación adecuada.

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2012)

De acuerdo con normativa NOM-018-STPS-2015 norma mexicana vigente que ayuda a identificar y comunicar los diferentes peligros y riesgos de las sustancias químicas peligrosas al manipular las componentes internas de las baterías, está acompañada del Acuerdo Ministerial vigente N°142 de la Republica del Ecuador, especifica que los residuos peligrosos como los componentes de la batería, como él (Pb), (PbO₂), (PbSO₄), (H₂SO₄) y los vapores de hidrógeno y oxígeno, se clasifican como peligrosos debido a su alta toxicidad, carácter corrosivo o riesgo de explosión, lo que afectar gravemente a la salud humana y al medio ambiente. En contraste, componentes como el agua destilada y el polipropileno se consideran no peligrosos en condiciones normales, ya que presentan un bajo nivel de riesgo, aunque pueden generar impactos si no se manejan adecuadamente.

En conjunto, estos resultados evidencian la necesidad de una correcta manipulación, control y reciclaje de las baterías para prevenir daños.

Diagnóstico de batería en vehículos M1

Para comprender un análisis sobre la eficiencia energética que conlleva el vehículo de categoría M1 es definir los parámetros que se determinan sobre su vida útil de la batería. En aplicaciones de alta demanda eléctrica y sistemas start-stop, la frontera que se tiene entre una batería funcional y una considerada como “chatarra” o residuo técnico se llega a definir por tres indicadores críticos:

A. Criterios de disposición final.

La batería se llega a categorizar como chatarra técnica cuando se pierde la capacidad de gestionar los ciclos de carga y descarga rápida.

- **Resistencia interna:** En baterías nuevas esta llega a oscilar entre 0.03 y 0.05 mΩ. Se nota considerable fuera de servicio cuando este valor supera a los 15 mΩ, ya que el incremento de resistencia puede impedir el flujo de corriente necesario para tener un correcto arranque.
- **Estado de salud:** El umbral crítico para un sistema start-stop se nota en un 50%, por debajo de este el porcentaje de la batería no se tiene una garantía que el soporte de las cargas auxiliares dure en la fase de una parada de motor.
- **Tensión de corte:** La batería es descartada si tras tener un ciclo de carga completa, se nota el voltaje en circuito abierto desciende rápidamente por debajo de 12.4 a 12.2 V con lo cual indica un cortocircuito interno o una sulfatación irreversible en las placas.

B. Curvas de descarga y resistencia interna.

- **Comportamiento de la curva:** Al tener una batería optima se mantiene en una meseta de voltaje estable por encima de los 12.5 V durante la demanda que se llega al tener los accesorios. Con una batería degradada la misma sufre una curva es la cual es pronunciada, alcanzando el voltaje de corte de forma prematura por la incapacidad de la transferencia iónica.
- **Influencia de la resistencia interna:** La resistencia interna es el factor importante que determina en la eficiencia térmica, una resistencia elevada disipa energía en la forma de calor esto durante el proceso de recuperación de carga, esto acelerando la degradación del electrolito y limitando la capacidad de reserva del vehículo (Top of Best, 2024).

Técnica para la asignación de valores de riesgo en el transporté de baterías acido-plomo ciclo profundo

Para la evaluación de riesgo asociado al transporte de baterías de plomo acido – ciclo profundo, los valores que obtuvimos de nivel de riesgo, fueron definidos por la normativa ambiental vigente. En primer lugar, se consideró el Acuerdo MAATE-2021-034, el cual es clave de la clasificación de las baterías de plomo ácido usadas categorizadas como residuos especiales peligrosos, estableciendo así las obligaciones específicas para su correcto manejo y control. Asimismo, se tomó como referencia al Anexo II del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, el cual regula la gestión del transporte de residuos peligrosos dentro del territorio nacional y exige la elaboración de estudios ambientales y planes del correcto manejo para su

movilización.

De forma complementaria, se revisaron en informes técnicos y reportes de gestión emitidos por los programas nacionales como BAPU, en los cuales se documenta las prácticas de recolección, almacenamiento y traslado de baterías usadas en Ecuador. A partir de estas fuentes, se establecieron los criterios para asignar valores consistentes en los niveles de riesgo relacionados con fugas, derrames, corrosión y exposición a componentes peligrosos en el lapso de su transporte. Este marco normativo, que especifica los requisitos del Plan de Gestión Integral de Residuos Peligrosos para empresas y transportistas autorizados, fue clave para definir los principales componentes de evaluación. Específicamente, en el Anexo II exige:

- ✓ El estudio ambiental previo
- ✓ Evaluaciones de riesgo
- ✓ La capacitación del personal para el correcto uso de las baterías
- ✓ Requerimiento técnico de los vehículos y los embalajes
- ✓ La identificación de peligros que están asociados al transporte

Tabla 6

Evaluación de riesgos en el transporte de baterías ácido-plomo ciclo profundo en Ecuador.

Peligro identificado	Descripción del riesgo	Ponderación	Nivel de riesgo	Medidas de control
Fuga del electrolito (ácido sulfúrico)	Derrame por daño de la carcasa, mala manipulación o vibraciones durante el transporte.	Media	Alto	Uso de contenedores secundarios, embalaje resistente, transporte por gestores autorizados.
Exposición al plomo	Liberación de polvo o residuos de plomo presentes en baterías dañadas o deterioradas.	Baja	Medio-Alto	Manipulación con EPP, vehículos cerrados, evitar ruptura. Registro en Manifiesto de Transporte.
Corrosión o rotura durante el trayecto	El estado físico deteriorado de la batería aumenta el riesgo de fractura y derrame.	Media	Medio	Inspección previa del estado de las baterías.
Contaminación ambiental por derrame	Daño al suelo o cuerpos de agua por fuga de ácido o metales pesados.	Media	Alto	Contenedores impermeables, plan de contingencias, disponibilidad de material absorbente.

Accidente vehicular transportando residuos peligrosos	Colisión que provoque liberación de ácido o fragmentación de baterías.	Baja	Medio-Alto	Conductores certificados, señalización de carga peligrosa, rutas autorizadas.
Manipulación inadecuada durante carga/descarga	Golpes o caídas que generen daños estructurales.	Media	Media	Capacitación del personal, cumplimiento de protocolos del MAATE.

