



**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en
Mecánica Automotriz**

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autor: Stalin Andrés Torres Salinas

Tutor: Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

**Metodología para Evaluar el Estado de Baterías de Ion-Litio en
un Montacargas Eléctrico**

Certificado de Autoría

Yo, Stalin Andrés Torres Salinas, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis 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, reglamento y leyes.

Stalin Andrés Torres Salinas

C.I.: 0931575898

Aprobación del Tutor

Yo, Fernando Gómez Berrezueta certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

C.I.: 0103441846

Director de Proyecto

Dedicatoria

A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante en cada etapa de mi vida.

A mis profesores y mentores, cuyas enseñanzas y guía han sido fundamentales para
alcanzar este logro.

A mis amigos, por su compañía y aliento en los momentos difíciles.

Con gratitud y cariño, dedico este trabajo a todos ustedes.

Stalin Torres

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, Fernando Gómez Berrezueta, por su invaluable guía y apoyo a lo largo de este proyecto. Su experiencia y

dedicación fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

Agradezco también a mis profesores y compañeros de la carrera por sus enseñanzas y

colaboración, que enriquecieron este estudio.

A mi familia, gracias por su apoyo incondicional y por ser mi fuente de inspiración y fortaleza. A mis amigos, por su ánimo constante y comprensión durante este proceso.

Finalmente, gracias a todas las personas y organizaciones que contribuyeron directa o

indirectamente a la culminación de esta tesis.

Stalin Torres

Índice General

Certificado de Autoría.....	iii
Aprobación del Tutor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas	xii
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
Capítulo I	1
Antecedentes	1
1.1 Tema de Investigación	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema.....	1
1.2.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2.2 Formulación del Problema.....	5
1.2.3 Sistematización del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación	6
1.4.1 Justificación Teórica.....	7
1.4.2 Justificación Metodológica.....	7
1.4.3 Justificación Práctica	8
1.4.4 Delimitación Temporal	9

1.4.5	<i>Delimitación Geográfica</i>	9
1.4.6	<i>Delimitación del Contenido</i>	9
	Capítulo II.....	11
	Marco Referencial.....	11
2.1	Marco Teórico.....	11
2.1.1	<i>Conceptos Preliminares</i>	12
2.1.2	<i>Características Principales de los Montacargas Eléctricos</i>	14
2.1.3	<i>Química de las Baterías de Iones de Litio</i>	16
2.1.4	<i>Ventajas de las Baterías de Iones de Litio para Montacargas Eléctricos</i>	17
2.1.5	<i>Peso de la Batería en Montacargas Eléctricos</i>	19
2.2	Marco Conceptual.....	19
2.2.2	<i>Voltaje</i>	20
2.2.3	<i>Capacidad</i>	21
2.2.3	<i>Ciclos de Carga</i>	23
2.2.4	<i>Eficiencia</i>	23
2.2.5	<i>Rendimiento Electroquímico</i>	23
2.2.6	<i>Densidad de Energía</i>	24
2.2.7	<i>Elección de la Batería Adecuada</i>	25
2.2.7	<i>Tiempos de Carga Más Rápidos</i>	27
2.2.8	<i>Ventajas de la Batería de Litio</i>	27
2.2.9	<i>Tecnología de Iones de Litio de Jungheinrich</i>	28
2.2.10	<i>Ventajas de las Baterías de Iones de Litio Triathlon</i>	29
2.2.10	<i>Batería de Ion-Litio 48 V (360/480 Ah)</i>	30
	Capítulo III.....	31
	Análisis de Baterías de Ion-Litio en un Montacargas Eléctrico	31

3.1	Características del Estado de la Batería de un Montacargas Eléctrico	32
3.2	Pruebas en Baterías de Alta Tensión de un Montacargas Eléctrico.....	33
3.3	Especificaciones Técnicas de las Baterías en Usadas en Montacargas Eléctricos	35
3.3.1	<i>Potencia y Rendimiento</i>	35
3.3.2	<i>Historial Típico de Carga y Descarga de Baterías de Iones de Litio</i>	35
3.3.3	<i>Cero Mantenimiento</i>	36
3.3.4	<i>Voltaje de la Batería y Amperios Hora</i>	36
3.4	Criterios para la Evaluación del Estado de Salud de las Baterías	37
3.5	Equipo para Verificación del Estado de las Baterías	38
3.6	Metodología Aplicada.....	39
3.6.1	<i>Métodos</i>	39
3.6.2	<i>Tipo de Estudio</i>	39
3.6.3	<i>Investigación Exploratoria</i>	39
3.6.4	<i>Investigación Descriptiva</i>	40
3.7	Montacargas Utilizado	40
3.7.1	<i>Montacargas Eléctrico EFG 215</i>	41
Capítulo IV.....		42
Procedimientos Estandarizados para Evaluar el Estado de las Baterías de Ion-Litio en un Montacargas Eléctrico		42
4.1	Descripción	42
4.1.1	<i>Inspección Visual Inicial</i>	42
4.1.2	<i>Verificación de Voltaje en Reposo</i>	42
4.1.3	<i>Prueba de Capacidad</i>	43
4.1.4	<i>Medición de la Resistencia Interna</i>	43
4.1.5	<i>Evaluación de la Eficiencia Coulómbica</i>	43

4.1.6	<i>Análisis Térmico</i>	44
4.1.7	<i>Prueba de Ciclo</i>	44
4.1.8	<i>Documentación y Reporte</i>	44
4.1.9	<i>Mantenimiento y Recomendaciones Finales</i>	45
4.2	<i>Descripción de la Batería, Cargador y Montacargas</i>	45
4.3	<i>Procedimiento Experimental Detallado</i>	47
4.3.1	<i>Introducción</i>	47
4.3.2	<i>Preparación Inicial</i>	47
4.3.3	<i>Prueba de Capacidad de Carga</i>	48
4.3.4	<i>Medición de la Resistencia Interna</i>	48
4.3.5	<i>Evaluación de la Eficiencia Coulómbica</i>	49
4.3.6	<i>Análisis Térmico</i>	49
4.3.7	<i>Interpretación de Resultados</i>	49
4.3.8	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>	50
	<i>Conclusiones</i>	51
	<i>Recomendaciones</i>	53
	<i>Bibliografía</i>	54
	<i>Anexos</i>	56

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Mercado de Montacargas Eléctricos, 2020-2029, en Billones de Dólares</i>	3
Figura 2 <i>Mercado de Montacargas Eléctricos por Tipo, Tipo de Combustible, Propulsión y por Región (2022-2029)</i>	4
Figura 3 <i>Montacargas Eléctrico</i>	16
Figura 4 <i>Montacargas Eléctricos vs Otros Tipos de Montacargas</i>	20
Figura 5 <i>Curva Típica de Descarga de Voltaje de la Batería</i>	21
Figura 6 <i>Cálculo de la Capacidad de la Batería de Ion-Litio</i>	22
Figura 7 <i>Densidad de Energía Volumétrica en Función de la Densidad de Energía</i>	24
Figura 8 <i>Baterías de Iones de Litio</i>	29
Figura 9 <i>Comparación de Curvas de Voltaje Típico</i>	35
Figura 10 <i>Historial Típico de Carga y Descarga</i>	36
Figura 11 <i>Cargador para Baterías</i>	38
Figura 12 <i>Montacargas Eléctrico EFG 15</i>	41
Figura 13 <i>Batería del Montacargas Eléctrico</i>	46
Figura 14 <i>Indicador de Carga de Baterías del Montacargas Eléctrico</i>	47

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Comparación entre las Baterías de Plomo-Ácido y de Iones de Litio</i>	26
Tabla 2 <i>Voltajes de las Baterías de Ion-Litio</i>	37

Resumen

El presente proyecto de investigación se enfoca en desarrollar una metodología eficaz para evaluar el estado de las baterías de ion-litio utilizadas en montacargas eléctricos. Dada la creciente adopción de montacargas eléctricos debido a sus beneficios ambientales y operativos, es crucial contar con un sistema confiable para monitorear y diagnosticar el estado de estas baterías, asegurando así su rendimiento y longevidad. Se determina los parámetros críticos que influyen en el rendimiento y la vida útil de las baterías de ion-litio y crea un protocolo detallado que incluya procedimientos de prueba y herramientas de diagnóstico para evaluar de manera precisa el estado de las baterías de ion-litio en tiempo real. Se inicia con una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre las tecnologías y métodos actuales utilizados para evaluar baterías de ion-litio, identificando sus ventajas y limitaciones. Se realizan pruebas en campo en montacargas eléctricos operativos para validar la precisión y efectividad de la metodología desarrollada, ajustando el protocolo según los resultados obtenidos. Este proyecto busca desarrollar y validar una metodología integral para evaluar el estado de las baterías de ion-litio en montacargas eléctricos, con el fin de mejorar su rendimiento, fiabilidad y vida útil. Los resultados de esta investigación tendrán un impacto significativo en la eficiencia operativa y sostenibilidad de las operaciones logísticas que utilizan montacargas eléctricos.

Palabras Clave: Montacargas eléctrico, baterías de Ion-Litio, diagnóstico, metodología aplicada.

Abstract

This research project focuses on developing an effective methodology to evaluate the condition of lithium-ion batteries used in electric forklifts. Given the increasing adoption of electric forklifts due to their environmental and operational benefits, it is crucial to have a reliable system to monitor and diagnose the health of these batteries, thus ensuring their performance and longevity. Determines critical parameters that influence the performance and life of lithium-ion batteries and creates a detailed protocol that includes test procedures and diagnostic tools to accurately evaluate the health of lithium-ion batteries in real time. It begins with an exhaustive review of the existing literature on the current technologies and methods used to evaluate lithium-ion batteries, identifying their advantages and limitations. Field tests are carried out on operational electric forklifts to validate the precision and effectiveness of the developed methodology, adjusting the protocol according to the results obtained. This project seeks to develop and validate a comprehensive methodology to evaluate the condition of lithium-ion batteries in electric forklifts, in order to improve their performance, reliability and useful life. The results of this research will have a significant impact on the operational efficiency and sustainability of logistics operations that use electric forklifts.

Keywords: Electric forklifts, Lithium-Ion batteries, diagnosis, applied methodology.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Metodología para evaluar el estado de baterías de ion-litio en un montacargas eléctrico.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

En la industria de la logística y el transporte, los montacargas eléctricos desempeñan un papel fundamental en la movilización y manejo de cargas en almacenes y centros de distribución.

Estos montacargas, al depender de baterías de ion-litio para su funcionamiento, requieren de un adecuado mantenimiento y monitoreo de su estado para garantizar su óptimo rendimiento y prolongar su vida útil.

Sin embargo, la evaluación precisa del estado de las baterías de ion-litio en los montacargas eléctricos representa un desafío debido a la falta de una metodología estandarizada y eficiente para llevar a cabo dicha evaluación. La ausencia de un enfoque sistemático y riguroso dificulta la detección temprana de posibles problemas en las baterías, lo que puede resultar en una disminución en la eficiencia operativa, costos adicionales de mantenimiento y, en última instancia, una reducción en la productividad y rentabilidad de las operaciones logísticas.

Por lo tanto, se requiere el desarrollo de una metodología específica y precisa para evaluar el estado de las baterías de ion-litio en los montacargas eléctricos. Esta metodología deberá tener en cuenta diversos factores, como la capacidad de carga, la resistencia interna, la temperatura de operación y la degradación de la capacidad de las baterías, entre otros, con el fin de proporcionar una evaluación completa y confiable del estado de las baterías.

El planteamiento del problema destaca la necesidad de una metodología integral y eficaz que permita evaluar de manera precisa el estado de las baterías de ion-litio en los

montacargas eléctricos, con el objetivo de mejorar la gestión del mantenimiento, optimizar el rendimiento operativo y garantizar la seguridad en las operaciones logísticas.

1.2.1 Planteamiento del Problema

Muchas empresas no cuentan con una metodología de análisis de desempeño de baterías, que le permita proporcionar un mayor criterio de evaluación, ya que no se toman en cuenta parámetros tan importantes como lo son, los Kwh, amperios, temperatura, que son tan importantes para determinar una tecnología de batería más robusta para la operación en base a justificaciones, conclusiones y recomendaciones que provengan de un adecuado análisis de desempeño de batería a lo largo de su ciclo de vida (Cruz, 2017).

Los montacargas eléctricos, al ser equipos que funcionan mediante energías limpias, son realmente útiles para trabajos en espacios cerrados, como bodegas, ya que no emiten dióxido de carbono u otros gases contaminantes.

Adicionalmente, los montacargas eléctricos son menos ruidosos en comparación con los montacargas de combustión y otro punto a favor que lo hace realmente atractivo para el comprador son sus bajos costos de mantenimiento.

El problema radica en las limitaciones y desafíos específicos que los técnicos y mecánicos enfrentan para diagnosticar el estado de las baterías de un montacargas eléctrico.

