

**Modelo Integral de Gestión de Mantenimiento para Centros de Distribución con Activos  
Estándar, Análisis de Confiabilidad Mediante RBD, Planes de Mantenimiento e  
Indicadores de Desempeño de Acuerdo a Normativa Internacional.**

**Juan Carlos Yopasa Pinzón**

**Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería  
de la Universidad del Valle, Cali**

**Nota del autor**

Juan Carlos Yopasa Pinzón.; **Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de  
la Universidad del Valle, Cali**

Este documento cuenta con la dirección de proyecto de tesis del Doctor Luis Alberto Mora  
y del Ingeniero MSc. Adolfo León Gómez.

Trabajo de Profundización para optar por el título de Magister en Gestión de Activos y  
Mantenimiento.

Cualquier mensaje con respecto a este trabajo debe ser enviado a la **Escuela de Ingeniería  
Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, Cali Colombia.**

E-mail: [juan.yopasa@correounivalle.edu.co](mailto:juan.yopasa@correounivalle.edu.co)

**Marzo, 2026**

## Resumen

El presente trabajo aborda el diseño y aplicación de metodologías de gestión de activos y mantenimiento orientadas a centros de distribución en adelante CEDI, los cuales demandan altos niveles de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y eficiencia operativa. La propuesta integra normas internacionales como ISO 14224, ISO 15341:2020 e ISO 55000:2024, junto con referencias técnicas de OREDA y del SMRP, para estructurar un marco metodológico que asegure el cumplimiento de estándares globales en la operación de equipos críticos.

La estandarización de la taxonomía de activos es un aspecto clave, así como la evaluación de confiabilidad mediante diagramas de bloques (RBD)<sup>1</sup>, la programación de planes de mantenimiento bajo la ingeniería RAM<sup>2</sup> y la implementación de indicadores de desempeño a través de un cuadro de mando integral. Estos elementos se consolidan en la recomendación de un plan estratégico de gestión de activos y la alineación entre la operación y los objetivos organizacionales(Anthony & Hastings, 2015).

En conjunto, el documento ofrece un enfoque integral que optimiza la gestión técnica y el uso eficiente de recursos, para garantizar no solo la sostenibilidad de la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los activos, sino también el cumplimiento en la distribución oportuna y confiable de los pedidos al cliente final y asegura la calidad del servicio y la competitividad propia de una operación altos niveles de desempeño.

*Palabras clave: mantenimiento, disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad, logística integral, planeación estratégica.*

---

<sup>1</sup> RBD- (Reliability Block Diagram)

<sup>2</sup> RAM-Reliability, Availability, Maintainability

### **Abstract**

*This paper addresses the design and implementation of asset and maintenance management methodologies for distribution centers (DCs), which require high levels of reliability, availability, maintainability, and operational efficiency. The proposal integrates international standards such as ISO 14224, ISO 15341:2020, and ISO 55000:2024, along with technical references from OREDA and the SMRP, to structure a methodological framework that ensures compliance with global standards in the operation of critical equipment.*

*The study addresses key aspects such as the standardization of asset taxonomy, reliability assessment using block diagrams (RBDs), scheduling maintenance plans using RAM engineering, and the implementation of performance indicators through a balanced scorecard. These elements are consolidated in the recommendation of a strategic asset management plan that reinforces the alignment between operations and organizational objectives. Overall, the document offers a comprehensive approach that optimizes technical management and the efficient use of resources, ensuring not only the sustainability of asset reliability, availability, and maintainability, but also compliance with the timely and reliable distribution of orders to the end customer, ensuring the quality of service and the competitiveness inherent in a high-performance operation.*

*Keywords: maintenance, availability, reliability, maintainability, integrated logistics, strategic planning.*

## Contenido

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Resumen .....</b>                                             | <b>2</b>  |
| <b>Abstract.....</b>                                             | <b>3</b>  |
| <b>Contenido .....</b>                                           | <b>4</b>  |
| <b>Figuras .....</b>                                             | <b>6</b>  |
| <b>Tablas.....</b>                                               | <b>7</b>  |
| <b>Introducción y Contexto Operacional .....</b>                 | <b>8</b>  |
| <b>Límites del problema.....</b>                                 | <b>11</b> |
| <b>Justificación .....</b>                                       | <b>13</b> |
| <b>Viabilidad de la idea del trabajo de profundización .....</b> | <b>14</b> |
| <b>Objetivos.....</b>                                            | <b>15</b> |
| <b>General .....</b>                                             | <b>15</b> |
| <b>Específicos .....</b>                                         | <b>15</b> |
| UNO - Taxonomía.....                                             | 15        |
| DOS - RBD .....                                                  | 15        |
| TRES - Plan de Mantenimiento.....                                | 16        |
| CUARTO- Cuadro de Mando .....                                    | 16        |
| CINCO- Plan Estratégico .....                                    | 16        |
| SEIS-Conclusiones .....                                          | 16        |
| <b>Marco teórico.....</b>                                        | <b>17</b> |
| <b>Antecedentes de la investigación o del proyecto .....</b>     | <b>19</b> |
| <b>Estado del arte.....</b>                                      | <b>20</b> |
| <b>Marco metodológico .....</b>                                  | <b>22</b> |
| <b>Tipo de estudio y análisis a desarrollar.....</b>             | <b>22</b> |
| <b>Fases o etapas del proyecto .....</b>                         | <b>23</b> |
| <b>Desarrollo .....</b>                                          | <b>24</b> |
| <b>Conceptos preliminares .....</b>                              | <b>24</b> |
| <b>Matriz FODA.....</b>                                          | <b>28</b> |
| <b>Estrategias derivadas del DOFA .....</b>                      | <b>30</b> |
| <b>Desarrollo de los Objetivos .....</b>                         | <b>32</b> |
| <b>Objetivo UNO - Taxonomía.....</b>                             | <b>32</b> |
| Jerarquía de Activos .....                                       | 32        |
| Equipos Industriales de un CEDI .....                            | 33        |
| Taxonomía de Equipos .....                                       | 34        |
| Clasificación de equipos .....                                   | 36        |
| Datos específicos al equipo .....                                | 37        |
| Conclusión del desarrollo del objetivo UNO.....                  | 45        |
| <b>Objetivo DOS - RBD.....</b>                                   | <b>46</b> |
| Enfoque sistémico CMD.....                                       | 47        |
| Resultados Obtenidos.....                                        | 52        |
| Diagrama de bloques de confiabilidad (RBD) .....                 | 57        |
| Datos para RBD de un CEDI .....                                  | 58        |
| Conclusión del desarrollo del RBD.....                           | 62        |
| <b>Objetivo TRES - Plan de Mantenimiento.....</b>                | <b>63</b> |
| Rutinas de mantenimiento .....                                   | 64        |
| Recursos y responsabilidades .....                               | 73        |
| Recursos materiales .....                                        | 74        |
| Conclusión del desarrollo del Objetivo TRES .....                | 75        |
| <b>Objetivo CUATRO- Cuadro de Mando.....</b>                     | <b>76</b> |
| Introducción .....                                               | 76        |
| Indicadores Propuestos .....                                     | 77        |
| Descripción de los indicadores .....                             | 78        |
| Metodología de Implementación .....                              | 79        |

|                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| Cuadro de mando integral.....                                      | 79         |
| Conclusión del desarrollo del objetivo CUATRO.....                 | 82         |
| <b>Objetivo CINCO- Plan Estratégico.....</b>                       | <b>83</b>  |
| Introducción .....                                                 | 83         |
| Conceptos y Principios Fundamentales según ISO 55000 .....         | 83         |
| Requisitos del Sistema de Gestión de Activos según ISO 55001 ..... | 84         |
| Guía de Aplicación según ISO 55002 .....                           | 86         |
| Conclusión del desarrollo del objetivo CINCO .....                 | 92         |
| <b>Objetivo SEIS- Conclusiones.....</b>                            | <b>93</b>  |
| Introducción .....                                                 | 93         |
| Conclusión general .....                                           | 96         |
| <b>Desarrollo de los CINCO Objetivos.....</b>                      | <b>98</b>  |
| Objetivo UNO - Taxonomía.....                                      | 98         |
| Objetivo DOS - RBD .....                                           | 98         |
| Objetivo TRES – Plan de Mantenimiento.....                         | 99         |
| Objetivo CUATRO – Cuadro de Mando Integral .....                   | 99         |
| Objetivo CINCO- Plan Estratégico .....                             | 100        |
| <b>Bibliografía.....</b>                                           | <b>101</b> |

**Figuras**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Layout de un CEDI .....                                 | 27 |
| Figura 2 Niveles taxonómicos.....                                | 34 |
| Figura 3 Disponibilidad alcanzada .....                          | 52 |
| Figura 4 Betas integrales, específicos y globales .....          | 53 |
| Figura 5 Betas planeados y no planeados.....                     | 53 |
| Figura 6 Etas de confiabilidad y mantenibilidad .....            | 54 |
| Figura 7 Tiempos de mantenimiento .....                          | 54 |
| Figura 8 Pronóstico para 6 meses de $MTBM_C$ con Power BI .....  | 55 |
| Figura 9 Pronóstico para 6 meses de MTTR con Power BI .....      | 55 |
| Figura 10 Pronóstico para 6 meses de $MTBM_P$ con Power BI ..... | 56 |
| Figura 11 Pronóstico para 6 meses de $M_P$ con Power BI.....     | 56 |
| Figura 12 Diagrama de bloques de confiabilidad para un CEDI..... | 61 |

## Tablas

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Matriz FODA.....                                              | 29 |
| Tabla 2 Matriz CAME (Corregir – Afrontar – Mantener – Explotar) ..... | 31 |
| Tabla 3 Listado de Equipos CEDI .....                                 | 33 |
| Tabla 4 Taxonomía del CEDI .....                                      | 35 |
| Tabla 5 Categoría de equipos de CEDI .....                            | 37 |
| Tabla 6 Subdivisión de equipos montacargas trilateral .....           | 38 |
| Tabla 7 Subdivisión de equipos montacargas order picker .....         | 39 |
| Tabla 8 Subdivisión de equipos transpaleta .....                      | 39 |
| Tabla 9 Subdivisión de equipos estibador hidráulico .....             | 40 |
| Tabla 10 Subdivisión de equipos bandas transportadoras.....           | 40 |
| Tabla 11 Subdivisión de equipos sorter de despachos .....             | 41 |
| Tabla 12 Subdivisión de equipos subestación eléctrica.....            | 41 |
| Tabla 13 Subdivisión de equipos planta eléctrica .....                | 42 |
| Tabla 14 Subdivisión de equipos UPS.....                              | 43 |
| Tabla 15 Subdivisión de equipos flejadora automática .....            | 43 |
| Tabla 16 Subdivisión de equipos SDA.....                              | 44 |
| Tabla 17 Subdivisión de equipos impresoras.....                       | 44 |
| Tabla 18 Eventos de 3 años para equipo montacargas trilateral .....   | 50 |
| Tabla 19 Cálculo de confiabilidad de equipos CEDI .....               | 59 |
| Tabla 20 Tipo de estructura para RBD del CEDI .....                   | 60 |
| Tabla 21 Mantenimiento montacargas trilateral .....                   | 64 |
| Tabla 22 Mantenimiento montacargas order picker .....                 | 65 |
| Tabla 23 Mantenimiento transpaletas.....                              | 66 |
| Tabla 24 Mantenimiento estibadores.....                               | 67 |
| Tabla 25 Mantenimiento subestación eléctrica .....                    | 68 |
| Tabla 26 Mantenimiento planta eléctrica .....                         | 69 |
| Tabla 27 Mantenimiento bandas transportadoras.....                    | 70 |
| Tabla 28 Mantenimiento Sistema RFID .....                             | 71 |
| Tabla 29 Mantenimiento flejadora automática .....                     | 71 |
| Tabla 30 Mantenimiento impresoras.....                                | 72 |
| Tabla 31 Mantenimiento SDA.....                                       | 73 |
| Tabla 32 Indicadores claves de desempeño.....                         | 77 |
| Tabla 33 Mapa quantum de desempeño .....                              | 81 |
| Tabla 34 Etapas del ciclo de vida de un activo .....                  | 87 |
| Tabla 35 Matriz de priorización de activos.....                       | 88 |
| Tabla 36 Cronograma de implementación del PEGA.....                   | 90 |

### **Introducción y Contexto Operacional**

Un eslabón crítico dentro de la cadena de suministro son los centros de distribución en adelante CEDI, ya que son responsables de garantizar la disponibilidad de productos, la eficiencia en el manejo de inventarios y el cumplimiento en la entrega de pedidos al cliente final (Czerniachowska & Lutoslawski, 2023).

En este escenario, la gestión de activos y el mantenimiento adquieren una importancia estratégica, pues de la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos depende directamente la continuidad operacional y la calidad del servicio que se presta al cliente final (Clavijo Mesa et al., 2021).

El desarrollo de metodologías basadas en normas internacionales, como ISO 14224, ISO 15341:2020 e ISO 55000:2024, y referentes como OREDA y SMRP, permite establecer prácticas estándar que aseguren una operación eficiente, medible y alineada con las mejores prácticas globales.

Este trabajo se justifica en la necesidad de contar con un marco integral que no solo optimice el desempeño de los equipos y sistemas críticos, sino que también garantice la capacidad del CEDI para responder a las demandas del mercado con altos niveles de confiabilidad y competitividad.

Como lo expresa el autor al final del proceso evolutivo aparece la gestión de activos como un sistema de administración de mantenimiento (operación, ingeniería de fábricas o de confiabilidad), que permite interrelacionar todos los departamentos de una empresa para trabajar de una forma integral, con el fin de optimizar todos los activos que se utilizan para el objetivo social de la empresa (Mora, 2009).

La propuesta busca consolidar un modelo de gestión integral que aporte valor a la organización, reduzca riesgos asociados a fallas en equipos y asegure la satisfacción del cliente final mediante entregas oportunas y de calidad.

Los CEDI operan bajo un entorno altamente competitivo, en el que la rapidez, la precisión y la flexibilidad son factores determinantes para sostener la posición de mercado. Estas instalaciones son puntos estratégicos de la cadena de suministro, donde se concentran actividades de recepción, almacenamiento, clasificación, preparación y despacho de productos hacia clientes de diferentes segmentos (farmacéutico, retail, industrial, etc.) (Ríos et al., 2021).

El cumplimiento de dichas actividades depende de una infraestructura tecnológica avanzada y de equipos críticos cuya operación debe mantenerse en condiciones óptimas. En este sentido, la confiabilidad y disponibilidad de sistemas como montacargas, bandas transportadoras, equipos de manipulación automatizada, sistemas de clasificación y tecnologías de gestión de inventario, así como equipos industriales de respaldo, resultan esenciales para evitar interrupciones en el flujo de pedidos (Mora, 2019).

De igual forma, la implementación de cuadros de mando integral y planes estratégicos de gestión de activos permite a las organizaciones con CEDI no solo medir y controlar su desempeño, sino también proyectar mejoras continuas que aseguren la alineación con estándares internacionales de mantenimiento y gestión de activos (Kaplan & Norton, 2016).

En este contexto, el presente trabajo constituye una herramienta fundamental para que los CEDI en Colombia y otras latitudes, fortalezcan su capacidad operativa, optimicen recursos y garanticen que los pedidos lleguen de manera confiable y puntual al cliente final, para consolidar su posicionamiento como organizaciones con CEDI con altos estándares de servicio al cliente.

Los CEDI enfrentan el reto permanente de responder a una demanda creciente de clientes que exigen entregas más rápidas, confiables y con altos estándares de calidad. Sin embargo existen diversos factores que comprometen el desempeño de estas operaciones como es la gestión inadecuada de los activos físicos y de los programas de mantenimiento. La competitividad de una empresa en un mercado global es fundamental para su supervivencia y rentabilidad (Urbani, 2021).

La falta de estandarización en la clasificación de equipos, la ausencia de modelos robustos de confiabilidad, así como la carencia de indicadores alineados con las mejores prácticas internacionales, generan ineficiencias que repercuten directamente en la continuidad de las operaciones y, en consecuencia, en el cumplimiento de los pedidos al cliente final.

En el ámbito académico y profesional, investigaciones recientes han resaltado la importancia de integrar metodologías como la taxonomía estándar de activos (ISO 14224), el modelado de confiabilidad mediante diagramas de bloques (RBD) y la gestión de mantenimiento apoyada en la ingeniería RAM, estas son herramientas clave para garantizar la eficiencia en centros logísticos (ISO 14224, 2016).

De igual forma, el uso de cuadros de mando integral y planes estratégicos de gestión de activos, basados en ISO 55000, son una oportunidad para alinear las operaciones de mantenimiento con los objetivos estratégicos de la organización (Alsyounf, 2006).

A pesar de los avances normativos y metodológicos, en la práctica persisten brechas en la implementación sistemática de estos enfoques en CEDI, particularmente en Latinoamérica, donde aún prevalece una gestión reactiva del mantenimiento y un limitado uso de datos históricos para la toma de decisiones.

Esto representa una oportunidad de mejora, ya que una gestión de activos más estructurada y alineada con estándares internacionales permitiría reducir riesgos de falla, optimizar recursos y sobre todo, garantizar la continuidad operacional necesaria para cumplir con los pedidos de los clientes de manera confiable y puntual (Mangano & de Marco, 2014).

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar un marco metodológico integral que articule las mejores prácticas internacionales en taxonomía de activos, confiabilidad, indicadores de gestión y planeación estratégica, con el objetivo de fortalecer la operación de los CEDI y asegurar su competitividad en mercados altamente exigentes.

### **Límites del problema**

El presente trabajo genera un estudio con enfoque al mantenimiento de los equipos críticos de los CEDI y sus equipos de soporte industrial.

Este estudio se delimita estratégicamente al análisis, evaluación y optimización de las estrategias de mantenimiento para los equipos críticos de operación y los sistemas de soporte industrial dentro de los CEDI.

El objetivo principal desarrolla un plan de mantenimiento especializado que garantice la máxima confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los activos que impactan directamente en el núcleo del negocio. Para lograr un análisis adecuado, se excluye expresamente del alcance de este trabajo, el mantenimiento de la infraestructura física fija (edificios, bodegas, cubiertas, fachadas, estructuras civiles en general), ya que estos elementos requieren normativas, ciclos de vida y estrategias de mantenimiento diferentes (AENOR UNE 17007, 2018).