Fuente: (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2021)

La tabla muestra que, en conjunto con los componentes peligrosos y su factor de riesgo, también existe el análisis de los peligros asociados al traslado de baterías de plomo ácido en Ecuador, donde se indica que los riesgos más significativos son la fuga de electrolito y la contaminación por derrames, con una probabilidad moderada pero un impacto elevado. Otros peligros, como la exposición al plomo y accidentes, tienen una probabilidad baja, aunque su impacto es notable, mientras que la corrosión y la manipulación inapropiada generan riesgos moderados. En términos generales, es necesario implementar medidas rigurosas para prevenir daños a la salud y al medio ambiente.

Con el fin de sustentar la evaluación de riesgo de transporte de baterías de plomo ácido y ciclo profundo usadas, se constató mediante en el Acuerdo Ministerial MAATE-2021-034 con el Anexo II, la obligatoriedad de cumplir con informes tanto de salida como anuales. En estos documentos se debe especificar la información general, nombres de los sistemas colectivos o individuales, la localización de los distribuidores, las marcas de baterías que se manejan e información detallada de los gestores ambientales autorizados.

Gestores autorizados frente a las etapas del reciclaje de baterías plomo ácido y ciclo profundo

Corporación BAPU

En este caso, el análisis se enfoca en el sistema con el que trabaja la empresa autorizada BAPU (baterías ácido plomo usadas), donde el gerente general de BAPU Diego Merchán, explica que la organización se alinea en dos ejes específicos: el cumplimiento normativo de empresas importadoras y productoras, la gestión adecuada de toda la cadena comercial. Este último punto vincula el proceso desde el productor o importador inicia hasta que la batería se recicla en su 100%. Para este proceso de reciclaje se maneja de manera virtual mediante los

siguientes pasos:

- Se debe realizar una solicitud detallando el tipo de batería que se va a entregar.
- Se envía el transporte autorizado por el ministerio de ambiente destinado a retirar la batería en un lapso de 72 a 48 horas.
- Las baterías son destinadas a un gestor de ambiental autorizado, cuyo trabajo consiste en procesar el 100% de los componentes. Los materiales recuperados de la gestión se reincorporar a procesos de producción para la fabricación de nuevos dispositivos de baterías, por ejemplo, el plástico con el cual se realiza nuevas cajas de baterías y el plomo para hacer nuevas celdas de plomo.

Finalmente, se destaca el fortalecimiento de la gestión de las empresas adheridas, el cumplimiento estricto de la normativa y la formalidad en el manejo de los residuos. En el país, el sistema opera con transportistas calificados y con un gestor de aprovechamiento técnico denominado, el proceso de reciclaje de baterías plomo-ácido que lleva a cabo con la empresa certificada.

Fundamentz S.A

Empresa autorizada en el Ecuador, donde se empieza con la llegada de las baterías usadas, seguido del pesaje y la clasificación de las baterías desechadas, garantizando así un control efectivo sobre los materiales que se ingresan.

Las baterías son sometidas luego a un proceso mecánico de trituración, el cual ayuda a separar sus elementos principales: electrolito, plomo en pasta, plástico y piezas metálicas. Después de ser separados, los materiales son procesados uno a uno; el polipropileno de las carcasas se recoge para reciclarlo más adelante, y los componentes que tienen plomo se envían a procesos metalúrgicos de recuperación. Los electrolitos y los líquidos residuales son tratados de forma específica con la finalidad de evitar efectos negativos sobre el medio ambiente seguido se funden y refinan el plomo recuperado, los óxidos y las piezas de metal para obtener aleaciones con las que pueden ser empleadas nuevamente en la fabricación de nuevas baterías. El plástico recuperado, por otra parte, es sometido a un procedimiento de paletización con el fin de convertirlo en materia prima que se utilizará para fabricar nuevos artículos plásticos. Este proceso permite maximizar el uso de los componentes de las baterías utilizadas, minimizando la generación de residuos peligrosos e impulsando la economía circular (Merchán, 2025).

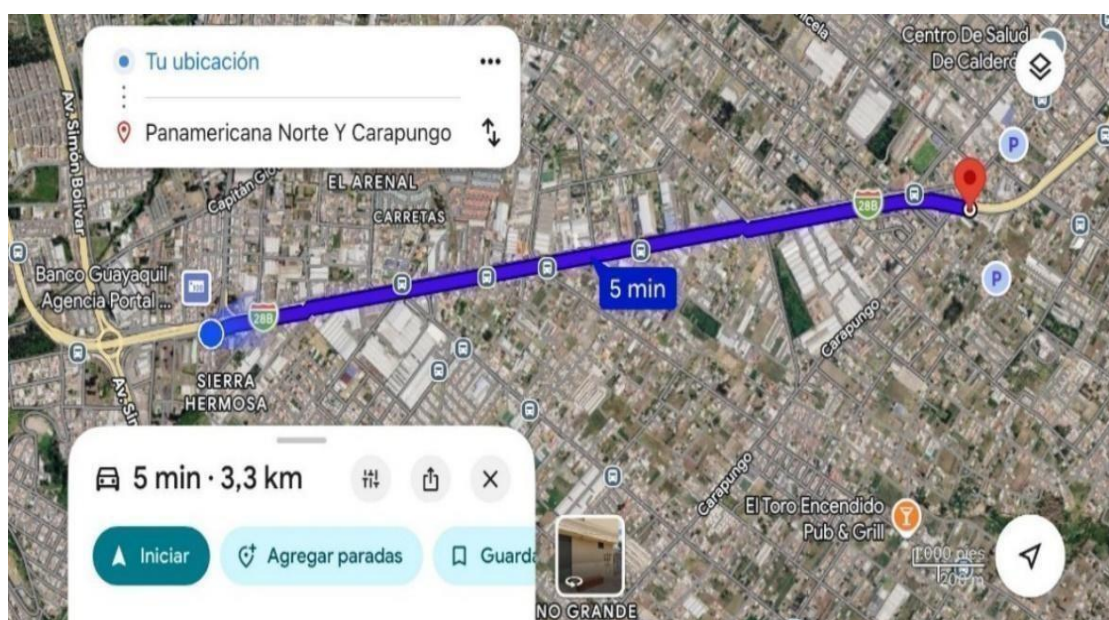
Muestra

Para el desarrollo de este presente informe que cuenta con el método se identificó un universo compuesto por 30 establecimientos dedicados a la comercialización formal, informal y reciclaje de baterías de plomo ácido.