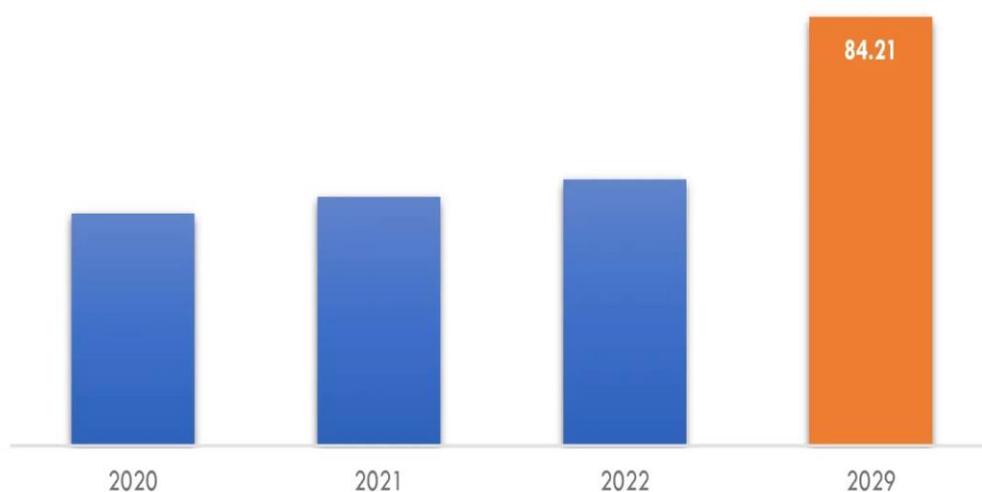
En la operación logística se realizan procesos de ingreso, salida e inventario, esta operación genera ocupación de equipos y mano de obra 24 horas día por 6 días a la semana en periodos valle y 7 días a la semana las 24 horas del día en periodos pico. Para lo cual se necesitan la operación y uso de montacargas eléctricos.

Cada montacarga cuenta con una batería de reemplazo esto teniendo en cuenta que se debe garantizar la redundancia de estas para el continuo funcionamiento de los equipos (Cortés, 2022).

El mercado mundial de carretillas elevadoras (Figura 1) se segmenta según el tipo de combustible en eléctricas, diésel, gasolina y GLP/GNC. Actualmente, las carretillas elevadoras eléctricas dominan el mercado debido a un mayor enfoque en la sostenibilidad ambiental y la introducción de modelos eléctricos avanzados con baterías de mayor duración y mejor rendimiento (The Business Research Company, 2024) (MarkWide Research, 2024).

Figura 1

Mercado de Montacargas Eléctricos, 2020-2029, en Billones de Dólares



Tomado de: <https://exactitudeconsultancy.com/es/informes/27847/mercado-de-montacargas/>

En términos de propulsión, el mercado se divide entre motores eléctricos y de combustión interna. A pesar de las ventajas medioambientales de los modelos eléctricos, las carretillas con motores de combustión interna mantienen una considerable cuota de mercado debido a su idoneidad para aplicaciones exteriores de servicio pesado y su menor costo inicial (Mordor Intel, 2024).

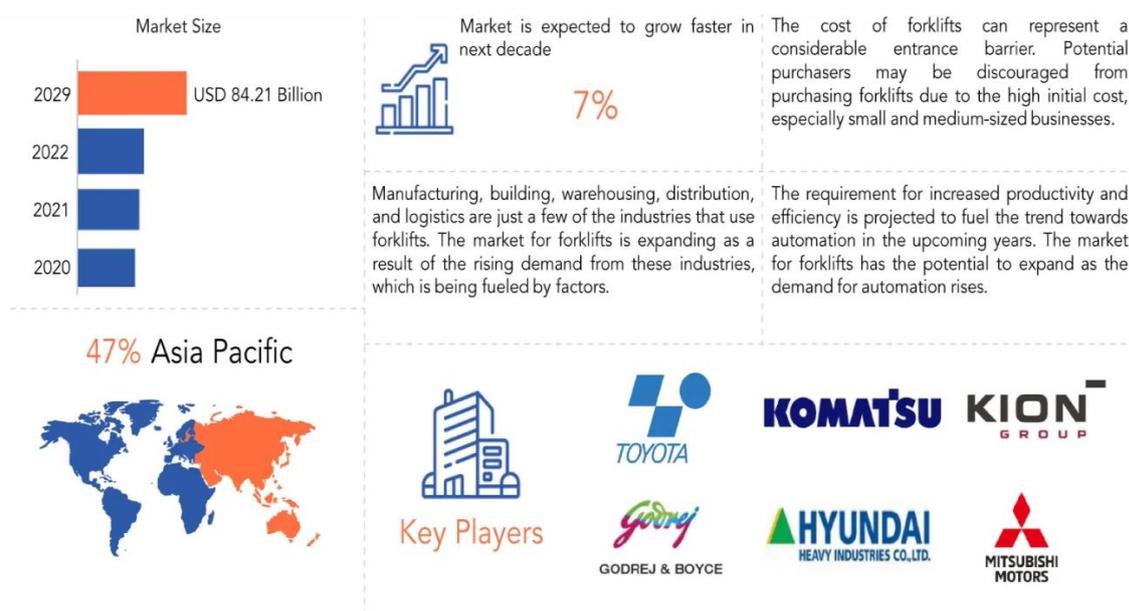
Por clase, las carretillas elevadoras se clasifican en clase I, II, III, IV y V. La demanda creciente de vehículos eléctricos ha impulsado la categoría de clase III, que se espera que integre tecnologías robóticas durante el periodo de proyección. Esto refleja una tendencia hacia la automatización y el uso de tecnologías avanzadas en la industria (MarkWide Research, 2024)

Finalmente, según el usuario final, el mercado de carretillas elevadoras se segmenta en fabricación, construcción, almacenamiento, distribución y logística. El sector manufacturero es el dominante, dado que las carretillas elevadoras son esenciales para el movimiento de maquinaria pesada, productos terminados y materias primas dentro de las instalaciones de producción (Mordor Intel) (MarkWide Research, 2024).

Las principales empresas en el mercado de carretillas elevadoras incluyen Anhui Heli Co., Ltd., CLARK Material Handling Company, Crown Equipment Corporation, Doosan Industrial Vehicle America Corporation, Hangcha Group Co., Ltd., Hyster-Yale Materials Handling, Inc., Jungheinrich AG, KION Group AG, Komatsu Ltd., Mitsubishi Logisnext Co., Ltd., Toyota Industries Corporation, Hyundai Heavy Industries, Godrej & Boyce Mfg. Co. Ltd., Northern Lift Trucks y Xiamen XGMA Machinery Co. Ltd. (Figura 2).

Figura 2

Mercado de Montacargas Eléctricos por Tipo, Tipo de Combustible, Propulsión y por Región (2022-2029)



Tomado de: <https://exactitudeconsultancy.com/es/informes/27847/mercado-de-montacargas/>

1.2.2 Formulación del Problema

El problema principal que aborda el proyecto "Metodología para Evaluar el Estado de Baterías de Ion-Litio en un Montacargas Eléctrico" es la falta de una metodología eficiente y precisa para evaluar el estado de las baterías de Ion-Litio utilizadas en montacargas eléctricos.

Este problema se presenta debido a la importancia crítica de las baterías en el rendimiento y la operatividad de los montacargas eléctricos, así como a la necesidad de optimizar su vida útil y su capacidad de funcionamiento.

¿Cómo desarrollar una metodología efectiva para evaluar el estado de las baterías de ion-litio en montacargas eléctricos, que permita determinar con precisión su salud, rendimiento y capacidad de carga, a fin de optimizar su funcionamiento y prolongar su vida útil?

1.2.3 Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son los métodos de evaluación del estado de las baterías de Ion-Litio de un montacargas eléctrico?
- ¿Cuáles son los criterios para la evaluación de las baterías de Ion-Litio en un montacargas eléctrico?
- ¿Existe un proceso estandarizado de diagnóstico de las baterías de un montacargas eléctrico?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

- Desarrollar un método de evaluación del estado de las baterías de ion-litio que sea específico para su aplicación en montacargas eléctricos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar los parámetros clave que afectan el rendimiento y la vida útil de las baterías de Ion-Litio en entornos de montacargas eléctricos.

- Analizar las especificaciones técnicas de las baterías en usadas en montacargas eléctricos.
- Diseñar un conjunto de pruebas y procedimientos estandarizados para evaluar de manera precisa y confiable el estado de las baterías de Ion-Litio.

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación

El mercado de montacargas eléctricos se refiere a la demanda de equipos de manipulación de materiales eléctricos, específicamente montacargas, utilizados en diversas industrias, como almacenamiento, fabricación y construcción. Los montacargas eléctricos han ganado popularidad en los últimos años debido a sus beneficios ambientales, mayor eficiencia y costos operativos reducidos en comparación con la tradicional carretilla elevadora con motor de combustión interna (ICE). El crecimiento del comercio electrónico y el aumento de la automatización en la industria de la cadena de suministro se encuentran entre los factores importantes que impulsan la demanda de montacargas eléctricos. Además, los avances tecnológicos han llevado al desarrollo de montacargas eléctricos más sofisticados equipados con características como mayor duración de la batería, mayor rendimiento y mayor comodidad del operador. Se espera que el mercado de montacargas eléctricos crezca en los próximos años, impulsado por la creciente demanda de soluciones de manipulación de materiales ecológicas y rentables (Cortés, 2022).

Los vehículos eléctricos están gradualmente ocupando las carreteras. En solo unos pocos años, los vehículos eléctricos han pasado de ser novedades para convertirse en un medio de transporte masivo. Uno de los argumentos a favor de adquirir un montacargas eléctrico es la falta de necesidad de un mantenimiento regular. Sin embargo, la operación de los vehículos eléctricos plantea nuevos desafíos a sus propietarios. Es bien sabido que cualquier batería pierde capacidad con el tiempo. Por lo tanto, el tiempo de autonomía restante y la vida útil de la batería son las principales preocupaciones para los propietarios de vehículos eléctricos. Dado

que la batería de tracción del montacargas eléctrico es la pieza más costosa, se va a abordar la cuestión de cómo conocer su estado.

1.4.1 Justificación Teórica

Se espera que el mercado de montacargas eléctricos crezca a una tasa compuesta anual fuerte de alrededor del 15.6% durante el período previsto 2023-2030, debido a la creciente preocupación por el medio ambiente y la creciente demanda de vehículos eléctricos. Las carretillas elevadoras eléctricas representan un salto revolucionario en la industria de manipulación de materiales, ya que incorporan sostenibilidad y conciencia ecológica.

En este contexto, surge la necesidad de una metodología de diagnóstico eficiente y preciso para las baterías de Ion-Litio para montacargas eléctricos. Las baterías de iones de litio, comúnmente utilizadas en los montacargas eléctricos, son dispositivos complejos y su degradación puede ser influenciada por una variedad de factores, como la temperatura, la corriente de carga, la profundidad de descarga, entre otros. Detectar problemas en las etapas iniciales puede ayudar a prevenir fallas catastróficas, mejorar la seguridad y prolongar la vida útil de la batería, lo que a su vez contribuirá a una adopción más amplia y sostenible de los montacargas eléctricos (Ruiz, 2019).

1.4.2 Justificación Metodológica

La justificación metodológica del proyecto "Metodología para Evaluar el Estado de Baterías de Ion-Litio en un Montacargas Eléctrico" se fundamenta en la necesidad de desarrollar un enfoque sistemático y eficiente para evaluar el estado de las baterías de ion-litio, específicamente en el contexto de los montacargas eléctricos. A continuación, se presentan algunas razones para justificar la metodología propuesta:

- **Importancia del mantenimiento de baterías:** Las baterías de ion-litio son componentes críticos en los montacargas eléctricos, y su mal funcionamiento puede afectar significativamente la productividad y eficiencia operativa. Por lo tanto,

contar con una metodología para evaluar el estado de estas baterías es fundamental para garantizar un mantenimiento adecuado y prolongar su vida útil.

- **Complejidad del diagnóstico:** El diagnóstico preciso del estado de las baterías de ion-litio puede ser complejo debido a su naturaleza química y eléctrica. Una metodología estructurada y sistemática puede ayudar a abordar esta complejidad y proporcionar resultados confiables y consistentes.
- **Optimización del rendimiento:** Evaluar el estado de las baterías de ion-litio no solo implica detectar posibles fallos, sino también identificar oportunidades para optimizar su rendimiento y prolongar su vida útil. Una metodología bien diseñada puede proporcionar recomendaciones específicas para mejorar la eficiencia y maximizar la capacidad de las baterías.
- **Reducción de costos y tiempos de inactividad:** La implementación de una metodología para evaluar el estado de las baterías de ion-litio puede ayudar a reducir los costos operativos al prevenir fallos inesperados y minimizar los tiempos de inactividad de los montacargas eléctricos. Esto se traduce en una mayor productividad y rentabilidad para las empresas que utilizan este tipo de equipos.

