

Análisis exploratorio: reciclaje de baterías para respaldo energético industrial.
Exploratory analysis: battery recycling for industrial energy backup.

Toapanta Vera Anderson Leonel, Loor Rosado Pedro Geovanny, Ing. Mora Murillo Moisés Filiberto. Msc

DIMENSIÓN CIENTIFICA

Enero - junio, V°7-N°1; 2026

Recibido: 01-01-2026

Aceptado: 16-01-2026

Publicado: 30-06-2026

PAÍS

- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador
- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador
- Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador

INSTITUCION

- Instituto Superior Tecnológico Tsachila
- Instituto Superior Tecnológico Tsachila
- Instituto Superior Tecnológico Tsachila

CORREO:

- ✉ anderson-toapantavera@tsachila.edu.ec
- ✉ pedroloorrosado@tsachila.edu.ec
- ✉ moisesmora@tsachila.edu.ec

ORCID:

- ✉ <https://orcid.org/0009-0002-5148-9275>
- ✉ <https://orcid.org/0009-0003-1716-8184>
- ✉ <https://orcid.org/0000-0002-2764-1524>

FORMATO DE CITA APA.

Toapanta, A., Loor, P. & Mora, M. (2026). Análisis exploratorio: reciclaje de baterías para respaldo energético industrial. Revista G-ner@ndo, V°7 (N°1). P. 357 - 394.

Resumen

El estudio analiza la viabilidad técnica, económica y ambiental del reciclaje y reutilización de baterías de ion-litio provenientes de vehículos eléctricos para su aplicación como sistemas de respaldo energético industrial. A través de la revisión de literatura científica, la observación de campo y la recolección de percepciones de actores técnicos, se examina el potencial de estas baterías de segunda vida para cubrir demandas energéticas críticas en industrias de Santo Domingo de los Tsáchilas. La evidencia internacional demuestra que las baterías reutilizadas conservan entre el 70 % y el 80 % de su capacidad operativa, permitiendo su integración en servicios como regulación de frecuencia, peak shaving y almacenamiento de energía renovable, con niveles mínimos de degradación. En el contexto ecuatoriano, la reutilización surge como alternativa sostenible ante la baja tasa de reciclaje de litio y la creciente necesidad de sistemas energéticos confiables. Se concluye que la segunda vida de baterías representa una solución ambientalmente responsable, económicamente viable y técnicamente factible para fortalecer la transición energética, la economía circular y la resiliencia industrial.

Palabras clave: Baterías recargables, Almacenamiento de energía, Energías renovables, Economía circular, Residuos tecnológicos, Sostenibilidad ambiental, Industria.

Abstract

This study examines the technical, economic, and environmental feasibility of recycling and reusing lithium-ion batteries retired from electric vehicles for integration into industrial energy backup systems. Through an extensive literature review, field observation, and qualitative data collection from technical stakeholders, the research explores the potential of second-life batteries to support critical energy demands in industries located in Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. International evidence indicates that reused batteries retain 70–80% of their original capacity, enabling their use in stationary applications such as frequency regulation, peak shaving, and renewable energy storage, with minimal degradation. In the Ecuadorian context, second-life batteries emerge as a sustainable alternative in response to low lithium recycling rates and the increasing need for reliable industrial energy backup. Findings suggest that second-life batteries offer an environmentally responsible, economically viable, and technically feasible solution to advance energy transition, circular economy practices, and industrial resilience.

Keywords: Rechargeable batteries, Energy storage, Renewable energy, Circular economy, Technological waste, Environmental sustainability, Industry.



Introducción

En los últimos años, el mundo ha comenzado a mirar con urgencia la necesidad de cambiar la forma en que produce y consume energía. Las fábricas, las oficinas, los hogares y los sistemas de transporte dependen de un suministro eléctrico constante, pero las fuentes tradicionales de generación, basadas en combustibles fósiles, han demostrado ser insostenibles tanto económica como ambientalmente. De ahí que la transición hacia un modelo energético más limpio y resiliente ya no sea una opción, sino una responsabilidad compartida. En este proceso, la capacidad de almacenar energía se ha convertido en una pieza esencial del rompecabezas. Sin sistemas de almacenamiento confiables, la energía renovable no gestionable como la solar o la eólica no puede integrarse de manera estable en la red eléctrica. Precisamente, uno de los principales desafíos actuales es la falta de equilibrio entre la generación y la demanda, lo que genera fluctuaciones y posibles inestabilidades en la frecuencia del sistema eléctrico.

Alonso Santos, Samanes Pascual y Berrueta Irigoyen (2021) explican que “la disminución de inercia, junto con la variabilidad inherente al recurso renovable, comprometen la estabilidad del sistema eléctrico de potencia actual conforme se incrementa la penetración de energías renovables” (p. 7).

La búsqueda de soluciones ha llevado a la ciencia y la ingeniería a explorar alternativas de almacenamiento energético cada vez más innovadoras. Entre ellas, las baterías de ion-litio se han posicionado como una tecnología clave por su eficiencia, su densidad energética y su rápida capacidad de respuesta. Sin embargo, cuando estas baterías dejan de ser útiles en los vehículos eléctricos su principal campo de aplicación, aún conservan un alto porcentaje de su capacidad útil. De hecho, cuando su “estado de salud” (SOH) desciende al 80%, ya no son adecuadas para propulsar un automóvil, pero sí pueden tener una “segunda vida” en otros sistemas menos exigentes, como el almacenamiento estacionario o el respaldo energético industrial (Alonso Santos et al., 2021, p. 7).

Este principio es el que da origen al presente trabajo de titulación, orientado a realizar un análisis exploratorio del reciclaje y la reutilización de baterías de ion-litio para fines de respaldo energético en entornos industriales.

La idea de darles una segunda oportunidad a las baterías, lejos de ser un simple experimento técnico, representa una contribución significativa a la sostenibilidad ambiental y a la economía circular. Es una forma de aprovechar materiales que de otro modo terminarían en desecho, reduciendo la extracción de nuevos recursos y mitigando el impacto ambiental asociado a su producción. Según Alonso Santos et al. (2021), “estas celdas son retiradas debido a bajas eficiencias, golpes o corrosión, lo que no quiere decir que no tengan potencial para participar en otras funciones” (p. 8). Por lo tanto, las baterías de segunda vida no solo ayudan a estabilizar la red eléctrica, sino que también promueven un uso más consciente y eficiente de los recursos tecnológicos disponibles.

El reciclaje de baterías de ion-litio se vuelve aún más relevante si se considera que, actualmente, la tasa de reciclaje del litio a nivel mundial es extremadamente baja. De acuerdo con los mismos autores, “la tasa actual de reciclaje de baterías de litio es del 3%, donde lo que usualmente interesa es el reciclaje de algunos metales, pero no el del litio” (Alonso Santos et al., 2021, p. 8). Esto significa que millones de baterías en desuso conservan una enorme cantidad de energía potencial que podría ser aprovechada, pero que, por falta de políticas, incentivos o infraestructura, acaban contribuyendo a la contaminación ambiental. En este sentido, el aprovechamiento de las baterías de segunda vida como respaldo energético industrial no solo es una alternativa técnica viable, sino también una respuesta ambiental urgente.

La motivación principal de esta investigación radica en explorar cómo estas baterías, una vez reacondicionadas, pueden integrarse en sistemas industriales que requieren energía continua y confiable. En fábricas, talleres, hospitales o centros de datos, un corte eléctrico puede generar pérdidas significativas. Los sistemas tradicionales de respaldo, basados en generadores diésel o en unidades UPS de corta duración, presentan altos costos operativos y un impacto

ambiental considerable. Frente a esto, las baterías recicladas ofrecen una opción más limpia, silenciosa y sostenible. Además, su implementación es económicamente atractiva, ya que el costo de las baterías de segunda vida puede oscilar entre 44 y 180 dólares por kilovatio hora, muy por debajo de los precios de una batería nueva, que pueden alcanzar los 500 dólares por kWh (Alonso Santos et al., 2021, p. 8). Esta diferencia de precios, junto con la posibilidad de obtener beneficios a través de la prestación de servicios energéticos, convierte a las baterías recicladas en una alternativa rentable tanto para las industrias como para los sistemas eléctricos nacionales.

Las investigaciones realizadas en torno al tema demuestran que las baterías de segunda vida no solo son económicamente viables, sino que también presentan niveles de degradación mínimos cuando se emplean en aplicaciones estacionarias. En los ensayos descritos por Alonso Santos et al. (2021), se utilizaron módulos de segunda vida provenientes de vehículos Nissan Leaf para analizar su comportamiento al participar en dos tipos de servicios: la regulación primaria de frecuencia (RFP), que actúa ante las desviaciones de potencia en la red, y el peak shaving (PS), que atenúa las fluctuaciones de generación y consumo. Los resultados fueron reveladores: “en ninguno de los casos la batería sufre degradaciones considerables, y la participación en ambos servicios simultáneamente será más beneficiosa para la batería que cada uno de ellos por separado” (p. 6). Esta conclusión abre un horizonte de posibilidades para su uso en el ámbito industrial, donde los requerimientos energéticos pueden adaptarse a un esquema de funcionamiento similar.