La exclusión de la infraestructura física no es una limitación, sino una decisión estratégica para concentrar los recursos en los factores con mayor impacto en la productividad y la prevención de paradas operativas. Esta delimitación se justifica en base a los siguientes criterios:

**Ciclo de Vida y Normativas Diferentes:** La infraestructura civil tiene ciclos de vida de décadas y se rige por normas de construcción. Los equipos críticos, en cambio, tienen ciclos de vida más cortos (5-15 años) y se rigen por normas industriales, de fabricación y de seguridad electrónica y mecánica. Para el caso de Colombia la normatividad aplicada es Código Nacional de Construcción Sismorresistente (NSR-10); Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE 2024), NTC 2050; Código Nacional de Fontanería y normas de Facility Management como la UNE-EN ISO 41001:2018.

**Especialización Técnica Divergente:** El mantenimiento de un sistema de clasificación automática o de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS) requiere conocimientos de mecatrónica, robótica, electricidad de potencia y software, radicalmente diferentes a los necesarios para el mantenimiento de una cubierta, una fachada o cualquier infraestructura civil.

Impacto Operacional Directo e Inmediato: Una falla en un equipo crítico (ej. Banda transportadora, sistema automático, montacargas) detiene los envíos y la operación de manera inmediata, genera pérdidas económicas cuantificables y el incumplimiento de Acuerdos de Nivel de Servicio (ANS). Una falla en la infraestructura física, si bien es importante, generalmente no detiene la operación al instante y su gestión es diferente al proceso de equipos del CEDI.

### **Justificación**

Los CEDI representan el núcleo operativo de las cadenas de suministro modernas, ya que de su eficiencia depende la entrega oportuna, confiable y a bajo costo de los pedidos al cliente final.

En este contexto, los equipos críticos, como transportadores, clasificadores, sistemas con alto nivel de automatización de almacenamiento y embalaje; constituyen la columna vertebral de las operaciones logísticas. La detención o fallo inesperado de estos activos no solo implica pérdidas económicas por interrupción de la operación, sino también un impacto directo en la confiabilidad del servicio y en la satisfacción del cliente.

Diversos estudios demuestran que la falta de estrategias de mantenimiento adecuadas en ambientes logísticos reduce la disponibilidad de los equipos, incrementa los costos de operación y compromete los indicadores claves de desempeño (KPIs) que se asocian al nivel de servicio.

En contraposición, la aplicación de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM), metodologías RAM y el uso de indicadores estándar permiten garantizar que los activos operen bajo condiciones óptimas y alinea la gestión técnica con los objetivos estratégicos de la organización (Shang et al., 2023).

Este proyecto se justifica porque busca cerrar la brecha existente entre los modelos teóricos de gestión de mantenimiento y la realidad operacional de los CEDI, permite diversos enfoques de estandarización, desempeño y gestión integral de activos. Asimismo, plantea un marco práctico que facilita la optimización de recursos, la mejora continua en confiabilidad y mantenibilidad, así como la reducción de riesgos operativos (AENOR UNE 15341, 2020).

En última instancia, la relevancia del proyecto radica en su contribución a la competitividad organizacional, ya que permite a los CEDI mantener operaciones sostenibles y resilientes, para garantizar que el cumplimiento de pedidos al cliente final se dé en los tiempos

comprometidos, con la calidad requerida y bajo un esquema de mantenibilidad eficiente (Choi et al., s. f.).

De esta manera, se fortalece no solo la continuidad del negocio, sino también la reputación y la capacidad de respuesta en un mercado altamente exigente y dinámico.

### **Viabilidad de la idea del trabajo de profundización**

El presente trabajo de profundización es viable debido a que responde a una necesidad creciente en el entorno logístico moderno: contar con sistemas de mantenimiento organizados, medibles y alineados con la estrategia empresarial. Los CEDI dependen de la disponibilidad y confiabilidad de sus activos críticos, por lo que un modelo integral que combine lineamientos normativos, buenas prácticas y herramientas de análisis constituye una propuesta pertinente y de alto impacto.

La viabilidad resulta de la amplia disponibilidad de información digital y fuentes especializadas en internet, que permiten acceder a metodologías actualizadas y casos de referencia aplicables al contexto de los CEDI. Asimismo, los avances en la gestión de datos de activos y el uso de herramientas tecnológicas de análisis facilitan la implementación de modelos que integran indicadores de desempeño y planes de mantenimiento más efectivos.

Un aspecto adicional que fortalece la propuesta es la experiencia del ponente en el campo de la gestión de mantenimiento, lo cual asegura una conexión entre la teoría y la práctica y permite adaptar los referentes normativos y las mejores prácticas internacionales a la realidad operativa de las organizaciones.

En este sentido, el proyecto no solo es factible en términos técnicos y metodológicos, sino también en cuanto a su aplicabilidad y la optimización de la operación de los CEDI y genera valor a través de una gestión de mantenimiento más confiable, estándar y orientada a resultados.

## Objetivos

La estructura y la secuencia lógica de los objetivos establecidos usan el modelo de Bloom y Gagné<sup>3</sup>

### General

Diseñar un modelo integral de gestión de mantenimiento y activos para CEDI, basado en normas ISO 14224:2016, ISO 15341:2020, UNE-EN 17007:2018, UNE-EN 16646:2015 y las Buenas Prácticas del SMRP, con el fin de optimizar la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y desempeño operativo de los equipos e infraestructura.

### Específicos

Se describen de forma secuencial, con el fin de comprender mejor la dimensión del alcance del proyecto.

#### **UNO - Taxonomía**

Describir una taxonomía estándar de equipos, basada en la Norma ISO 14224 y consulta de la casa OREDA, antes de diciembre de 2025, para lograr la clasificación y estandarización del 95% de los activos del CEDI y así facilitar la gestión de activos y optimizar el mantenimiento.

#### **Nivel 1 - Conocer - Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

#### **DOS - RBD**

Definir en un plazo de seis meses, el modelo de confiabilidad mediante diagramas RBD para todos los equipos del CEDI, para la representación del 100 % de los procesos en serie y lineales, con el fin de evaluar la confiabilidad y mantenibilidad del sistema, con el uso de datos históricos de mantenimiento de los últimos dos años.

#### **Nivel 2 - Comprender - Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

---

<sup>3</sup> Benjamín Bloom, Robert Gagné, psicólogos norteamericanos destacados por sus publicaciones en el área de aprendizaje

**TRES - Plan de Mantenimiento**

Programar un plan de mantenimiento en la ingeniería RAM, aplicado a los equipos críticos del CEDI, con el fin de alcanzar una confiabilidad del 90%, una disponibilidad del 95%, mejorar la mantenibilidad y facilitar su pronta implementación por parte de la organización.

**Nivel 3 - Aplicar- Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

**CUARTO- Cuadro de Mando**

Organizar para su implementación, un cuadro de mando integral basado en la metodología Quantum Performance con al menos 8 indicadores de gestión y operación de mantenimiento, alineados a ISO 15341:2020 y a las mejores prácticas pertinentes del SMRP 6th Edition, con medición periódica para satisfacer el nivel de servicio y la calidad de pedidos de los clientes.

**Nivel 4 - Analizar - Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

**CINCO- Plan Estratégico**

Recomendar la construcción e implementación de un Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA), alineado con los objetivos estratégicos de la organización bajo la norma ISO 55000:2024 y tener como base el presente trabajo de profundización y la normatividad aplicada.

**Nivel 5 - Sintetizar - Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.**

**SEIS-Conclusiones**

Concluir los principales resultados obtenidos y las recomendaciones sugeridas en el presente trabajo.

### **Marco teórico**

El desarrollo del presente trabajo de profundización tiene base en las materias vistas durante la maestría en gestión de activos y mantenimiento de la Universidad del Valle así:

- Mantenimiento en la gestión de activos.
- Análisis del ciclo de vida del activo.
- Gestión de activos alineado a la ISO 55000.
- Gestión estratégica y modelo de negocio.
- Herramientas de confiabilidad.
- Sistema de información del SGA.

La gestión de activos físicos constituye el eje sobre el cual se diseñan y ejecutan políticas de mantenimiento orientadas a maximizar el valor que entregan los activos a lo largo de su ciclo de vida. Este enfoque promueve una visión sistémica en la que las decisiones de inversión, operación, mantenimiento y sustitución se toman en función del valor que los activos aportan a los objetivos organizacionales (Hastings, 2010).

La serie de normas ISO 55000 establece los principios, la terminología y los beneficios de un sistema de gestión de activos, constituyéndose en un referente global para las organizaciones que buscan alinear su estrategia corporativa con la gestión de infraestructura y equipos (ISO 55000, 2024).

El análisis del ciclo de vida del activo (LCC) es una herramienta fundamental para evaluar los costos y beneficios totales de un activo desde su adquisición hasta su disposición final. Este enfoque permite justificar económicamente las decisiones de mantenimiento y reposición, facilita la optimización de los costos de propiedad y garantiza un nivel de servicio sostenible (Asiedu & Gu, 1998).

La toma de decisiones basada en evidencia requiere un proceso sistemático de recolección y estandarización de datos de confiabilidad. En este sentido, la ISO 14224:2016

proporciona directrices para capturar, clasificar y utilizar datos de fallas y mantenimiento, constituyéndose en una base sólida para el análisis de confiabilidad y la mejora continua de los programas de mantenimiento (ISO 14224, 2016).

El uso de herramientas de confiabilidad como los diagramas de bloques (RBD) permite modelar el comportamiento de los sistemas y cuantificar la confiabilidad global en función de la configuración de los componentes. Estas técnicas facilitan la identificación de puntos críticos, el diseño de redundancias y la priorización de intervenciones de mantenimiento (Birolini, 2017; IEC 61078, 2006).

La gestión estratégica de activos implica traducir los objetivos empresariales en métricas, planes y programas de mantenimiento que apoyen la sostenibilidad y la competitividad. Para ello, el uso de indicadores clave de desempeño, como los definidos en la ISO 15341:2020, mide la eficacia y eficiencia de los programas de mantenimiento, asegura coherencia entre la gestión técnica y la estrategia del negocio (AENOR UNE 15341, 2020).

Asimismo, las guías de mejores prácticas, como el SMRP Best Practices (6ª ed.), aportan marcos metodológicos ampliamente aceptados para vincular mantenimiento, confiabilidad y desempeño operativo (SMRP, 2017).

Finalmente, la implementación efectiva de un modelo integral de gestión de mantenimiento requiere apoyo en sistemas de información como los CMMS/EAM. Estos sistemas permiten registrar datos de activos, gestionar órdenes de trabajo, planificar actividades preventivas y generar reportes de desempeño. Cuando se integran con tecnologías digitales como sensores IoT<sup>4</sup> y análisis predictivo, los CMMS/EAM se convierten en herramientas clave para la transformación digital de la gestión de activos (Oyeni et al., 2024).

En síntesis, un modelo integral de gestión de mantenimiento para CEDI con activos estándar, debe sustentarse en: (1) la alineación con la gestión de activos propuesta por la ISO

---

<sup>4</sup> Internet de las Cosas

55000, (2) la aplicación del análisis de ciclo de vida, (3) la recolección estándar de datos de confiabilidad (ISO 14224), (4) el uso de metodologías de confiabilidad, (5) la integración con la gestión estratégica y el modelo de negocio, y (6) el soporte en sistemas de información que permitan generar y monitorear indicadores de desempeño de acuerdo con estándares internacionales.

### **Antecedentes de la investigación o del proyecto**

Diversos estudios demuestran que la implementación de sistemas de gestión de activos alineados con la norma ISO 55000 aporta beneficios en la toma de decisiones estratégicas y en la optimización de recursos del mantenimiento. Investigaciones en diferentes sectores industriales evidencian mejoras en la gobernanza, la planificación de inversiones y la alineación de la gestión de activos con los objetivos organizacionales cuando se adoptan marcos internacionales de referencia (ISO 55001, 2024).

En el ámbito logístico y de CEDI, los trabajos recientes destacan la importancia de la estandarización de datos y la integración de sistemas CMMS/EAM para convertir la información histórica de mantenimiento en insumos para el análisis predictivo y la toma de decisiones basadas en riesgo, lo cual constituye un punto clave en la construcción de modelos integrales con activos estándar (Márquez, 2019).

Por otra parte, la literatura técnica y académica validan el uso de herramientas de confiabilidad, tales como los diagramas de bloques (RBD), el análisis de modos y efectos de falla (FMEA) y metodologías de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Estas metodologías han sido aplicadas en sectores energéticos, petroquímicos y logísticos, son útiles para modelar dependencias entre componentes, estimar la confiabilidad global y priorizar estrategias de mantenimiento preventivo o predictivo (Dhillon, 2006).

La integración de normas (ISO 14224) con plataformas digitales y marcos de mejores prácticas (SMRP) consolida los indicadores de desempeño. Esto cierra el ciclo de análisis, ejecución y medición en la gestión de mantenimiento (SMRP, 2017).

### **Estado del arte**

En el ámbito de la gestión de activos para CEDI logísticos, la literatura reciente enfatiza la necesidad de integrar modelos de mantenimiento con enfoques estratégicos que garanticen la disponibilidad, confiabilidad y flexibilidad de los equipos críticos. La adopción de estándares internacionales, como la ISO 55000, ha permitido a empresas del sector logístico alinear la gestión de activos con objetivos de negocio, lo que se traduce en mayor capacidad de respuesta a la variabilidad de la demanda y en la optimización de recursos (García et al., 2019).

Los CEDI, se caracterizan por tener procesos intensivos de almacenamiento, clasificación y despacho, requieren metodologías que permitan evaluar los costos del ciclo de vida de los equipos logísticos, como montacargas, transportadores y sistemas automáticos.

En este sentido, el análisis de ciclo de vida (LCC) se aplica para identificar momentos óptimos de renovación de activos y para definir estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo que reduzcan costos operativos y eviten interrupciones en la cadena de suministro (Asiedu & Gu, 1998).

La confiabilidad de los activos en los CEDI resulta del estudio mediante la aplicación de técnicas como los diagramas de bloques de confiabilidad (RBD) y el análisis de modos y efectos de falla (FMEA). Estos enfoques permiten modelar la interdependencia entre sistemas automáticos, bandas transportadoras y equipos de elevación y aseguran que las fallas individuales no comprometan la continuidad operativa.

La normalización de datos propuesta por la ISO 14224:2016 se presenta como un elemento clave para capturar y analizar datos de fallas en ambientes logísticos, donde la estandarización facilita la comparación entre diferentes instalaciones o empresas (Shang, 2023).

La literatura también subraya la importancia de los indicadores de desempeño en entornos logísticos, particularmente en la medición de disponibilidad, confiabilidad y costos asociados al mantenimiento. La ISO 15341:2020 y las guías del SMRP Best Practices son

referentes en la definición de métricas aplicables a los CEDI, donde la competitividad depende de la rapidez y precisión en la preparación de pedidos (AENOR UNE 15341, 2020; SMRP, 2017).

La incorporación de sistemas de gestión de mantenimiento computarizados (CMMS/EAM) y tecnologías digitales como IoT (Oyeniya et al., 2024) y análisis de datos en tiempo real refuerza la capacidad de los centros logísticos para migrar hacia un mantenimiento predictivo, maximizan la eficiencia operativa y reduce tiempos de inactividad no planificados (Márquez, 2019).

En conclusión, el estado del arte muestra una tendencia clara hacia la convergencia entre normas internacionales, herramientas de confiabilidad y tecnologías digitales, aplicadas específicamente a los CEDI. Esta integración busca garantizar que los activos estándar operen de manera confiable y flexible, permite a las organizaciones sostener su competitividad en entornos logísticos cada vez más dinámicos y exigentes.

### **Marco metodológico**

El presente trabajo se enmarca en una investigación aplicada con enfoque mixto, que combina técnicas cualitativas y cuantitativas para el análisis y desarrollo de un modelo integral de gestión de mantenimiento en los CEDI con activos estándar. Desde la perspectiva cualitativa, se realiza un análisis documental exhaustivo de la normatividad internacional en gestión de activos y mantenimiento, así como de las mejores prácticas propuestas por organismos de referencia (AENOR UNE 15341, 2020; ISO 14224, 2016).

En paralelo, el enfoque cuantitativo se orienta a la aplicación de herramientas de confiabilidad como diagramas de bloques de confiabilidad (RBD) y el cálculo de indicadores de desempeño (MTBF, MTTR, disponibilidad), con base en la normalización de datos de fallas propuesta en la ISO 14224:2016 (Dhillon, 2006).

#### **Tipo de estudio y análisis a desarrollar**

La investigación desarrolla un diseño no experimental, descriptivo y propositivo. Es no experimental, debido a que no se manipulan las variables de manera controlada, sino que se analizan los datos provenientes de los sistemas de gestión de activos de los CEDI (Márquez, 2019).

El estudio es descriptivo, porque permite caracterizar el estado actual de los planes de mantenimiento y de los activos estándar, identifica patrones y tendencias a partir de datos históricos (Woodward, 1997).

Finalmente, es propositivo, ya que el objetivo es construir un modelo integral alineado a la gestión estratégica de activos según la ISO 55000 e incorpora prácticas de confiabilidad y desempeño (García et al., 2019).

De esta manera, el marco metodológico articula el análisis documental, la recopilación de datos de campo y la aplicación de herramientas cuantitativas y asegura que el modelo propuesto se sustente en la normatividad vigente y en las mejores prácticas internacionales, a la vez que

responde a los requerimientos de confiabilidad, disponibilidad y competitividad propios de los CEDI.

### **Fases o etapas del proyecto**

El procedimiento metodológico se estructura en estas etapas:

1. Revisión documental y normativa, basada en ISO 55000, ISO 14224, UNE-EN 17007, UNE-EN 16646, ISO 15341 y SMRP Best Practices, con el fin de establecer el marco de referencia técnico y regulatorio.
2. Diagnóstico de la situación actual, que comprende la recopilación de datos de activos, historial de fallas y desempeño de equipos críticos en los CEDI, el uso de fuentes primarias (matriz DOFA, entrevistas a proveedores, observación de procesos) y secundarias (bases de datos, manuales técnicos y literatura científica).
3. Establecer la taxonomía de equipos críticos de los procesos de recepción, almacenamiento, alistamiento y despacho de pedidos para los CEDI basado en normativa internacional (ISO, 2024).
4. Modelado de confiabilidad, mediante el uso de RBD y análisis estadísticos para evaluar la disponibilidad y el riesgo asociado a las fallas de equipos críticos de los CEDI. (IEC 61078, 2006).
5. Diseño de planes de mantenimiento, bajo los lineamientos de la UNE-EN 17007:2018 y UNE-EN 16646:2015, que permiten estructurar y priorizar tareas preventivas y predictivas.
6. Definición de indicadores de desempeño, seleccionados según ISO 15341:2020 y SMRP Best Practices, con el fin de establecer métricas comparables para la evaluación de la eficacia del modelo en los CEDI logísticos.