En resumen, la justificación metodológica de este proyecto radica en la necesidad de contar con un enfoque estructurado y eficiente para evaluar el estado de las baterías de ion-litio en los montacargas eléctricos, con el objetivo de garantizar su funcionamiento óptimo, prolongar su vida útil y reducir los costos operativos asociados.

1.4.3 Justificación Práctica

El diagnóstico regular puede identificar problemas tempranos en las baterías, permitiendo reparaciones o reemplazos antes de que ocurran fallas catastróficas. Esto reduce los costos de mantenimiento a largo plazo y aumenta la durabilidad de los vehículos eléctricos.

El proyecto ofrece la oportunidad de recopilar datos importantes sobre el rendimiento de las baterías en condiciones reales, mejorando las tecnologías de las baterías y contribuyendo así al avance de la industria de vehículos eléctricos.

1.4.4 Delimitación Temporal

El trabajo se lleva a cabo desde abril de 2024 hasta agosto de 2024, periodo durante el cual se podrá realizar la investigación y desarrollar el proyecto propuesto.

1.4.5 Delimitación Geográfica

El trabajo se desarrolla en la ciudad de Guayaquil. La delimitación geográfica de una investigación sobre el uso de herramientas de diagnóstico para determinar el estado del sistema de baterías de un Montacargas Eléctrico.

1.4.6 Delimitación del Contenido

La evaluación del estado de las baterías de ion-litio en montacargas eléctricos es crucial para asegurar su eficiencia y prolongar su vida útil. Este contenido se delimita para abordar una metodología sistemática que permita una evaluación precisa y regular de estas baterías.

- Composición y estructura: Descripción de los componentes principales de las baterías de ion-litio utilizadas en montacargas eléctricos.
- Ventajas y desventajas: Comparación con otros tipos de baterías, destacando sus beneficios en aplicaciones industriales.
- Capacidad y eficiencia: Métodos para medir la capacidad residual y la eficiencia energética de las baterías.
- Ciclos de carga y descarga: Evaluación del número de ciclos y su impacto en la vida útil.
- Tasa de autodescarga: Análisis de la tasa de pérdida de carga cuando la batería no está en uso.

- Temperatura de operación: Importancia de mantener las temperaturas dentro de rangos óptimos y su monitoreo.

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

Las baterías de montacargas son esenciales para las operaciones de montacargas, ya que proporcionan la energía necesaria para levantar y transportar cargas pesadas. Las métricas de rendimiento desempeñan un papel crucial para garantizar la eficiencia y la seguridad de las operaciones de montacargas. Al analizar estas métricas, podemos identificar áreas de mejora y optimizar el rendimiento de una batería para montacargas. El propósito de este análisis es proporcionar información sobre el rendimiento de las baterías de montacargas y sugerir estrategias para mejorar su eficiencia .

Los montacargas son recursos críticos que influyen directamente en la eficiencia general de cualquier almacén o fabricación. Por lo tanto, muchos investigadores han estudiado el diseño y las características operativas de los montacargas para maximizar su rendimiento.

La batería del montacargas es un elemento clave que afecta significativamente la eficiencia del montacargas. Una batería de alto rendimiento minimiza el tiempo de inactividad de la carretilla elevadora y contribuye a una mejor eficiencia energética. Además, las características de la batería, como el tamaño, el peso y la resistencia a la temperatura, son importantes ya que afectan el rendimiento del montacargas.

Los sistemas de almacenamiento de energía han sido ampliamente estudiados en la literatura. Si bien la mayoría de los estudios se centraron en las características de la batería como densidad de energía, ciclo de vida y temperatura de funcionamiento, pocos estudios han abordado el rendimiento de la batería en entornos operativos reales. (Alshaebi, 2017) en su artículo, analiza el rendimiento de las baterías de plomo-ácido y de iones de litio, evaluado en entornos de almacén mediante el análisis de los datos de la batería recopilados de las carretillas retráctiles eléctricas. La batería de plomo ácido es la batería más utilizada para vehículos

eléctricos. Sin embargo, dado que la batería de plomo-ácido tiene una baja densidad de energía, se han introducido diferentes tecnologías de baterías, como las de níquel cadmio y las de iones de litio.

Una comparación entre estas tecnologías se realizó en términos de energía y densidad de potencia y los hallazgos indicaron que la batería de iones de litio es la más eficiente. La razón es que proporciona mayor energía por unidad de tiempo, lo que a su vez permite que los vehículos aceleren más rápido (Sutopo, 2013). El ion de litio también se ha utilizado en aplicaciones aeronáuticas por sus ventajas de que incluyen peso ligero y alta densidad energética. Sin embargo, la principal desventaja de esta tecnología está relacionada con su alto costo inicial (Vutetakis, 2008).

2.1.1 Conceptos Preliminares

Evaluar el estado de las baterías de ion-litio en un montacargas eléctrico es crucial para garantizar su eficiencia, seguridad y prolongar su vida útil. Aquí se presenta algunos conceptos preliminares que son esenciales para desarrollar una metodología de evaluación.

- Capacidad de la Batería

Capacidad Nominal: Es la cantidad de energía que la batería puede almacenar cuando es nueva, medida en amperios-hora (Ah).

Capacidad Real: Es la energía que la batería puede suministrar en su estado actual, lo que refleja su nivel de degradación.

Pérdida de Capacidad: A medida que la batería envejece, su capacidad disminuye. Este es uno de los indicadores más comunes del estado de la batería.

- Ciclos de Carga y Descarga

Ciclo Completo: Un ciclo de carga y descarga completa (de 100% a 0% de carga).

Vida Útil en Ciclos: El número de ciclos que una batería puede completar antes de que su capacidad se reduzca a un nivel inaceptable (generalmente el 80% de su capacidad nominal).

- Resistencia Interna

Resistencia Interna (IR): A medida que la batería envejece, su resistencia interna aumenta, lo que puede llevar a una mayor generación de calor y una menor eficiencia.

Medición de IR: Se realiza generalmente a través de técnicas de medición de impedancia o métodos de descarga controlada.

- Tasa de Autodescarga

Autodescarga: Es la pérdida gradual de energía de una batería cuando no está en uso. Una alta tasa de autodescarga puede indicar un problema con la batería.

- Eficiencia Coulómbica

Eficiencia Coulómbica (CE): Es la relación entre la cantidad de carga que se extrae de la batería y la cantidad de carga que se introdujo durante la carga. Un CE bajo puede ser un indicativo de pérdidas internas o problemas de envejecimiento.

- Temperatura de Operación

Efecto de la Temperatura: Las baterías de ion-litio son sensibles a las temperaturas extremas. Altas temperaturas pueden acelerar la degradación, mientras que temperaturas muy bajas pueden reducir temporalmente la capacidad.

Gestión Térmica: Es crucial para mantener la batería en un rango de temperatura óptimo.

- Diagnóstico y Herramientas de Evaluación

Equipos de Diagnóstico: Herramientas como el EV Kit de Launch pueden ser usadas para realizar pruebas de resistencia interna, ciclos de carga y descarga, y otros parámetros clave.

Sistemas de Monitoreo de Batería (BMS): Estos sistemas están integrados en muchas baterías modernas y ofrecen datos en tiempo real sobre el estado de la batería, incluyendo la capacidad, la resistencia interna y la temperatura.

- Métodos de Prueba

Prueba de Carga y Descarga Controlada: Mide la capacidad real y la eficiencia de la batería bajo condiciones controladas.

Prueba de Resistencia Interna: Utiliza un equipo especializado para medir la resistencia interna en diferentes estados de carga.

Prueba de Ciclos Acelerados: Somete la batería a ciclos repetidos para evaluar su comportamiento a largo plazo en un periodo corto.

- Normas y Regulaciones

Normas Internacionales: Existen normas como las de la IEC (International Electrotechnical Commission) y la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) que definen procedimientos de prueba para baterías de ion-litio.

2.1.2 Características Principales de los Montacargas Eléctricos

Un montacargas eléctrico (Figura 3) es un vehículo industrial motorizado diseñado para levantar, transportar y mover materiales de gran peso en espacios como almacenes, fábricas, centros de distribución, y otros entornos logísticos. A diferencia de los montacargas de combustión interna, que funcionan con motores de gasolina, diésel o gas, los montacargas eléctricos son impulsados por un motor eléctrico alimentado por una batería recargable, generalmente de ion-litio o plomo-ácido.

Las características principales de los montacargas eléctricos:

- Fuente de Energía Limpia

Utilizan baterías recargables, lo que reduce las emisiones de gases contaminantes en comparación con los montacargas de combustión interna.

- Operación Silenciosa

Son considerablemente más silenciosos, lo que contribuye a un ambiente de trabajo más seguro y cómodo.

- Mantenimiento y Costos Operativos

Requieren menos mantenimiento que los montacargas de combustión interna, ya que tienen menos partes móviles y no necesitan cambios de aceite o filtros. Sin embargo, las baterías requieren un manejo adecuado para maximizar su vida útil.

- Capacidad de Carga

Tienen una capacidad de carga variable que depende del modelo, pero generalmente pueden manejar cargas de 1 a 5 toneladas. Los modelos especializados pueden soportar aún más peso.

- Maniobrabilidad y Uso en Espacios Cerrados

Son ideales para su uso en interiores, como almacenes y centros de distribución, debido a su tamaño compacto, alta maniobrabilidad, y la ausencia de emisiones tóxicas.

- Sistema de Gestión de Batería (BMS)

Los montacargas eléctricos modernos están equipados con sistemas de gestión de batería (BMS) que monitorean y optimizan el rendimiento de la batería, prolongando su vida útil y asegurando un funcionamiento eficiente.

- Tiempo de Operación y Recarga

El tiempo de operación depende de la capacidad de la batería y de la intensidad de uso.

La recarga completa de la batería puede tomar varias horas, aunque algunos modelos permiten el cambio rápido de baterías para minimizar el tiempo de inactividad.

- Uso en Aplicaciones Especializadas

Son ideales para aplicaciones en las que la limpieza, la ausencia de emisiones y el bajo nivel de ruido son cruciales, como en la industria alimentaria, farmacéutica, y almacenes de productos sensibles.

Figura 3

Montacargas Eléctrico



Tomado de: <https://www.jungheinrich.co/productos/montacargas-el%C3%A9ctricos>

2.1.3 Química de las Baterías de Iones de Litio

En las últimas décadas, las baterías de iones de litio se han generalizado en los productos electrónicos de consumo y, en la actualidad, se están convirtiendo en una tecnología de propulsión de carretillas elevadoras cada vez más popular.

Las baterías de iones de litio para carretillas elevadoras se componen de lo siguiente:

- Un cátodo
- Electrolito (litio)
- Ánodo
- Separador
- 2 colectores de corriente (positivo y negativo).

Para generar energía eléctrica, en las baterías de iones de litio se utilizan diferentes productos químicos, siendo el más popular para las carretillas elevadoras el fosfato de hierro y litio.

El ánodo y el cátodo almacenan el litio. Cuando una batería de iones de litio se descarga, el electrolito se mueve del ánodo al cátodo a través del separador, que transporta iones de litio con carga positiva desde el ánodo al cátodo.

Cuando la batería se está cargando, el líquido electrolítico se mueve del cátodo al ánodo a través del separador, transportando iones de litio con carga negativa.

Las baterías de iones de litio se cargan fácilmente mediante la carga de oportunidad porque se cargan rápidamente. Esta carga utiliza un cargador especializado con una corriente alta para cargar la batería rápidamente (Zajac, 2022).

La carga de oportunidad se puede realizar según la necesidad o cuando sea más conveniente, lo que hace que las baterías de iones de litio sean más eficientes. Si se mantiene adecuadamente, una batería de carretilla elevadora de iones de litio durará entre 2000 y 3000 ciclos o aproximadamente entre 7 y 10 años de 300 días laborales por año.

2.1.4 Ventajas de las Baterías de Iones de Litio para Montacargas Eléctricos

Las baterías de iones de litio pueden ofrecer a sus operaciones una mayor eficiencia.

Si las condiciones son adecuadas para la inversión, hay espacio disponible para la carga y su presupuesto lo permite, hay varios factores clave que pueden llevarlo a adoptar esta solución energética.

- Mayor productividad

Las baterías de iones de litio para carretillas elevadoras tardan menos tiempo en cargarse que las baterías de plomo-ácido, que también necesitan tiempo para descansar antes de poder volver a utilizarse.

Una batería de iones de litio puede cargarse completamente en menos de 2 horas y no requiere un período de enfriamiento como las baterías de plomo-ácido.

Las baterías de iones de litio se pueden cargar en intervalos de 15 a 30 minutos, lo que se denomina carga de oportunidad, lo que permite cargarlas durante el almuerzo, los descansos o en cualquier momento en que la carretilla elevadora esté inactiva durante unos minutos. Esto permite realizar operaciones en varios turnos.