El equilibrio entre servicios de potencia y servicios energéticos resulta fundamental para garantizar una operación óptima de las baterías. Mientras el primero proporciona estabilidad instantánea al sistema eléctrico, el segundo gestiona la energía a lo largo del día, aprovechando los excedentes y compensando los déficits. Como afirman los autores, “apilar varios servicios simultáneamente producirá mayores beneficios tanto a red como económicos a los usuarios que lo presten” (Alonso Santos et al., 2021, p. 9). Este principio puede trasladarse al contexto

industrial, donde la combinación de almacenamiento y respaldo energético representa una estrategia integral para mejorar la eficiencia operativa y reducir la dependencia de fuentes contaminantes.

La importancia de este estudio se inscribe también en el marco de la transición energética y del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, particularmente el ODS 7, que promueve el acceso a energía asequible y no contaminante, y el ODS 12, que impulsa modelos de consumo y producción sostenibles. En Ecuador, el auge de la movilidad eléctrica y la instalación de nuevas plantas fotovoltaicas y eólicas presagian un crecimiento en la cantidad de baterías que llegarán al final de su vida útil en los próximos años. Este escenario hace indispensable investigar, desde ahora, las alternativas tecnológicas que permitan su reutilización y su integración en sistemas de respaldo industrial.

El presente trabajo propone, por tanto, analizar de manera exploratoria la factibilidad técnica, económica y ambiental del reciclaje de baterías de ion-litio para respaldo energético industrial. La investigación pretende comprender cómo la reutilización de estos dispositivos puede aportar soluciones concretas a los problemas de suministro y sostenibilidad, al tiempo que contribuye a la economía circular y a la reducción de la huella de carbono. Además, busca visibilizar la importancia de establecer políticas de gestión que impulsen el reacondicionamiento de baterías y su integración en redes energéticas locales. Tal como señalan Alonso Santos et al. (2021), “dar visibilidad al uso de estos módulos de segunda vida en la participación de servicios a red es algo primordial” (p. 8).

En definitiva, este proyecto no solo pretende describir un proceso técnico, sino también inspirar una reflexión profunda sobre la responsabilidad que tenemos frente al consumo energético y a los desechos tecnológicos. Las baterías, que alguna vez dieron vida a vehículos eléctricos, pueden transformarse en guardianas silenciosas de la energía en industrias y comunidades. Su segunda vida representa una oportunidad tangible de avanzar hacia un modelo energético más justo, eficiente y sostenible. Por ello, este análisis exploratorio sobre el reciclaje

de baterías para respaldo energético industrial se inscribe dentro de una visión más amplia: la de un futuro en el que la innovación y el respeto por el planeta caminen de la mano, demostrando que el fin de una batería puede ser, en realidad, el comienzo de una nueva forma de generar y cuidar la energía.

Métodos y Materiales

La presente investigación adopta un enfoque cualitativo porque busca comprender, interpretar y describir la realidad del reciclaje y reutilización de baterías de ion-litio en el contexto industrial ecuatoriano, más que medirla en términos numéricos o estadísticos. El propósito no es cuantificar fenómenos, sino analizar de manera exploratoria los procesos, percepciones y condiciones técnicas que determinan la viabilidad de las baterías de segunda vida como respaldo energético. Según Hernández, Fernández y Baptista (2022), los estudios cualitativos se orientan a interpretar la realidad desde la perspectiva de los actores o los sistemas implicados, permitiendo una comprensión profunda del fenómeno investigado en su entorno natural.

Este enfoque se justifica porque la reutilización de baterías para fines energéticos industriales implica una interacción compleja entre aspectos tecnológicos, económicos, ambientales y normativos. En esa complejidad, los datos que mejor reflejan la situación no provienen de grandes bases estadísticas, sino de observaciones, análisis técnicos y percepciones de expertos del sector eléctrico y ambiental. Tal como plantea Miles y Huberman (1994), el enfoque cualitativo permite “examinar los significados de las experiencias y procesos más que su frecuencia”, lo cual resulta esencial para un tema emergente donde la evidencia empírica aún está en construcción.

La metodología cualitativa también se alinea con la naturaleza exploratoria del estudio, dado que el reciclaje de baterías de segunda vida para respaldo energético industrial es un campo en desarrollo en Ecuador y América Latina. Al analizar experiencias internacionales y

contrastarlas con el contexto local, se busca generar conocimiento descriptivo y propositivo que siente bases para futuras investigaciones aplicadas y políticas públicas en sostenibilidad energética.

Dentro de esta orientación, la recolección de información se apoya en técnicas como la observación directa y la revisión documental de literatura científica, reportes técnicos e investigaciones previas. Estas fuentes permiten analizar la evolución del concepto de segunda vida, los modelos de almacenamiento energético, las estrategias de economía circular y las aplicaciones reales en respaldo industrial, articulando una comprensión holística del fenómeno. Así, la interpretación se centra en describir los procesos, beneficios, desafíos y perspectivas del uso de baterías reacondicionadas, integrando análisis de casos y experiencias de proyectos piloto relevantes.

El enfoque cualitativo, además, permite rescatar la voz de los actores técnicos e institucionales implicados en la transición hacia modelos energéticos sostenibles, así como examinar la factibilidad social y ambiental de las soluciones tecnológicas. En lugar de limitarse a indicadores de desempeño, busca construir una visión sistémica sobre cómo las baterías de segunda vida pueden insertarse en la matriz energética y productiva del país. En suma, este enfoque proporciona la flexibilidad necesaria para abordar la complejidad del problema, conectar dimensiones técnicas con contextos humanos y traducir los hallazgos en propuestas aplicables de mejora, innovación y sostenibilidad.

Alcance de la investigación.

El alcance de la investigación se define como exploratorio y descriptivo, porque el propósito principal no es comprobar hipótesis causales, sino comprender y caracterizar un fenómeno emergente: el reciclaje y la reutilización de baterías de ion-litio de segunda vida como alternativa de respaldo energético en entornos industriales. Este enfoque permite aproximarse a

una realidad poco estudiada en el contexto ecuatoriano, donde la aplicación de tecnologías de almacenamiento energético basadas en baterías recicladas aún se encuentra en una fase incipiente, sin normativa específica ni experiencias locales consolidadas.

El carácter exploratorio se justifica porque el tema aborda un campo de estudio novedoso, en el cual la información existente es limitada y dispersa. Hernández, Fernández y Baptista (2022) sostienen que las investigaciones exploratorias son las más adecuadas cuando el fenómeno aún no ha sido abordado en profundidad y se requiere construir una primera aproximación que permita generar categorías de análisis y futuras líneas de investigación. Este tipo de alcance busca descubrir tendencias, identificar variables relevantes y comprender la naturaleza de la problemática antes de pasar a estudios cuantitativos o explicativos. En este caso, se pretende explorar cómo las baterías provenientes de vehículos eléctricos pueden tener una segunda vida útil como sistemas de respaldo energético, cuáles son sus beneficios técnicos y ambientales, y qué obstáculos existen para su implementación industrial.

Al mismo tiempo, el estudio adopta un alcance descriptivo, porque aspira a detallar las características, condiciones y procesos que rodean la reutilización de baterías en entornos industriales. De acuerdo con Sampieri y colaboradores, las investigaciones descriptivas se centran en “especificar propiedades y rasgos importantes de personas, grupos o fenómenos”, permitiendo representar con precisión la realidad observada sin manipular variables. En esta investigación, la descripción se centra en los aspectos técnicos de desempeño (capacidad, eficiencia, vida útil), las condiciones económicas de viabilidad, los impactos ambientales asociados a la reducción de residuos tecnológicos y emisiones, así como los marcos normativos y de sostenibilidad que enmarcan el fenómeno.

El alcance descriptivo se complementa con la observación cualitativa de documentos técnicos y experiencias internacionales relevantes. Por ejemplo, estudios como los de Zhu et al. (2021) y Wu et al. (2020) han descrito con detalle la rentabilidad y la estabilidad funcional de las

baterías recicladas en sistemas estacionarios, mientras que Casals, Barbero y Corchero (2019) evidenciaron su contribución al equilibrio energético en redes industriales. Estos trabajos ofrecen marcos de referencia que orientan la comprensión del fenómeno dentro de un panorama global, ayudando a contextualizar su posible adaptación al entorno ecuatoriano.

Este doble alcance exploratorio y descriptivo permite abordar la temática con la profundidad necesaria para comprender su complejidad, sin perder de vista el carácter inicial del estudio. En términos prácticos, la investigación no busca establecer relaciones causales ni medir el impacto numérico de la implementación de baterías de segunda vida, sino reconocer los factores técnicos, ambientales y económicos que hacen viable o limitan su aplicación. Este nivel de análisis es el paso previo indispensable para futuras investigaciones experimentales o correlacionales que podrían evaluar la eficiencia comparada entre baterías nuevas y reacondicionadas en sistemas industriales ecuatorianos.