## Desarrollo

### Conceptos preliminares

Los CEDI tienen una disposición de equipos dentro de un plano arquitectónico, lo cual permite cumplir los objetivos de la organización.

Dicha disposición se de equipos presenta características de acuerdo a la filosofía operacional del CEDI y los procesos que se realizan.

Dentro del marco del presente trabajo presento un Layout con áreas definidas que hacen parte del proceso operacional de cualquier centro de operación y que comprende las siguientes áreas:

Área de recibo: esta área está conformada por muelles que permiten la ubicación estratégica de vehículos de carga, con el fin de descargar las materias primas o productos terminados de lo diferentes proveedores. Estos muelles también se usan para recibir repuestos, materiales y herramientas que se requieren para actividades de mantenimiento.

Área de almacén: como su nombre lo indica es el área que se usa para almacenar en buena custodia los productos o materias primas recibidas a los proveedores. Dentro de esta área se encuentran sistemas de almacenamiento como es la estantería industrial cuyas características mecánicas son definidas de acuerdo con el contexto operacional. (Saderova et al., 2021)

En el área de almacén se encuentran equipos críticos de soporte como son los montacargas de tipología trilateral u order picker y equipos de transporte internos como son los transpaletas. Por condiciones de los CEDI, estos sistemas son eléctricos para evitar contaminación similar a la generada por equipos de combustión y son sistemas de última generación que adaptan tecnologías de vanguardia (Fraifer et al., 2025)

Área de Picking: La preparación de pedidos es un aspecto crítico de las operaciones de almacenes y los CEDI.(Czerniachowska & Lutoslawski, 2023).

Los procesos de picking y empaque representan el mayor costo operativo de un CEDI y ambos requieren un espacio adecuado para su funcionamiento. Una coordinación eficaz entre

estas zonas evita cuellos de botella y tiene un impacto directo en los resultados operativos del CEDI (Ríos et al., 2021).

Los equipos críticos en las áreas de picking y empaque tienen funcionalidades definidas de acuerdo al rol asignado por la estructura operacional de la organización; sin embargo las fallas en estos equipos afectan el objeto social de la organización ya que por sus características funcionales en serie detienen los procesos de alistamiento de pedidos.

Dentro de los equipos críticos que se encuentran en el área de almacén están las bandas transportadoras, etiquetadoras, sistemas automáticos de alistamiento, sunchadoras, tapadoras, sistemas RFID, etc.).

Área de despachos: es el área dispuesta por los CEDI para dar la salida al producto terminado o empacado para el cliente final. Esta área tiene muelles que permiten la ubicación correcta de vehículos de carga para facilitar su proceso de cargue.

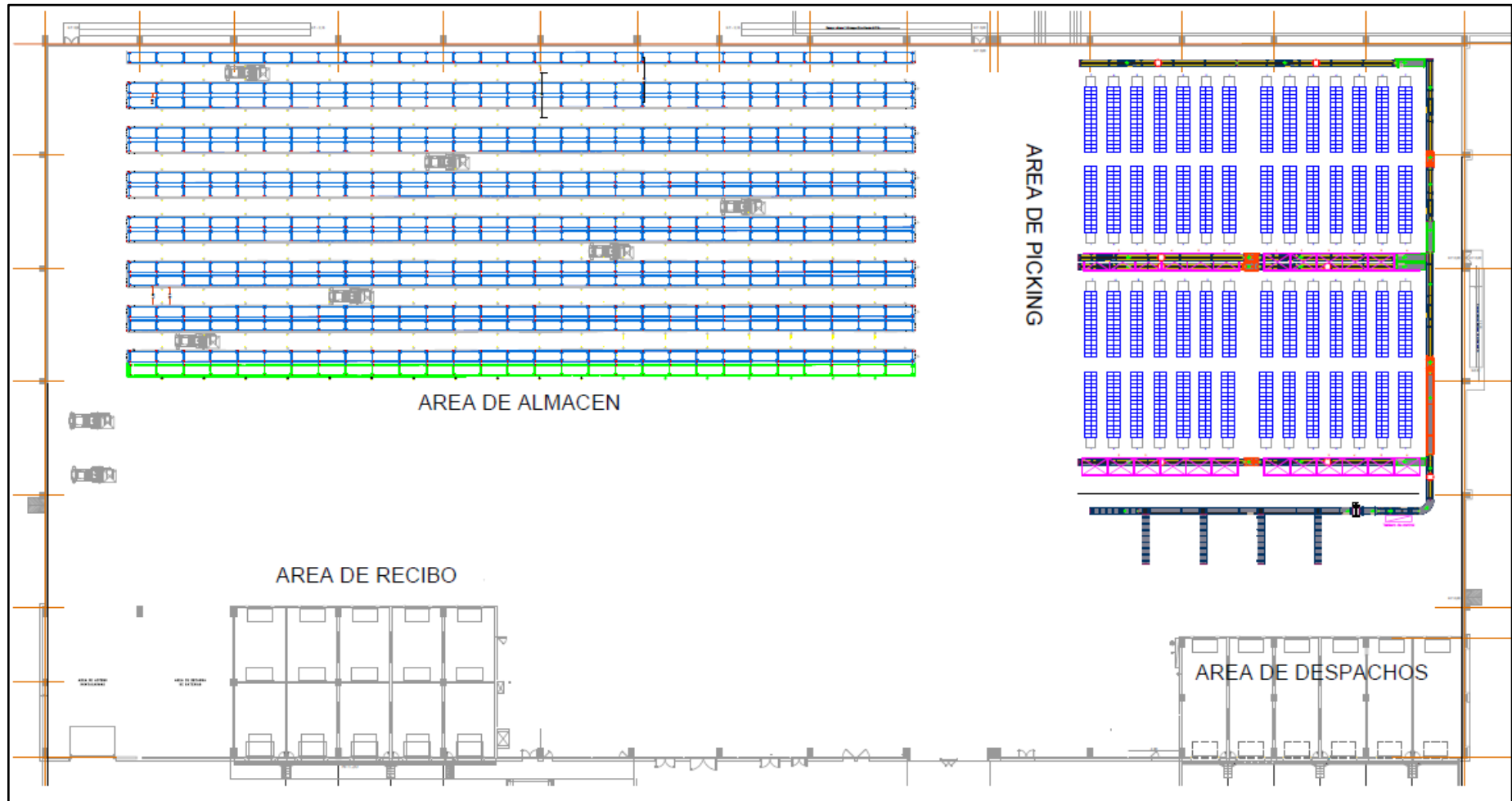
El área de despachos es la interfaz crítica entre la operación logística interna y la cadena de transporte. Su diseño está orientado a la eficiencia del cross-docking y la transferencia segura de mercancía. Los muelles, equipados con rampas niveladoras y refugios, son activos esenciales para garantizar la seguridad operativa y la integridad de la carga. La gestión de este espacio se sustenta en una señalización robusta y, en instalaciones avanzadas, con sistemas de control de acceso vehicular para optimizar el flujo.

La operación en el área de despachos se rige por una secuencia de procesos estándar. La programación de citas es fundamental para la gestión de capacidad y la prevención de cuellos de botella. El proceso incluye la verificación del transportista, la consolidación de carga y la conciliación documental previa al cargue. La estiba y secuenciación de la mercancía en el vehículo se realiza bajo protocolos definidos para optimizar la ruta de entrega. La emisión del conocimiento de embarque formaliza la transferencia de custodia y responsabilidad sobre la carga (Richards, 2011).

La criticidad funcional del área de despachos radica en su impacto directo en los KPIs de nivel de servicio y en los costos logísticos. Sus principales vulnerabilidades son las fallas humanas en la verificación y los factores exógenos, como la indisponibilidad de flota. La mitigación de riesgos se logra mediante la implementación de tecnologías como Sistemas de Gestión de Muelles para la administración de recursos y dispositivos móviles para la validación de datos en tiempo real. La optimización de este nodo es determinante para la rentabilidad y la competitividad de la cadena de suministro.

**Figura 1**

**Layout de un CEDI**



*Nota. Se observan las diferentes áreas de un CEDI logístico, con procesos definidos en cada una de ellas (áreas de recibo, almacén, picking y despachos). Autoría Propia.*

**Matriz FODA**

La matriz FODA es un instrumento viable para realizar análisis organizacional, en relación con los factores que determinan el éxito en el cumplimiento de metas, es una alternativa que motiva a efectuar el análisis para su difusión y divulgación (Ponce Talancón, 2007)

La matriz FODA es un recurso estratégico que permite analizar los factores internos y externos que afectan una situación actual, ya sea de una empresa o un proyecto personal. FODA es el acrónimo de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, es una herramienta mediante la cual se construye una visión completa y crítica del contexto actual de la empresa o en el que se desenvuelve una idea o proyecto empresarial.

A través de la matriz FODA se pueden analizar y diagnosticar puntos fuertes y débiles, así como, las tendencias del mercado con el fin de establecer y enfocar las ventajas competitivas con las que se cuenta o las que se pueden alcanzar al identificar las oportunidades en el análisis del entorno.

La tabla a continuación muestra una Matriz FODA aplicada a los CEDI donde se revisa una visión crítica del contexto actual del mantenimiento.

Tabla 1

## Matriz FODA

| FORTALEZAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | DEBILIDADES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Existencia de infraestructura tecnológica básica (WMS, ERP, sensores IoT iniciales) que permite registrar información operativa.</li> <li>Experiencia acumulada del personal técnico en operación y reparación de equipos críticos como montacargas, bandas transportadoras, sorters y sistemas de picking.</li> <li>Compromiso organizacional con la continuidad operativa y el cumplimiento de tiempos de entrega.</li> <li>Presencia de proveedores locales de mantenimiento y soporte técnico con disponibilidad inmediata.</li> <li>Experiencia en la atención de incidentes críticos y rápida reacción ante fallas.</li> <li>Compromiso creciente con prácticas de seguridad industrial y mantenimiento responsable</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alta dependencia del mantenimiento correctivo; escasa planificación preventiva o predictiva.</li> <li>Falta de integración entre plataformas logísticas (ERP, WMS, EAM) que limite la trazabilidad de fallas y costos.</li> <li>Ausencia de un sistema formal de gestión de activos alineado con ISO 55000 o con modelos de confiabilidad.</li> <li>Deficiencias en la gestión de repuestos críticos y en la planificación de inventarios técnicos.</li> <li>Limitada capacitación en metodologías modernas como RCM, FMEA o RBD.</li> <li>Falta de indicadores estándar de desempeño (MTBF, MTTR, disponibilidad).</li> </ul>                                                            |
| OPORTUNIDADES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | AMENAZAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Transición hacia Industria 5.0: integración humana-máquina, automatización colaborativa y mantenimiento inteligente.</li> <li>Acceso a herramientas de analítica predictiva, IA y gemelos digitales aplicadas al mantenimiento.</li> <li>Programas gubernamentales y gremiales de modernización Posibilidad de alianzas con universidades, centros de investigación y empresas tecnológicas.</li> <li>Interés creciente en la sostenibilidad energética y en modelos de mantenimiento ecoeficiente.</li> <li>Potencial integración de mantenimiento con sistemas de gestión de calidad, seguridad y medio ambiente.</li> </ul>                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de la demanda logística y presión por cumplimiento de tiempos que reduce espacio para mantenimiento planificado.</li> <li>Escasez de talento técnico especializado en automatización, sensórica e instrumentación.</li> <li>Aumento de costos de repuestos e insumos tecnológicos importados.</li> <li>Dependencia de proveedores externos para sistemas críticos o software de mantenimiento.</li> <li>Poder de negociación de clientes por la venta de energía en bolsa.</li> <li>Obsolescencia rápida de infraestructura tecnológica instalada.</li> <li>Vulnerabilidad ante interrupciones en la cadena global (pandemias, conflictos, escasez de suministros).</li> </ul> |

*Nota. La tabla muestra la definición de la matriz DOFA del área de mantenimiento de un CEDI con sus fortalezas, debilidades, oportunidades. Autoría Propia.*

**Estrategias derivadas del DOFA**

FO (Usar Fortalezas para aprovechar Oportunidades):

Integrar la experiencia técnica interna con herramientas digitales (IoT, analítica) para desarrollar mantenimiento predictivo propio.

Usar la infraestructura ERP/WMS existente como base para un sistema de mantenimiento asistido por software.

Potenciar alianzas con universidades para programas piloto de mantenimiento inteligente.

Aprovechar incentivos de modernización industrial para migrar hacia un modelo ISO 55000.

DO (Reducir Debilidades aprovechar Oportunidades):

Implementar un plan de transformación gradual hacia mantenimiento basado en confiabilidad (RCM).

Capacitar al personal en herramientas digitales y estándares internacionales.

Crear tableros de control de mantenimiento con KPIs integrados (MTBF, MTTR, Disponibilidad).

Promover la integración de sistemas ERP–EAM para mejorar la trazabilidad de la gestión.

FA (Usar Fortalezas para minimizar Amenazas):

Aprovechar la red local de proveedores y experiencia técnica para reducir dependencia de importaciones.

Desarrollar planes de contingencia y redundancia técnica ante fallas críticas.

Implementar protocolos de gestión de riesgos operativos y de mantenimiento.

Mantener inventarios técnicos mínimos estratégicos.

DA (Minimizar Debilidades y evitar Amenazas):

Redefinir el modelo de mantenimiento y migrar del correctivo a un enfoque estratégico y basado en datos.

Desarrollar políticas de capacitación continua para disminuir brechas de conocimiento técnico y planificar la renovación tecnológica de manera escalonada.

Adoptar metodologías de mejora continua.

**Tabla 2**

**Matriz CAME (Corregir – Afrontar – Mantener – Explotar)**

| CAME                           |       | Acción Estratégica                                                  | Objetivo                                                          |
|--------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Corregir (C)<br>Debilidades)   | (para | - Estandarizar planes de mantenimiento preventivo.                  | Elevar la madurez del mantenimiento y reducir fallas imprevistas. |
|                                |       | - Implementar gestión de activos según ISO 55000.                   |                                                                   |
| Afrontar (A)<br>Amenazas)      | (para | - Formar al personal en análisis de confiabilidad (RCM, RCA).       | Mitigar el impacto de factores externos o de entorno.             |
|                                |       | - Diversificar proveedores de repuestos.                            |                                                                   |
| Mantener (M)<br>Fortalezas)    | (para | - Implementar gestión de riesgos operativos.                        | Sostener ventajas competitivas existentes.                        |
|                                |       | - Crear planes de continuidad ante fallas críticas.                 |                                                                   |
| Explotar (E)<br>Oportunidades) | (para | - Fortalecer la cultura de mantenimiento y respuesta ágil.          | Capitalizar las oportunidades de innovación y digitalización.     |
|                                |       | - Consolidar alianzas con proveedores locales.                      |                                                                   |
|                                |       | - Continuar con la promoción de la seguridad industrial.            |                                                                   |
|                                |       | - Incorporar tecnologías 4.0 y 5.0 en el mantenimiento.             |                                                                   |
|                                |       | - Vincular universidades y startups tecnológicas.                   |                                                                   |
|                                |       | - Integrar mantenimiento con sistemas de gestión global (ERP, EAM). |                                                                   |

*Nota. La matriz CAME permite establecer acciones estratégicas para cada uno de los elementos de la matriz DOFA, lo que mejora la toma de decisiones. Autoría Propia.*

## **Desarrollo de los Objetivos**

### **Objetivo UNO - Taxonomía**

Describir una taxonomía estándar de equipos, basada en la Norma ISO 14224 y consulta de la casa OREDA, antes de diciembre de 2025, para lograr la clasificación y estandarización del 95% de los activos del CEDI y así facilitar la gestión de activos y optimizar el mantenimiento.

### ***Jerarquía de Activos***

Establecer una jerarquía de activos para respaldar este tipo de actividades requiere previsión y planificación, pero sigue ciertas pautas, cualquier organización puede estar preparada para el éxito. La mejor guía disponible es la ISO 14224:2016, Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural(Kovacevic & Mmp, 2019).

El estándar de activos identifica cómo se categorizarán y describirán todos los activos, y los datos específicos requeridos para cada clase de activo. Esto es vital, ya que no todos los activos justifican la recopilación de datos específicos, lo que reduce la carga de la configuración de la jerarquía.

La taxonomía de equipos difiere de la jerarquía de ubicación funcional, que es otra agrupación jerárquica importante de los activos industriales. La jerarquía de ubicación funcional describe la relación física y la jerarquía de los activos, como desde el sitio hasta la unidad y el área, y también desempeña un papel distintivo e importante(Saetia et al., 2019).

Es fundamental que el modelo de datos no sea demasiado complejo, sino que permita ejecutar análisis a un nivel que proporcione un soporte práctico y útil para la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del activo. El enfoque se centra en los elementos mantenibles (tipos de componentes) (Jenssen, 2022).

La implementación de una jerarquía de equipos es fundamental en la gestión de activos, ya que establece una estructura lógica y organizada que refleja la relación física y funcional entre los distintos componentes de una planta o instalación. Esta estructura, a menudo visualizada en un árbol jerárquico, permite ubicar cualquier activo de forma inmediata dentro de un sistema.

Esta claridad no solo facilita la navegación y la búsqueda de información en el sistema de gestión (GMAO/CMMS), sino que es la base para un mantenimiento eficiente, ya que las órdenes de trabajo, el historial y los costos se pueden asociar de manera precisa a cada nivel un análisis de rendimiento desde el componente específico hasta toda la operación.