- Carga de oportunidad

La carga de la batería de la carretilla elevadora es un factor importante a tener en cuenta.

Se puede recargar las baterías de iones de litio de las carretillas elevadoras durante los descansos de 15 a 30 minutos durante el día (lo que se conoce como carga de oportunidad). Si bien puede cargar de oportunidad una batería de plomo-ácido, esto acorta su vida útil.

- Menos mantenimiento

Al igual que el mantenimiento de las carretillas elevadoras, las baterías de las carretillas elevadoras también requieren mantenimiento. Las baterías de iones de litio no necesitan rellenarse con agua ni requieren procedimientos de mantenimiento tan frecuentes, como carga de ecualización y limpieza.

Vienen equipadas con celdas selladas que no requieren lavado ni agua para mantener las baterías en funcionamiento, lo que también reduce la mano de obra y los costos de mantenimiento.

Además, dependiendo de su operación, no tiene que quitar ni cambiar las baterías durante su jornada laboral porque una batería de iones de litio puede permanecer dentro de la carretilla elevadora por más tiempo.

- Mayor retorno de la inversión

Las baterías de iones de litio para carretillas elevadoras duran más que las baterías de plomo-ácido.

Mientras que una batería de plomo-ácido puede durar 1.500 ciclos con un buen mantenimiento, la vida útil de una batería de carretilla elevadora de litio puede durar entre 2.000 y 3.000 ciclos.

2.1.5 Peso de la Batería en Montacargas Eléctricos

Se debe consultar la hoja de especificaciones o la placa de especificaciones para conocer los requisitos de peso mínimo y máximo de la batería para el camión. Si se elige una batería que sea más pesada que el peso máximo, corre el riesgo de ejercer una tensión innecesaria sobre varias piezas del equipo, incluso anulando la garantía del fabricante. En muchos casos, la batería también actúa como contrapeso para el camión. Una batería más liviana que el peso mínimo requerido puede reducir la capacidad de elevación del camión y causar problemas de seguridad. Al cambiar la batería de cualquier carretilla elevadora, es posible que se requiera una nueva placa de especificaciones para describir la capacidad modificada de la máquina en función de cualquier cambio de peso. La batería de un montacargas eléctrico actúa como un contrapeso para la máquina y es fundamental para su capacidad de elevación (Ruiz, 2019).

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Montacargas Eléctricos de Batería

Son un subtipo de carretilla elevadora que funciona exclusivamente con electricidad, en lugar de con fuentes tradicionales como el gas o el diésel. Estos modelos ofrecen una forma eficaz, silenciosa y potente de utilizar la tecnología de las carretillas elevadoras incluso en espacios reducidos y cerrados. Si bien esta tecnología no es adecuada en todos los casos (por ejemplo, cuando se utiliza una carretilla elevadora en el exterior para transportar cargas extremadamente pesadas), sí ofrece una alternativa a los modelos anteriores, más voluminosos y menos adecuados para espacios interiores.

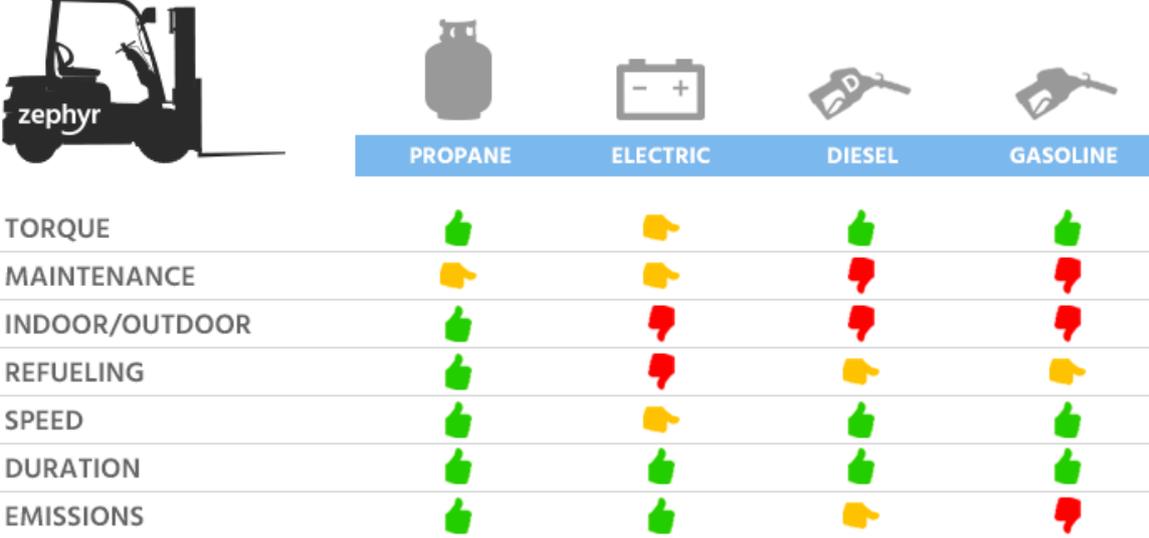
Una carretilla elevadora eléctrica es un vehículo de carga, descarga y manipulación; alimentado por una fuente de alimentación de CC (batería). Según las estadísticas extranjeras,

la producción de carretillas elevadoras eléctricas en Japón ha superado un tercio del número total de carretillas elevadoras.

En algunos países de Europa occidental como Alemania e Italia, el porcentaje de carretillas elevadoras eléctricas ha alcanzado aproximadamente el 50%. El rápido crecimiento de las carretillas elevadoras eléctricas se debe principalmente al avance constante de diferentes fabricantes. La mayoría de los productos adoptan un diseño aerodinámico, la forma es más hermosa. Los principales fabricantes han logrado una producción a gran escala, producción especializada de piezas y operaciones de línea de montaje. Se mejoran la precisión del mecanizado y el grado de automatización. Su apariencia ha mejorado enormemente el rendimiento de las carretillas elevadoras eléctricas (Figura 4).

Figura 4

Montacargas Eléctricos vs Otros Tipos de Montacargas



	PROPANE	ELECTRIC	DIESEL	GASOLINE
TORQUE	👍	👎	👍	👍
MAINTENANCE	👎	👎	👎	👎
INDOOR/OUTDOOR	👍	👎	👎	👎
REFUELING	👍	👎	👎	👎
SPEED	👍	👎	👍	👍
DURATION	👍	👍	👍	👍
EMISSIONS	👍	👍	👎	👎

Tomado de: <https://www.euro1training.com/news/forklift-fuel-gas-electric/>

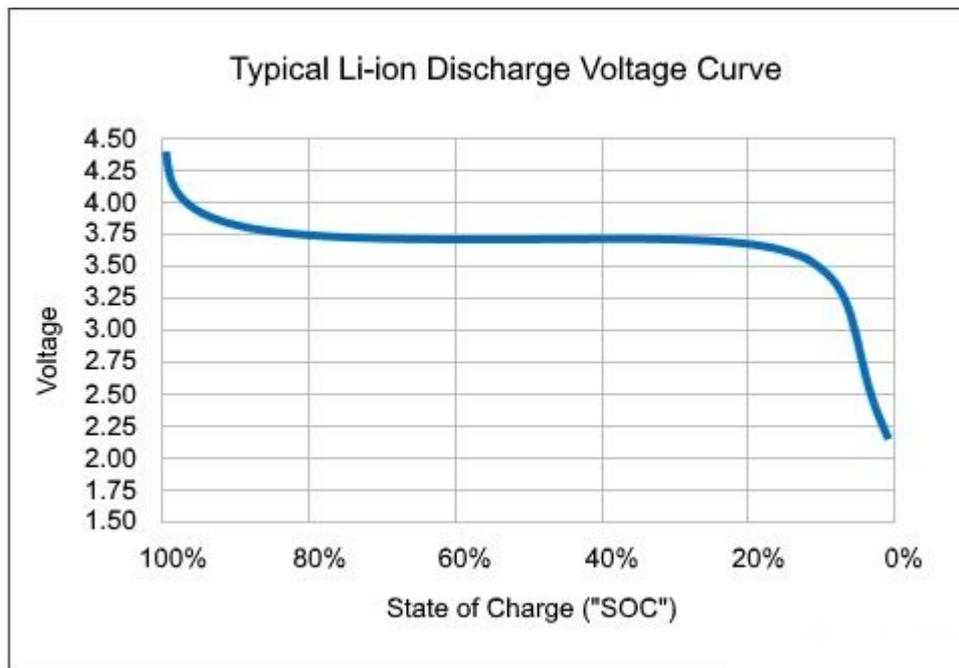
2.2.2 Voltaje

El voltaje es un factor crítico en el rendimiento de la batería, que afecta la potencia de salida y la eficiencia. Una batería de mayor voltaje para carretillas elevadoras es vital para aplicaciones industriales de servicio pesado, ya que proporciona una mayor potencia de salida.

Esta capacidad de mayor voltaje mejora la eficiencia general de las baterías, lo que las hace más adecuadas para necesidades operativas exigentes. La rápida caída de voltaje al final del ciclo de descarga proporciona un medio relativamente preciso para determinar cuándo se agotará la energía (Figura 5).

Figura 5

Curva Típica de Descarga de Voltaje de la Batería



Tomado de: <https://siliconlightworks.com/li-ion-voltage>

2.2.3 Capacidad

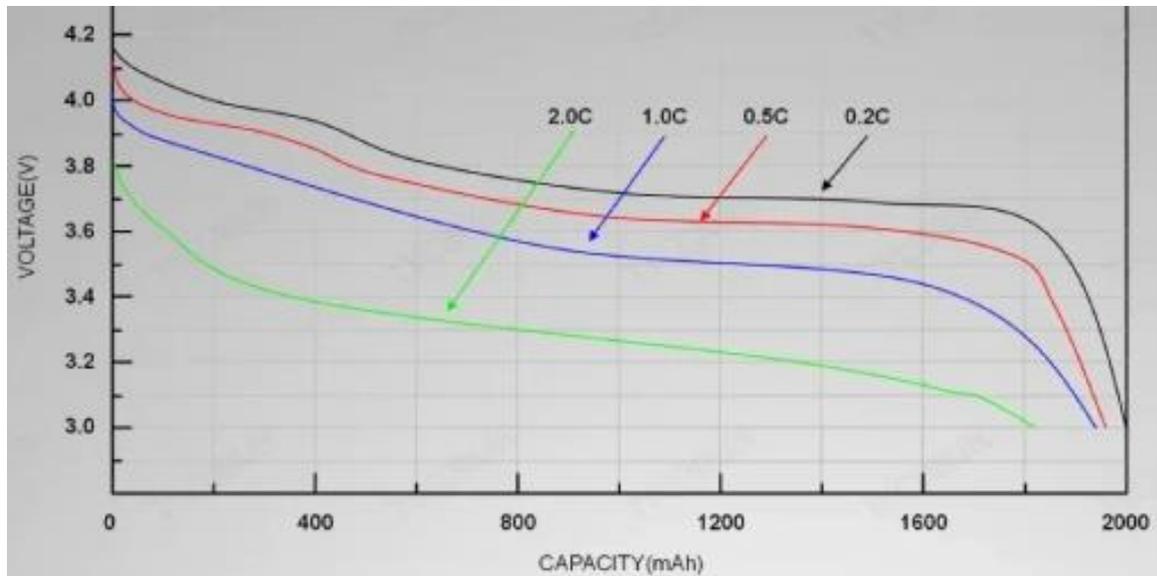
La capacidad de la batería afecta directamente a la eficiencia operativa. Afecta el tiempo que puede funcionar una carretilla elevadora antes de tener que recargarse. Cuanta más energía pueda almacenar una batería, más tiempo podrá alimentar la carretilla elevadora. Esto significa que las carretillas elevadoras con baterías de mayor capacidad pueden funcionar durante más tiempo sin detenerse, lo que las hace más eficientes y productivas (Morán, 2023).

En términos más simples, la capacidad de una batería se refiere a la cantidad de energía que puede almacenar (Figura 6). Una carretilla elevadora con una batería de alta capacidad puede funcionar durante más tiempo sin necesidad de recargarla, lo que la hace más eficiente

y productiva. Esto es importante en entornos industriales donde se utilizan carretillas elevadoras para mover cargas y materiales pesados.

Figura 6

Cálculo de la Capacidad de la Batería de Ion-Litio



Tomado de: <https://www.ufinebattery.com/blog/energything-you-should-know-about-li-ion-battery-capacity/>

Cuando se trata de la capacidad técnica de una batería de iones de litio, es necesario conocer la corriente y el tiempo para calcular la capacidad de la batería de iones de litio. La corriente, que normalmente se mide en amperios (A) o miliamperios (mA), es la cantidad de carga que fluye a través de la batería por unidad de tiempo.