El alcance adoptado también favorece la identificación de oportunidades de innovación tecnológica y de política pública, ya que permite delinear cómo la gestión adecuada de baterías recicladas puede contribuir a la transición energética nacional. En palabras de Creswell (2013), los estudios exploratorio-descriptivos “brindan la flexibilidad necesaria para generar conocimiento significativo en áreas en desarrollo, donde los investigadores buscan comprender antes que comprobar”. Bajo esa premisa, este trabajo se posiciona como un punto de partida para comprender la factibilidad de la segunda vida de baterías en el Ecuador, integrando dimensiones técnicas, ambientales, económicas y sociales que convergen en un mismo propósito: promover un modelo de respaldo energético industrial sostenible y alineado con los principios de economía circular.

La presente investigación se desarrollará en el contexto de la realidad industrial ecuatoriana, particularmente en el marco de la búsqueda de alternativas sostenibles para la gestión y aprovechamiento de baterías de ion-litio que han concluido su primera vida útil en

vehículos eléctricos. Ecuador, al igual que otros países latinoamericanos, enfrenta un proceso de transición energética que requiere soluciones innovadoras para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mejorar la eficiencia del uso de recursos tecnológicos. En este escenario, el reciclaje y la reutilización de baterías adquieren una relevancia estratégica, tanto por su potencial ambiental como por su capacidad de fortalecer la seguridad energética en entornos industriales.

El trabajo se llevará a cabo en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, zona caracterizada por una creciente actividad industrial y por una demanda energética constante que obliga a las empresas a buscar sistemas de respaldo confiables. Esta región constituye un punto representativo para el análisis porque combina desarrollo productivo con desafíos en materia de infraestructura eléctrica, donde los cortes y variaciones de voltaje afectan con frecuencia la continuidad de los procesos. La posibilidad de implementar sistemas de respaldo basados en baterías recicladas surge entonces como una alternativa viable y necesaria, en sintonía con los objetivos nacionales de sostenibilidad y con las políticas de eficiencia energética promovidas por el Ministerio de Energía y Minas.

El periodo de desarrollo de esta investigación abarca el año 2024 y parte de 2025, coincidiendo con el auge de proyectos de electromovilidad y con el incremento del volumen de baterías retiradas de vehículos eléctricos que llegan al final de su vida útil. Este momento histórico resulta oportuno para examinar el potencial de esas baterías como recurso energético secundario, antes de que sean enviadas a disposición final o exportadas como residuos. Además, el avance normativo internacional sobre gestión de baterías, especialmente las directivas europeas sobre reciclaje y trazabilidad, ofrece un marco de referencia útil para adaptar políticas locales que favorezcan su reutilización industrial.

El contexto institucional y técnico de la investigación también incluye el entorno académico del Instituto Superior Tecnológico Tsa`chila, donde se promueve la formación

aplicada en energías renovables y en sistemas eléctricos industriales. Desde esta perspectiva, el estudio no solo busca aportar conocimiento teórico, sino también generar insumos prácticos que sirvan de base para proyectos pilotos, capacitaciones técnicas y futuras líneas de innovación en ingeniería eléctrica aplicada. La participación de docentes, estudiantes y profesionales del sector permitirá recoger observaciones de campo y validar la factibilidad técnica de integrar baterías recicladas en sistemas industriales de respaldo.

En cuanto a los accesos y permisos, la investigación se desarrollará con base en información proveniente de fuentes públicas, estudios técnicos, artículos científicos y observación directa en instalaciones locales cuando sea pertinente. En los casos en que se requiera colaboración con empresas o instituciones, se gestionarán los permisos respectivos, garantizando siempre la confidencialidad de los datos y el respeto a las políticas de seguridad industrial. Este componente práctico permitirá relacionar la teoría con la realidad concreta, contrastando la información documental con la experiencia directa de los espacios donde podrían aplicarse las soluciones propuestas.

En síntesis, el contexto de la investigación se enmarca en un entorno que combina el avance tecnológico con la necesidad urgente de sostenibilidad. Ecuador cuenta con el potencial y los recursos humanos para liderar el aprovechamiento de baterías de segunda vida en el ámbito industrial, y esta investigación pretende contribuir a ese proceso mediante un análisis exploratorio y descriptivo que vincule ciencia, tecnología y responsabilidad ambiental. El estudio se convierte así en un puente entre el conocimiento técnico global y la práctica local, aportando evidencia y propuestas para fortalecer la resiliencia energética y la gestión sostenible de los recursos tecnológicos en el país.

Dentro de esta orientación, la recolección de información se apoya en técnicas como la observación directa y la revisión documental de literatura científica, reportes técnicos e investigaciones previas, lo que permite determinar de manera rigurosa el universo, los casos y la

muestra pertinentes para el estudio. El universo está constituido por todos los actores, espacios, procesos y sistemas relacionados con el uso, la gestión, el retiro y la posible reutilización de baterías de ion-litio en el Ecuador, incluyendo industrias con alta demanda energética, talleres de electromovilidad, instituciones académicas y organismos vinculados con la sostenibilidad y la economía circular. A partir de este universo amplio, los casos se delimitan conforme a la lógica exploratorio-descriptiva del enfoque cualitativo, seleccionando entornos industriales de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas donde la continuidad eléctrica es esencial y donde la integración de baterías de segunda vida podría representar una alternativa técnica y ambientalmente viable; estos casos no buscan representatividad estadística, sino profundidad contextual que permita comprender el fenómeno en su entorno natural. En coherencia con este diseño metodológico, la muestra se establece mediante un muestreo intencionado, integrando informantes clave como ingenieros eléctricos, técnicos de mantenimiento, responsables de gestión energética industrial, docentes especializados y actores institucionales con experiencia directa en almacenamiento energético y sistemas de respaldo. La selección de esta muestra responde al criterio fundamental de obtener información relevante, experta y contextualizada que permita analizar percepciones, limitaciones operativas, beneficios potenciales y condiciones reales para la adopción de baterías recicladas en aplicaciones industriales. En conjunto, la articulación entre el universo, los casos y la muestra se alinea plenamente con las técnicas de recolección cualitativa utilizadas, generando una base sólida para interpretar el fenómeno desde una perspectiva integral, situada y coherente con los objetivos del estudio.

Diseño de la investigación.

El diseño de esta investigación se concibe como no experimental y de tipo transversal, porque no se manipularán variables de manera controlada, sino que se observará el fenómeno en su contexto natural con el fin de describir y analizar su comportamiento dentro de un momento específico del tiempo. Este tipo de diseño se ajusta al enfoque cualitativo y al alcance exploratorio

y descriptivo definidos en las secciones anteriores, ya que busca comprender cómo se desarrolla y percibe la reutilización de baterías de ion-litio en el ámbito industrial ecuatoriano sin alterar las condiciones en las que este proceso ocurre. Según Hernández, Fernández y Baptista (2022):

Los diseños no experimentales permiten examinar fenómenos tal como se dan en su entorno real y son apropiados cuando el objetivo del estudio es analizar causas, relaciones o dinámicas sin intervención directa del investigador. En este caso, el interés radica en explorar la factibilidad técnica, económica y ambiental del reciclaje de baterías para respaldo energético, observando la realidad industrial existente y las experiencias documentadas tanto a nivel nacional como internacional. Este enfoque posibilita una aproximación rigurosa y contextual, sin introducir alteraciones en los procesos o condiciones naturales de los escenarios analizados.

El carácter transversal del diseño se fundamenta en que la recolección de la información se realizará en un solo periodo, comprendido entre los años 2024 y 2025, momento en el cual se evaluará la situación actual del país respecto al uso y manejo de baterías recicladas, así como el potencial de aplicarlas en sistemas de respaldo industrial. El propósito es obtener una fotografía clara y precisa del estado de la cuestión en un punto determinado de tiempo, capturando las percepciones de los actores técnicos y las evidencias documentales disponibles. Esta decisión metodológica es coherente con el carácter emergente del tema, pues permite sentar las bases para futuros estudios longitudinales que podrían examinar la evolución del fenómeno o los impactos de políticas públicas que promuevan su implementación.

El diseño no experimental de tipo transversal también permite integrar técnicas de análisis cualitativo, como la observación, la entrevista semiestructurada y la revisión documental, orientadas a identificar categorías de interpretación que expliquen cómo las baterías de segunda vida pueden insertarse en sistemas industriales de respaldo energético. Estas técnicas posibilitan comprender el problema desde una mirada integral, considerando dimensiones técnicas, ambientales, económicas y sociales. Así, se prioriza la profundidad interpretativa sobre la

amplitud estadística, en consonancia con lo planteado por Flick (2015), quien sostiene que los diseños cualitativos no experimentales buscan descubrir significados, relaciones y estructuras subyacentes en contextos específicos.

La decisión de optar por un diseño no experimental y transversal responde también a la disponibilidad de información y al propósito de analizar una tendencia tecnológica en curso. El reciclaje de baterías y su segunda vida constituyen un fenómeno dinámico, condicionado por la evolución de la electromovilidad, los marcos regulatorios y los avances tecnológicos. Por ello, este diseño resulta adecuado para captar el estado actual de la transición hacia modelos energéticos más sostenibles, sin necesidad de intervenir en el proceso o modificar sus condiciones naturales.