### ***Equipos Industriales de un CEDI***

La Tabla 3 muestra el listado de los equipos a tener en cuenta en este estudio con características técnicas mínimas y su área de operación en el CEDI:

**Tabla 3**

#### **Listado de Equipos CEDI**

| <b>Equipo</b>                              | <b>Características Técnicas Relevantes</b>                 | <b>Área del Proceso</b> |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Montacargas Trilateral 1                   | Altura Max: 17 m                                           | Almacén                 |
| Montacargas Trilateral 2                   | Capacidad de carga: 1200 kg                                | Almacén                 |
| Montacargas Trilateral 3                   | Velocidad Max. 10 km/h                                     | Almacén                 |
| Montacargas Order Picker 1                 | Altura Max: 12 m                                           | Almacén                 |
| Montacargas Order Picker 2                 | Capacidad de carga: 900 kg                                 | Almacén                 |
| Montacargas Order Picker 3                 | Velocidad Max. 10 km/h                                     | Almacén                 |
| Transpaleta 1                              | Capacidad de carga: 1500 kg                                | Almacén                 |
| Transpaleta 2                              | Velocidad Max. 20 km/h                                     | Almacén                 |
| Estibador eléctrico 1                      |                                                            | Almacén                 |
| Estibador eléctrico 2                      | Capacidad de carga: 1500 kg                                | Almacén                 |
| Estibador eléctrico 3                      | Velocidad Max. 20 km/h                                     | Almacén                 |
| Subestación eléctrica 450 KVA              | 450 KVA                                                    | CEDI General            |
| Planta eléctrica 500 KVA                   | 500 KVA                                                    | CEDI General            |
| UPS (100KVA)                               | 100 KVA                                                    | CEDI General            |
| Sistema bandas Rodillo 1 (Picking 1)       |                                                            | Picking                 |
| Sistema bandas Rodillo 2 (Picking 2)       |                                                            | Picking                 |
| Sistema bandas Rodillo 3 (Picking 3)       | Velocidad Max. 10,8 km/h                                   | Picking                 |
| Sistema bandas Rodillo 4 (Picking 4)       | Capacidad de carga Max. 80 kg/m                            | Picking                 |
| Sistema bandas Rodillo 5 (Banda Principal) |                                                            | Picking                 |
| Impresora etiquetas 1                      |                                                            | Picking                 |
| Impresora etiquetas 2                      |                                                            | Picking                 |
| Sorter clasificador despachos              | Velocidad Max. 1,5 km/h<br>Capacidad de carga Max. 80 kg/m | Despachos               |
| Flejadora automática                       | 1000 ciclos/h                                              | Despachos               |
| SDA (System Dispensing Automatic)          | 1600 ubicaciones<br>8000 ciclos/h                          | Picking automático      |

Banda de rodillos salida SDA

Velocidad Max. 1,5 km/h  
Capacidad de carga Max. 80 kg/m

Picking automático

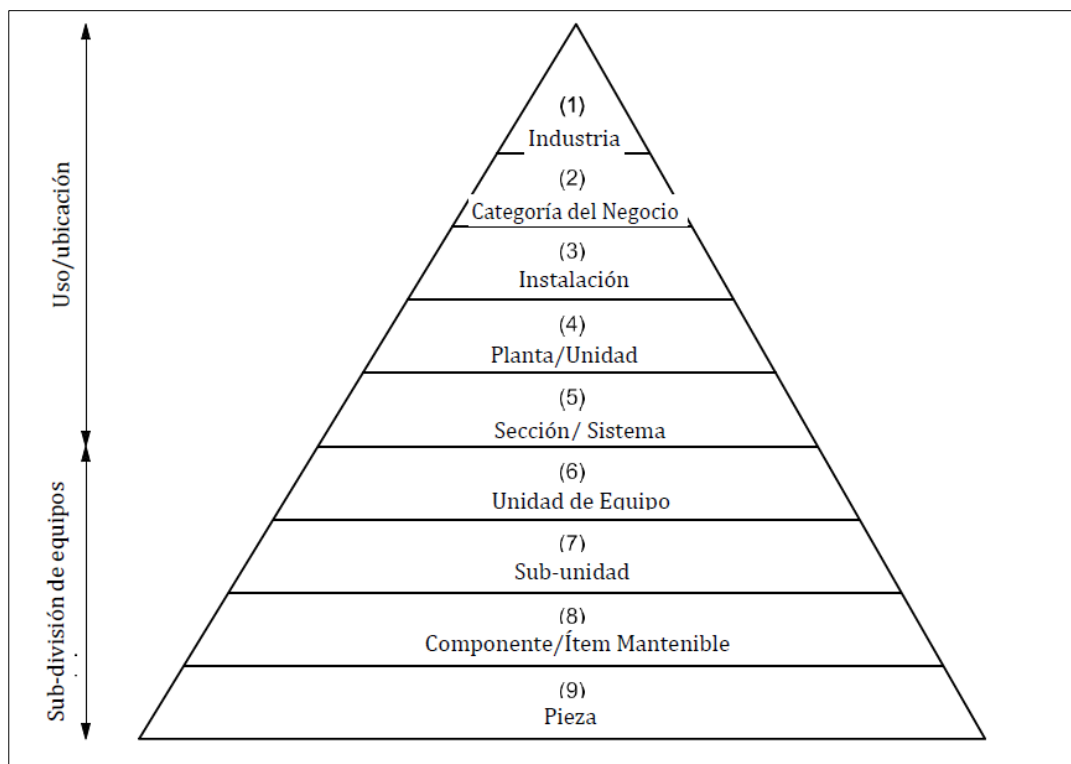
*Nota. Listado de equipos críticos de un CEDI. El enfoque del presente trabajo tiene como base estos equipos. Autoría Propia.*

### **Taxonomía de Equipos**

La taxonomía es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.) (ISO 14224 & The British Standards Institution, 2016).

**Figura 2**

### **Niveles taxonómicos**



*Nota: Se muestran los 9 niveles de la taxonomía con subdivisión de equipos y ubicación o uso. Imagen tomada de la Norma ISO 14224: 2016 pag.30 ((ISO 14224 & The British Standards Institution, 2016).*

De acuerdo con la figura 2, la Tabla 4 muestra la estructura jerárquica de un CEDI de acuerdo al uso y ubicación, así como la subdivisión de equipos:

**Tabla 4****Taxonomía del CEDI**

| Nivel ISO 14224    | Nivel CEDI                          | propuesto | Descripción / Alcance                                                                | Ejemplo – Retail / Farmacéutico                                                |
|--------------------|-------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Nivel 1            | Sector industrial                   |           | Define el sector económico o tipo de operación logística.                            | Sector Retail / Farmacéutico                                                   |
| Nivel 2            | Categoría negocio                   | del       | Tipo de negocio                                                                      | Comercialización-distribución                                                  |
| Nivel 3            | CEDI (Planta)                       |           | Instalación física donde se concentran operaciones logísticas.                       | CD Bogotá – Operador Logístico                                                 |
| Nivel 4            | Área funcional o sistema principal  | o         | Agrupación de activos que cumplen una función dentro del proceso logístico.          | Recepción, almacenamiento, preparación de pedidos, despacho                    |
| Nivel 5            | Subsistema / Línea / Zona operativa |           | Segmento funcional dentro del área; integra varios equipos que trabajan en conjunto. | Línea de clasificación automática, picking manual, almacenamiento              |
| Nivel 6            | Equipo o unidad funcional           |           | Elemento físico principal que cumple una función operativa.                          | Montacargas, transportador de banda, Sorter, flejadora, sistema eléctrico, SDA |
| Nivel 7            | Sub-unidad                          |           | Subsistema necesario para la función del equipo                                      | Eléctrico, hidráulico, control, mecánico                                       |
| Nivel 8 (opcional) | Componente                          |           | Parte o módulo del equipo que puede fallar y reemplazarse.                           | Motor eléctrico, batería, sensor fotoeléctrico, tarjeta de control PLC         |
| Nivel 9 (opcional) | Parte o repuesto                    |           | Elemento individual reemplazable del componente.                                     | Rodamiento, fusible, sensor de temperatura, correa de transmisión              |

*Nota. Taxonomía establecida para un CEDI con su uso, descripción y la subdivisión de equipos. Autoría Propia.*

La implementación de una estructura jerárquica y una taxonomía estándar constituye un pilar fundamental en la gestión moderna de activos. La jerarquía establece el marco relacional y funcional de los componentes dentro de un sistema, permite su localización y contextualización precisa. Paralelamente, la taxonomía provee el lenguaje unificado para clasificar los equipos según sus atributos técnicos y funcionales. La sinergia de ambos conceptos dota de orden, consistencia y trazabilidad a la información y transforma un inventario simple en una base de datos estructurada y accionable (Saetia et al., 2019).

La profundidad de esta clasificación, como la estipulada en normas internacionales, obedece a la necesidad de una normalización rigurosa de los datos. Al categorizar los activos con un alto grado de especificidad, se garantiza que la recolección y el posterior análisis de indicadores de rendimiento y confiabilidad se realicen sobre bases comparables. Esta precisión es un requisito previo para generar métricas válidas, realizar benchmarking fiable y sustentar la toma de decisiones estratégicas orientadas a la optimización del ciclo de vida y la mejora continua de la confiabilidad operacional.

### ***Clasificación de equipos***

La clasificación de los equipos según la *clase de equipo (Nivel 6)* definida en la tabla A.4 de la norma ISO 14224:2016, es fundamental para garantizar una gestión estructurada, estándar y eficiente de la información de mantenimiento y confiabilidad. Esta tabla establece un sistema jerárquico de categorías técnicas que agrupa los equipos según su función y características operativas dentro del proceso industrial.

Al aplicar esta clasificación, se mejora significativamente la calidad y consistencia de los datos recolectados, lo cual es esencial para análisis comparativos, benchmarking de desempeño, evaluación de riesgo y optimización de estrategias de mantenimiento.

Además, al contar con una taxonomía común, se facilita la integración de datos en sistemas computarizados (CMMS/EAM), se agiliza la toma de decisiones técnicas y se potencia la trazabilidad de los activos a lo largo de su ciclo de vida (Mobley, 2002).

En contextos como la industria del petróleo, la energía o la manufactura, donde la confiabilidad, la mantenibilidad y disponibilidad de los equipos son críticas, esta estructura de clasificación permite alinear la gestión de activos físicos con estándares internacionales.

La Tabla 5 muestra la categoría de los equipos de un CEDI, con la clase de equipo y un código propuesto:

**Tabla 5**

**Categoría de equipos del CEDI**

| Categoría del equipo | Clase de equipo -Nivel 6          | Código de clase de equipo |
|----------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Mecánico             | Montacargas trilateral            | MT                        |
|                      | Montacargas order picker          | MOP                       |
|                      | Transpaleta                       | TP                        |
|                      | Estibador hidráulico              | EH                        |
|                      | Bandas transportadoras            | BT                        |
|                      | Sorter de despachos               | ST                        |
| Eléctrico            | Subestación eléctrica 450 KVA     | SE                        |
|                      | Planta eléctrica 500 KVA          | PE                        |
|                      | UPS (100KVA)                      | UP                        |
| Automático           | Flejadora automática              | FA                        |
|                      | SDA (System Dispensing Automatic) | SDA                       |
| Auxiliares           | Impresoras                        | PR                        |

*Nota. Categorización de equipos de un CEDI con un código de clase de equipo propuesto.*

*Autoría Propia.*

**Datos específicos al equipo**

Con el fin de definir la estructura de una base de datos para los elementos taxonómicos relevantes, la norma ISO 14224:2016 establece en el anexo A las recomendaciones para tener una visión clara de los equipos y tiene en cuenta la clasificación, la definición de límites, la subdivisión en niveles jerárquicos menores y los datos específicos del equipo (Anthony & Hastings, 2015).

A continuación, se listan los equipos que se toman como base de estudio al presente trabajo con las recomendaciones de la ISO 14224 en el anexo A.

La Tabla 6 muestra la subdivisión de equipos montacargas trilateral, con las subunidades del sistema y los ítems mantenibles críticos:

**Tabla 6**

**Subdivisión de equipos montacargas trilateral**

| <b>Equipo</b>            |                           | <b>Montacargas trilateral</b> |                                  |                          |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| <b>Subunidad</b>         | <b>Sistema hidráulico</b> | <b>Sistema motriz</b>         | <b>Sistema de almacenamiento</b> | <b>Sistema eléctrico</b> |
| <b>Ítems mantenibles</b> | Bomba principal           | Motor principal               | Mástil principal                 | Batería Ion litio        |
|                          | Mangueras                 | Motor dirección               | Mástil secundario                | Controlador batería      |
|                          | Electroválvulas           | Transmisión                   | Motor sincrónico giro            | Cargador                 |
|                          | Motor bomba               | Rueda motriz                  | Horquillas                       | Cableado de potencia     |
|                          | Controlador sistema       | Ruedas de carga               | Altímetro                        | Inversor                 |
|                          |                           | Ruedas guía                   | Cadenas                          | Tablero de potencia      |
|                          |                           | Electrofrenos principal       | Poleas                           | Contadores               |
|                          |                           | Controlador sistema           | Mangueras                        |                          |
|                          |                           | Electrofrenos ruedas carga    | Controlador sistema              |                          |

*Nota. Subdivisión de equipos para un montacargas de tipología trilateral de un CEDI.*

*Autoría Propia.*

La Tabla 7 muestra la subdivisión de equipos montacargas order picker, con las subunidades del sistema y los ítems mantenibles críticos; a diferencia de los equipos montacargas trilateral, los order picker son equipos para picking en estantería y no realizan almacenamiento en esta estantería industrial, lo que implica diferencias en su estructura mecánica, eléctrica y de control. Esto hace que la rutina de mantenimiento sea diferente a las de un montacargas trilateral:

Tabla 7

## Subdivisión de equipos montacargas order picker

| Equipo            |                     | Montacargas order picker                         |                           |                      |
|-------------------|---------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Subunidad         | Sistema hidráulico  | Sistema motriz                                   | Sistema de almacenamiento | Sistema eléctrico    |
| Ítems mantenibles | Bomba principal     | Motor principal                                  | Mástil principal          | Batería Ion litio    |
|                   | Mangueras           | Motor dirección                                  | Horquillas                | Controlador batería  |
|                   | Electroválvulas     | Transmisión                                      | Altímetro                 | Cargador             |
|                   | Motor bomba         | Rueda motriz                                     | Cadenas                   | Cableado de potencia |
|                   | Controlador sistema | Ruedas de carga                                  | Poleas                    | Inversor             |
|                   |                     | Ruedas guía                                      | Mangueras                 | Tablero de potencia  |
|                   |                     | Electrofreno principal                           | Controlador sistema       | Contactores          |
|                   |                     | Controlador sistema<br>Electrofreno ruedas carga |                           |                      |

*Nota. Subdivisión de equipos para un montacargas de tipología order picker de un CEDI.*

*Autoría Propia.*

La Tabla 8 muestra la subdivisión de equipos para los transpaletas del CEDI; estos equipos son esenciales en el transporte horizontal de mercancías entre áreas de almacén y picking:

Tabla 8

## Subdivisión de equipos transpaleta

| Equipo            |                     | Transpaleta            |                           |                      |
|-------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| Subunidad         | Sistema hidráulico  | Sistema motriz         | Sistema de almacenamiento | Sistema eléctrico    |
| Ítems mantenibles | Bomba principal     | Motor principal        | Horquillas                | Batería Ion litio    |
|                   | Mangueras           | Transmisión            | Cadenas                   | Controlador batería  |
|                   | Electroválvulas     | Rueda motriz           | Poleas                    | Cargador             |
|                   | Motor bomba         | Ruedas de carga        | Mangueras                 | Cableado de potencia |
|                   | Controlador sistema | Electrofreno principal | Controlador sistema       | Inversor             |
|                   |                     | Controlador sistema    |                           | Tablero de potencia  |
|                   |                     |                        |                           | Contactores          |

*Nota. Subdivisión de equipos para un equipo tipo transpaleta de un CEDI. Autoría Propia.*

Los estibadores eléctricos apoyan el desplazamiento de mercancías en sentido horizontal en el CEDI, su sistema motriz eléctrico evita sobrecargas físicas a los operarios y mejora los indicadores de salud ocupacional; la Tabla 9 muestra la subdivisión de equipos para estos estibadores:

**Tabla 9****Subdivisión de equipos estibador hidráulico**

| <b>Equipo</b>            |                           | <b>Estibador hidráulico eléctrico</b> |                                  |                          |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| <b>Subunidad</b>         | <b>Sistema hidráulico</b> | <b>Sistema motriz</b>                 | <b>Sistema de almacenamiento</b> | <b>Sistema eléctrico</b> |
| <b>Ítems mantenibles</b> | Gato hidráulico           | Motor principal                       | Horquillas                       | Batería Ion litio        |
|                          | Mangueras                 | Transmisión                           |                                  | Controlador batería      |
|                          | Electroválvulas           | Rueda motriz                          |                                  | Cargador                 |
|                          |                           | Ruedas de carga                       |                                  | Cableado de potencia     |
|                          |                           | Electrofreno principal                |                                  | Inversor                 |
|                          |                           | Controlador sistema                   |                                  | Tablero de potencia      |
|                          |                           |                                       |                                  | Contactores              |

*Nota. Subdivisión de equipos para un estibador eléctrico de un CEDI. Autoría Propia*

Las bandas transportadoras son un sistema fundamental en la operación del CEDI ya que desplaza la mercancía por los diversos procesos de picking, lo cual requiere una alta disponibilidad de los sistemas, la Tabla 10 muestra la subdivisión de equipos de las bandas transportadoras:

**Tabla 10****Subdivisión de equipos bandas transportadoras**

| <b>Equipo</b>            |                        | <b>Bandas transportadoras</b> |  |
|--------------------------|------------------------|-------------------------------|--|
| <b>Subunidad</b>         | <b>Sistema control</b> | <b>Sistema motriz</b>         |  |
| <b>Ítems mantenibles</b> | PLC                    | Motor principal               |  |
|                          | Variadores             | Transmisión                   |  |
|                          | Contactores            | Rodillos                      |  |
|                          | Módulos electrónicos   | Correa principal              |  |
|                          | Sensores               | Banda <b>O-ring</b>           |  |
|                          |                        | Estructura                    |  |

*Nota. Subdivisión de equipos para un sistema de bandas transportadoras de un CEDI.*

*Autoría Propia*

La función principal de un **sorter** de despachos es la clasificación de los pedidos de acuerdo a su ruta de distribución en el área de despachos, lo que hace que este proceso sea más eficiente; la tabla 11 muestra la subdivisión de equipos para un sorter de despachos de un CEDI:

**Tabla 11**

**Subdivisión de equipos sorter de despachos**

| Equipo            |                      | Sorter de despachos               |                          |
|-------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Subunidad         | Sistema control      | Sistema motriz                    | Sistema de clasificación |
| Ítems mantenibles | PLC                  | Motor principal                   | Motor desviador          |
|                   | Variadores           | Transmisión                       | Correas V                |
|                   | Contactores          | Rodillos                          | Rodillos                 |
|                   | Módulos electrónicos | Correa principal                  | Poleas                   |
|                   | Sensores             | Banda <b>O-ring</b><br>Estructura |                          |