El tiempo, generalmente medido en horas (h) o fracciones de hora, es la duración de un ciclo de carga o descarga.

La fórmula de cálculo de la capacidad de la batería de iones de litio es:

$$\text{Capacidad (Ah)} = \text{corriente (A)} \times \text{tiempo (h)}$$

Si la batería de iones de litio puede suministrar 2 A durante 3 horas, puede calcular su capacidad como:

$$\text{Capacidad (Ah)} = 2 \text{ A} \times 3 \text{ h} = 6 \text{ Ah}$$

Esto indica que la batería tiene una capacidad de almacenamiento de 6 amperios hora y una salida de 6 amperios.

2.2.3 Ciclos de Carga

Básicamente, cuantos más ciclos pueda atravesar una batería sin perder capacidad, más tiempo le servirá. Por lo tanto, cuidar la forma en que carga y utiliza la batería de la carretilla elevadora puede ayudar a que se mantenga eficiente y eficaz durante un período más largo.

Comprender cuántas veces se puede cargar y descargar una batería es fundamental para su vida útil. Si gestiona bien estos ciclos de carga, puede hacer que el rendimiento de la batería dure más y mejor con el tiempo (Cheng, 2022).

2.2.4 Eficiencia

La eficiencia de la batería es crucial para el rendimiento de las carretillas elevadoras en entornos industriales. Las baterías eficientes pueden convertir la energía almacenada en energía utilizable de manera eficaz, lo que genera una mejor productividad y rentabilidad. En términos más simples, las baterías eficientes pueden brindarle más trabajo con la misma cantidad de energía que invierte. Esto es importante porque significa que las carretillas elevadoras con baterías eficientes pueden funcionar durante más tiempo sin necesidad de recargarse, lo que las hace más eficientes y productivas (Greencubes.com, 2024).

2.2.5 Rendimiento Electroquímico

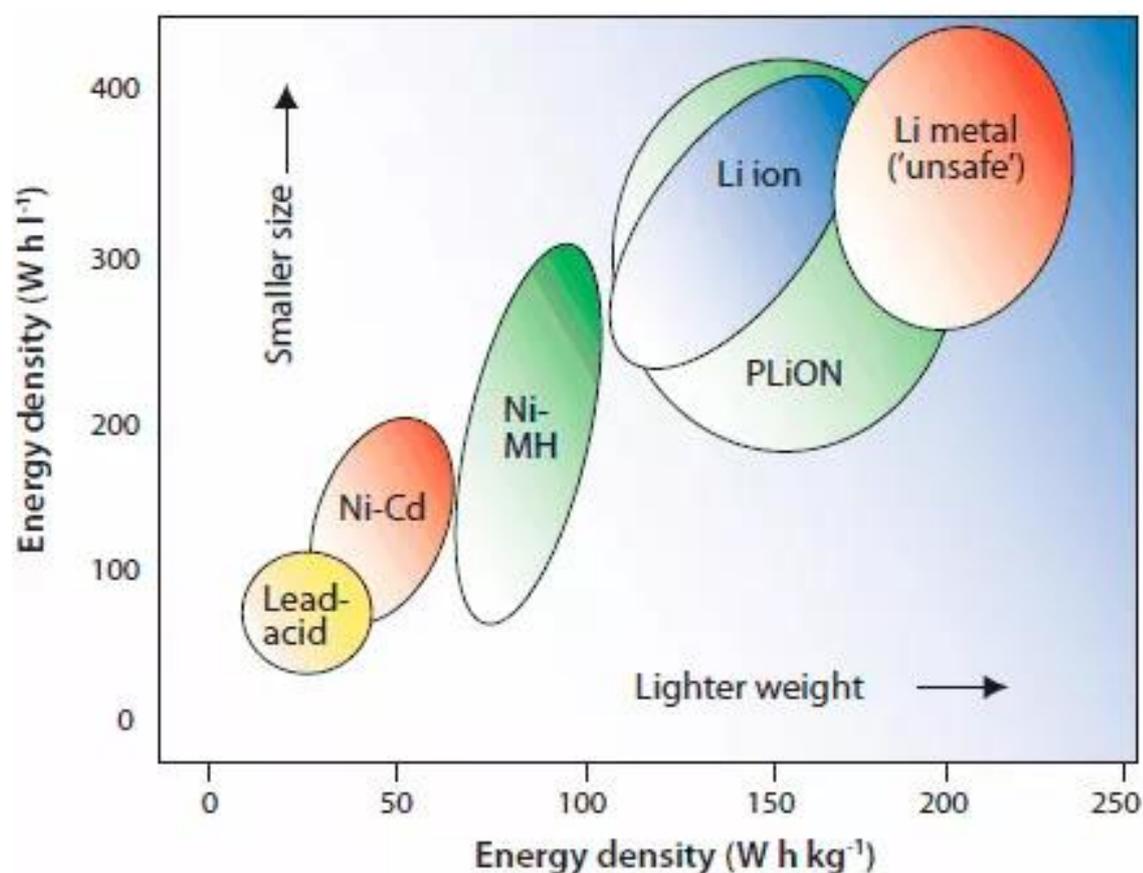
El rendimiento electroquímico de una batería determina su capacidad para almacenar y suministrar energía a la carretilla elevadora. La resistencia interna y las reacciones químicas pueden afectar la eficiencia con la que la batería convierte la energía almacenada en energía utilizable. Esto es importante porque significa que una batería con un buen rendimiento electroquímico puede alimentar la carretilla elevadora de manera más eficiente, lo que genera una mejor productividad y rentabilidad en las operaciones industriales.

2.2.6 Densidad de Energía

La densidad energética de una batería se refiere a la cantidad de energía que puede almacenar por unidad de volumen o peso. Las baterías con mayor densidad energética pueden proporcionar más potencia y ocupar menos espacio. Esto es beneficioso para las carretillas elevadoras, ya que mejora su eficiencia y rendimiento al permitirles funcionar durante más tiempo sin necesidad de recargas frecuentes (Figura 7).

Figura 7

Densidad de Energía Volumétrica en Función de la Densidad de Energía



Tomado de: <https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2019/03/20/baterias-de-ion-litio-pros-y-contras>

Si el volumen permanece invariable, la densidad energética de las baterías de litio es directamente proporcional a la capacidad. Esto significa que aumentar la densidad energética es clave para aumentar la capacidad de la batería. Sin embargo, el aumento de la densidad

energética de las baterías de litio está limitado por tecnologías como los materiales del cátodo, por lo que es difícil lograr un aumento de capacidad revolucionario simplemente confiando en los materiales existentes.

2.2.7 Elección de la Batería Adecuada

Comprender las métricas de rendimiento de una batería para montacargas es fundamental para obtener un rendimiento óptimo en diversas industrias. Métricas como la capacidad, el tiempo de carga, la densidad de energía y la velocidad de carga desempeñan un papel importante a la hora de determinar el tipo de batería adecuado para aplicaciones específicas.

Al considerar estos factores, las empresas pueden mejorar la eficiencia, reducir el tiempo de inactividad y mejorar la productividad general. Explorar y analizar cómo optimizar aún más el rendimiento de la batería de la carretilla elevadora puede conducir a una mejor toma de decisiones y a ahorros de costos a largo plazo.

La capacidad de la batería de iones de litio no es el único factor que determina el rendimiento de la batería.

Factores como la capacidad, la estabilidad, la densidad de energía, la velocidad de descarga, el tipo de batería, el protocolo de carga rápida y la protección del medio ambiente deben considerarse exhaustivamente al seleccionar una batería. Por lo tanto, no se puede simplemente decir que cuanto mayor sea la capacidad de la batería de litio, mejor. Sin embargo, se debe hacer la elección adecuada en función de las necesidades y aplicaciones específicas.

La Tabla 1 resume la comparación entre las baterías de plomo-ácido y de iones de litio para su rápida referencia.

Tabla 1*Comparación entre las Baterías de Plomo-Ácido y de Iones de Litio*

Parámetro	Baterías de Plomo-Ácido	Baterías de Iones de Litio
Número de turnos con una batería	1	Hasta 3
Tiempo de carga	8 horas	2-3 horas
Carga de oportunidad	Es posible, pero la duración de la batería se reduce drásticamente.	Cargar durante tan solo 5 a 10 minutos siempre que sea posible
Riesgos de seguridad y salud	Alto	Bajo
Riego de la batería	Sí	N / A
Costo de mantenimiento	Alto	Bajo
Duración de la batería	~1500 ciclos	2000 - 3000 ciclos
Infraestructura eléctrica	Utilizar los existentes	Puede que sea necesario actualizar
Costo de reemplazo	Alto	Bajo
Eficiencia energética	Bajo	Alto
Costo de electricidad	Alto	Ahorre hasta un 30% gracias a una mayor eficiencia energética
Costo inicial	Bajo	Alto
Costo total de propiedad	Alto	Bajo
Respetuoso del medio ambiente	No	Sí

2.2.7 Tiempos de Carga Más Rápidos

Las baterías de iones de litio se cargan muy rápido, lo que significa que las carretillas elevadoras que las utilizan pueden volver a trabajar rápidamente. Esta carga rápida ayuda a las carretillas elevadoras a mantenerse activas y trabajar de manera eficiente. Cuando las baterías se cargan más rápido, se reduce el tiempo de inactividad, lo que garantiza que las carretillas elevadoras estén listas para usarse con más frecuencia. Esto no solo aumenta la productividad, sino que también hace que las operaciones sean más fluidas y efectivas. Por lo tanto, con las baterías de iones de litio, las carretillas elevadoras pasan menos tiempo esperando para cargarse y más tiempo haciendo el trabajo.

Las baterías de litio de alta capacidad tienen una energía relativamente alta y una alta densidad de almacenamiento de energía. La relación de energía de algunas baterías de alta capacidad ha alcanzado los 460-600 Wh/kg, que es aproximadamente 6-7 veces la de las baterías de plomo-ácido (Morán, 2023).

La batería de litio de alta capacidad tiene una larga vida útil, que llega a superar los seis años. Una batería con fosfato de hierro y litio como electrodo positivo se puede cargar y descargar a 1 C (100 % DOD) y tiene un historial de uso de 10 000 veces.

2.2.8 Ventajas de la Batería de Litio

Las principales ventajas (Toyotaliftne.com, 2024) de unas baterías de Ion-Litio son las siguientes:

- Tiempo de inactividad reducido

Una batería de iones de litio puede durar entre dos y cuatro veces más que una batería de plomo-ácido tradicional. Con la capacidad de recargar o cargar de manera ocasional una batería de litio, eliminará la necesidad de realizar cambios de batería, lo que reducirá el tiempo de inactividad.

- Mayor productividad

Durante un turno, las baterías de litio de las carretillas elevadoras mantendrán un voltaje más alto y constante. Un voltaje constante significa que tendrá una carretilla elevadora de mayor rendimiento durante todas las etapas del día, lo que aumentará el rendimiento en sus instalaciones. Las baterías de litio también requieren menos tiempo para cargarse, lo que ayuda a mejorar la productividad y el rendimiento.

- Casi libre de mantenimiento

Las baterías de litio para montacargas utilizan celdas selladas que no requieren de riego, equalización ni limpieza constantes. Estas baterías prácticamente no requieren mantenimiento y reducen tanto los costos de mano de obra como el tiempo de inactividad.

- Carga más rápida

Las baterías de iones de litio para montacargas se cargan mucho más rápido y no requieren un período de enfriamiento. Una batería de litio puede cargarse en menos de una hora, lo que es ocho veces más rápido que una batería de plomo-ácido, y no necesita cargarse por completo para reanudar las operaciones. Los operadores pueden cargar la batería durante sus descansos a lo largo del día.

2.2.9 Tecnología de Iones de Litio de Jungheinrich

Las baterías de iones de litio (Figura 8) están revolucionando el mercado de las carretillas eléctricas industriales, y con razón. Las celdas de energía de alto rendimiento superan a las baterías de plomo-ácido tradicionales con un rendimiento líder a nivel mundial, tiempos de carga rápidos y cero mantenimientos. Sus baterías de iones de litio garantizan un funcionamiento continuo y, gracias a su larga vida útil, permiten obtener un alto rendimiento.

Se puede elegir la potencia total de iones de litio y aprovechar la garantía de satisfacción de 6 meses. Además, se ofrece una garantía de 5 años para las baterías de iones de litio. Al

cambiarse a esta tecnología, se puede superar fácilmente a la competencia (Jungheinrichpartners.com.au, 2024).

Figura 8

Baterías de Iones de Litio



Tomado de: <https://www.jungheinrich.co.th/en/products/batteries-charging-technology/batteries/lithium-ion-batteries-566124>

Jungheinrich AG y Triathlon Holding GmbH han creado conjuntamente JT ENERGY Systems GmbH, una empresa conjunta dedicada a la producción y el reciclaje de sistemas de baterías de iones de litio. La empresa tiene su sede en Glauchau, Sajonia. Jungheinrich posee una participación del 70 por ciento en la empresa conjunta, mientras que Triathlon posee el 30 por ciento restante (Jungheinrich.com, 2024).