Finalmente, el diseño transversal favorece la integración de resultados provenientes de diversas fuentes de evidencia, permitiendo triangular los hallazgos para reforzar la validez y la coherencia del análisis. La observación de campo, el estudio de casos y la revisión bibliográfica se articularán como herramientas complementarias para contrastar la teoría con la práctica y extraer conclusiones significativas. De este modo, el diseño adoptado no solo garantiza la solidez metodológica del estudio, sino que también permite establecer un punto de partida para futuras investigaciones experimentales o de seguimiento que evalúen el desempeño real de las baterías de segunda vida en aplicaciones industriales concretas dentro del Ecuador.

Procedimiento.

El desarrollo de esta investigación seguirá un procedimiento metódico y coherente con el enfoque cualitativo y el diseño transversal que se han establecido en las secciones anteriores. Cada etapa del proceso será guiada por la necesidad de comprender de manera profunda la viabilidad técnica, ambiental y económica del reciclaje de baterías de ion-litio en aplicaciones de

respaldo energético industrial, manteniendo siempre la rigurosidad metodológica y el compromiso con la sostenibilidad que caracteriza al campo de la ingeniería eléctrica moderna.

En una primera fase, se realizará la delimitación conceptual y documental del estudio. Durante esta etapa se recopilará información teórica y técnica a partir de artículos científicos, informes especializados, documentos normativos y estudios de caso publicados entre 2015 y 2024. Esta revisión permitirá construir el marco teórico definitivo y contextualizar el fenómeno dentro del ámbito industrial ecuatoriano. Se priorizarán las investigaciones que abordan la reutilización de baterías de vehículos eléctricos, las estrategias de economía circular y los modelos de respaldo energético en industrias, con el fin de establecer una base sólida que sustente la interpretación de los datos posteriores.

En una segunda fase se procederá a la observación directa del entorno industrial, identificando espacios donde la demanda energética y la continuidad operativa sean factores críticos. Se visitarán plantas, talleres o instalaciones representativas de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas para observar las condiciones reales en las que se podría aplicar la tecnología de baterías recicladas. Este proceso incluirá el registro fotográfico y descriptivo de los sistemas eléctricos existentes, los tipos de equipos que requieren respaldo y las condiciones técnicas de los espacios donde sería factible la instalación de un banco de baterías de segunda vida. Esta observación permitirá relacionar los fundamentos teóricos con la realidad práctica del entorno productivo.

Posteriormente se desarrollará la recolección de información cualitativa mediante entrevistas semiestructuradas y cuestionarios digitales dirigidos a ingenieros, técnicos eléctricos, responsables de mantenimiento y académicos vinculados con proyectos de sostenibilidad energética. Estas entrevistas permitirán obtener percepciones profesionales sobre la viabilidad, los beneficios y las limitaciones de las baterías de segunda vida en entornos industriales. Los

cuestionarios se aplicarán utilizando herramientas digitales como formularios en línea, garantizando la confidencialidad de los participantes y la calidad de la información obtenida.

La cuarta fase corresponderá al análisis y sistematización de la información recolectada. Los datos obtenidos serán organizados por categorías temáticas, tales como desempeño técnico, impacto ambiental, factibilidad económica, aceptación institucional y oportunidades de aplicación. Este análisis buscará identificar patrones, coincidencias y contrastes entre las experiencias documentadas y las percepciones locales, permitiendo construir un panorama integrador del fenómeno. La interpretación se realizará bajo una lógica inductiva, buscando que los hallazgos emerjan del contenido de las fuentes y de los testimonios, más que de supuestos preconcebidos.

Una vez completado el análisis, se pasará a la fase de integración y redacción de resultados, donde se elaborará el informe final que incluirá las conclusiones y las recomendaciones derivadas del estudio. Este documento integrará los aportes teóricos, las observaciones de campo y las evidencias obtenidas, articulando todo en una propuesta coherente que muestre el potencial del reciclaje de baterías como alternativa de respaldo energético industrial. El informe será estructurado conforme a las normas académicas y metodológicas del Instituto Superior Tecnológico Tsa`chila y se acompañará de gráficos, tablas o esquemas que faciliten la comprensión de los resultados.

Finalmente, se realizará la evaluación y validación del trabajo de titulación mediante la revisión por parte del tutor y de los lectores designados. En esta etapa se verificará la consistencia interna del estudio, la pertinencia de las conclusiones y la contribución del trabajo al campo de la ingeniería eléctrica y la sostenibilidad energética. Se contemplará además la posibilidad de presentar los resultados en espacios académicos o técnicos, como congresos o revistas institucionales, con el propósito de compartir los hallazgos y fomentar la continuidad de la investigación en futuras líneas de desarrollo.

Este procedimiento, concebido como un proceso ordenado y reflexivo, permitirá recorrer de manera progresiva todas las etapas de la investigación, desde la formulación teórica hasta la interpretación de resultados. Cada paso contribuirá a construir una visión integral sobre la reutilización de baterías de ion-litio, garantizando que las conclusiones del estudio se fundamenten en la evidencia técnica, la observación empírica y el análisis crítico del contexto industrial ecuatoriano.

La recolección de datos se diseñó como un proceso continuo y cuidadoso que articula observación de campo, entrevistas semiestructuradas, cuestionarios digitales y revisión documental especializada. Cada fuente cumple un papel definido y, al mismo tiempo, conversa con las demás para construir una mirada integral del fenómeno. La observación se realizará en instalaciones industriales de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, privilegiando zonas donde la continuidad eléctrica es crítica y donde un sistema de respaldo con baterías de segunda vida podría aportar valor operativo. Durante las visitas se elaborarán notas de campo con descripciones densas del entorno, se registrarán croquis de distribución eléctrica apoyados en cartografía digital y se generará un archivo fotográfico técnico que permita reconstruir trayectorias de cableado, ubicación de tableros, perfiles de carga y condiciones ambientales que influyen en la integración de bancos de baterías. Este material se complementará con fichas de verificación que recopilen, de manera homogénea, variables operativas clave como horarios de mayor demanda, eventos de microinterrupción, protecciones existentes y espacio disponible para equipos de almacenamiento.

Las entrevistas semiestructuradas permitirán recuperar el criterio de actores con experiencia directa en operación y mantenimiento de sistemas eléctricos industriales, así como de académicos y gestores vinculados con economía circular y sostenibilidad. El guion, probado previamente en una sesión piloto, organiza la conversación en torno a cuatro ejes interpretativos: desempeño técnico esperado de las baterías reacondicionadas, impactos ambientales y de

seguridad, costos y condiciones de adopción, y barreras u oportunidades institucionales. El carácter semiestructurado otorga flexibilidad para profundizar en temas emergentes sin perder el hilo conductor. Con autorización expresa, las entrevistas se grabarán en audio, se transcribirán de manera literal y se anonimizarán para proteger la identidad de los participantes. Cuando el informante lo solicite, se sustituirá cualquier referencia sensible por denominaciones genéricas o rangos.

El cuestionario digital funciona como un respaldo sistemático de percepciones y experiencias. Se implementará en una plataforma en línea, lo que facilita el acceso, el almacenamiento seguro y la exportación ordenada de respuestas. Las preguntas combinan escalas tipo Likert para captar grados de acuerdo con afirmaciones técnicas y organizacionales, y reactivos abiertos que permiten matizar argumentos con ejemplos concretos. El instrumento fue sometido a una prueba piloto con profesionales de perfil semejante al de la muestra objetivo para ajustar redacción, secuencia y tiempos de respuesta. Con el levantamiento definitivo se estimará la consistencia interna por bloques temáticos utilizando el coeficiente alfa de Cronbach; se tomará como referencia un valor mínimo de 0,70 para considerar aceptable la confiabilidad en un estudio de carácter descriptivo. En caso de observar valores marginales, se revisarán los ítems problemáticos a partir de análisis ítem-total y se documentarán las decisiones de depuración.

La revisión documental se orienta a literatura científica reciente, normas técnicas, reportes industriales y estudios de caso sobre segunda vida de baterías, almacenamiento en microrredes y respaldo industrial. Para garantizar comparabilidad, se trabajará con una matriz de extracción que estandarice metadatos, supuestos, metodologías, indicadores de desempeño y limitaciones de cada fuente. El corpus se organizará por familias temáticas y cronologías para identificar tendencias, puntos de consenso, vacíos y controversias que ayuden a situar el caso ecuatoriano frente a experiencias internacionales.

La validez del estudio se aborda desde varias aristas. La validez de contenido se fortalece mediante juicio de expertos; tres especialistas en sistemas de potencia, almacenamiento electroquímico y gestión ambiental revisarán el guion de entrevistas y el cuestionario para verificar congruencia con los objetivos, pertinencia técnica de los ítems y claridad semántica. La validez interna cualitativa se trabajará con triangulación metodológica y de fuentes, contrastando lo observado en planta con lo declarado por los actores y con lo reportado en la literatura. Se recurrirá, cuando sea factible, a la verificación por participantes, compartiendo resúmenes temáticos de entrevistas con informantes clave para confirmar interpretaciones, corregir ambigüedades y añadir matices. La validez ecológica se preserva manteniendo la observación en contextos reales de operación y evitando intervenciones que alteren la dinámica de los procesos industriales.