*Nota. Subdivisión de equipos para un sistema de **sorter** de despachos de un CEDI.*

*Autoría Propia*

La energía eléctrica es el principal recurso para la operación del CEDI, esto implica que se requiera una subestación eléctrica con capacidad de suministro eléctrico continuo y confiable; la Tabla 12 muestra la subdivisión de equipos para la subestación eléctrica:

**Tabla 12**

**Subdivisión de equipos subestación eléctrica**

| Equipo            |                      | Subestación eléctrica |                    |                                                          |
|-------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------------------------------------|
| Subunidad         | Unidad Transformador | Celda media tensión   | Celda tensión baja | Varios                                                   |
| Ítems mantenibles | Transformador MT/BT  | Seccionador           | Barraje            | Transferencia automática                                 |
|                   | Celda                | Fusibles              | Breaker principal  | Puesta a tierra                                          |
|                   | DPS                  | Celda                 | Breaker secundario | Cajas de conexión                                        |
|                   | Cableado             | Accionadores          | Cableado           | Celda                                                    |
|                   |                      |                       |                    | tablero de control<br>Tablero de potencia<br>Contactores |

*Nota. Subdivisión de equipos para una subestación eléctrica de un CEDI. Autoría Propia.*

Para garantizar continuidad en los procesos del CEDI se requiere garantizar la continuidad del suministro eléctrico, es importante contar con el respaldo de una planta eléctrica que respalde al 100% la capacidad de la subestación eléctrica en caso de fallo del suministro eléctrico. La Tabla 13 muestra la subdivisión de equipos para la planta eléctrica del CEDI:

**Tabla 13****Subdivisión de equipos planta eléctrica**

| Equipo            |                       | Planta eléctrica         |                    |                       |
|-------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|
| Subunidad         | Motor principal       | Generador                | Controlador        | Varios                |
| Ítems mantenibles | Sistema combustible   | Estator                  | Barraje            | Batería               |
|                   | Motor                 | Rotor                    | Breaker principal  | Tanque combustible de |
|                   | Sistema arranque      | de Controlador velocidad | Breaker secundario |                       |
|                   | Sistema refrigeración |                          | Cableado           |                       |
|                   | Sistema ventilación   |                          | Módulos            |                       |
|                   | Exhosto               |                          | Panel IHM          |                       |

*Nota. Subdivisión de equipos para una planta eléctrica de un CEDI. Autoría Propia.*

Los sistemas automáticos de preparación de pedidos, las bandas transportadoras y los equipos de tecnologías de la información de un CEDI requieren suministro de energía ininterrumpido, para el caso de un corte de energía se requiere el respaldo de una UPS, que soporte el suministro de energía mientras la transferencia eléctrica hace el cambio de Red Normal a Planta eléctrica y viceversa; la Tabla 14 muestra la subdivisión de equipos para la UPS del CEDI:

Tabla 14

## Subdivisión de equipos UPS

| Equipo            |                      | UPS                        |                        |                    |
|-------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|
| Subunidad         | Unidad Baterías      | Rectificador               | Inversor               | Varios             |
| Ítems mantenibles | Disyuntor de batería | Cableado                   | Interruptor            | Bypass             |
|                   | Banco de batería     | Rectificador               | Cableado               | Interruptor Bypass |
|                   | Cableado             | Fusibles                   | Fusibles               | Cabina             |
|                   | Breaker              | Interruptor                | Transformador inversor | de Ventiladores    |
|                   | Conectores           | Transformador rectificador | de Inversor            | Unidad de control  |
|                   |                      |                            | Cableado               | Sensores           |
|                   |                      |                            |                        | Panel IHM          |

*Nota. Subdivisión de equipos para un sistema de UPS de un CEDI. Autoría Propia.*

El CEDI debe garantizar el sellado de las unidades de empaque de los pedidos para el cliente final; las flejadoras automáticas deben tener una lata confiabilidad para garantizar este proceso; la Tabla 15 muestra la subdivisión de equipos para estos sistemas de flejado automático:

Tabla 15

## Subdivisión de equipos flejadora automática

| Equipo            |                      | Flejadora automática |                |             |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------|-------------|
| Subunidad         | Sistema alimentación | Sellado              | Transporte     | Varios      |
| Ítems mantenibles | Motor                | Resistencia          | Bandas de lona | Controlador |
|                   | Bobina fleje         | Motor de tensión     | Motor          | UPS         |
|                   | Motor secundario     | Unidad de sellado    | Sensores       | Arco        |
|                   | Sensores             | Sensores             | Rodillos       | Estructura  |
|                   |                      | Unidad de tensión    |                | Sensores    |
|                   |                      |                      |                | Cableado    |
|                   |                      |                      |                | Panel IHM   |

*Nota. Subdivisión de equipos para un sistema de flejadora automática de un CEDI.*

*Autoría Propia.*

De acuerdo al nivel 4 de la taxonomía de equipos del CEDI y la tipología del negocio, se pueden requerir sistemas que dispensen de forma automática unidades de los pedidos de cortas dimensiones como medicamentos, repuestos para vehículos menores, alimentos en unidades de empaque pequeñas, joyería y otros. La Tabla 16 muestra la subdivisión de equipos para un Sistema de Dispensación Automático:

**Tabla 16****Subdivisión de equipos SDA**

| Equipo            |                  | SDA (System Dispensing Automatic) |                     |
|-------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Subunidad         | Sistema eyección | Transporte                        | Varios              |
| Ítems mantenibles | Eyectores        | Bandas de lona                    | Controlador PLC     |
|                   | Fuentes 24V      | Motor principal                   | Tablero de potencia |
|                   | Controlador      | Encoder                           | Tablero de control  |
|                   |                  | Sistema transmisión               | Estructura          |
|                   |                  |                                   | Sensores            |
|                   |                  |                                   | Cableado            |
|                   |                  |                                   | Panel IHM           |

*Nota. Subdivisión de equipos para un sistema de dispensación automático de un CEDI.*

*Autoría Propia*

Los sistemas de impresión de etiquetas de las unidades de empaque de los pedidos, generan toda la información que se requiere para el despacho y seguimiento; la Tabla 17 muestra la subdivisión de equipos de las impresoras de etiquetas de un CEDI:

**Tabla 17****Subdivisión de equipos impresoras**

| Equipo            |                       | Impresoras          |                         |
|-------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|
| Subunidad         | Aplicador             | Controlador         | Varios                  |
| Ítems mantenibles | Tamp aplicador        | Panel HMI           | Estructura              |
|                   | Rodillos              | Escáner             | Sistema de alimentación |
|                   | Sistema transferencia | Tablero de control  | Cableado                |
|                   | Cabezal de impresión  | Módulos de interfaz | Tablero de potencia     |
|                   | Panel HMI             |                     | Controlador             |

*Nota. Subdivisión de equipos para un sistema de impresoras de un CEDI. Autoría Propia.*

**Conclusión del desarrollo del objetivo UNO**

El desarrollo del Objetivo 1, facilita la comprensión integral de la taxonomía y la jerarquía de activos aplicada a los equipos industriales de un CEDI, con los lineamientos de la ISO 14224:2016. Esta norma establece un marco sistemático para la recolección y organización de datos de confiabilidad y mantenimiento, lo que facilita la clasificación y el modelamiento funcional de los equipos según su criticidad y función operativa. La identificación precisa de familias, clases y subclases de activos es el punto de partida para garantizar consistencia en el análisis de fallas, el registro histórico y la toma de decisiones basadas en datos (ISO 14224 & The British Standards Institution, 2016).

Asimismo, la clasificación de equipos basada en criterios operacionales y funcionales alinea las características específicas de los activos con los requerimientos operativos del CEDI. Equipos críticos como montacargas, bandas transportadoras, sistemas eléctricos de respaldo y equipos de elevación requieren una categorización que contemple variables como modo de operación, efectos de falla, niveles de redundancia y consecuencias sobre la disponibilidad. La correcta clasificación funcional es esencial para priorizar intervenciones de mantenimiento y asegurar la continuidad operativa en entornos de alta demanda como los centros logísticos (Moubray, 1997).

Finalmente, el análisis de datos específicos del equipo, tales como modos de falla, condiciones de operación, parámetros del fabricante y comportamientos históricos, permitió consolidar una base de información coherente con el Anexo A de la ISO 14224, el cual detalla los requisitos para estructurar perfiles de datos para distintos tipos de equipos. Esta estandarización fortalece la confiabilidad de los activos y facilita la implementación de metodologías avanzadas como RCM y análisis predictivos, elementos clave para mejorar el desempeño de los equipos críticos. En conjunto, este objetivo permitió establecer una línea base técnica sólida para la gestión integral de activos en el CEDI, asegura trazabilidad, comparabilidad y soporte técnico robusto para la toma de decisiones estratégicas.

**Objetivo DOS - RBD**

Definir en un plazo de seis meses, el modelo de confiabilidad mediante diagramas RBD para todos los equipos del CEDI, para la representación del 100 % de los procesos en serie y lineales, con el fin de evaluar la confiabilidad y mantenibilidad del sistema, con el uso de datos históricos de mantenimiento de los últimos dos años.

La construcción de un **Reliability Block Diagram (RBD)** es una metodología clave dentro del análisis de confiabilidad, que permite representar las relaciones funcionales entre los componentes de un sistema y estimar la probabilidad de su desempeño sin fallas.

El proceso inicia con la definición del sistema, la delimitación de sus funciones principales y la identificación de los componentes críticos, mediante aplicación de la taxonomía expuesta en la ISO 14224:2016.

Posteriormente, los elementos del sistema se estructuran en configuraciones de serie, paralelo o mixtas, de acuerdo con su papel en el cumplimiento de la función global. El orden lógico y la correcta representación de los bloques permiten modelar la redundancia y determinar los puntos únicos de falla.

El análisis CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad) es una herramienta integral para cuantificar el comportamiento de los componentes críticos de un sistema, lo cual se alinea directamente con la metodología de los **Reliability Block Diagrams**.

Mediante RBD se puede representar la lógica funcional de serie, paralelo o redundancia de los componentes, asignándoles los parámetros de confiabilidad (funciones  $R(t)$ ), mantenibilidad (tiempos de reparación) y disponibilidad esperada (Mora, 2009).

Este enfoque simula diferentes estrategias de mantenimiento (planeadas, correctivas, preventivas, predictivas) y observa cómo estas acciones afectan la confiabilidad global del sistema y estima la disponibilidad bajo diferentes escenarios de fallas y reparaciones a corto plazo (Mora, 2019).

Cada bloque se asocia con parámetros de confiabilidad, como tasas de falla o funciones  $R(t)$ , y la confiabilidad total se calcula mediante combinaciones matemáticas o modelos probabilísticos. En sistemas complejos, es común recurrir a simulaciones o métodos de Monte Carlo para estimar el comportamiento global del sistema bajo incertidumbre (Elderhalli et al., 2019).

Finalmente, la validación del modelo resulta esencial para garantizar su consistencia y aplicabilidad. La verificación debe incluir la comparación con datos históricos y la revisión de las hipótesis sobre independencia de fallas. La documentación detallada de los supuestos, valores y límites del modelo es un requisito indispensable para mantener su utilidad en el tiempo y apoyar decisiones sobre mantenimiento y diseño de ingeniería confiable (AltaRica 3.0, 2017).

Posteriormente, se recopilan los datos de confiabilidad de cada componente (tasas de fallo, MTBF, MTTR, disponibilidad), los cuales se integran en el modelo matemático del RBD. Finalmente, se aplican métodos de análisis como el de rutas mínimas o cortes mínimos para calcular métricas de confiabilidad del sistema, como la probabilidad de éxito en una misión o su disponibilidad operacional. La validación del modelo con datos operacionales reales es crucial para garantizar su precisión predictiva (Rausand & Hoyland, 2004).

### ***Enfoque sistémico CMD***

El enfoque sistémico CMD, aplicado al mantenimiento industrial busca integrar los conceptos de Confiabilidad (C), Mantenibilidad (M) y Disponibilidad (D) conocido como el modelo CMD; dentro de una estructura de gestión que considere las interrelaciones entre personas, procesos, equipos y entorno. Este enfoque permite comprender al mantenimiento como un sistema dinámico que evoluciona y se optimiza en función del desempeño global de los activos.

El modelo CMD constituye la base técnica de la gestión moderna del mantenimiento. La confiabilidad representa la capacidad de los activos para cumplir sus funciones sin fallar en un periodo determinado; la mantenibilidad expresa la facilidad y rapidez con que los sistemas

pueden restaurarse tras una falla; y la disponibilidad sintetiza ambas variables y reflejan el porcentaje de tiempo operativo de los equipos.

Desde una perspectiva sistémica, estas variables se relacionan entre sí y con el entorno operativo y generan un marco integral para la planeación, ejecución y control del mantenimiento.

Dentro de la estructura del modelo CMD, las variables cuantitativas más utilizadas para evaluar y proyectar el desempeño de los equipos son las siguientes (Mora, 2019a).

- MTBMC (Mean Time Between Maintenance Corrective): tiempo promedio entre mantenimientos correctivos, asociado a la confiabilidad.
- MTTR (Mean Time To Repair): tiempo medio de reparación, indicador de mantenibilidad.
- MTBMP (Mean Time Between Maintenance Preventive): intervalo promedio entre mantenimientos preventivos, útil para la programación táctica.
- MP (Mantenimiento Preventivo): conjunto de acciones planificadas para prevenir la ocurrencia de fallas y mantener la operatividad.

El análisis estadístico constituye un elemento esencial dentro del enfoque CMD; las distribuciones probabilísticas (Weibull, Log-normal o Gamma), permiten modelar el comportamiento de fallas y reparaciones, determina con mayor precisión la confiabilidad y la vida útil esperada de los activos.

Asimismo, las series temporales y los modelos de pronóstico, tales como ARIMA, Holt-Winters o métodos de suavizamiento exponencial, proporcionan una herramienta avanzada para proyectar el comportamiento futuro de las variables CMD. Estos métodos facilitan la toma de decisiones preventivas basadas en tendencias históricas y proyecciones estadísticas.

La integración de análisis probabilísticos y modelos de pronóstico dentro del marco CMD permite una gestión predictiva del mantenimiento. El mantenimiento deja de ser una actividad reactiva para convertirse en un proceso estratégico que se apoya en la anticipación de fallas, la optimización de recursos y la mejora continua.

El enfoque sistémico propicia la interacción entre niveles estratégicos, tácticos y operativos y genera un ciclo de retroalimentación que fortalece la disponibilidad y la eficiencia operativa de los sistemas técnicos (Mora, 2009).

El enfoque sistémico CMD se consolida como una herramienta de gestión integral que combina el análisis estadístico, la modelación temporal y la gestión estratégica de activos. Su aplicación permite elevar los niveles de confiabilidad, reducir los tiempos de reparación y mejorar la disponibilidad operativa, garantiza así un mantenimiento sostenible, predictivo y alineado con los objetivos organizacionales.

Para el presente trabajo se sigue el modelo universal e integral que propone (Mora, 2019a) donde, parte de la premisa de que los valores pueden ser pronosticados al inicio, en cuanto a los tiempos de falla, tiempos útiles, períodos de mantenimientos planeados, tasas de fallas o de reparaciones, etcétera o al final del proceso mediante el pronóstico de los parámetros CMD asociados calculados como el  $\beta$ eta, Eta, gamma, MTTF, MTBF, MTTR, entre otros (Mora, 2019a).

Son diversas las herramientas informáticas que se usan para obtener los parámetros a partir de datos de fallas de los equipos, sin embargo no todas las herramientas cumplen los paradigmas de CMD, índices de Kolmogorov, Smirnov, etcétera., de igual forma los mapas elaborados no cumplen con los diferentes tipos de disponibilidad (genérica, inherente, alcanzada, operacional y operacional generalizada).

Para los cálculos del presente trabajo se usa el programa CMD++<sup>5</sup>, el cual es un programa dinámico, maneja predicciones y series temporales y genera los mapas Non planning y mapa planning.

---

<sup>5</sup> Software desarrollado por el Dr. Luis Alberto Mora Gutiérrez

Los datos mostrados en la Tabla 18 son los eventos de los equipos montacargas trilaterales de 3 años; los últimos 6 datos de la tabla se usan para generar pronósticos con Power BI y los 33 datos iniciales son datos reales.