2.2.10 Ventajas de las Baterías de Iones de Litio Triathlon

Las baterías de iones de litio para carretillas elevadoras de Triathlon se recargan en una o dos horas. Ofrecen un rendimiento excelente, incluso en operaciones 24 horas al día, 7 días a la semana, incluso en aplicaciones de almacenamiento en frío. Las ventajas adicionales de las baterías de iones de litio para carretillas elevadoras de Triathlon (Gwequip.com, 2024) incluyen:

- Sin gases, por lo que no hay peligro de explosión.

- Sin exposición al ácido
- Mayor productividad gracias a la carga rápida y de oportunidad
- Sin mantenimiento; no es necesario rellenar con agua.
- No es necesario contar con salas de baterías centralizadas con costosos sistemas de ventilación
- Informes operativos detallados
- No es necesario cargar la batería, por lo que no se necesita ningún equipo especial para manipularla
- Con baterías de iones de litio, se puede reducir significativamente el coste total de propiedad.

2.2.10 Batería de Ion-Litio 48 V (360/480 Ah)

Este tipo de baterías son eficientes, libres de mantenimiento y duraderas, esas son las ventajas de las baterías de iones de litio (360 / 480 Ah). Con rápidos tiempos de carga, sin mantenimiento y una batería de larga duración, lo que hace no sólo se benefician de unos costes totales reducidos, sino esta forma de energía el almacenamiento también implica un alto nivel de eficiencia a la hora de cargar y recuperar la energía de frenada y facilita el ahorro energético de más del 20 por ciento.

Las celdas de energía de alto rendimiento de la batería de iones de litio se caracterizan por tiempos de carga muy cortos. Después de un tiempo de carga parcial de sólo 40 minutos, la batería (360 Ah) absorbe el 50 por ciento de su capacidad. Después de 80 minutos, llega su estado de carga completa.

Capítulo III

Análisis de Baterías de Ion-Litio en un Montacargas Eléctrico

El análisis de baterías de ion-litio en montacargas eléctricos es una práctica fundamental para garantizar la eficiencia y la longevidad de estos vehículos en entornos industriales. A medida que las baterías de ion-litio se han convertido en la opción preferida para alimentar montacargas debido a su alta densidad energética, tiempos de carga rápidos y bajo mantenimiento, es crucial comprender y evaluar su rendimiento a lo largo del tiempo. Un análisis adecuado permite identificar posibles fallos, optimizar la operación del montacargas y asegurar que las baterías mantengan su capacidad y eficiencia a lo largo de su ciclo de vida. Este proceso no solo mejora la productividad, sino que también contribuye a reducir costos operativos y a minimizar el impacto ambiental. En esta introducción, se explorarán los aspectos clave del análisis de baterías de ion-litio, incluyendo los métodos de evaluación, los equipos utilizados y la interpretación de los resultados para mantener el rendimiento óptimo de los montacargas eléctricos.

Se describe una metodología completa para analizar baterías de ion-litio en un montacargas eléctrico Jungheinrich, incluyendo pasos detallados, valores y procesos. Estos incluyen:

- Datos específicos de la batería y el montacargas: ¿Se dispone de información detallada sobre el modelo de la batería, capacidad, ciclos de vida, y otros parámetros específicos?
- Equipos de diagnóstico disponibles: ¿Qué herramientas de medición y diagnóstico se debe utilizar? Por ejemplo, ¿dispones de un EV Kit de Launch o algún otro equipo específico?
- Criterios de evaluación y estándares: ¿Qué estándares o normas se siguen para las pruebas?

3.1 Características del Estado de la Batería de un Montacargas Eléctrico

Las características del estado de la batería de un montacargas eléctrico son indicadores clave que reflejan la salud y el rendimiento de la batería. Estas características incluyen:

- Capacidad de Carga: La capacidad de carga es la cantidad de energía que la batería puede almacenar y suministrar durante su operación. Una disminución en la capacidad indica que la batería se está degradando y no puede mantener la misma carga que cuando era nueva.
- Resistencia Interna: La resistencia interna de la batería mide la oposición al flujo de corriente dentro de la batería. A medida que la batería envejece, la resistencia interna tiende a aumentar, lo que puede reducir la eficiencia energética y generar más calor durante el uso.
- Eficiencia Coulómbica: La eficiencia coulómbica es la relación entre la carga total extraída de la batería y la carga total introducida durante la carga. Una eficiencia coulómbica baja puede indicar problemas en la retención de carga o pérdidas de energía internas.
- Comportamiento Térmico: El comportamiento térmico se refiere a cómo la batería maneja y disipa el calor durante la operación. Las temperaturas excesivamente altas pueden acelerar la degradación de la batería y afectar su rendimiento. Un análisis térmico adecuado es esencial para asegurar que la batería funcione dentro de los rangos de temperatura seguros.
- Ciclos de Vida: Los ciclos de vida se refieren al número de veces que una batería puede cargarse y descargarse completamente antes de que su capacidad se reduzca significativamente. Conocer el número de ciclos completados y los que aún se

esperan es fundamental para planificar el mantenimiento o el reemplazo de la batería.

- Tiempo de Carga y Descarga: El tiempo que tarda en cargar completamente la batería y la duración de su descarga durante la operación son indicadores importantes de su estado. Una reducción en la velocidad de carga o en la duración de la carga completa puede sugerir problemas internos o desgaste.
- Nivel de Carga Residual: Es la cantidad de carga que la batería retiene cuando no está en uso. Un bajo nivel de carga residual puede ser un indicio de autodescarga acelerada, lo cual afecta la disponibilidad y confiabilidad del montacargas.

Estas características deben ser monitoreadas y analizadas regularmente para garantizar que la batería del montacargas eléctrico opere de manera eficiente y segura, prolongando su vida útil y evitando interrupciones en las operaciones.

3.2 Pruebas en Baterías de Alta Tensión de un Montacargas Eléctrico

Se puede seguir el siguiente procedimiento para realizar el análisis:

1. Introducción
 - Descripción general del propósito del análisis.
 - Importancia de evaluar el estado de las baterías en montacargas eléctricos.
2. Descripción de la Batería y Montacargas
 - Especificaciones técnicas del montacargas Jungheinrich.
 - Especificaciones de la batería de ion-litio (modelo, capacidad, voltaje, ciclos de vida).
 - Sistema de Gestión de Baterías (BMS) integrado.
3. Equipos de Diagnóstico Utilizados.
 - Detalle de los equipos: Multímetros, medidores de impedancia, software de análisis.
4. Preparación del Montacargas para la Prueba

- Procedimientos de seguridad.
 - Desconexión y preparación de la batería.
5. Pruebas de Capacidad de la Batería
- Descripción del proceso de carga y descarga controlada.
 - Valores específicos por medir.
6. Pruebas de Resistencia Interna
- Procedimiento para medir la resistencia interna.
 - Valores y rangos aceptables.
7. Evaluación de la Eficiencia Coulómbica
- Método de cálculo de la eficiencia coulómbica.
 - Interpretación de resultados.
8. Análisis Térmico
- Procedimiento para medir la temperatura durante la operación.
 - Valores críticos y su impacto en la batería.
9. Interpretación de Resultados
- Análisis de los resultados obtenidos en las pruebas.
 - Comparación con estándares y normas internacionales (IEC, IEEE).
10. Conclusiones y Recomendaciones
- Resumen de los hallazgos clave.
 - Recomendaciones para el mantenimiento y reemplazo de baterías.
 - Posibles mejoras en la metodología.

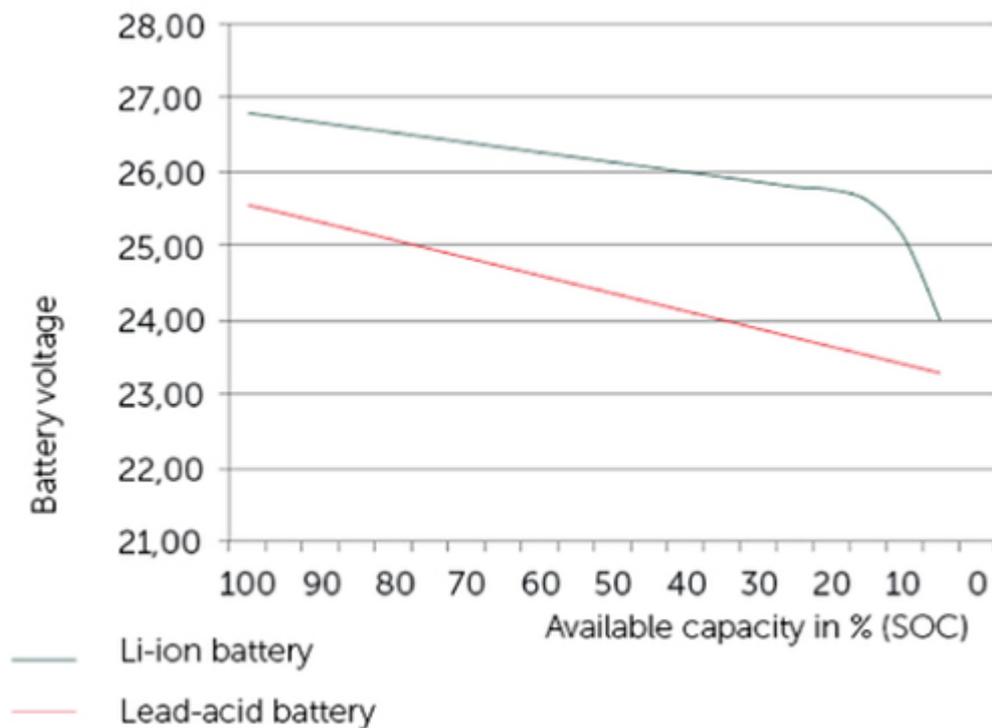
3.3 Especificaciones Técnicas de las Baterías en Usadas en Montacargas Eléctricos

3.3.1 Potencia y Rendimiento

- Rendimiento alto y confiable gracias a una curva de voltaje más constante que la de las baterías de plomo-ácido (Figura 9).
- La mayor eficiencia en comparación con las tecnologías convencionales reduce significativamente los costes energéticos y las emisiones de CO₂.
- Recuperación más eficiente (recuperación de energía al frenar).

Figura 9

Comparación de Curvas de Voltaje Típico



Tomado de: <https://www.jungheinrich.co.th/en/products/batteries-charging-technology/batteries/lithium-ion-batteries-566124>

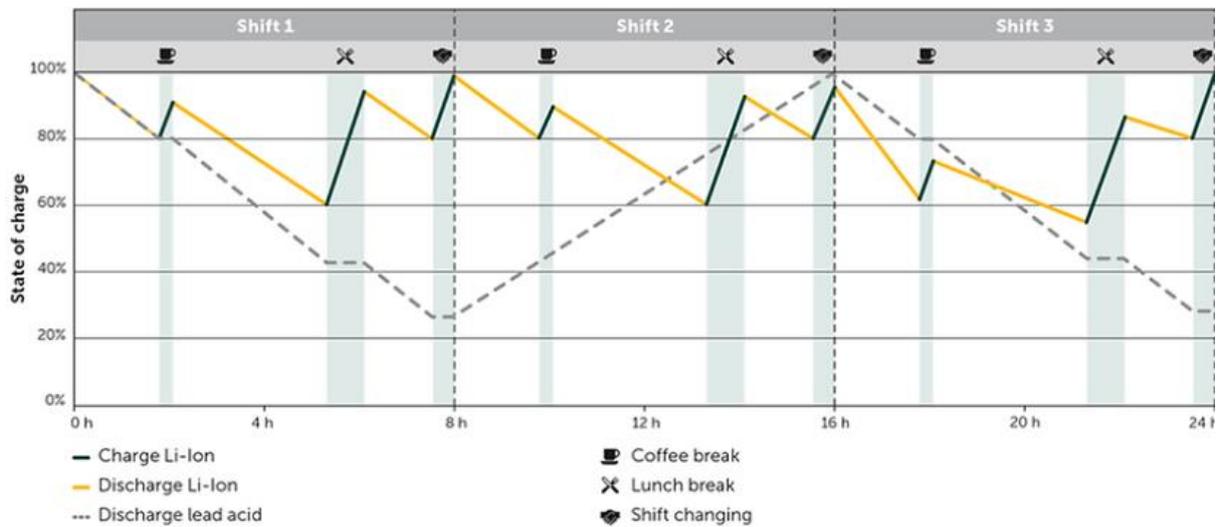
3.3.2 Historial Típico de Carga y Descarga de Baterías de Iones de Litio

- Carga rápida y de oportunidad durante pausas y tiempos de inactividad para una disponibilidad de camiones 24/7 y flexibilidad en la empresa (figura 10).