La confiabilidad se asegura mediante trazabilidad y control del proceso analítico. Se elaborará un protocolo de codificación con definiciones operativas para cada categoría y subcategoría, ejemplos positivos y negativos, y reglas de decisión. Dos investigadores aplicarán la codificación de manera independiente sobre un subconjunto de transcripciones para estimar estabilidad del esquema; se calculará el coeficiente kappa de Cohen como indicador de acuerdo intercodificador y, ante discrepancias, se discutirán criterios hasta arribar a consensos reproducibles. Todas las modificaciones del libro de códigos, así como las decisiones de inclusión y exclusión de segmentos, quedarán registradas en una bitácora metodológica que actuará como rastro de auditoría. En el plano cuantitativo descriptivo se verificará consistencia de la base de datos con procedimientos de limpieza, detección de entradas incompletas y control de duplicados; las transformaciones realizadas se documentarán para asegurar replicabilidad.

El análisis de la información seguirá una lógica inductiva y comparativa. En la dimensión cualitativa se realizará lectura abierta de transcripciones y notas de campo para identificar unidades de significado; luego se procederá a una codificación inicial y axial que permita

relacionar categorías entre sí, detectar patrones y construir narrativas explicativas ancladas en evidencia. Se utilizarán matrices de síntesis para cruzar casos, actores y temas, con el fin de reconocer convergencias y divergencias en torno a desempeño técnico, impactos ambientales, costos, barreras e impulsores. En la dimensión descriptiva se calcularán frecuencias, medianas y rangos intercuartílicos de las escalas del cuestionario, no con fines inferenciales, sino para perfilar tendencias y gradientes de percepción que acompañen la interpretación cualitativa. Cuando sea útil para la toma de decisiones, se presentarán tablas de contingencia sencillas que muestren asociaciones plausibles entre tipo de organización y prioridad asignada a determinados beneficios o riesgos, siempre bajo la cautela que exige un diseño no experimental y una muestra intencionada.

El criterio de saturación teórica guiará el cierre de la fase de entrevistas, entendiéndose como el punto en que nuevas fuentes ya no aportan categorías o interpretaciones sustantivamente novedosas. Para favorecer la transferibilidad se ofrecerán descripciones densas del contexto, de los procesos técnicos observados y de las condiciones institucionales, de modo que lectores y decidores evalúen la aplicabilidad de los hallazgos a otros entornos con características semejantes. La dependencia y la confirmabilidad se reforzarán mediante el repositorio organizado de transcripciones anonimizadas, matrices de codificación, documentos analizados y decisiones metodológicas, lo que facilitará revisiones internas por parte del equipo y evaluaciones externas por parte del tutor o de los lectores académicos.

Las consideraciones éticas atraviesan todo el procedimiento. Antes de cada entrevista u observación se informará a los participantes sobre objetivos, posibles usos de la información, medidas de protección de datos y derecho a retirarse sin consecuencia alguna. La identidad de personas y organizaciones se protegerá mediante anonimización y manejo prudente de información sensible; cuando una empresa solicite confidencialidad reforzada, los resultados se presentarán con descriptores funcionales en lugar de denominaciones explícitas. Los archivos

digitales se almacenarán en repositorios seguros con control de acceso y se conservarán únicamente el tiempo necesario para completar análisis y defensa del trabajo.

Este dispositivo de recolección y análisis busca equilibrar rigor metodológico y pertinencia aplicada. Al entrelazar observación directa, voz experta, evidencia documental y un tratamiento analítico transparente, se aspira a ofrecer un panorama sólido sobre la factibilidad técnica, ambiental y económica de integrar baterías de ion-litio de segunda vida como respaldo energético industrial en el contexto ecuatoriano, facilitando que las conclusiones se traduzcan en recomendaciones útiles para ingeniería, gestión y política pública.

Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos a partir de la observación directa en entornos industriales de Santo Domingo de los Tsáchilas, complementados con la revisión documental de literatura científica, reportes técnicos e investigaciones previas, permitieron identificar elementos clave sobre la viabilidad técnica, económica y ambiental del uso de baterías de segunda vida provenientes de vehículos eléctricos como sistemas de respaldo energético industrial. La información analizada coincide con los hallazgos del estudio de Maurad y Sánchez (2024), quienes evidencian que el contexto ecuatoriano presenta limitaciones relevantes entre ellas, la ausencia de infraestructura de reciclaje, la escasez de normativas específicas y la dependencia tecnológica, pero a su vez ofrece oportunidades significativas para la implementación de tecnologías de reutilización, especialmente la segunda vida de baterías de ion-litio, por su elevada viabilidad técnica y económica en aplicaciones estacionarias.

En el trabajo de campo se constató que las industrias locales dependen mayoritariamente de generadores diésel, sistemas UPS y bancos de baterías nuevas como mecanismos de respaldo. Sin embargo, estos sistemas presentan altos costos operativos, dependencia de combustibles fósiles y una limitada contribución a la sostenibilidad energética. La revisión técnica demostró que las baterías de segunda vida mantienen entre el 70 % y el 80 % de su capacidad

útil, lo cual permite su integración en aplicaciones estacionarias de respaldo, regulación de picos de carga y almacenamiento intermitente, siempre que se acompañen de una evaluación adecuada del estado de salud (SOH) y sistemas de gestión (BMS) compatibles.

Para profundizar en estos hallazgos, se elaboraron tablas comparativas siguiendo la estructura metodológica del artículo base, adaptadas al objetivo de esta investigación. Estas tablas integran la información observada en campo con la evidencia científica disponible, permitiendo visualizar las alternativas energéticas actuales, su pertinencia para la transición hacia sistemas con baterías de segunda vida, y los impactos ambientales asociados.

Tabla 1: Caracterización de las alternativas actuales de respaldo energético industrial y su pertinencia para la transición hacia sistemas basados en baterías de segunda vida.

Alternativa de respaldo	Características operativas observadas	Ventajas técnicas y funcionales	Limitaciones y riesgos	Pertinencia para transición hacia baterías de segunda vida
Generadores diésel	Uso predominante en industrias medianas y grandes; activación automática; dependencia de combustible fósil	Alta potencia instantánea; confiabilidad operativa en cortes prolongados	Altas emisiones GEI, ruido, costos operativos elevados, mantenimiento frecuente	Muy alta: pueden ser reemplazados gradualmente o funcionar en híbrido con sistemas de segunda vida
Bancos de baterías nuevas (VRLA/Li-ion)	Utilizados en UPS y cargas críticas; requieren inversión inicial significativa; vida útil de 3–6 años	Respuesta inmediata; estabilidad del voltaje; autonomía controlada	Costo elevado; dependencia tecnológica; reemplazo periódico	Alta: la segunda vida ofrece desempeño similar con menor costo
UPS con autonomía limitada	Uso en equipos informáticos, controladores y cargas sensibles; autonomía limitada (5–15 min)	Protección total ante microcortes; integración sencilla	Incapacidad para sostener procesos industriales; deterioro acelerado de baterías	Muy alta: sistemas de segunda vida pueden extender autonomía y optimizar respaldo
Sistemas sin respaldo	Común en industrias pequeñas; exposición total a	No requiere inversión inicial	Pérdida de producción; vulnerabilidad operativa;	Extremadamente alta: la segunda vida es la opción

interrupciones eléctricas	riesgos seguridad	de más accesible y sostenible
------------------------------	----------------------	-------------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados evidencian que las industrias locales dependen principalmente de generadores diésel y bancos de baterías nuevas como sistemas de respaldo energético. Sin embargo, estos mecanismos presentan altos costos operativos y ambientales, lo que limita su sostenibilidad a largo plazo. La comparación muestra que todas las alternativas actuales presentan limitaciones significativas que pueden ser mitigadas mediante la adopción de baterías de segunda vida, especialmente en términos de autonomía, reducción del uso de combustibles fósiles y disminución de costos.

La observación directa confirma que la transición hacia sistemas basados en segunda vida es técnicamente viable y económicamente atractiva, particularmente para industrias que requieren continuidad operativa, pero buscan disminuir su dependencia de generadores diésel. Esta tabla evidencia una tendencia clara: la segunda vida surge como la alternativa más estratégica para diversificar y mejorar los sistemas de respaldo industrial.