**Tabla 18****Eventos de 3 años para equipo montacargas trilateral**

| Dato<br>Número | No Planeados                                    |                                                | Planeados                                       |                                               |
|----------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                | Tiempos de<br>Confiabilidad<br>Tomados $MTBM_c$ | Tiempos de<br>Mantenibilidad<br>Tomados $MTTR$ | Tiempos de<br>Confiabilidad<br>Tomados $MTBM_P$ | Tiempos de<br>Mantenibilidad<br>Tomados $M_P$ |
| 1              | 56,00                                           | 48,00                                          | 2238,00                                         | 16,00                                         |
| 2              | 1308,00                                         | 72,00                                          | 2238,00                                         | 16,00                                         |
| 3              | 1308,00                                         | 72,00                                          | 2238,00                                         | 16,00                                         |
| 4              | 661,00                                          | 40,00                                          | 2528,00                                         | 8,00                                          |
| 5              | 181,50                                          | 12,50                                          | 2528,00                                         | 8,00                                          |
| 6              | 181,50                                          | 12,50                                          | 2528,00                                         | 8,00                                          |
| 7              | 181,50                                          | 12,50                                          | 2368,00                                         | 8,00                                          |
| 8              | 2446,00                                         | 36,83                                          | 2368,00                                         | 8,00                                          |
| 9              | 2446,00                                         | 36,83                                          | 2368,00                                         | 8,00                                          |
| 10             | 2446,00                                         | 36,83                                          | 2992,00                                         | 16,00                                         |
| 11             | 1762,33                                         | 109,33                                         | 2992,00                                         | 16,00                                         |
| 12             | 1762,33                                         | 109,33                                         | 2992,00                                         | 16,00                                         |
| 13             | 1762,33                                         | 109,33                                         | 2992,00                                         | 16,00                                         |
| 14             | 1762,33                                         | 109,33                                         | 3872,00                                         | 16,00                                         |

---

|    |         |        |         |       |
|----|---------|--------|---------|-------|
| 15 | 1762,33 | 109,33 | 3872,00 | 8,00  |
| 16 | 3522,00 | 49,00  | 3872,00 | 8,00  |
| 17 | 3522,00 | 49,00  | 3872,00 | 8,00  |
| 18 | 49,00   | 24,50  | 3872,00 | 8,00  |
| 19 | 49,00   | 24,50  | 3872,00 | 8,00  |
| 20 | 1355,00 | 16,00  | 3808,00 | 8,00  |
| 21 | 1355,00 | 16,00  | 3808,00 | 8,00  |
| 22 | 796,25  | 2,00   | 3808,00 | 8,00  |
| 23 | 424,25  | 72,50  | 3080,00 | 8,00  |
| 24 | 424,25  | 72,50  | 3080,00 | 8,00  |
| 25 | 1171,00 | 24,00  | 1672,00 | 16,00 |
| 26 | 157,88  | 49,13  | 1672,00 | 16,00 |
| 27 | 685,00  | 132,50 | 1640,00 | 8,00  |
| 28 | 765,00  | 72,00  | 1640,00 | 8,00  |
| 29 | 347,50  | 48,00  | 1640,00 | 8,00  |
| 30 | 347,50  | 48,00  | 2032,00 | 8,00  |
| 31 | 1837,00 | 100,50 | 2032,00 | 8,00  |
| 32 | 424,50  | 96,00  | 1120,00 | 8,00  |
| 33 | 661,25  | 95,00  | 1120,00 | 8,00  |
| 34 | 661,25  | 95,00  | 1120,00 | 8,00  |
| 35 | 661,25  | 95,00  | 1120,00 | 8,00  |

---

|    |         |        |         |       |
|----|---------|--------|---------|-------|
| 36 | 489,76  | 126,51 | 873,47  | 13,47 |
| 37 | 873,88  | 121,66 | 403,92  | 14,24 |
| 38 | 418,92  | 130,68 | 1179,21 | 14,21 |
| 39 | 845,70  | 136,14 | 1454,95 | 6,75  |
| 40 | 1483,72 | 66,86  | 1658,01 | 6,35  |
| 41 | 301,38  | 57,36  | 1758,24 | 6,62  |

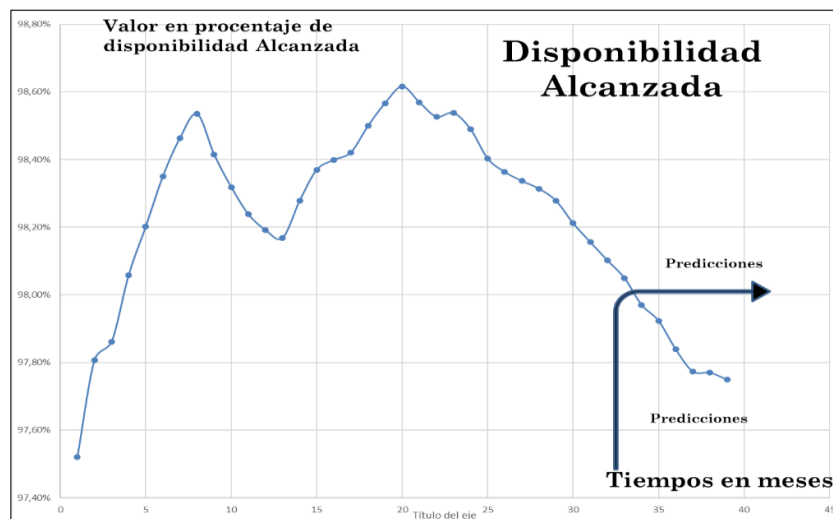
*Nota. La tabla contiene los eventos planeados y no planeados de un equipo montacargas trilateral de un CEDI. Autoría Propia.*

### Resultados Obtenidos

A continuación se muestran las figuras obtenidas luego de ejecutar el software CMD++ con eventos planeados y no planeados de un montacargas trilateral:

**Figura 3**

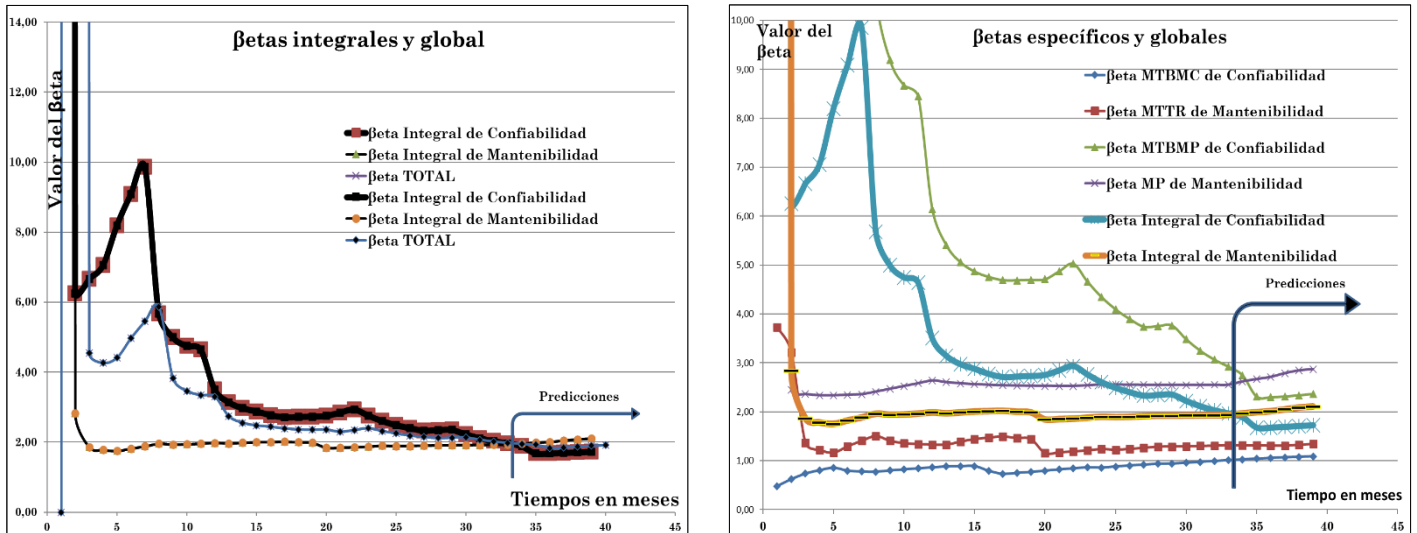
### Disponibilidad alcanzada



*Nota. Imagen obtenida de la simulación del software CMD++. Se observa un alto nivel de disponibilidad del equipo con un ciclo de mejora al inicio del ciclo y desgaste natural por la exigencia operativa, con tendencia descendente, lo que sugiere tomar medidas proactivas.*

Figura 4

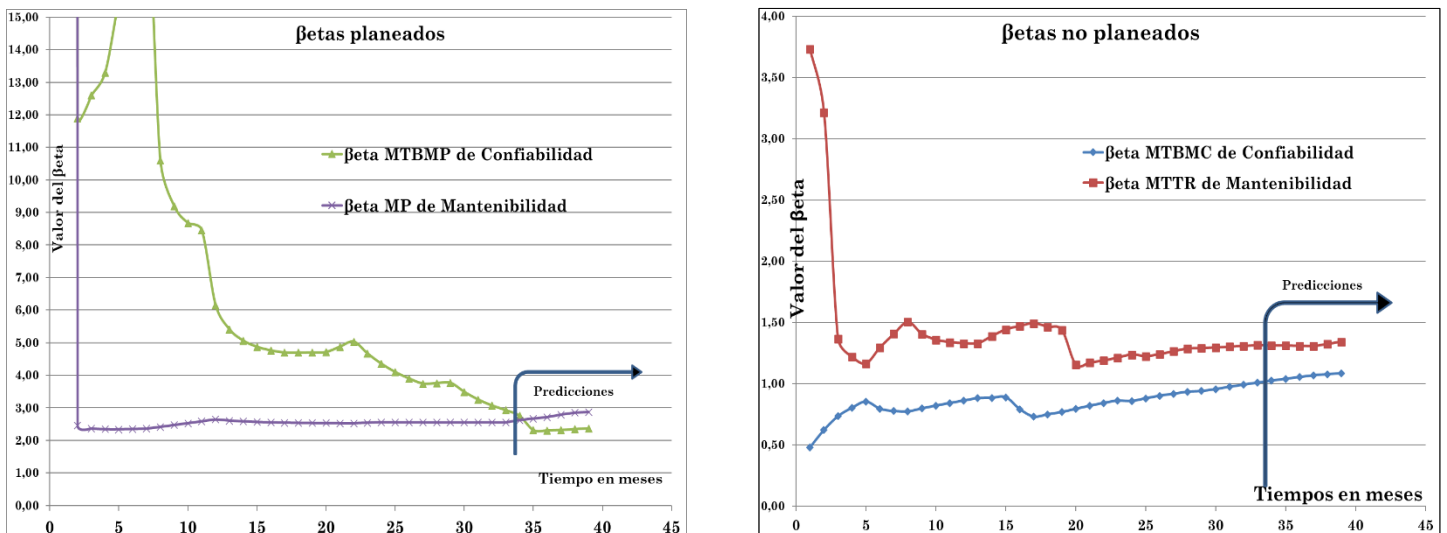
## Betas integrales, específicos y globales



Nota. Se evidencia una fase inicial de alta variación, seguida de estabilización en valores cercanos a 2, esto indica fallas aleatorias controladas y al final se observa una tendencia ascendente por el desgaste progresivo del equipo.

Figura 5

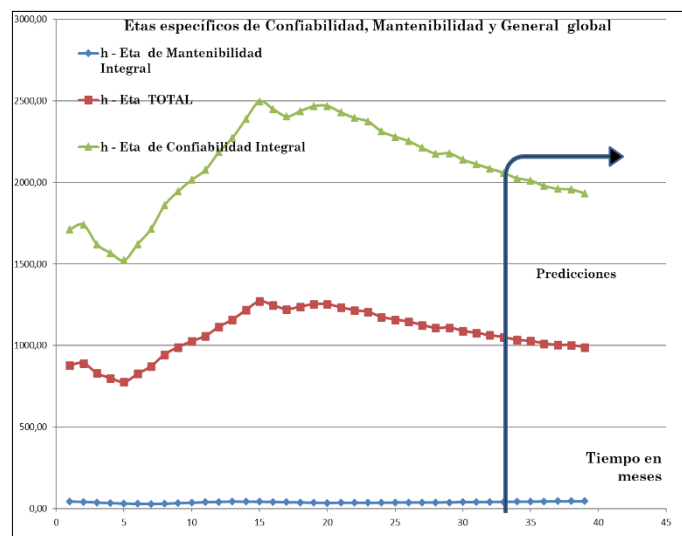
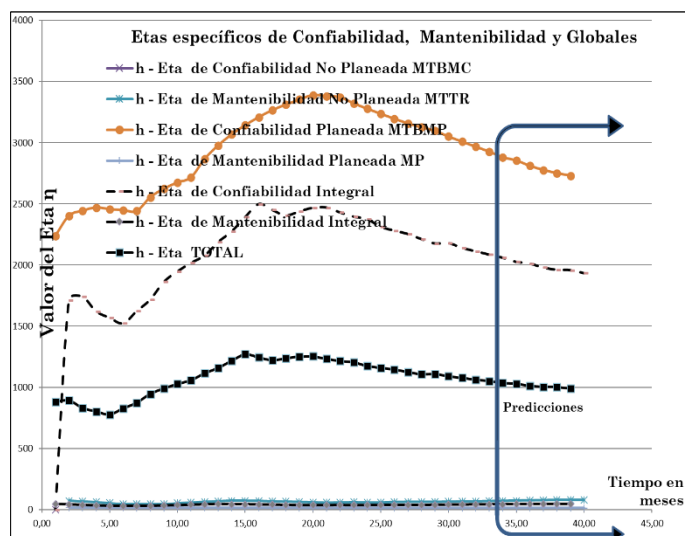
## Betas planeados y no planeados



Nota. Relación Betas planeados (preventivo) vs no planeados (correctivo). La prevalencia de betas no planeados evidencia alta criticidad operacional y baja efectividad del plan de mantenimiento preventivo actual.

Figura 6

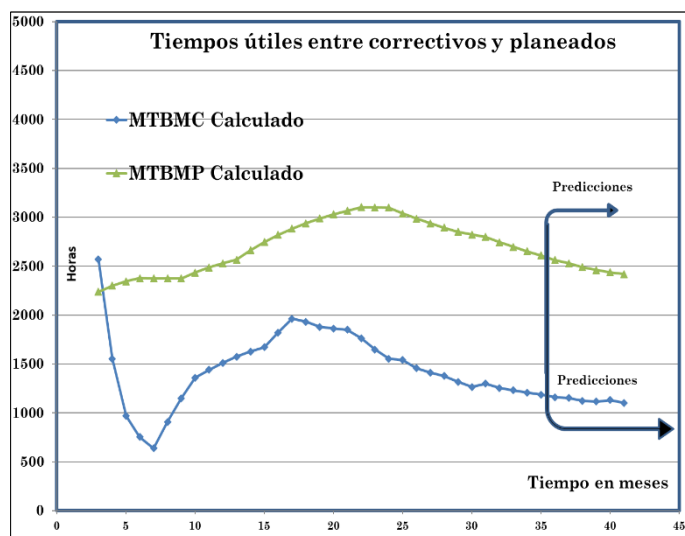
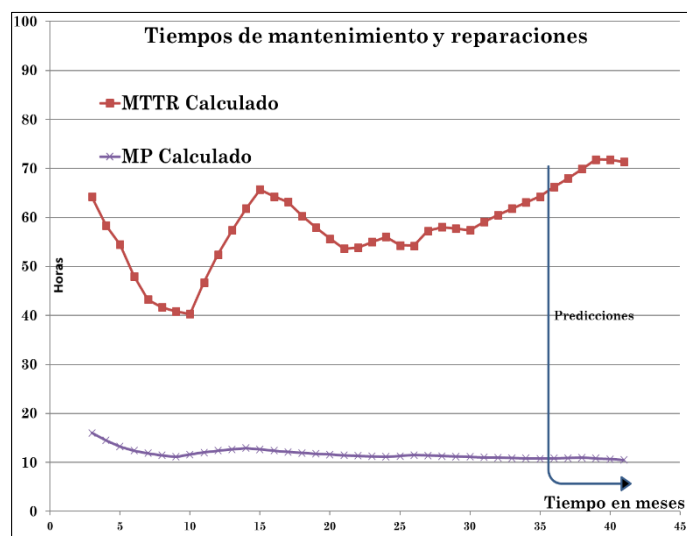
## Etas de confiabilidad y mantenibilidad



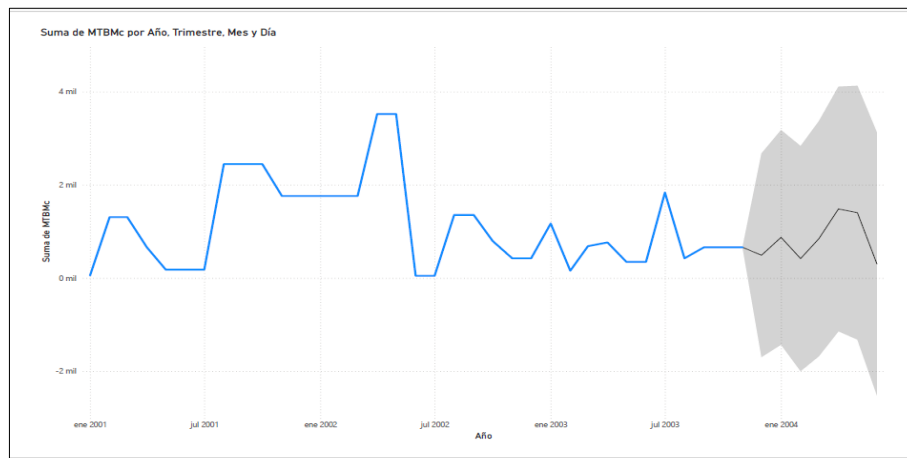
*Nota. El Eta Total muestra una ligera tendencia decreciente, impulsada principalmente por el desempeño de la Mantenibilidad. Esta reducción progresiva impacta negativamente la eficiencia global y disponibilidad del equipo. Se requiere intervenir en estrategias de mantenimiento para revertir esta tendencia.*

Figura 7

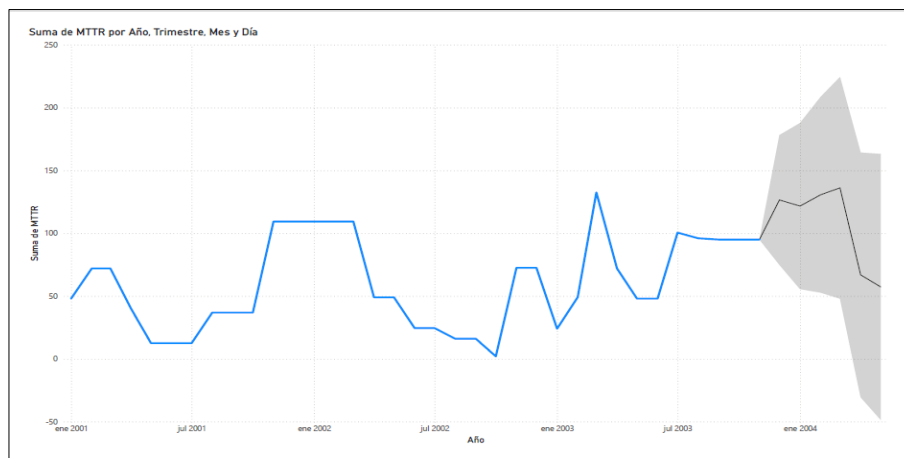
## Tiempos de mantenimiento



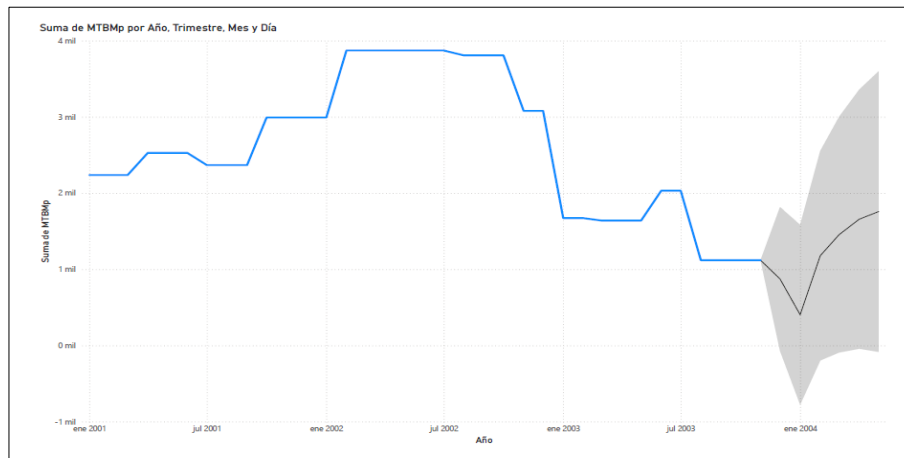
*Nota: Los tiempos reales de reparación superan lo planeado, y el equipo falla más seguido de lo previsto, con tendencia descendente en tiempos útiles. Esta brecha constante muestra la realidad operativa. Se requiere actualizar la planificación de mantenimiento con datos históricos.*