Con el fin de garantizar los resultados y dar a conocer más a fondo de este tema, se ubicó la localidad del sector de Calderón, para lo cual se adiciono una ruta que sería del punto A Intercambiador de Carapungo, considerando el tramo panamericano norte hasta el punto B entrada a Calderón. Este trayecto comprende una longitud de 3.3 Km, donde se visualiza mayor número de locales informales de venta de baterías.

Figura 2

Recorrido de locales informales de baterías usadas



Fuente: (Carrera, Tituaña, 2026)

Fórmula para toma de muestra:

- **N (Población):** 30 locales de baterías
- **Z (Nivel de confianza):** 1.65 %
- **p (probabilidad de éxito):** 0.5
- **q (Probabilidad de fracaso):** 0.5
- **e (Margen de error):** 4.1 %

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Ec. [1.1]

Sustitución de valores:

$$30 \cdot (1.65)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5 = 30 \cdot 2.7225 \cdot 0.25 = \mathbf{20.41875}$$

Resolución:

$$(e^2 \cdot (N - 1)): (0.041)^2 \cdot (30 - 1) = 0.001681 \cdot 29 = \mathbf{0.048749}$$

$$(Z^2 \cdot p \cdot q): (1.65)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5 = \mathbf{0.680625}$$

$$0.048749 + 0.680625 = 0.729374$$

Resolución total:

$$n = \frac{20.41875}{0.729374} = \mathbf{27.99}$$

Al realizar el cálculo del tamaño de la muestra, se obtuvo un resultado de 27.99, valor que, al ser redondeado al entero más cercano por tratarse de unidades discretas, establece que se deben visitar 28 locales de un universo total de 30. Esta muestra permite recopilar información técnica y fiable para fundamentar el informe con datos objetivos sobre la inadecuada manipulación de las baterías usadas en los establecimientos informales ubicados en la ruta entre el punto A y el punto B del sector Carapungo-Calderón.

Resultado y discusión

La peligrosidad de las baterías de plomo-ácido radica en su toxicidad letal, alcanzando un nivel de riesgo 60 debido a la presencia de metales pesados y ácido sulfúrico identificado, conforme se identificó en la matriz de riesgo. Presentan una persistencia alarmante en el medio ambiente. Al no degradarse, el plomo se bioacumula en la cadena trófica, lo que garantiza que la contaminación generada por el reciclaje empírico actual afecte la salud de los ecosistemas y de las generaciones futuras durante décadas.

A nivel geológico, el impacto es crítico, una sola batería desechada incorrectamente puede contaminar hasta 25000 Kg de suelo. Este proceso altera el pH de la litosfera de manera irreversible, eliminando la vida microbiana esencial para la regeneración natural de la tierra. También afecta la vulnerabilidad en el transporte de estos residuos aumenta el riesgo de derrames de electrolitos, los cuales pueden filtrarse hacia fuentes de agua subterránea, creando focos de contaminación en zonas de difícil acceso para cualquier labor de limpieza o remediación. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la normativa ecuatoriana establece que el límite máximo permitido de plomo en el agua para su consumo humano es de 0.01 mg/L, lo que cerca de los centros de acopio o de reciclaje no son regulados, lo cual reportan una alta concentración de plomo hasta 0.5 a 2.0 mg/L lo cual esto llega a superar 50 y 200 veces el límite permitido por la normativa siendo esta agua de altamente toxica e inutilizable.

Para este punto dentro de los 28 locales ya realizado el levantamiento, se tomo a 3 locales importantes que cuentan con una mayor informalidad, destacándose del resto, para ello se colocaron variables de análisis cuantitativo, en las que se puede evidenciar la ponderación de riesgo dependiendo de su etapa de reciclaje, las cuales llegan a empezar por la recolección, en donde las baterías llegan a pasar a una entidad receptora, en donde gran mayoría dan las mismas baterías como parte de pago para poder adquirir una nueva, pasamos a la segunda etapa que es el transporte donde llega un vehículo los cuales gran mayoría de locales informales no cuentan con un transporte autorizado ni equipado, seguido pasa la etapa de almacenamiento la cual las baterías son acumuladas o apiladas sin ningún tipo de registro, posterior a esto se empieza con la trituración, en lugares informales se los encuentra sin ningún tipo de equipamiento o tener un cuidado especial para poder realizar este trabajo, ya que esta prohibido el manipular las baterías y finalmente pasa a la etapa de reciclaje más peligrosa y más crítica es, lo cual es la fundición donde no se encuentra con facilidad estos procesos, ya que se necesita equipamiento especial.

Tabla 7

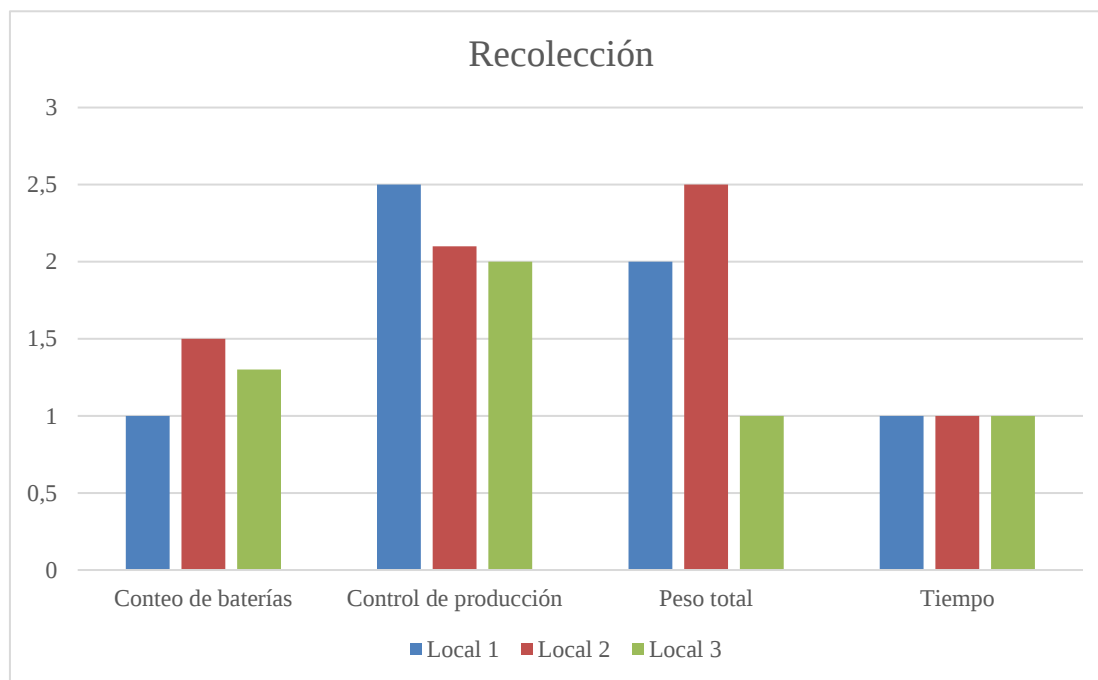
Indicadores operativos del proceso de recolección