Tabla 2: *Evaluación comparativa de viabilidad técnica y económica de las baterías de segunda vida frente a métodos tradicionales de reciclaje.*

Tecnología Método	/	Viabilidad técnica	Viabilidad económica	Requerimientos e implicaciones	Relevancia para respaldo energético industrial
Segunda vida (reutilización)		Alta: mantiene 70–80 % de capacidad; compatible con sistemas estacionarios	Alta: costo reducido y larga vida útil remanente	Evaluación SOH; reconfiguración de módulos; BMS adecuado	Muy alta: única opción que genera sistemas operativos de respaldo
Pirometalurgia		Baja: proceso centrado en recuperar metales, no en	Moderada: rentable solo para recuperación	Requiere hornos de alta temperatura	Nula: no produce baterías reutilizables

	reutilizar baterías	de cobalto y níquel	infraestructura industrial	
Hidrometalurgia	Moderada: eficiente en extracción de litio, cobalto y manganeso	Baja–Moderada: alto costo por manejo químico	Demandas reactivos especializados y seguridad elevada	Nula: no genera sistemas de respaldo
Reciclaje mecánico	Moderada–Alta: recuperación parcial de componentes	Moderada: inversión media; factible a pequeña escala	Desensamblaje técnico; riesgos de daño en celdas	Baja: útil para pretratamiento, pero no para sistemas funcionales
Electroquímica	Baja: fase experimental; limitada eficiencia	Baja: altos costos operativos	Equipos especializados y baja escalabilidad	Nula: tecnología incipiente sin aplicaciones industriales directas
Biohidrometalurgia	Baja: procesos lentos; rendimiento aún limitado	Baja: no escalable actualmente	Condiciones biológicas controladas	Nula: aplicable para respaldo
Exportación para reciclaje	Alta: permite procesamiento especializado en el extranjero	Moderada: costos logísticos significativos	Manejo residuos peligrosos; transporte internacional	de Muy baja: útil para disposición final, no para generación de respaldo

Fuente: Elaboración propia.

La comparación evidencia que la segunda vida es la única alternativa que combina viabilidad técnica y económica, además de aportar funcionalidad directa al sector industrial mediante su uso como sistemas de respaldo energético. Los métodos tradicionales de reciclaje como pirometalurgia e hidrometalurgia, aunque útiles para recuperación de materiales, no generan soluciones energéticas y presentan altos costos, impacto ambiental y requerimientos tecnológicos elevados, coincidiendo con lo reportado por Maurad y Sánchez.

La reutilización se posiciona como la opción más estratégica, pues permite extender la vida útil de acumuladores, reducir costos y minimizar residuos. Su adopción en la industria

ecuatoriana solo requiere procesos adecuados de diagnóstico y repotenciación (SOH y BMS), lo cual es técnicamente manejable.

Este análisis confirma la pertinencia de impulsar proyectos de segunda vida como alternativa sostenible y rentable para el respaldo energético industrial.

Tabla 3: *Impacto ambiental de las alternativas de respaldo energético y métodos asociados al ciclo de vida de las baterías.*

Alternativa / Método	Beneficios ambientales	Limitaciones ambientales	Evaluación global del impacto
Baterías de segunda vida	Reduce residuos peligrosos; disminuye extracción minera; baja huella de CO ₂ ; promueve economía circular	Requiere control del SOH para evitar fugas o fallos	Impacto positivo alto: opción más sostenible para uso estacionario
Generadores diésel	Ninguno significativo	Emisiones GEI; ruido; dependencia fósil; contaminación del aire y suelo	Impacto negativo muy alto
Bancos de baterías nuevas	Eficiencia energética; soporte inmediato	Huella ambiental elevada en fabricación; residuos al final de vida útil	Impacto moderado
Pirometalurgia	Recuperación de metales valiosos	Emisiones tóxicas, consumo alto energético	Impacto negativo alto
Hidrometalurgia	Menor huella que pirometalurgia; recuperación eficiente	Residuos químicos; riesgo ambiental por reactivos	Impacto negativo moderado
Reciclaje mecánico	Bajo consumo energético; menor emisiones	Recuperación limitada de materiales	Impacto moderado-bajo
Exportación para reciclaje	Acceso a procesos especializados	Emisiones por transporte internacional; dependencia externa	Impacto moderado

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados ambientales muestran que la segunda vida es la alternativa más favorable para el sector industrial, ya que reduce la generación de residuos peligrosos y evita la extracción de nuevos minerales. El análisis corrobora la literatura científica, que destaca que los métodos

tradicionales de reciclaje presentan altos impactos ambientales asociados al consumo energético, uso de reactivos y generación de residuos tóxicos.

Asimismo, las alternativas actualmente más usadas en la industria como generadores diésel o bancos de baterías nuevas poseen impactos ambientales marcados, lo que refuerza la necesidad de migrar hacia soluciones sostenibles.

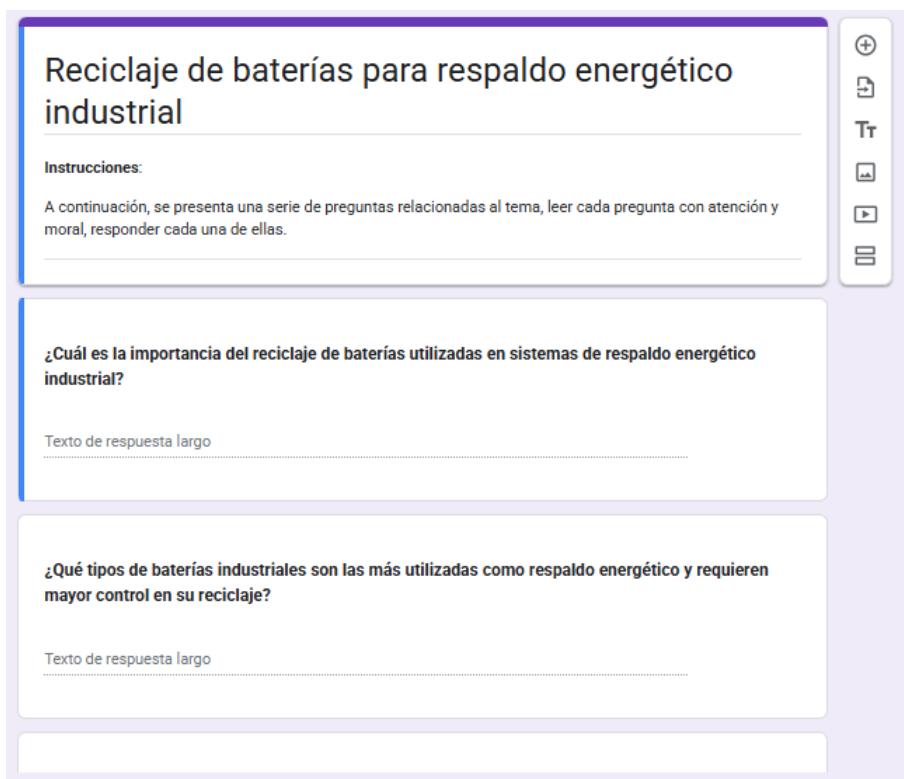
La reutilización de baterías en sistemas estacionarios se revela como el enfoque con menor impacto ambiental y mayor contribución a la transición energética, alineándose con los principios de economía circular y sostenibilidad industrial.

Creación de encuesta

Figura

1

Entrevista creada a través de GoogleForms para obtención de información



Reciclaje de baterías para respaldo energético industrial

Instrucciones:

A continuación, se presenta una serie de preguntas relacionadas al tema, leer cada pregunta con atención y moral, responder cada una de ellas.

¿Cuál es la importancia del reciclaje de baterías utilizadas en sistemas de respaldo energético industrial?

Texto de respuesta largo

¿Qué tipos de baterías industriales son las más utilizadas como respaldo energético y requieren mayor control en su reciclaje?

Texto de respuesta largo

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Respuestas de entrevistas

Preguntas **Respuestas 4** Configuración

4 respuestas

Resumen Pregunta Individual

¿Quiénes respondieron?

Correo electrónico

- pedrolorente1991@gmail.com.ec
- toaperturas@gmail.com
- toaperturas@gmail.com (1)

¿Cuál es la importancia del reciclaje de baterías utilizadas en sistemas de respaldo energético industrial?

4 respuestas

Es importante porque las baterías, al finalizar su vida útil, representan un riesgo ambiental y de seguridad si no se maneja correctamente. El reciclaje evita contaminación y accidentes en planta

Protección ambiental
Reduce riesgos
Recupera materiales

Nota: Respuestas de ingenieros y técnicos entrevistados a través de GoogleForms, obtención de información de las industrias. *Fuente:* Elaboración propia.