**Figura 8****Pronóstico para 6 meses de MTBM<sub>c</sub> con Power BI**

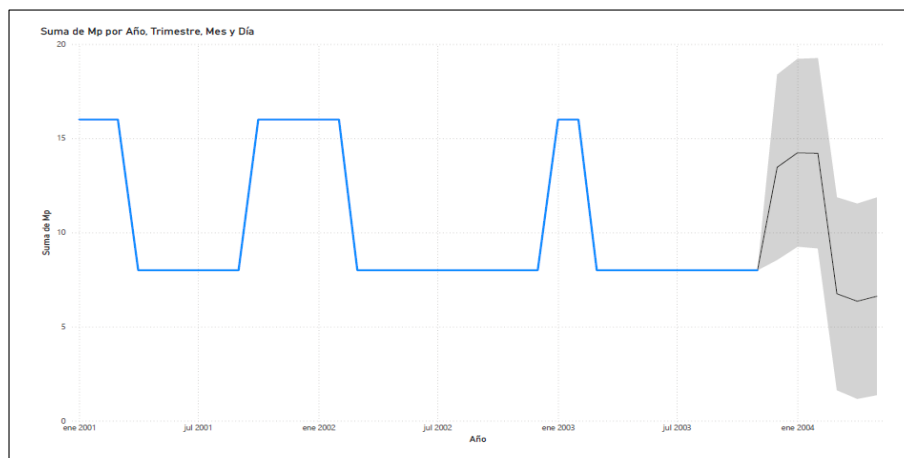
*Nota: El MTBM<sub>c</sub> histórico muestra una tendencia decreciente con estacionalidad marcada. La proyección para los próximos 6 meses mantiene este patrón con valores decrecientes. Esto indica una reducción progresiva del tiempo entre fallas que requieren mantenimiento correctivo.*

**Figura 9****Pronóstico para 6 meses de MTTR con Power BI**

*Nota. El MTTR muestra tendencia creciente con variaciones estacionales desde 2001. La proyección para los próximos 6 meses indica un aumento en los tiempos de reparación. Esto implica mayores tiempos de parada del equipo por mantenimiento correctivo.*

**Figura 10****Pronóstico para 6 meses de MTBM<sub>P</sub> con Power BI**

*Nota: se observa tendencia decreciente desde 2002, el pronóstico de Power BI proyecta una recuperación del MTBM<sub>P</sub> para los próximos 6 meses. Esto indica una posible mejora en los intervalos entre mantenimientos planificados.*

**Figura 11****Pronóstico para 6 meses de M<sub>P</sub> con Power BI**

*Nota: El mantenimiento planificado (M<sub>P</sub>) muestra una tendencia estable con variaciones estacionales entre 2001-2004. El pronóstico de Power BI proyecta una ligera disminución en los próximos 6 meses, manteniéndose dentro del rango histórico observado.*

**Diagrama de bloques de confiabilidad (RBD)**

Los diagramas de bloques de confiabilidad (**RBD, Reliability Block Diagrams**) son una herramienta esencial dentro de la ingeniería de confiabilidad, empleada para representar la relación funcional entre los componentes de un sistema y su contribución al desempeño global.

A través de una estructura lógica compuesta por bloques interconectados ya sea en configuraciones en serie, en paralelo o combinadas, los **RBD** permiten modelar el comportamiento de los sistemas ante fallos y cuantificar su confiabilidad global. Cada bloque representa un elemento con una probabilidad de éxito asociada, lo que facilita la evaluación del impacto de fallas individuales en la disponibilidad del sistema (O'Connor & Kleyner, 2011).

El uso de esta metodología posibilita la identificación de puntos críticos, la evaluación de redundancias y la estimación del tiempo medio entre fallos (MTBF), es un soporte clave en la toma de decisiones para mantenimiento, diseño y mejora de activos industriales. Los RBD se aplican ampliamente en sectores como la energía, transporte, manufactura y sistemas de automatización, integran el análisis de confiabilidad dentro del ciclo de vida de los activos, su enfoque sistemático permite a los ingenieros optimizar recursos y diseñar estrategias de mitigación de riesgo más efectivas (Birolini, 2017).

Las estructuras básicas de confiabilidad constituyen la base para modelar sistemas mediante configuraciones que describen cómo los componentes interactúan para lograr el funcionamiento global. Entre las configuraciones más comunes se encuentran los sistemas en serie, en paralelo y las estructuras mixtas, cada una con comportamientos de fallo distintos. En un sistema en serie, la falla de un solo componente implica la falla total del sistema, mientras que en uno en paralelo, la redundancia incrementa la probabilidad de éxito global al permitir la operación aun cuando uno o varios componentes fallen.

La comprensión de estas estructuras es esencial para desarrollar modelos analíticos de confiabilidad y disponibilidad. A partir de ellas se construyen configuraciones más complejas que

representan sistemas reales y permiten calcular indicadores clave como la tasa de fallo o el tiempo medio entre fallos (MTBF).

Se reconoce en general que existen cuatro tipos genéricos de relaciones estructurales entre un dispositivo y sus componentes. Estos son: (1) serie; (2) paralelo; (3) k-de-n; y (4) todas las demás (Nachlas, 1995).

Un sistema serie es aquel en el que todos los componentes deben funcionar adecuadamente para que funcione el sistema.

Un sistema paralelo es aquel en que el funcionamiento de cualquiera de los componentes implica el del sistema.

Un sistema k-de-n es uno en el que el funcionamiento de k cualesquiera de los n componentes del sistema implica el del sistema.

#### ***Datos para RBD de un CEDI***

Luego de tomar como base de trabajo el software CMD++, para calcular los parámetros de confiabilidad (beta, eta); se construye una tabla para los equipos del CEDI, la cual muestra la confiabilidad para 720 horas como predicción para el desempeño del sistema. Estas predicciones se calculan con registros históricos de 30 meses; como se muestra en la tabla 18 (Eventos de 3 años para equipo montacargas trilateral.) y con predicciones de 6 meses.

Con los datos de confiabilidad de los equipos del CEDI, se construye el diagrama de bloques y se calcula la confiabilidad total del sistema, donde se muestran las diferentes estructuras. Para este caso práctico se calcula la confiabilidad para 720 horas.

La Tabla 19 muestra los cálculos de confiabilidad de los equipos del CEDI para un periodo de 720 horas; no se tiene en cuenta el parámetro Gamma, ya que el cálculo se hace desde un periodo de tiempo cero, sin embargo se puede incluir en otros trabajos para determinado rango de tiempo:

**Tabla 19****Cálculo de confiabilidad de equipos CEDI**

| Equipo                                     | Eta    | Beta | Gamma | R(t)   |
|--------------------------------------------|--------|------|-------|--------|
| Montacargas Trilateral 1                   | 2.051  | 2,15 |       | 90,00% |
| Montacargas Trilateral 2                   | 1.953  | 1,99 |       | 87,17% |
| Montacargas Trilateral 3                   | 2.120  | 1,89 |       | 87,82% |
| Montacargas Order Picker 1                 | 2.213  | 2,01 |       | 90,06% |
| Montacargas Order Picker 2                 | 2.156  | 1,97 |       | 89,11% |
| Montacargas Order Picker 3                 | 2.043  | 1,86 |       | 86,61% |
| Transpaleta 1                              | 2.354  | 2,1  |       | 92,03% |
| Transpaleta 2                              | 2.223  | 2,03 |       | 90,36% |
| Estibador eléctrico 1                      | 2.754  | 1,87 |       | 92,18% |
| Estibador eléctrico 2                      | 2.654  | 1,95 |       | 92,44% |
| Estibador eléctrico 3                      | 2.436  | 1,84 |       | 89,93% |
| Subestación eléctrica 450 KVA              | 12.521 | 1,91 |       | 99,57% |
| Planta eléctrica 500 KVA                   | 9.865  | 1,97 |       | 99,43% |
| UPS (100KVA)                               | 21.563 | 2    |       | 99,89% |
| Sistema bandas Rodillo 1 (Picking 1)       | 3.251  | 1,84 |       | 93,95% |
| Sistema bandas Rodillo 2 (Picking 2)       | 3.152  | 1,71 |       | 92,31% |
| Sistema bandas Rodillo 3 (Picking 3)       | 3.326  | 1,79 |       | 93,74% |
| Sistema bandas Rodillo 4 (Picking 4)       | 3.426  | 1,8  |       | 94,14% |
| Sistema bandas Rodillo 4 (Banda Principal) | 3.521  | 1,97 |       | 95,71% |
| Impresora etiquetas 1                      | 5.127  | 1,93 |       | 97,76% |
| Impresora etiquetas 2                      | 5.489  | 1,9  |       | 97,91% |
| Sorter clasificador despachos              | 3.654  | 2    |       | 96,19% |
| Flejadora automática                       | 1.984  | 1,8  |       | 85,10% |
| SDA (System Dispensing Automatic)          | 6.548  | 2,12 |       | 99,08% |
| Banda de rodillos salida SDA               | 3.659  | 1,89 |       | 95,48% |

*Nota. La tabla contiene el cálculo de confiabilidad para 720 horas de los equipos de un CEDI. Para el caso de los sistemas eléctricos se toman los datos del libro de la casa OREDA.*

*Autoría Propia.*

Las estructuras de los equipos del CEDI tienen diversas tipologías de acuerdo a la filosofía operacional, estas se muestran en la Tabla 20:

**Tabla 20****Tipo de estructura para RBD del CEDI**

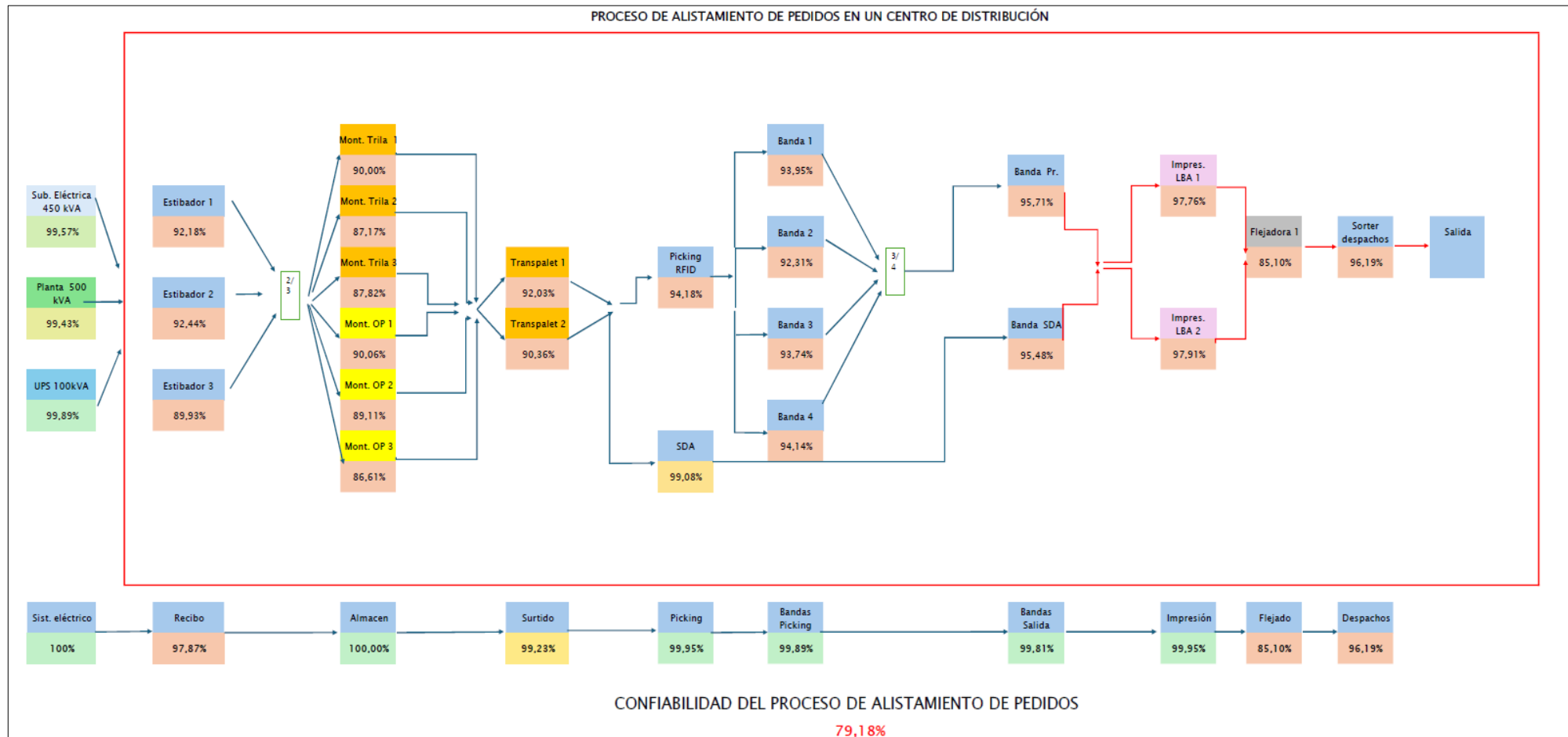
| <b>Equipo</b>                              | <b>Tipo de estructura</b> |
|--------------------------------------------|---------------------------|
| Montacargas Trilateral 1                   | Paralelo                  |
| Montacargas Trilateral 2                   | Paralelo                  |
| Montacargas Trilateral 3                   | Paralelo                  |
| Montacargas Order Picker 1                 | Paralelo                  |
| Montacargas Order Picker 2                 | Paralelo                  |
| Montacargas Order Picker 3                 | Paralelo                  |
| Transpaleta 1                              | Paralelo                  |
| Transpaleta 2                              | Paralelo                  |
| Estibador eléctrico 1                      | K de N                    |
| Estibador eléctrico 2                      | K de N                    |
| Estibador eléctrico 3                      | K de N                    |
| Subestación eléctrica 450 KVA              | Serie                     |
| Planta eléctrica 500 KVA                   | Serie                     |
| UPS (100KVA)                               | Serie                     |
| Picking RFID                               | Paralelo                  |
| Sistema bandas Rodillo 1 (Picking 1)       | K de N                    |
| Sistema bandas Rodillo 2 (Picking 2)       | K de N                    |
| Sistema bandas Rodillo 3 (Picking 3)       | K de N                    |
| Sistema bandas Rodillo 4 (Picking 4)       | K de N                    |
| Sistema bandas Rodillo 4 (Banda Principal) | Paralelo                  |
| Impresora etiquetas 1                      | Paralelo                  |
| Impresora etiquetas 2                      | Paralelo                  |
| Sorter clasificador despachos              | Serie                     |
| Flejadora automática                       | Serie                     |
| SDA (System Dispensing Automatic)          | Paralelo                  |
| Banda de rodillos salida SDA               | Paralelo                  |

*Nota. La tabla muestra los tipos de estructura de los equipos del CEDI, donde los equipos montacargas tienen tipología K de N; para lo cual el sistema funciona si operan 2 de 3 equipos.*

*Autoría Propia.*

Figura 12

Diagrama de bloques de confiabilidad para un CEDI



Nota. Diagrama de bloques de confiabilidad (RBD) de un CEDI, con cálculos de confiabilidad para 720 horas. Se observa la confiabilidad de cada componente, cada estructura y la confiabilidad total del sistema. Autoría Propia.

**Conclusión del desarrollo del RBD**

El sistema de alistamiento de pedidos, presenta una confiabilidad general robusta, aunque con notables variaciones entre componentes. Etapas finales como impresión y despachos superan el 99% de confiabilidad, lo que demuestra procesos altamente eficientes. Sin embargo, equipos como la Flejadora 1 y el Sorter operan por debajo del 90%, lo que indica vulnerabilidades críticas. Estos cuellos de botella impactan directamente la fluidez operativa general. La gestión efectiva de estos puntos débiles es esencial para elevar la confiabilidad global del sistema de distribución.

La interdependencia entre subsistemas es crucial para el éxito operativo. Mientras procesos como picking RFID y surtido superan el 99%, elementos auxiliares como estibadores y transpaletas muestran valores entre 85%-92%. Esta variación introduce riesgos significativos de interrupción en la cadena operativa. La fortaleza del proceso completo está determinada por su eslabón más débil. Por tanto, se requiere una estrategia de mejora continua que priorice los subsistemas de menor desempeño.

En conclusión, el CEDI evidencia madurez en procesos principales con oportunidades de optimización específicas. Los puntos críticos identificados demandan acciones correctivas y preventivas inmediatas. Un plan de mantenimiento focalizado y monitorización continua permitiría alcanzar una confiabilidad global sostenible superior al 95%. Esta mejora optimizaría la eficiencia operativa, satisfacción del cliente y competitividad del CEDI en el mercado logístico actual.

**Objetivo TRES - Plan de Mantenimiento**

Programar un plan de mantenimiento en la ingeniería RAM, aplicado a los equipos críticos del CEDI, con el fin de alcanzar una confiabilidad del 90%, una disponibilidad del 95%, mejorar la mantenibilidad y facilitar su pronta implementación por parte de la organización.

El cumplimiento del objetivo establece el plan integral de mantenimiento anual para el CEDI, desarrollado bajo los lineamientos de la Norma ISO 17007. El plan cubre todos los equipos críticos identificados en el diagrama de bloques de confiabilidad, con especial énfasis en aquellos con valores inferiores al 90%. El alcance incluye sistemas de manejo de materiales, equipos eléctricos, sistemas automatizados y equipos de apoyo operacional.

La finalidad del mantenimiento es conservar la planta con sus equipos, los edificios, los servicios y las instalaciones en condiciones de cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la calidad especificadas, que puedan ser utilizados en condiciones de seguridad y economía y usos definidos por los requerimientos de producción (Prando, 1996).