Recolección	Local 1	Local 2	Local 3
Conteo de baterías	1	1.5	1.3
Control de producción	2.5	2.1	2
Peso total	2	2.5	1
Tiempo	1	1	1

Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

Figura 3

Comparativa de indicadores operativos del proceso de recolección



Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

En la tabla 7 y la figura 3 se llega a presentar los indicadores operativos del recorrido por los locales informales, los cuales se observa que el local 2 es líder en el conteo de baterías con 1.5 y un peso total de 2.5, siendo este como el punto de mayor llegada de residuos peligrosos. El local 1 que registra un mayor control de producción de 2.5 a pesar de un menor volumen.

Tabla 8

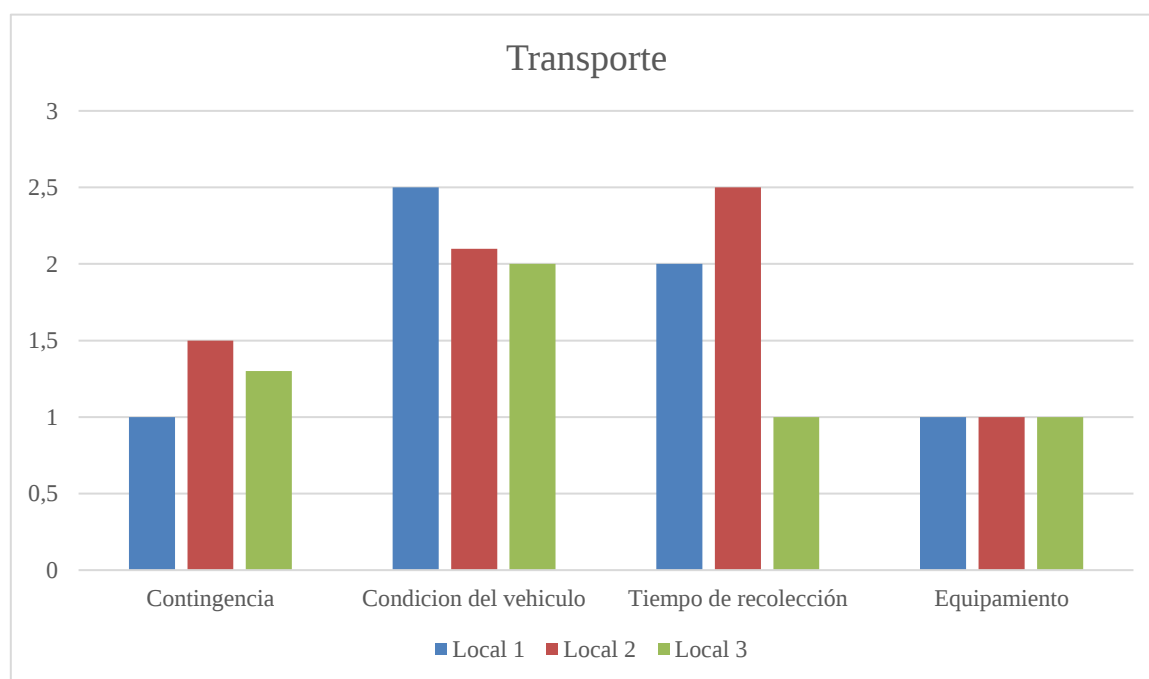
Indicadores operativos del proceso de transporte

Transporte	Local 1	Local 2	Local 3
Contingencia	1	1.5	1.3
Condición del Vehículo	2.5	2.1	2
Tiempo de recolección	2	2.5	1
Equipamiento/Kit antiderrames	1	1	1

Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

Figura 4

Comparativa de indicadores operativos del proceso de transporte



Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

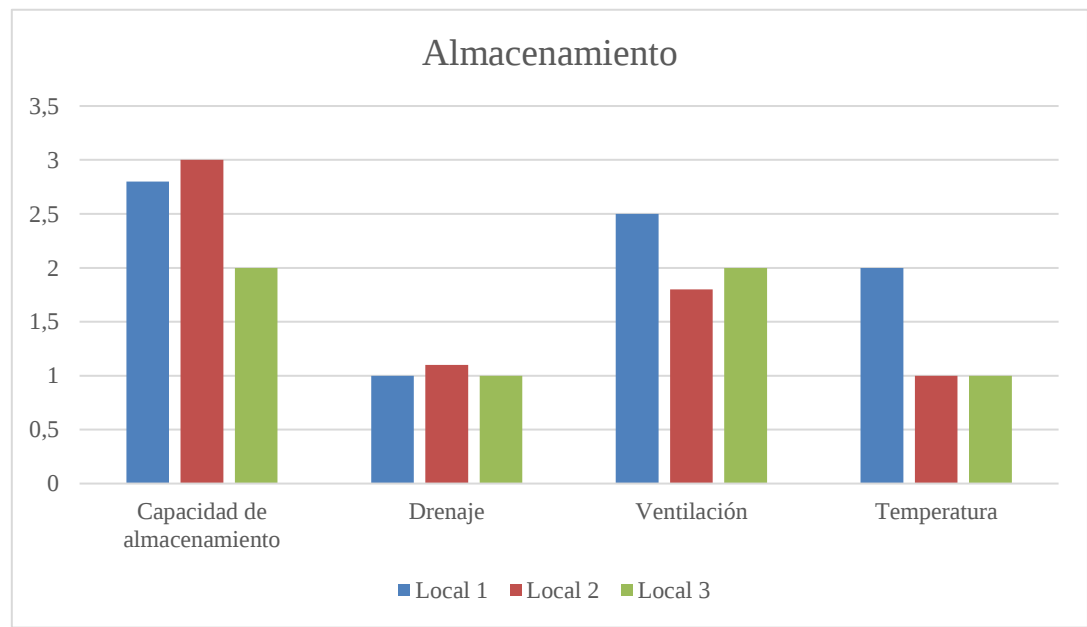
Con respecto a las variables del transporte se identifica que el local 2 se destaca por el registro de mayores valores de contingencia 1.5 y con el tiempo de recolección 2.5 lo que se entiende que tiene una mayor de manda logística en el punto, a diferencia del local 1 se presenta una valoración mas alta en la variable de condiciones del vehículo de 2.5 aumentando ligeramente a el local 2 con 2.1, finalmente los 3 locales no llegan a contar con el kit antiderrames.

Tabla 9
Indicadores operativos del proceso de almacenamiento

Almacenamiento	Local 1	Local 2	Local 3
Capacidad de almacenamiento	2.8	3	2
Drenaje	1	1.1	1
Ventilación	2.5	1.8	2
Temperatura	2	1	1.2

Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

Figura 5
Comparativa de indicadores operativos del proceso de almacenamiento



Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

En cuanto a las condiciones y variables de almacenamiento evaluadas el local 2 presenta una mayor capacidad de acopio de 3 y un ligero incremento en el indicador del drenaje 1.1 lo cual el local 1 se llega a destacar por tener los niveles mas altos en la variable de factores ambientales de la ventilación 2.5 y tener la temperatura 2. Por último, en el local 3 se llega a mantener unos valores intermedios en la mayoría de los indicadores, solo siendo la variable del drenaje iguales al local 1 con 1.0.

Tabla 10

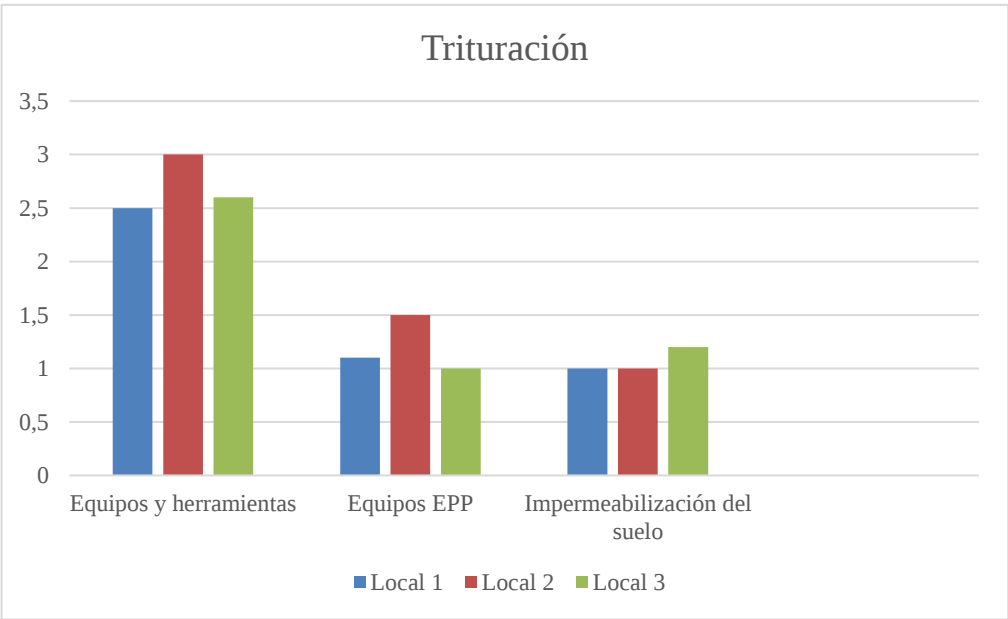
Indicadores operativos del proceso de trituración

Trituración	Local 1	Local 2	Local 3
Equipos y herramientas	2.5	3	2.6
Equipos EPP	1.1	1.5	1
Impermeabilización del suelo	1	1	1.2

Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

Figura 6

Comparativa de indicadores operativos del proceso de trituración



Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

Los indicadores en el local 2 son los mas altos como lo es en la disponibilidad de equipos y las herramientas con un valor de 3 pero si destaca el local 3 la muestra de una ligera ventaja de el indicador de la impermeabilidad del suelo con 1.2 este llegando a superar el valor constante de 1.0 que se nota de manera idéntica a los locales 1 y 2.