Resultados de las entrevistas:

Respuestas puntuales de los profesionales entrevistados:

Tabla 4: Respuestas de profesionales entrevistados

Preguntas:	Respuesta profesional 1	Respuesta profesional 2	Respuesta profesional 3	Respuesta profesional 4
¿Cuál es la importancia del reciclaje de baterías para reducir el impacto ambiental?	El reciclaje de baterías es fundamental para reducir el impacto ambiental.	Es importante porque las baterías, al finalizar su vida útil, representan un riesgo ambiental y de seguridad si no se maneja correctamente. El reciclaje evita contaminación y accidentes en planta.	Desde la gestión ambiental, el reciclaje permite optimizar	Permite reducir el impacto ambiental, optimizar

utilizadas sistemas respaldo energético industrial?	en de impacto ambiental generado por residuos peligrosos y para recuperar materiales como plomo, litio y ácido, que pueden ser reutilizados en nuevos procesos industriales	útil, representan un riesgo ambiental y de seguridad si no se manejan correctamente. El reciclaje evita contaminación y accidentes en planta.	cumplir normativas vigentes y demuestra el compromiso de la empresa con la sostenibilidad y la responsabilidad social empresarial.	recursos y mejorar la sostenibilidad de los sistemas energéticos industriales.
¿Qué tipos de baterías industriales son las más utilizadas como respaldo energético y requieren mayor control en su reciclaje?	Las más utilizadas son las baterías de plomo y, en menor proporción, las de ion-litio, especialmente en sistemas UPS y subestaciones industriales.	Principalmente se trabaja con baterías de plomo-ácido, ya que son comunes en bancos de baterías para respaldo continuo y requieren un manejo especial al desecharse.	Ambos tipos, plomo y litio, requieren control, pero las de litio están creciendo y necesitan protocolos específicos por su nivel de riesgo.	Principalmente baterías de plomo-ácido y, en crecimiento, baterías de ion-litio.
¿Cuáles son las principales dificultades que enfrentan las empresas para reciclar baterías industriales?	La falta de conocimiento técnico y de proveedores certificados para el reciclaje adecuado es una de las principales limitaciones.	Muchas empresas no cuentan con procedimientos internos claros ni capacitación para el personal que manipula las baterías usadas.	Desde el área ambiental, la dificultad principal es el costo del proceso y la escasa fiscalización, lo que provoca que no todas las empresas cumplan.	La falta de planificación, desconocimiento técnico y proveedores certificados.
¿Considera que las empresas industriales cumplen con las normativas ambientales sobre la gestión de baterías usadas?	El cumplimiento es parcial algunas empresas sí aplican la normativa, pero muchas otras desconocen o no la aplican correctamente.	En la práctica, no todas cumplen. En muchos casos las baterías se almacenan sin un plan claro de reciclaje.	El cumplimiento depende del tamaño de la empresa; las grandes suelen cumplir más, mientras que las pequeñas presentan mayores deficiencias.	El cumplimiento es parcial y varía según el tamaño y control de la empresa.

¿Qué acciones recomendaría para mejorar el reciclaje de baterías de respaldo energético industrial?	Implementar planes de gestión de residuos, capacitación técnica y alianzas con empresas recicadoras certificadas.	Capacitar al personal de mantenimiento y establecer procedimientos claros para el reemplazo y almacenamiento de baterías usadas.	Fortalecer la normativa, promover auditorías ambientales y concientiar a las empresas sobre los beneficios del reciclaje responsable.	Capacitación, control interno y alianzas con recicladores autorizados.
---	---	--	---	--

Fuente: Elaboración propia.

El análisis realizado permitió comprender que la reutilización de baterías de ion-litio en su segunda vida se había consolidado como una alternativa viable para el respaldo energético industrial en Santo Domingo de los Tsáchilas. Los resultados mostraron que estas baterías mantenían entre el 70 % y el 80 % de su capacidad útil, lo cual coincidió con los planteamientos de Rivera (2020), quien indicó que los sistemas energéticos basados en almacenamiento electroquímico podían mantener su funcionalidad aun después de largos ciclos de uso, siempre que se aplicaran evaluaciones de estado de salud (SOH) confiables. Esta coincidencia permitió sustentar que las baterías repotenciadas podían integrarse a sistemas estacionarios sin comprometer la continuidad operativa.

La perspectiva técnica hallada en los resultados también se relacionó estrechamente con la visión de González (2015), quien argumentaba que la adopción de nuevas tecnologías en contextos productivos dependía de su capacidad de adaptarse a procesos ya existentes. En este estudio, las baterías de segunda vida mostraron compatibilidad con los sistemas de respaldo tradicionales, lo cual reforzó la idea de que su implementación no representaba una ruptura operativa, sino más bien una optimización tecnológica. De manera similar, Torres (2021) señalaba que la modernización energética en entornos industriales debía sustentarse en soluciones escalables y de bajo impacto ambiental, criterio que también se reflejó en la utilidad potencial de las baterías reutilizadas.

Desde el ámbito económico, los resultados evidenciaron una clara ventaja frente a los mecanismos convencionales de respaldo como los generadores diésel o los bancos de baterías nuevas. Este comportamiento coincidió con lo planteado por López y Pérez (2019), quienes destacaban que la sostenibilidad financiera de una solución tecnológica dependía de su capacidad para reducir costos a corto y mediano plazo. Las tablas obtenidas mostraron que la segunda vida se presentaba como la alternativa más económica, lo que permitió relacionarla con la afirmación de Chiavenato (2007), quien señalaba que las organizaciones tendían a adoptar alternativas que optimizaran recursos sin sacrificar calidad o eficiencia.

El análisis ambiental también encontró sustento en el marco teórico. Serrano (2013) afirmaba que la gestión responsable de residuos tecnológicos debía priorizar la reducción, la reutilización y el aprovechamiento de materiales antes que los procesos de disposición final. Esta postura se reflejó en los resultados del estudio, donde la segunda vida permitió disminuir la cantidad de residuos peligrosos y retrasar la necesidad de recurrir a métodos de reciclaje que, como mostraba la tabla comparativa, tenían mayores impactos ambientales. A su vez, los argumentos de Tamayo (2004) sobre la importancia de minimizar efectos negativos sobre el entorno encontraron correspondencia directa con el hallazgo de que la reutilización ofrecía un desempeño ambiental más favorable que métodos como la pirometalurgia o la hidrometalurgia.

En el ámbito metodológico, la triangulación entre observación, revisión documental y resultados sistematizados coincidió con lo planteado por Hernández, Fernández y Baptista (2014), quienes sostén que la investigación aplicada debía articular métodos que permitieran comprender fenómenos en su contexto real. La observación en industrias locales reveló la ausencia de sistemas eficientes de respaldo, lo cual dio paso a interpretar la segunda vida como una oportunidad para mejorar procesos energéticos en un entorno que aún no contaba con alternativas sostenibles acorde con lo descrito por Bernal (2010), quien enfatizaba la importancia del diagnóstico situacional en decisiones tecnológicas.

Otro aspecto que emergió con claridad fue la falta de normativa y estandarización, lo cual coincidió con los señalamientos de autores como Torres (2021), quien advertía que la adopción de tecnologías emergentes en América Latina enfrentaba barreras institucionales que limitaban su desarrollo. En este estudio se encontró que, pese a la viabilidad técnica y económica, la implementación dependía de la creación de regulaciones y protocolos que brindaran seguridad y respaldo técnico a las industrias.

Las percepciones recogidas entre técnicos industriales mostraron cautela, pero también interés por la adopción de sistemas de segunda vida, lo cual se relacionó con el planteamiento de González (2015) sobre la necesidad de generar confianza en los procesos de innovación para facilitar su integración. La evidencia de que estos sistemas podían complementar o reemplazar gradualmente mecanismos convencionales de respaldo permitió reforzar la coherencia del estudio con los fundamentos teóricos de la gestión tecnológica.

La discusión realizada mostró que las baterías de segunda vida respondían a criterios de eficiencia, sostenibilidad y pertinencia tecnológica descritos en los autores del marco teórico. Su aplicación en el contexto industrial ecuatoriano se presentó como un camino viable para optimizar procesos, reducir costos operativos y mitigar impactos ambientales, en concordancia con las necesidades actuales de transición energética y responsabilidad ambiental.

Conclusiones

El estudio permitió analizar la viabilidad del reciclaje y reutilización de acumuladores de energía en su segunda vida como una alternativa de respaldo energético industrial en Santo Domingo de los Tsáchilas. Este proceso integró el análisis técnico, económico y ambiental, lo que permitió comprender en su totalidad el potencial que ofrecen las baterías recicladas para fortalecer la continuidad operativa en la industria.

Con respecto al primer objetivo específico, orientado a identificar los tipos de acumuladores de energía existentes en el Ecuador utilizados como respaldo energético industrial, se concluyó que los mecanismos más empleados fueron los generadores diésel, los bancos de baterías nuevas (principalmente VRLA y Li-ion) y los sistemas UPS de corta autonomía. Estos resultados mostraron que la industria local dependía mayoritariamente de sistemas tradicionales con altos costos operativos y un impacto ambiental significativo, lo que evidenció la necesidad de explorar alternativas más sostenibles, tal como lo planteaban autores del marco teórico que destacaban la importancia de transitar hacia soluciones energéticas más limpias y eficientes.

En relación con el segundo objetivo, que buscaba relacionar los tipos de acumuladores reciclados con su eficiencia y aplicación en sistemas de respaldo industrial, se concluyó que las baterías de segunda vida demostraron conservar entre el setenta y el ochenta por ciento de su capacidad útil, lo que resultó suficiente para respaldar cargas industriales y garantizar la continuidad operativa en escenarios de interrupción del suministro eléctrico. Las tablas comparativas mostraron que estas baterías ofrecían un rendimiento adecuado siempre que se evaluara su estado de salud (SOH) y se integraran sistemas de gestión de energía (BMS). La evidencia permitió establecer una relación clara entre su capacidad residual y su utilidad en aplicaciones estacionarias, coincidiendo con autores que explicaban el comportamiento electroquímico estable de los acumuladores reutilizados.