- La batería de 24 voltios, tras 30 minutos de carga, consume el 50 por ciento de su capacidad y, tras 80 minutos, alcanza su estado de carga completa.

Figura 10

Historial Típico de Carga y Descarga



Tomado de: <https://www.jungheinrich.co.th/en/products/batteries-charging-technology/batteries/lithium-ion-batteries-566124>

3.3.3 Cero Mantenimiento

Las baterías de iones de litio no requieren ningún mantenimiento y no emiten gases, lo que elimina en gran medida los costes de mantenimiento y de infraestructura de las baterías.

- Sin recarga de agua.
- Sin riesgos ni olores por escapes de gases o acidificación.
- No es necesario disponer de zonas de carga especiales con ventilación.
- No se necesitan costosos sistemas de cambio de baterías que consuman mucho tiempo y recursos humanos.

3.3.4 Voltaje de la Batería y Amperios Hora

Las baterías de montacargas suelen estar disponibles en cuatro opciones de voltaje y seleccionar la correcta es la parte más importante del dimensionamiento de la batería. Una batería de gran tamaño puede causar daños graves e irreversibles al camión, así que se debe

asegurar de saber qué tipo de voltajes puede soportar su montacargas. Por lo general, el voltaje está marcado en la placa de especificaciones de la mayoría de las carretillas elevadoras.

Se recomienda elegir una batería con el mayor amperaje-hora para el voltaje aprobado para obtener la máxima potencia para su carretilla elevadora.

La Tabla 2 brinda una descripción general sobre qué voltaje de batería es adecuado para qué tipo de equipo, se debe asegurar de hablar con su especialista local en baterías para comprender qué tamaño de batería es apropiado para la carretilla elevadora específica.

Tabla 2

Voltajes de las Baterías de Ion-Litio

Voltajes	Tipo de Carretilla Elevadora
<ul style="list-style-type: none"> • Baterías de 24 voltios / 36 voltios 	<ul style="list-style-type: none"> • Carretillas elevadoras con operador a bordo Apiladores Transpaletas • Preparadores de pedidos Carretilla elevadora de pasillo estrecho
<ul style="list-style-type: none"> • Baterías de 48 voltios / 80 voltios 	<ul style="list-style-type: none"> • Carretillas retráctiles • Carretillas elevadoras eléctricas contrapesadas
<ul style="list-style-type: none"> • Baterías de 120 voltios y superiores 	<ul style="list-style-type: none"> • Vehículos de patio • Camiones de maniobras

En el Anexo I pueden verse las especificaciones de las baterías del montacargas.

3.4 Criterios para la Evaluación del Estado de Salud de las Baterías

- Batería Integrada Sistema de Gestión (BMS)
- El BMS de Jungheinrich controla continuamente la gestión de la energía y garantiza una operación confiable.

- El estado de carga actual aparece en la pantalla del vehículo (SOC), incluida visualización de la recuperación (sistema de recuperación energética).

3.5 Equipo para Verificación del Estado de las Baterías

El equipo cargador para paquetes de baterías Triathlon® Lithium- Ion (Figura 11) tiene las siguientes características:

Exclusivo de los sistemas de Triathlon® Lithium- Ion para montacargas.

- Simplemente conectar la batería al cargador
- No es necesario desconectar la batería de la carretilla elevadora antes de cargar.

Figura 11

Cargador para Baterías



Tomado de: <https://www.jungheinrich.ec/productos/bater%C3%ADas-tecnolog%C3%ADa-de-carga/tecnolog%C3%ADa-de-carga/cargadores-estacionarios-679804>

3.6 Metodología Aplicada

El análisis del estado de las baterías de ion-litio en montacargas eléctricos es un proceso fundamental para asegurar la eficiencia, seguridad y longevidad de estos vehículos industriales.

Dado que las baterías son el corazón de los montacargas eléctricos, su rendimiento y estado afectan directamente la productividad y el costo operativo. En este contexto, la metodología aplicada para evaluar estas baterías se enfoca en diagnosticar su capacidad, resistencia interna, eficiencia energética y comportamiento térmico.

Esta metodología se basa en una serie de pruebas y procedimientos estandarizados que permiten determinar el estado actual de la batería y predecir su vida útil restante. A través de un enfoque sistemático, se busca no solo identificar posibles fallas, sino también optimizar el uso de la batería y maximizar su rendimiento en operaciones diarias. Esta introducción ofrece una visión general de los pasos y técnicas empleadas en el análisis de baterías de ion-litio en montacargas eléctricos, destacando su importancia en el mantenimiento preventivo y en la mejora continua de los sistemas de gestión energética en entornos industriales.

3.6.1 Métodos

El desarrollo de un proyecto de elaboración de una metodología para el análisis de baterías Ion-Litio de un montacargas eléctrico implica una metodología estructurada para garantizar la precisión y eficacia en el proceso de diagnóstico.

3.6.2 Tipo de Estudio

El tipo de estudio del proyecto "Metodología para Evaluar el Estado de Baterías de Ion-Litio en un Montacargas Eléctrico" puede clasificarse como un estudio exploratorio y descriptivo.

3.6.3 Investigación Exploratoria

La investigación exploratoria realizada proporcionó una base sólida para desarrollar una metodología detallada y específica para el análisis de baterías de ion-litio en montacargas

eléctricos. Esta fase inicial permitió identificar las herramientas y técnicas necesarias, así como establecer las expectativas de rendimiento y los posibles desafíos a enfrentar. La investigación exploratoria es una fase crucial en el desarrollo de proyectos, especialmente cuando se trata de áreas tecnológicas avanzadas como el análisis de baterías de ion-litio en montacargas eléctricos. Este tipo de investigación permite obtener una comprensión preliminar del tema, identificar variables clave y establecer las bases para investigaciones más profundas y metodologías específicas.

3.6.4 Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva realizada permitió un análisis detallado de las baterías de ion-litio en un montacargas eléctrico, proporcionando una base sólida para comprender su rendimiento y proponer mejoras. Esta metodología es esencial para identificar problemas potenciales y asegurar la operación eficiente y segura de las carretillas eléctricas en entornos industriales.

3.7 Montacargas Utilizado

Los montacargas Jungheinrich son adecuados para casi cualquier tipo de almacén, ya que han demostrado ser equipos versátiles y eficaces en tareas de manipulación y transporte de mercancías. Además, todos nuestros modelos de montacargas industriales brindan un rendimiento potente y, por lo tanto, una alta rentabilidad. Son altamente maniobrables y permiten transportar cargas de manera confiable tanto en interiores como en exteriores.

Para el manejo y transporte de mercancías en plantas de producción y almacenes, es fundamental que personas y máquinas trabajen en perfecta coordinación. Los montacargas eléctricos de Jungheinrich proporcionan apoyo cuando la capacidad humana es insuficiente: pueden alcanzar alturas de hasta 7,5 metros, levantar cargas de hasta 5 000 kg y transportar mercancías de manera segura, incluso a lo largo de largas distancias. El montacargas de 3 ruedas 1,5 toneladas fue el usado para el caso de estudio (Figura 12).

Figura 12

Montacargas Eléctrico EFG 15



Tomado de: <https://www.jungheinrich.ec/>

3.7.1 Montacargas Eléctrico EFG 215

- Potente hidráulica de elevación para un rendimiento máximo incluso con implementos.
- Eficiencia energética optimizada gracias al concepto PureEnergy.
- Dimensiones compactas para una máxima maniobrabilidad.
- La mejor visibilidad del mercado gracias al mástil de elevación compacto.
- Puesto de trabajo ergonómico para trabajar sin fatiga.

En el Anexo II pueden verse los otros modelos de montacargas de la marca.

Capítulo IV

Procedimientos Estandarizados para Evaluar el Estado de las Baterías de Ion-Litio en un Montacargas Eléctrico

4.1 Descripción

Evaluar el estado de las baterías de ion-litio en un montacargas eléctrico es esencial para garantizar su rendimiento óptimo, seguridad y prolongar su vida útil. A continuación, se describen los procedimientos estandarizados que deben seguirse para realizar una evaluación completa y precisa:

4.1.1 *Inspección Visual Inicial*

Objetivo: Detectar daños físicos evidentes, como abolladuras, corrosión, fugas o conexiones sueltas.

Procedimiento:

- Apagar el montacargas y desconectar la batería.
- Inspeccionar el exterior de la batería en busca de signos de daño.
- Verificar que las conexiones y terminales estén en buen estado y libres de corrosión.
- Asegurarse de que la carcasa de la batería esté intacta y sin deformaciones.

4.1.2 *Verificación de Voltaje en Reposo*

Objetivo: Medir el voltaje de la batería en reposo para determinar su nivel de carga.

Procedimiento:

- Dejar la batería en reposo durante al menos 30 minutos después de su última operación.
- Usar un multímetro para medir el voltaje en los terminales de la batería.
- Comparar el valor obtenido con el voltaje nominal de la batería (por ejemplo, 48V).
- Si el voltaje es significativamente inferior al nominal, la batería puede estar descargada o deteriorada.

4.1.3 Prueba de Capacidad

Objetivo: Evaluar la capacidad real de la batería en comparación con su capacidad nominal.

Procedimiento:

- Cargar completamente la batería.
- Descargar la batería a través de una carga controlada, registrando la cantidad de energía (Ah) extraída hasta que alcance el voltaje de corte.
- Comparar la capacidad medida con la capacidad nominal indicada por el fabricante.
- Una capacidad reducida puede indicar envejecimiento o daño en las celdas de la batería.

4.1.4 Medición de la Resistencia Interna

Objetivo: Determinar la resistencia interna de la batería, que afecta su eficiencia y capacidad de entrega de corriente.

Procedimiento:

- Utilizar un medidor de impedancia para medir la resistencia interna de la batería.
- Comparar los valores con los especificados por el fabricante o con valores previos si se han realizado mediciones periódicas.
- Un aumento en la resistencia interna indica degradación de las celdas.

4.1.5 Evaluación de la Eficiencia Coulómbica

Objetivo: Calcular la relación entre la energía que entra y la que sale de la batería durante un ciclo de carga y descarga.

Procedimiento:

- Registrar la cantidad de energía introducida en la batería durante la carga (en Ah).
- Descargar completamente la batería y registrar la cantidad de energía extraída.

- Calcular la eficiencia coulombica como el cociente entre la energía extraída y la energía cargada.
- Una eficiencia baja puede indicar pérdidas internas o problemas con la batería.

4.1.6 Análisis Térmico

Objetivo: Monitorear la temperatura de la batería durante la operación para identificar riesgos de sobrecalentamiento.

Procedimiento:

- Colocar sensores de temperatura en puntos críticos de la batería.
- Operar el montacargas bajo condiciones normales de uso.
- Registrar las temperaturas durante la carga, descarga y operación.
- Comparar las temperaturas con los límites especificados por el fabricante.
- Temperaturas excesivas pueden indicar problemas de disipación de calor o deterioro interno.

4.1.7 Prueba de Ciclo

Objetivo: Someter la batería a ciclos repetidos de carga y descarga para evaluar su comportamiento a lo largo del tiempo.

Procedimiento:

- Realizar un número determinado de ciclos completos (carga y descarga) bajo condiciones controladas.
- Registrar la capacidad de la batería y otros parámetros críticos después de cada ciclo.
- Analizar la degradación de la batería con el paso de los ciclos, comparando con los estándares de ciclos de vida especificados.

4.1.8 Documentación y Reporte

Objetivo: Registrar y documentar todos los resultados obtenidos durante la evaluación.

Procedimiento:

- Elaborar un informe detallado que incluya todos los datos recopilados, gráficas comparativas y análisis de los resultados.
- Incluir recomendaciones basadas en los hallazgos, como mantenimiento preventivo o reemplazo de la batería.
- Guardar los reportes en un registro histórico para futuras comparaciones.

4.1.9 Mantenimiento y Recomendaciones Finales

Objetivo: Proponer acciones de mantenimiento basadas en la evaluación realizada.

Procedimiento:

- Realizar mantenimiento preventivo según las necesidades detectadas, como limpieza de terminales, ajustes de conexiones, o reemplazo de celdas defectuosas.
- Establecer un plan de seguimiento periódico basado en el estado actual de la batería.
- Estos procedimientos estandarizados garantizan una evaluación precisa y completa del estado de las baterías de ion-litio en montacargas eléctricos, permitiendo mantener un alto nivel de rendimiento y seguridad en las operaciones.

4.2 Descripción de la Batería, Cargador y Montacargas

En esta sección se describen las especificaciones técnicas del montacargas eléctrico Jungheinrich y la batería de ion-litio utilizada (Figura 13).