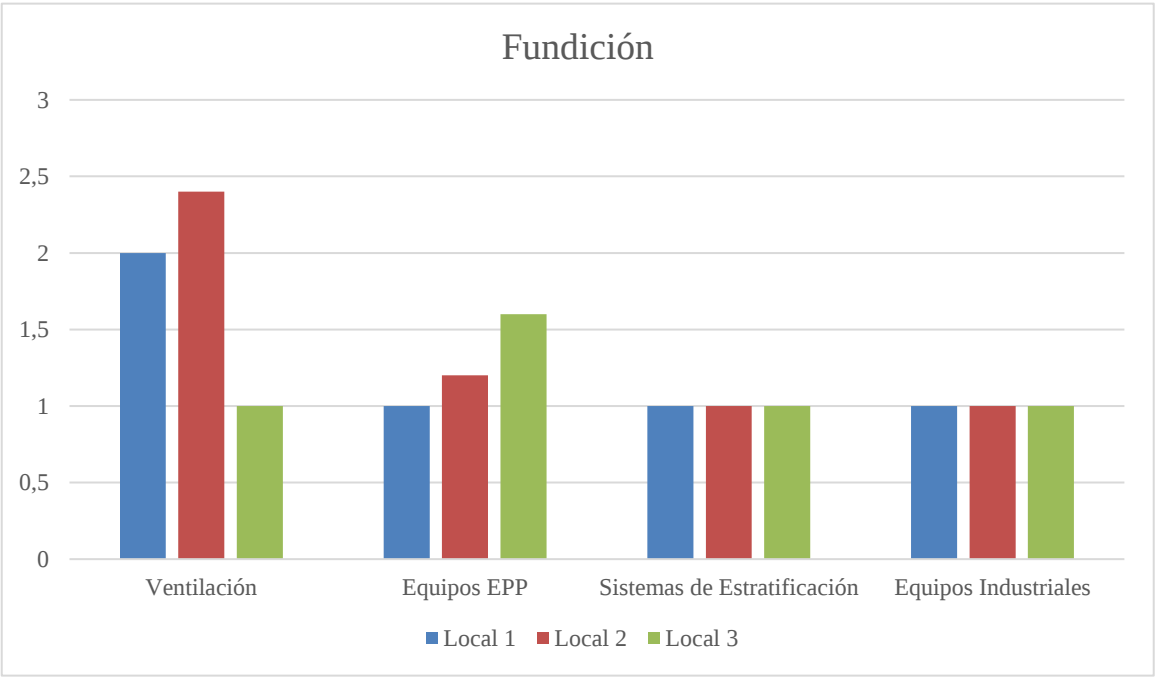
Con esto el local 1 llega a posicionarse en un rango intermedio en cuanto a su técnica de operación con un valor de 2.5 en los equipamientos y 1.1 en los implementos de seguridad.

Tabla 11
Indicadores operativos del proceso de fundición

Fundición	Local 1	Local 2	Local 3
Ventilación	2	2.4	1
Equipos EPP	1	1.2	1.6
Sistemas de Extracción	1	1	1
Maquinaria Industrial	1	1	1

Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

Figura 7
Comparativa de indicadores operativos del proceso de fundición



Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

Y finalmente la etapa de fundición que se evidencia que el local 2 que llega a destacar por tener un registro de el nivel mas alto en los parámetros de la ventilación 2.4, seguido de esto pasa al local 1 con un valor de 2.0 y una disminución notable en el local 3 que muestra un valor mas elevado de 1.6 con este valor superando de manera progresiva a los locales 2 con un valor de 1.2 y el local 1 con niveles de 1.0, para concluir los indicadores correspondientes a los sistemas de extracción y maquinaria se refleja una decadencia notable de 1.0 en los 3 establecimientos.

Cuanto a la etapa de reciclaje más crítica para el medio ambiente y mayor afectación, llega hacer la etapa de fundición ya que es el único proceso físico-químico el cual tiene la capacidad de

transformar el lodo de plomo inutilizable en un metal puro mediante una reducción termina que se realiza en hornos rotativos a elevadas temperaturas que llegan a alcanzar 1000 °C y 1200 °C. Lo importante de este proceso se radica en obtener la pureza comercial que es de 99.97 % del plomo para reintroducirlo en la economía circular, pero esto debe ser bajo el código orgánico del ambiente ya que posee un alto impacto atmosférico lo cual se genera entre 0.5 y 0.8 toneladas de CO2 por tonelada de plomo, que se produce un 10% a 15% de escorias solidas peligrosas y una liberación de gases tóxicos, en esta etapa es obligada legalmente al uso de sistemas de filtración para poder minimizar la liberación de micropartículas y evitar una contaminación irreversible del entorno.

De la mano de este conteo de las etapas de reciclaje, se contempló cuantas baterías usadas de plomo acido y ciclo profundo tienden a llegar a los diferentes locales de acopio informal, las cuales son mas frecuentes en ser manipuladas, donde de igual manera son más frecuentes en ser cambiadas luego de su ciclo de vida, las cuales se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 12

Inventario cuantitativo de baterías de plomo-ácido y ciclo profundo.

Tipo de Batería	Local 1	Local 2	Local 3
Batería Plomo Ácido	14	17	7
Batería Ciclo Profundo	10	15	9

Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

Con los datos obtenidos de la tabla presentada, el análisis hace referencia de un registro de recolección de 72 baterías en total están distribuidas entre los tres establecimientos, lo cual se identifica que la Batería de Plomo-Ácido tiene una mayor cantidad al momento de llegar a los locales, acumulando 38 unidades entre los tres locales representando así un valor de 52.78% del total, donde hace frente a las 34 unidades con un 47.22% correspondientes a las Baterías de Ciclo Profundo.

Con la recepción de las baterías usadas, el Local 2 tiene mayor cantidad de acopio con un valor de 32 baterías registradas con un 44% parte total de las baterías registradas, con 17 unidades de Plomo-Ácido y 15 de Ciclo Profundo. Por su parte, el Local 1 exhibe un segundo lugar con un total de 24, donde la Batería de Plomo-Ácido con 14 unidades y 10 de Baterías de

Ciclo Profundo con un valor de 33%, por último, el Local 3 recalca la menor actividad de la muestra con apenas 16 ingresos acumulados, distribuidos en 7 Baterías de Plomo-Ácido y 9 de Ciclo Profundo dando un valor de 22% del total de las baterías que suelen llegar a estos establecimientos irregulares.

La discusión presente de la investigación demuestra que la peligrosidad de las baterías de plomo-ácido y ciclo profundo usadas no puede abordarse de manera aislada, sino como una amenaza latente. Al evaluar los hallazgos mediante la matriz de riesgo, el valor crítico obtenido de 60 confirma que la interacción entre metales pesados y el ácido sulfúrico genera una sinergia altamente destructiva.

Este riesgo ambiental se magnifica de forma crítica durante la fase logística de transporte. La evidencia recogida demuestra que el traslado de estos acumuladores se realiza sin embalajes técnicos ni sujeciones normadas, lo que incrementa el riesgo de derrames en las vías. Estas fugas líquidas, al filtrarse con velocidad hacia los acuíferos subterráneos, integran el plomo al ciclo del agua, creando ramificaciones de contaminación imposibles de mitigar con tecnologías de remediación convencionales una vez que el contaminante accede a las fuentes hídricas.