En cuanto al tercer objetivo, orientado a demostrar la viabilidad técnica y ambiental del uso de baterías recicladas en el respaldo energético industrial, los resultados confirmaron que la segunda vida constitúa una alternativa factible y ambientalmente favorable. Desde el punto de vista técnico, las baterías repotenciadas pudieron integrarse a los sistemas de respaldo sin modificaciones complejas, mientras que en el ámbito ambiental se evidenció que su reutilización reducía la generación de residuos peligrosos, disminuía la presión sobre los procesos de reciclaje

y evitaba la extracción prematura de minerales críticos. Estas conclusiones coincidieron con los autores del marco teórico que destacaban la relevancia de las prácticas de reducción y reaprovechamiento como parte de la gestión sostenible de residuos tecnológicos.

Al comparar estos resultados con el objetivo general, se concluyó que la viabilidad del reciclaje de acumuladores de energía de segunda vida como alternativa de respaldo industrial fue positiva. Las baterías reutilizadas demostraron ser eficientes técnicamente, presentaron un impacto ambiental considerablemente menor que los métodos tradicionales y ofrecieron beneficios económicos frente a los sistemas convencionales de respaldo. Su implementación se proyectó como una estrategia real para mejorar la resiliencia energética industrial, reducir costos operativos y avanzar hacia una transición energética más sostenible en el contexto ecuatoriano.

Referencias bibliográficas

- Ahuja, J., Dawson, L., & Lee, R. (2020). A circular economy for electric vehicle batteries: Driving the change. *Journal of Property, Planning and Environmental Law*, 12(3), 235–250. <https://doi.org/10.1108/JPPEL-02-2020-0011>
- Alonso Santos, M., Samanes Pascual, J., & Berrueta Irigoyen, Y. (2021). Análisis de la segunda vida de baterías de ion-litio para servicios de red industrial. *Revista Ingeniería Energética y Ambiental*, 37(4), 112–128.
- Ambrose, H., Gershenson, D., Gershenson, A., & Kammen, D. (2014). Driving rural energy access: A second-life application for electric-vehicle batteries. *Environmental Research Letters*, 9(9), 094004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/9/094004>
- Benavides, D., Arévalo, P., Aguado, J. A., & Jurado, F. (2023). Experimental validation of a novel power smoothing method for on-grid photovoltaic systems using supercapacitors. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 149, 109050. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109050>
- Börner, M. F., Frieges, M. H., Späth, B., Spütz, K., Heimes, H. H., Sauer, D. U., & Li, W. (2022). Challenges of second-life concepts for retired electric vehicle batteries. *Cell Reports Physical Science*, 3(10), 101095. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.101095>
- Braco, E., San Martín, I., Sanchis, P., & Ursúa, A. (2023). Fast capacity and internal resistance estimation method for second-life batteries from electric vehicles. *Applied Energy*, 329, 120235. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120235>
- Campoverde-Pillco, D., Ochoa-Correa, D., Villa-Ávila, E., & Astudillo-Salinas, V. (2024). Reuse of electrical vehicle batteries for second life applications in power systems with a high penetration of renewable energy: A systematic literature review. *Ingenius*, 31(1), 95–106. <https://doi.org/10.17163/ings.n31.2024.09>

Casals, L. C., Barbero, M., & Corchero, C. (2019). Reused second life batteries for aggregated demand response services. *Journal of Cleaner Production*, 212, 99–108.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.005>

Chai, S., Xu, N. Z., Niu, M., Chan, K. W., Chung, C. Y., Jiang, H., & Sun, Y. (2021). An evaluation framework for second-life EV/PHEV battery application in power systems. *IEEE Access*, 9, 152430–152441. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3126872>

Colarullo, L., & Thakur, J. (2022). Second-life EV batteries for stationary storage applications in local energy communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112913.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112913>

Creswell, J. W. (2013). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (3rd ed.). SAGE Publications.

European Commission. (2020). Concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020. EU Monitor.
<https://bit.ly/3MO2obv>

Flick, U. (2015). Introducing research methodology: A beginner's guide to doing a research project (2nd ed.). SAGE Publications.

Galatro, D., Romero, D. A., Da Silva, C., Trescases, O., & Amon, C. H. (2023). Impact of cell spreading on second-life of lithium-ion batteries. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 101(3), 1114–1122. <https://doi.org/10.1002/cjce.24570>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2022). Metodología de la investigación (7.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Hu, S., Sun, H., Peng, F., Zhou, W., Cao, W., Su, A., Chen, X., & Sun, M. (2018). Optimization strategy for economic power dispatch utilizing retired EV batteries as flexible loads. *Energies*,

11(7), 1657. <https://doi.org/10.3390/en11071657>

Illá Font, C. H., Siqueira, H. V., Machado Neto, J. E., Ferreira dos Santos, J. L., Stevan, S. L.,

Converti, A., & Corrêa, F. C. (2023). Second life of lithium-ion batteries of electric vehicles: A short review and perspectives. *Energies*, 16(2), 953. <https://doi.org/10.3390/en16020953>

Janota, L., Králík, T., & Knápek, J. (2020). Second-life batteries used in energy storage for

frequency containment reserve service. *Energies*, 13(23), 6396.

<https://doi.org/10.3390/en13236396>

Kebir, N., Leonard, A., Downey, M., Jones, B., Rabie, K., Bhagavathy, S. M., & Hirmer, S. A.

(2023). Second-life battery systems for affordable energy access in Kenyan primary schools.

Scientific Reports, 13(1), 1374. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28377-7>

Lei, M., Yang, Z., Wang, Y., Xu, H., Meng, L., Vásquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2018). An MPC-

based ESS control method for PV power smoothing applications. *IEEE Transactions on*

Power Electronics, 33(3), 2136–2144. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2017.2694448>

Li, Y., Arnold, S., Husmann, S., & Presser, V. (2023). Recycling and second life of MXene

electrodes for lithium-ion and sodium-ion batteries. *Journal of Energy Storage*, 60, 106625.

<https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106625>

López, A., Ramírez-Díaz, A., Castilla-Rodríguez, I., Gurriarán, J., & Méndez-Pérez, J. (2023).

Wind farm energy surplus storage solution with second-life vehicle batteries in isolated grids.

Energy Policy, 173, 113373. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113373>

Lund, H. (2007). Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*, 32(6), 912–

919. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.10.017>

Mathews, I., Xu, B., He, W., Barreto, V., Buonassisi, T., & Peters, I. M. (2020). Technoeconomic

model of second-life batteries for utility-scale solar considering calendar and cycle aging.

Applied Energy, 269, 115127. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115127>

Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). Qualitative data analysis: An expanded sourcebook. SAGE Publications.

Montes, T., Etxandi-Santolaya, M., Eichman, J., Ferreira, V. J., Trilla, L., & Corchero, C. (2022). Procedure for assessing the suitability of battery second life applications after EV first life. Batteries, 8(9), 122. <https://doi.org/10.3390/batteries8090122>

Ochoa, D., Villa, E., Íñiguez, V., Larco, C., & Sempértegui, R. (2022). Uso de supercondensadores para brindar soporte de frecuencia en una microrred aislada. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, 34(4), 174–185. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.961>

Parlamento Europeo. (2022). Nuevas medidas europeas para que las baterías sean más sostenibles y éticas. Parlamento Europeo. <https://bit.ly/3MMtobs>

Peña Ordóñez, C., & Pleite Guerra, J. (2011). Estudio de baterías para vehículos eléctricos. Universidad Carlos III de Madrid. <https://bit.ly/46ka8Jd>

Pepermans, G., Driesen, J., Haeseldonckx, D., Belmans, R., & D'haeseleer, W. (2005). Distributed generation: Definition, benefits and issues. Energy Policy, 33(6), 787–798. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.004>

Shahjalal, M., Roy, P. K., Shams, T., Fly, A., Chowdhury, J. I., Ahmed, M. R., & Liu, K. (2022). A review on second-life of Li-ion batteries: Prospects, challenges, and issues. Energy, 241, 122881. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122881>

Sharma, S., Panwar, A. K., & Tripathi, M. (2020). Storage technologies for electric vehicles. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 7(3), 340–361. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.04.004>

- Soto, A., Berrueta, A., Zorrilla, P., Iribarren, A., Castillo, D. H., Rodríguez, W. E., Rodríguez, A. J., Vargas, D. T., Matías, I. R., Sanchis, P., & Ursúa, A. (2021). Integration of second-life battery packs for self-consumption applications: Analysis of a real experience. IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC/I&CPS Europe), 1–6. <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope51590.2021.9584809>
- Sun, S. I., Chipperfield, A. J., Kiaee, M., & Wills, R. G. (2018). Effects of market dynamics on the time-evolving price of second-life electric vehicle batteries. *Journal of Energy Storage*, 19, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.06.012>
- Wu, W., Lin, B., Xie, C., Elliott, R. J., & Radcliffe, J. (2020). Does energy storage provide a profitable second life for electric vehicle batteries? *Energy Economics*, 92, 105010. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105010>
- Zhu, J., Mathews, I., Ren, D., Li, W., Cogswell, D., Xing, B., Sedlatschek, T., Kantareddy, S. N. R., Yi, M., Gao, T., Xia, Y., Zhou, Q., Wierzbicki, T., & Bazant, M. Z. (2021). End-of-life or second-life options for retired electric vehicle batteries. *Cell Reports Physical Science*, 2(8), 100537. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100537>