- Montacargas Jungheinrich:
- Modelo: EFG 215.
- Peso incluido la batería: 2937 kg.
- Capacidad Nominal de Carga: 480 Ah.
- Voltaje Operativo: 48 V.
- Batería de Ion-Litio: Lithium/iron phosphate.
- Modelo: 48 V (360/480 Ah)

- Temperatura de Operación de las baterías: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Capacidad: 24576 Wh.
- Consumo energético según ciclo EN: 3.7 kWh/h.
- Ciclos de Vida Estimados: 1500 ciclos de carga.

Figura 13

Batería del Montacargas Eléctrico



A continuación, se especifican las fichas técnicas del cargador (Figura 14).

- Voltajes: 24, 36, 48, 72, 80.
- Energía de batería disponible: 1.2 kWh a 36 kW.
- Corrientes Disponibles: 50Ah a 400Ah.
- Eficiencia: 95 – 97%.
- No hay necesidad de un lugar centralizado de cargar.
- Tiempos de carga especialmente cortos para el mayor grado de disponibilidad de las baterías y montacargas
- 20-30 % de ahorro de energía en comparación con los cargadores convencionales

Figura 14

Indicador de Carga de Baterías del Montacargas Eléctrico



4.3 Procedimiento Experimental Detallado

A continuación, se describe la metodología para evaluar el estado de baterías de ion-litio en un montacargas eléctrico Jungheinrich EFG 215 con batería de 48 V (480 Ah)

4.3.1 *Introducción*

La evaluación del estado de las baterías de ion-litio en montacargas eléctricos es esencial para asegurar el rendimiento óptimo y prolongar la vida útil del equipo. Esta metodología detalla el proceso para evaluar el estado de una batería de 48 V (480 Ah) instalada en un montacargas eléctrico Jungheinrich EFG 215, utilizando datos empíricos obtenidos de pruebas específicas.

4.3.2 *Preparación Inicial*

Antes de iniciar las pruebas, es crucial preparar el montacargas y la batería bajo condiciones controladas. Hay que asegurar de que la batería esté completamente cargada y que el montacargas esté desconectado de cualquier fuente de energía externa.

Los equipos necesarios son:

- Equipo para diagnóstico y análisis de baterías.

- Multímetro de alta precisión
- Medidor de impedancia
- Sistema de monitoreo térmico
- Software de análisis de baterías

4.3.3 *Prueba de Capacidad de Carga*

Objetivo: Medir la capacidad de la batería y compararla con su capacidad nominal (480 Ah).

Procedimiento:

- Realizar una descarga completa de la batería a una corriente constante (normalmente $C/3$ o $C/5$, donde C es la capacidad de la batería).
- Monitorear la cantidad de energía extraída hasta que la batería alcance su voltaje de corte (normalmente alrededor de 42-44 V para una batería de 48 V).
- Registrar la capacidad medida en Ah y compararla con la capacidad nominal.

Valor obtenido:

- Capacidad medida: 460 Ah (95.8% de la capacidad nominal)

4.3.4 *Medición de la Resistencia Interna*

Objetivo: Determinar la resistencia interna de la batería, que aumenta con la edad y afecta el rendimiento.

Procedimiento:

- Utilizar un medidor de impedancia para medir la resistencia interna de la batería.
- Realizar mediciones en diferentes niveles de carga (100%, 50%, y 20% de SoC).

Valores obtenidos:

- Resistencia interna a 100% SoC: 5.2 m Ω
- Resistencia interna a 50% SoC: 5.5 m Ω
- Resistencia interna a 20% SoC: 5.8 m Ω

4.3.5 *Evaluación de la Eficiencia Coulómbica*

Objetivo: Calcular la eficiencia coulómbica como indicador de la eficiencia de carga/descarga de la batería.

Procedimiento:

- Realizar un ciclo completo de carga y descarga.
- Comparar la cantidad de carga extraída durante la descarga con la carga suministrada durante la carga.

Valor obtenido:

- Eficiencia coulómbica: 98.7%

4.3.6 *Análisis Térmico*

Objetivo: Evaluar la temperatura de la batería durante el ciclo de operación para detectar posibles sobrecalentamientos.

Procedimiento:

- Colocar sensores térmicos en puntos estratégicos de la batería.
- Monitorear la temperatura durante un ciclo completo de carga/descarga bajo condiciones normales de operación.

Valores obtenidos:

- Temperatura máxima registrada: 45°C (dentro del rango seguro de operación).

4.3.7 *Interpretación de Resultados*

- Capacidad de Carga: La capacidad medida del 95.8% sugiere que la batería mantiene la mayoría de su capacidad original, indicando una salud relativamente buena.
- Resistencia Interna: Los valores de resistencia interna son bajos, lo que indica que la batería puede seguir entregando corriente de manera eficiente.

- Eficiencia Coulómbica: Un 98.7% de eficiencia indica que la batería es altamente eficiente en la conversión de energía.
- Temperatura: La temperatura máxima registrada es adecuada, sugiriendo que no hay problemas térmicos significativos.

4.3.8 Conclusiones y Recomendaciones

La batería de ion-litio de 48 V (480 Ah) del montacargas Jungheinrich EFG 215 se encuentra en buen estado, con un rendimiento cercano a su capacidad nominal y una resistencia interna baja. Se recomienda continuar con el monitoreo regular y realizar estas pruebas periódicamente para asegurar el rendimiento y la longevidad de la batería.

Conclusiones

Tras investigar los parámetros clave que influyen en el rendimiento y la longevidad de las baterías de ion-litio utilizadas en montacargas eléctricos, se concluye que factores como la capacidad de carga, la resistencia interna, la eficiencia coulombica y el comportamiento térmico juegan roles cruciales. La identificación y el monitoreo de estos parámetros permiten optimizar el uso de las baterías, prolongar su vida útil y asegurar un rendimiento óptimo en entornos industriales exigentes. Además, la comprensión de cómo las condiciones operativas, como los ciclos de carga y descarga y la temperatura ambiente, afectan estos parámetros es esencial para el mantenimiento proactivo y la gestión eficiente de los recursos energéticos en las flotas de montacargas.

El análisis detallado de las especificaciones técnicas de las baterías de ion-litio utilizadas en montacargas eléctricos revela que estas baterías ofrecen ventajas significativas sobre las alternativas tradicionales, como las de plomo-ácido. Las especificaciones técnicas, como la densidad energética, el voltaje operativo, los tiempos de carga y descarga, y los ciclos de vida esperados, son determinantes para seleccionar la batería adecuada para aplicaciones específicas. Este análisis también resalta la importancia de elegir baterías que no solo se adapten a las necesidades energéticas del montacargas, sino que también maximicen la eficiencia operativa y minimicen el tiempo de inactividad, asegurando así un retorno de inversión favorable para las empresas que dependen de estas tecnologías.

El diseño de un conjunto de pruebas y procedimientos estandarizados para evaluar el estado de las baterías de ion-litio en montacargas eléctricos ha permitido establecer un marco metodológico confiable y reproducible. Estas pruebas, que incluyen la medición de la capacidad de carga, la resistencia interna, la eficiencia coulombica y el análisis térmico, proporcionan una visión integral del estado de salud de las baterías. La implementación de estos procedimientos garantiza que las evaluaciones sean consistentes y precisas, permitiendo

tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento, la reparación o el reemplazo de las baterías. Este enfoque sistemático no solo mejora la seguridad y la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la sostenibilidad y a la reducción de costos a largo plazo, al asegurar que las baterías se utilicen de manera óptima durante su ciclo de vida.

Recomendaciones

Se debe realizar un estudio exhaustivo de la literatura científica y técnica para identificar los factores críticos, como la temperatura de operación, la profundidad de descarga, la velocidad de carga, y la frecuencia de ciclos.

Es necesario comparar las hojas de datos de diferentes fabricantes de baterías para entender las variaciones en capacidad, voltaje, corriente de descarga, ciclos de vida, y eficiencia térmica. Es crucial centrarse en cómo estas especificaciones se alinean con los requisitos operativos específicos de los montacargas eléctricos en los entornos donde serán utilizados.

Se debe asegurar que las pruebas sean repetibles y que los procedimientos estén alineados con normativas internacionales como las de la IEC o IEEE para garantizar la confiabilidad y la comparabilidad de los resultados.

Bibliografía

- Cabrera, Z., & Lisbeth, K. (2018). Optimización de los costos operativos en el área de logística de las empresas exportadoras de la ciudad de Machala.
- Cheng, L., Zhao, D., Li, T., & Wang, Y. (2022). Modeling and simulation analysis of electric forklift energy prediction management. *Energy Reports*, 8, 353-365.
- Decker, M. (2021). Aplicación de las normas OSHA 29 CFR.1910.178 y ITSDF/ANSI B56.1., en la empresa SERVITRANS para la operación segura de los montacargas.
- Delgado, L., & Ricardo, M. (2021). Propuesta de optimización del proceso de logística de distribución de la Empresa Alicorp S.A. [Thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.].
- Johnson, E. (2008). Disagreement over carbon footprints: A comparison of electric and LPG forklifts. *Energy Policy*, 36(4), 1569-1573.
- Martinez, M. (2013). Calidad en el servicio en capacitación a operadores de montacargas.
- Mejias, A. (2020, julio). Plan de Logística y Ejecución para el cambio de 3PL de Johnson & Johnson Medical Venezuela.
- Méndez Torres, P. W., Gómez Berrezueta, M. F., & Llerena Mena, A. F. (2020). Análisis de la viabilidad para la implementación de vehículo eléctrico que preste servicio de taxi en la ciudad de Cuenca.
- Morán López, W. H. (2023). Análisis Comparativo del Rendimiento entre el Montacargas de Combustión y Eléctrico (Doctoral dissertation, GUAYAQUIL/UIDE/2023).
- Normas OSHA (2021). Andes Montacargas renta y alquiler de Montacargas.
- Sánchez Alania, S., Sono La Rosa, N., & Uipan Gilio, M. (2016). Mejora de la gestión de montacargas en corporación Aceros Arequipa. Repositorio de la Universidad del Pacífico - UP.
- Solutions, W. F. (2018). Montacargas Eléctricos VS Combustión Interna;Cuál elegir?.

Zajac, P., & Rozic, T. (2022). Energy consumption of forklift versus standards, effects of their use and expectations. *Energy*, 239, 122187.

Anexos

Anexo A

Especificaciones de la Batería de Ion-Litio

	Reach trucks		Tow tractors / Electric counterbalance trucks				
	Size MH	Size LH	Size S	Size SB	Size MB	Size LB	
Technical Data	Nominal capacity						360 or 480 Ah
	Nominal voltage of battery						18,432 or 24,576 Wh
	Nominal voltage of truck						51.2 V
	Nominal energy content						48 V
	Cell chemistry						Lithium/iron phosphate
	Operating temperature ¹⁾ , ²⁾						-20°C to 55°C
	Operating temperature for charging ²⁾						0°C to 55°C
	Protection rating / impact						IP54 / same as truck control system
	Weight (incl. Additional weight)						1,005 kg 1,210 kg 375 kg 708 kg 856 kg 1,013 kg
	Dimensions in mm						1,220 x 352 x 784 1,220 x 424 x 784 816 x 414 x 618 830 x 522 x 627 830 x 630 x 627 830 x 738 x 627
Charge	Charge status display						in the truck display and while charging on the charger
	Charge time with external charger SLH090i 48 / 300						80 min or 90 min
	Opportunity charging external charger						50 % of nominal capacity after 30 min or 40 min
	Charge time with external charger SLH090i 48 / 150						160 min or 180 min
	Opportunity charging external charger						50 % of nominal capacity after 60 min or 80 min
Trucks	Available for (among others)		ETV 214 ETV 216 ETV 318 ETV 320 ETV 325 ETV 335 ETV C16 ETV C20 ETV Q20 ETV Q25	EZS 570	EFG 213 EFG 215	EFG 216k EFG 218k EFG 316k EFG 318k EZS 570XL EFG 216 EFG 218 EFG 220 EFG 316 EFG 318 EFG 320	

¹⁾ Different temperatures may affect battery performance.

²⁾ In terms of battery temperatures.

Anexo B

Modelos de Montacargas

Vista general de modelos

El modelo adecuado para su aplicaciones:

Nombre	Capacidad de carga/carga	Altura de elevación (máx.)	Velocidad de marcha sin carga	Ancho de pasillo de trabajo (palet 800x1200 longitudinal)	Velocidad de elevación sin carga
EFG 213	1300 kg	7000 mm	16 km/h	3235 mm	0,74 m/s
EFG 215	1500 kg	7000 mm	16 km/h	3235 mm	0,74 m/s
EFG 216k	1600 kg	7000 mm	16 km/h	3343 mm	0,74 m/s
EFG 216	1600 kg	7000 mm	16 km/h	3450 mm	0,74 m/s
EFG 218k	1800 kg	7000 mm	16 km/h	3362 mm	0,74 m/s
EFG 218	1800 kg	7000 mm	16 km/h	3469 mm	0,74 m/s
EFG 220	2000 kg	7000 mm	16 km/h	3469 mm	0,63 m/s