Punto más crítico de esta discusión emerge al contrastar el marco legal e industrial vigente con la realidad empírica levantada en los 28 establecimientos de la ruta Carapungo-Calderón. Los resultados ponen al descubierto una profunda crisis de control institucional y un problema grave de salud pública.

Evaluación del Nivel de Cumplimiento Normativo en los Establecimientos Muestreados

Para la determinación de las condiciones de operación de los locales se evaluaron variables que se exigen por la normativa ambiental vigente MATTE 2021-034. El nivel de cumplimiento se categorizo de forma documental y cuantitativa, donde:

- **Cumple:** Los establecimientos cuentan con la infraestructura o los documentos adecuados
- **Cumplen parcialmente:** La infraestructura existe, pero se presenta en mal estado o no tiene un área requerida.
- **No cumple:** ausencia parcial del parámetro normativo.

Tabla 13

Grado de cumplimiento de parámetros normativos y ambientales en los establecimientos.

Parámetro Normativo	Cumplen	Cumplen Parcial	No cumple
Ventilación	6	4	18
Permiso	7	6	19
Pisos impermeables	2	5	21
Almacenamiento	4	10	14
Techo	8	13	7
Señalización y Rotulado	16	9	3
Kits antiderrames	6	18	4

Fuente: (Carrera, Tituaña,2026)

Con los resultados consolidados, se evidencia una tendencia crítica de tener una vulnerabilidad estructural en los 28 locales evaluados en base al Artículo Ministerial MATTE 2021-034, donde se expresa en el Capítulo 3 del artículo 8-9, seguido del Capítulo 4 del artículo 12-15 y el Capítulo 5 del artículo 18-22, donde especifica las normativas del cumplimiento que deben seguir estos establecimientos, con el fin de poder minimizar la contaminación ambiental.

Para esto se determinó los indicadores más relevantes que se debe cumplir acorde a la normativa:

- **La ventilación:** presenta una equivalencia de 18 locales que no cumplen con los requisitos establecidos. Del resto de la muestra, 6 locales cumplen y 4 cumplen parcialmente, lo que pone de manifiesto la necesidad de intervenir los sistemas de extracción.

- **Los permisos:** los permisos muestran un retraso significativo, correspondiente a 19 locales por otro lado, 7 locales tienen su documentación regulatoria en orden y seis están en una etapa intermedia o de regularización.
- **Pisos impermeables:** se clasificaron como no cumplidos los 21 locales; estos resultados demostraron que existe una vulnerabilidad estructural generalizada en las superficies de trabajo evaluadas.
- **Rotulación y señalización:** esto señala que la mayoría de los locales cuentan con una señalización y rotulado apropiados. De los 28 locales analizados, 16 cumplen con la señalización requerida, 9 lo hacen de manera parcial y solamente 3 no la cumplen.
- **Almacenamiento:** los establecimientos estudiados se halló incumplidor de las condiciones adecuadas de almacenamiento. En total, 4 locales cumplen 100% la norma, 10 cumplen parcialmente y 14 no cumplen.
- **Techo:** indica que la mayor parte de los locales cuenta con una infraestructura adecuada en los techos para resguardar las baterías. De los negocios analizados, 8 cumplen con este requisito, 13 lo cumplen parcialmente y 7 no lo cumplen.

Los hallazgos muestran que la mayor deficiencia radica en las condiciones de almacenamiento, mientras que la señalización y rotulación es el aspecto que mejor se desempeña. La infraestructura de los techos presenta un nivel de cumplimiento que se considera aceptable, aunque hay establecimientos que aún necesitan realizar mejoras para asegurar un manejo adecuado de las baterías usadas.

Conclusiones

Se determinó que las baterías de plomo-ácido y ciclo profundo generan un impacto ambiental crítico cuando son sometidas a un reciclaje inadecuado o informal en los diferentes centros de acopio, donde cada batería ya utilizada tiende a representar un riesgo de liberación de entre 3.5 y 4.5 litros de ácido sulfúrico y de 9.0 a 11.7 kg de plomo, un metal pesado que es netamente bioacumulable, lo cual representa aproximadamente el 60% a 65% del peso total del residuo. La práctica informal de estos componentes provoca la afectación directa del microbiota del suelo y líquidos contaminantes en fuentes hídricas, con un valor de más de 0.001 mg/L. Por lo tanto, se vuelve importante mitigar este riesgo operativo y geográfico mediante la entrega formal de estos desechos peligrosos a un gestor ambiental certificado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, garantizando el cumplimiento del Artículo 622 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, que asegura un seguimiento del 100% de la carga mediante el Manifiesto Único de Residuos, y permite la reintegración del plomo con una pureza del 99.97% bajo un modelo eficiente de economía circular.

Con la clasificación de la estructura de las baterías de plomo-ácido y ciclo profundo dividiendo sus componentes en peligrosos y no peligrosos, determinando mediante un análisis probabilístico que entre el 93% y el 95% de la masa total, donde el residuo está compuesto por sustancias de alta peligrosidad. Por ende, el riesgo metalúrgico y químico se concentra de manera crítica en la fracción de Plomo, que abarca el 60% al 65% del peso total y registra un factor de riesgo de 40, operando en conjunto con el Ácido Sulfúrico, que representa el 25% al 30% del volumen y posee un factor de riesgo de 20 por degradación inmediata de suelos y acuíferos. Asimismo, el único elemento catalogado como no peligroso corresponde al Polipropileno de las carcasas, el cual representa apenas el 5% al 7% del peso estructural y se sitúa en un factor de riesgo mínimo de 5, lo que demuestra matemáticamente que la peligrosidad del desecho es casi absoluta y justifica la obligatoriedad legal de transferir su custodia exclusiva a un gestor ambiental certificado.

Este estudio enfatiza que el transporte constituye la fase de mayor vulnerabilidad dentro de la cadena de reciclaje. La evaluación de los riesgos asociados reveló que la manipulación de baterías en mal estado es el principal detonante de fugas y derrames accidentales. Por lo tanto, se concluye que priorizar la detección previa de daños físicos y asegurar la integridad de las baterías durante su traslado es una medida de mitigación indispensable para garantizar una

operación segura y ambientalmente responsable, donde demuestra que la fase de transporte de baterías de plomo-ácido y ciclo profundo constituye el punto de mayor vulnerabilidad operativa, donde el circuito informal eleva críticamente la probabilidad de derrames accidentales en las vías públicas.

Al canalizar este flujo a través de Corporación BAPU, como ente encargado de su recolección para poder mitigar estos riesgos mediante la aplicación estricta de la normativa Ministerial MAATE 2021-034 para el transporte de componentes peligrosos, garantizando el confinamiento seguro del 25% al 30% de volumen de Ácido Sulfúrico. Es así que conlleva realizarlo en vehículos autorizados que cuentan con kits antiderrames con una capacidad de retención, evitando la contaminación inmediata de suelos y alcantarillados viales, dando así que el cargamento es entregado de forma segura en la planta de FUNDAMETZ en Guayas, donde la gestión de baterías usadas es tratada mediante procesos mecánicos de trituración para la separación física de sus componentes clave como el electrolito líquido, plomo, plásticos y piezas metálicas.

En conclusión, la falta de un control ambiental riguroso sobre estos residuos peligrosos representa una amenaza directa y latente tanto para los ecosistemas locales como para la salud pública. Resulta absoluto fortalecer la normativa y la fiscalización del manejo de baterías, transformando la gestión informal actual en un sistema técnico y seguro que mitigue los riesgos derivados de la limitada vida útil de los acumuladores eléctricos en el país.

Bibliografía

- All Rights Reserved. (2017). Como Utilizar Un Densímetro.
- BAPU. (2022). Bapu. <https://bapu.com.ec/quienes-somos/>.
- Batería MANLY. (05 de Agosto de 2025). Batería de ciclo profundo de 12 V vs. batería normal: Diferencias clave y vida útil. Obtenido de https://manlybattery.com/es/guia-de-bateria-de-ciclo-profundo-de-12-v-frente-a-bateria-normal/?srsltid=AfmBOoqocQegyB71hby-Sw-xUcYnSfYei6W-hSGTVFL09-JF6uiR6_0o
- Camacho, S. S. (01 de Abril de 2022). Descripción de las características de los diferentes tipos de baterías utilizadas en los vehículos eléctricos. Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-DescripcionDeLasCaracteristicasDeLosDiferentesTipo-8483043.pdf>
- Cavasassi, J. L. (2010). ¿Qué es una batería de ciclo profundo?
- Centro Zaragoza. (2013). La batería en el automóvil.
- CM Consulting, Kelleher Environmental y Greeneye Partners. (2016). Manejo Ambientalmente adecuado de las baterías de Plomo-Acido usadas.
- Discover Battery. (s.f.). ¿Por qué la estratificación del ácido es la principal causa de fallo de las baterías de plomo-ácido? Obtenido de <https://discoverbattery.com/support/learning-center/learning-center-articles/why-is-acid-stratification-the-principal-case-of-lead-acid-batteries-failure?locale=es>
- Enovateam. (s.f.). Partes de una batería automotriz. Obtenido de <https://ditesac.com/blog/partes-de-una-bateria-automotriz-conoce-su-estructura-y-funciones/?srsltid=AfmBOoomUXEQZtmgAyl1VlVVnsQtWhBJFYHWkgG0xkohyXAIBCQNhldF>
- Flash Battery. (17 de Febrero de 2023). La evolución de las baterías. Obtenido de <https://www.flashbattery.tech/en/blog/history-evolution-lithium-batteries/>
- Fundación Energizar. (2020). La batería de Plomo Acido. Mareco,
- F. (2024). Batería Automotriz. La Paz.

Ministerio del Ambiente. (2012). Acuerdo Ministerial. Quito: Lexis.

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2021). Acuerdo Ministerial No. MAATE-2021-034.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). ¿Cómo se tratan las pilas y acumuladores al final de su vida útil? Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/pilas-y-acumuladores/como-se-tratan-pilas-y-acumuladores-2022.html>

Organización Mundial de la Salud. (2017). Reciclaje de baterías de plomo-ácido usadas.

Recytrans. (02 de Febrero de 2015). Residuos peligrosos. Obtenido de <https://recytrans.com/blog/residuos-peligrosos/>

Sanchez, D. L. (2019). Tecnologías de Baterías. Valladolid.

Sigaut, L. (2020). Instrumentos de medición: el multímetro digital. Buenos Aires. Spaceflight Power. (2024). Baterías de plomo-ácido en climas extremos.

Summit Racing. (2001). Probador de Carga de Baterías. <https://static.summitracing.com/global/images/instructions/sun-cp7612%20spanish.pdf>.

Top of Best. (julio de 2024). Obtenido de https://es.tobmachine.com/blog/battery-charge-and-discharge-curves_b114

Vergara, M. (2010). Tecnología de Baterías.

Western Electrical Corporation. (s.f.). Estratificación de la Batería de Plomo Acido. Obtenido de https://www.auto-battery.com/sp/Support/info_itemid_275_lcid_52.html

Anexos

Anexo 1

Locales de venta de baterías que cumplen con el almacenamiento de las baterías usadas

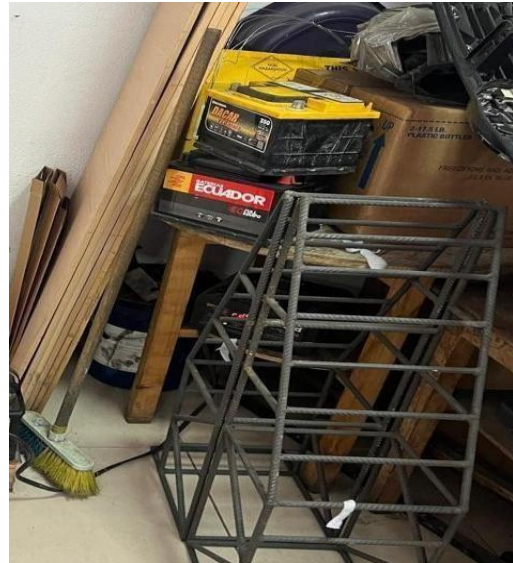




Anexo 2

Locales Informales y patios recicladores de baterías en mal estado





Anexo 3

Patios recicladores con escasos cuidados de manipulación de componentes de baterías