Para el CEDI es importante elevar la confiabilidad operacional por encima del 95% en todos los equipos críticos, reducir los tiempos de inactividad no planificados en un 25% anual y optimizar los costos de mantenimiento mediante planificación preventiva.

El plan de mantenimiento se establecerá mediante identificación y evaluación de riesgos y criticidad de equipos basado en el impacto operacional. Es necesaria la verificación mensual del cumplimiento de estándares operativos del proceso de mantenimiento así como la certificación de competencias del personal técnico.

El plan de mantenimiento requiere el registro digital de todas las intervenciones de mantenimiento, el historial de equipos con seguimiento de métricas de desempeño y documentación de lecciones aprendidas y mejores prácticas.

El proceso de mantenimiento debe tener una mejora continua con enfoque en revisión trimestral de indicadores de confiabilidad, análisis de tendencias y ajuste de planes de

mantenimiento con benchmarking contra estándares de la industria. En síntesis, la misión principal de mantenimiento es garantizar que el parque industrial esté con la máxima disponibilidad cuando lo requiera el cliente o usuario, con la máxima confiabilidad y fiabilidad, durante el tiempo solicitado para operar (Mora, 2009).

### **Rutinas de mantenimiento**

Se establecen las rutinas de mantenimiento para los equipos del CEDI de acuerdo a recomendaciones del fabricante y los parámetros de confiabilidad obtenidos en el objetivo 2. La Tabla 21 muestra las rutinas propuestas para un equipo trilateral y su objetivo técnico:

**Tabla 21**

#### **Mantenimiento montacargas trilateral**

| <b>Tipo de mantenimiento</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Actividad / Tarea</b>                                                            | <b>Objetivo técnico</b>                                       |
|------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Preventivo                   | Diario            | Inspección visual, frenos, niveles hidráulicos y batería Ion-Litio                  | Garantizar operación segura y evitar fugas.                   |
| Preventivo                   | Semanal           | Verificación de presión del sistema hidráulico y calibración de sensores de altura. | Mantener precisión de elevación y estabilidad.                |
| Preventivo                   | Mensual           | Cambio de aceite hidráulico y limpieza de filtros.                                  | Prevenir sobrecalentamientos y fallas por contaminación.      |
| Predictivo                   | Trimestral        | Medición de vibraciones en motores y análisis de desgaste de guías.                 | Detectar fallas incipientes antes de paradas no planificadas. |
| Preventivo                   | Anual             | Revisión estructural del mástil y torquedo general, cambio de aceites y filtros.    | Asegurar integridad estructural y vida útil prolongada.       |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para equipos montacargas trilateral, las cuales se pueden gestionar y distribuir en un cronograma anual. Autoría Propia.*

Los equipos **montacargas order picker** requieren rutinas de mantenimiento similares al equipo trilateral, pero tiene mayor alcance al mantenimiento de poleas y cadenas por tener

mayores ciclos de operación; la Tabla 22 muestra las rutinas de mantenimiento para estos equipos:

**Tabla 22**

**Mantenimiento montacargas order picker**

| Tipo de mantenimiento | Frecuencia | Actividad / Tarea                                                                        | Objetivo técnico                                   |
|-----------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Preventivo            | Diario     | Revisión de batería Ion-Litio, frenos y controles de dirección.                          | Evitar fallas en maniobrabilidad y energía.        |
| Preventivo            | Semanal    | Lubricación de rodamientos, inspección de poleas y cadenas.                              | Mantener suavidad en los movimientos de elevación. |
| Preventivo            | Mensual    | Cambio de aceite del sistema de hidráulico y ajuste de tensores.                         | Garantizar transmisión eficiente y sin ruidos.     |
| Predictivo            | Trimestral | Análisis de vibración y temperatura en motores eléctricos.                               | Predecir desgaste o desalineación temprana.        |
| Preventivo            | Anual      | Sustitución de sellos, calibración de sensores de velocidad. Cambio de aceites y filtros | Restaurar precisión del sistema de control.        |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para equipos montacargas order picker, difieren de un equipo trilateral por la tipología del equipo. Autoría Propia.*

Los transpaletas eléctricos de los CEDI presentan ciclos mayores de desplazamientos entre áreas, por lo que su mantenimiento debe enfocarse en el sistema motriz de los equipos, La Tabla 23 muestra las rutinas de mantenimiento para estos equipos:

Tabla 23

## Mantenimiento transpaletas

| Tipo de mantenimiento | Frecuencia | Actividad / Tarea                                                                              | Objetivo técnico                                      |
|-----------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Preventivo            | Diario     | Verificar carga de batería, frenos y dirección.                                                | Garantizar disponibilidad diaria.                     |
| Preventivo            | Semanal    | Lubricar ruedas y revisar sistema hidráulico.                                                  | Reducir fricción y desgaste.                          |
| Preventivo            | Mensual    | Cambio de aceite hidráulico y limpieza del motor.                                              | Evitar contaminación del fluido y sobrecalentamiento. |
| Predictivo            | Trimestral | Análisis de corriente y voltaje del sistema eléctrico.                                         | Prevenir fallas eléctricas en batería y controlador.  |
| Preventivo            | Anual      | Inspección del motor principal y calibración de controladores.<br>Cambio de aceites y filtros. | Asegurar rendimiento y seguridad del sistema.         |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para transpaletas de un CEDI, las cuales se pueden gestionar en un cronograma anual. Autoría Propia.*

Los estibadores eléctricos de los CEDI realizan actividades en todas las áreas, por lo que presentan ciclos mayores de desplazamientos entre áreas y cambios de baterías de Ion Litio constantes por lo que su mantenimiento debe enfocarse en el sistema motriz de los equipos y el sistema eléctrico; La Tabla 24 muestra las rutinas de mantenimiento para estos equipos:

**Tabla 24****Mantenimiento estibadores**

| <b>Tipo de mantenimiento</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Actividad / Tarea</b>                                                    | <b>Objetivo técnico</b>                               |
|------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Preventivo                   | Diario            | Verificar sistemas de elevación, joystick y batería.                        | Garantizar precisión y seguridad de elevación.        |
| Preventivo                   | Semanal           | Lubricar sistema de guiado y comprobar cables.                              | Reducir desgaste y garantizar continuidad eléctrica.  |
| Preventivo                   | Mensual           | Reemplazo de filtros y calibración de sensores.                             | Mantener exactitud en levantamiento de cargas.        |
| Predictivo                   | Trimestral        | Monitorear consumo energético del motor.                                    | Detectar pérdidas de eficiencia o sobrecarga.         |
| Preventivo                   | Anual             | Revisión estructural y prueba de carga máxima. Cambio de aceite hidráulico. | Confirmar integridad estructural y capacidad nominal. |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para los estibadores eléctricos de un CEDI, las cuales se pueden gestionar en un cronograma anual. Autoría Propia.*

Los sistemas eléctricos del CEDI requieren actividades diarias y semanales de seguimiento e inspección con métodos no invasivos, con el fin de determinar posibles afectaciones de los sistemas que se pueden detectar de manera predictiva; sin embargo se deben realizar rutinas de mantenimiento anual a los componentes críticos como celdas y transformadores, así como pruebas a la transferencia eléctrica con carga; la Tabla 25 muestra las rutinas de mantenimiento para estos equipos:

Tabla 25

**Mantenimiento subestación eléctrica**

| <b>Tipo de mantenimiento</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Actividad / Tarea</b>                                                                                                         | <b>Objetivo técnico</b>                                    |
|------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Preventivo                   | Semanal           | Inspección visual, limpieza de celdas y conexiones.                                                                              | Evitar acumulación de polvo y fallas dieléctricas.         |
| Preventivo                   | Mensual           | Prueba de protecciones y medición de resistencias.                                                                               | Verificar respuesta de protecciones ante sobre corrientes. |
| Predictivo                   | Trimestral        | Termografía de conexiones y transformadores.                                                                                     | Identificar puntos calientes o fallas incipientes.         |
| Preventivo                   | Anual             | Ensayos de aislamiento, calibración de relés, mantenimiento de transformadores, celdas, seccionadores y transferencia automática | Asegurar integridad del sistema eléctrico.                 |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para la subestación eléctrica de un CEDI, se recomienda realizar el mantenimiento anual con el proveedor de energía. Autoría Propia.*

Los sistemas eléctricos de respaldo del CEDI requieren actividades diarias y semanales de seguimiento para garantizar su funcionamiento en caso de contingencia por fallo en el sistema de suministro de red comercial se recomienda realizar el mantenimiento anual junto al mantenimiento de la subestación para realizar pruebas de transferencia de carga y en lo posible con operación de alistamiento de pedidos; la Tabla 26 muestra las rutinas de mantenimiento para los sistemas electrógenos:

Tabla 26

## Mantenimiento planta eléctrica

| Tipo de mantenimiento | Frecuencia | Actividad / Tarea                                            | Objetivo técnico                                            |
|-----------------------|------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Preventivo            | Semanal    | Prueba de arranque automático y verificación de combustible. | Garantizar disponibilidad inmediata ante cortes eléctricos. |
| Preventivo            | Anual      | Cambio de aceite y filtros.                                  | Mantener rendimiento y vida útil del motor diésel.          |
| Predictivo            | Trimestral | Análisis de aceite y control de vibraciones.                 | Detectar desgaste de cojinetes o fallas de combustión.      |
| Preventivo            | Anual      | Mantenimiento general del generador y limpieza profunda.     | Asegurar eficiencia y confiabilidad operativa.              |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para la planta eléctrica de respaldo de un CEDI.*

*Autoría Propia.*

Las bandas transportadoras de un CEDI son un sistema fundamental en el proceso de alistamiento de pedidos, las rutinas diarias de inspección, limpieza, aprietes y ajustes, garantizan una alta confiabilidad del equipo y permiten detectar fallas críticas en los sistemas que pueden ocasionar paradas de maquina críticas con afectaciones a los procesos del CEDI; la Tabla 27 muestra las rutinas de mantenimiento para los sistemas transportadores:

**Tabla 27****Mantenimiento bandas transportadoras**

| Tipo de mantenimiento | Frecuencia | Actividad / Tarea                                                  | Objetivo técnico                                    |
|-----------------------|------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Preventivo            | Diario     | Limpieza de rodillos, tensores y sensores ópticos.                 | Evitar acumulación de residuos y lecturas erróneas. |
| Preventivo            | Semanal    | Lubricación de rodamientos y revisión de tensores.                 | Garantizar movimiento continuo y sin fricción.      |
| Preventivo            | Mensual    | Revisión de motores, variadores y sistemas de tracción.            | Asegurar eficiencia y alineación del sistema.       |
| Predictivo            | Trimestral | Análisis de vibraciones y temperatura en motores.                  | Anticipar fallas mecánicas o eléctricas.            |
| Preventivo            | Anual      | Cambio de bandas, balanceo dinámico de ejes y calibración general. | Mantener la integridad y seguridad del sistema.     |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para las bandas transportadoras de un CEDI, las cuales son fundamentales para el proceso de alistamiento de pedidos. Autoría Propia.*

El sistema RFID<sup>6</sup> de un CEDI o RF, permite identificar los productos que se deben alistar en cualquier pedido de acuerdo al cliente final; estos sistemas requieren actividades de mantenimiento de limpieza, configuración y pruebas diarias de comunicación para garantizar la continuidad del proceso de picking; la Tabla 28 muestra las actividades de mantenimiento para estos sistemas:

---

<sup>6</sup> Identificación por Radiofrecuencia

**Tabla 28****Mantenimiento Sistema RFID**

| Tipo de mantenimiento | Frecuencia | Actividad / Tarea                                         | Objetivo técnico                                   |
|-----------------------|------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Preventivo            | Diario     | Limpieza de lectores RFID y escáneres.                    | Garantizar lecturas precisas y sin interrupciones. |
| Preventivo            | Semanal    | Pruebas de comunicación y verificación de bases de datos. | Mantener integridad de información logística.      |
| Preventivo            | Mensual    | Calibración de sensores de pesaje y posición.             | Evitar errores en clasificación.                   |
| Predictivo            | Trimestral | Inspección de RF, con software                            | Evitar detecciones del proceso                     |
| Correctivo            | Anual      | Actualización de firmware y revisión general del sistema. | Optimizar rendimiento y confiabilidad.             |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para el sistema RFID, el cual es de vital importancia en el proceso de Picking, por lo que requiere una alta disponibilidad. Autoría Propia.*

Las flejadoras automáticas muestran bajos niveles de confiabilidad en el estudio del RBD, es un sistema que afecta el proceso de alistamiento de pedidos; la Tabla 29 muestra las rutinas de mantenimiento para este equipo:

**Tabla 29****Mantenimiento flejadora automática**

| Tipo de mantenimiento | Frecuencia | Actividad / Tarea                                         | Objetivo técnico                              |
|-----------------------|------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Preventivo            | Semanal    | Limpieza de cabezales y guías.                            | Evitar atascos y defectos de sellado.         |
| Preventivo            | Mensual    | Calibración de tensión y revisión de sensores ópticos.    | Asegurar sellado homogéneo y preciso.         |
| Preventivo            | Anual      | Sustitución de piezas de desgaste y ajuste de mecanismos. | Garantizar continuidad operativa del flejado. |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para la flejadora automática. Este equipo presenta una baja confiabilidad en el proceso, por lo que es importante mantener el control de las rutinas de mantenimiento de acuerdo a su frecuencia. Autoría Propia.*

Las impresoras de etiquetas de un CEDI tienen alto volumen de impresión diaria, esto obliga a garantizar el proceso con rutinas de limpieza y calibración del sistema y el cambio de componentes sugeridos por el fabricante, de acuerdo a la vida útil; la Tabla 30 muestra las rutinas de mantenimiento para este equipo:

**Tabla 30****Mantenimiento impresoras**

| <b>Tipo de mantenimiento</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Actividad / Tarea</b>                                     | <b>Objetivo técnico</b>              |
|------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Preventivo                   | Semanal           | Limpieza de cabezales y rodillos.                            | Mantener calidad de impresión.       |
| Preventivo                   | Mensual           | Calibración de sensores de papel y alineación de guías.      | Evitar atascos o errores de lectura. |
| Correctivo                   | Trimestral        | Sustitución de componentes de desgaste y revisión eléctrica. | Asegurar funcionamiento continuo.    |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para las impresoras de etiquetas, en las cuales la limpieza de componentes es importante para evitar fallos. Autoría Propia.*

Los sistemas automáticos de dispensación presentan diversas tipologías en su estructura y funcionalidad, sin embargo por sus características tiene componentes que demandan mayores rutinas de inspección, limpieza y calibración como la banda central o sus sistema de control; es importante tener un respaldo de los sistemas de eyección, que aunque no afectan el proceso de alistamiento de pedidos en su totalidad, afectan el rendimiento por requerir actividades manuales; la Tabla 30 muestra las rutinas de mantenimiento para este equipo:

Tabla 31

**Mantenimiento SDA**

| <b>Tipo de mantenimiento</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Actividad / Tarea</b>                                                  | <b>Objetivo técnico</b>                           |
|------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Preventivo                   | Diario            | Limpieza de eyectores                                                     | Evitar acumulación de residuos y errores técnicos |
| Preventivo                   | Semanal           | Lubricación de rodamientos y revisión de tensores banda central           | Garantizar movimiento continuo y sin fricción.    |
| Preventivo                   | Semanal           | Revisión de tolva central y sistema neumático                             | Garantizar disposición de pedidos a cubetas.      |
| Preventivo                   | Mensual           | Revisión de motores, variadores y sistemas de encoder                     | Asegurar eficiencia y alineación del sistema.     |
| Predictivo                   | Trimestral        | Análisis de vibraciones y temperatura en motores.                         | Anticipar fallas mecánicas o eléctricas.          |
| Preventivo                   | Anual             | Cambio de banda central, balanceo dinámico de ejes y calibración general. | Mantener la integridad y seguridad del sistema.   |

*Nota. Se indican las rutinas de mantenimiento para el sistema de dispensación automático (SDA), el cual funciona con eyectores paralelos que requieren limpieza diaria, pero es importante prestar atención especial a los componentes de la banda central para evitar errores de secuencia o daños en sus componentes, que afecten el proceso de alistamiento de pedidos a gran escala. Autoría Propia.*

**Recursos y responsabilidades**

Para el desarrollo del plan de mantenimiento los recursos humanos son la base fundamental para ejecución de actividades y seguimiento de las tareas de mantenimiento que realizan los proveedores externos; para la tipología de equipos descrita es necesario tener este staff de personal mínimo:

- 4 técnicos especializados en mantenimiento electromecánico; encargados de las rutinas diarias, semanales y de seguimiento a actividades de proveedores especializados.
- 2 técnicos en automatización y control; encargados de rutinas de seguimiento a sistemas de control y automatización con rutinas diarias y semanales de mantenimiento.
- 1 supervisor de mantenimiento: encargado del seguimiento a la ejecución de actividades de mantenimiento, alimentar con datos el CMMS y seguimiento a proveedores.
- 1 coordinador de gestión de mantenimiento: gestiona toda el área de mantenimiento en programación, recursos, indicadores y presentación de resultados, así como la gestión de repuestos.

### **Recursos materiales**

- Stock estratégico de repuestos críticos elementos de reparación, consumibles, suministros especiales y artículos de inventario necesarios para apoyar a los procesos de mantenimiento.
- Herramientas especializadas de diagnóstico.
- Equipos de medición y calibración.
- Sistema de gestión computacional.
- Datos técnicos: procedimientos de comprobación, instrucciones de mantenimiento, procedimientos de inspección y calibración, procedimientos de revisiones generales, instrucciones de modificación, información sobre las instalaciones, planos y especificaciones que son necesarios para realizar las funciones de mantenimiento del sistema.
- Instalaciones: incluye las instalaciones especiales precisas para la ejecución de las tareas de mantenimiento (Knezevic, 1996).

Este plan garantiza una gestión integral del mantenimiento e incorpora todos los equipos críticos del CEDI. La implementación de las rutinas detalladas, junto con el enfoque en la Norma ISO 17007, permite alcanzar los objetivos de confiabilidad establecidos y el compromiso de la

organización con la mejora continua asegurará la optimización permanente de los procesos de mantenimiento.

### ***Conclusión del desarrollo del Objetivo TRES***

El desarrollo del Plan de Mantenimiento permitió estructurar una estrategia alineada con la ISO 17007, con un enfoque basado en procesos para fortalecer la gestión de los equipos críticos del CEDI. La norma orienta la definición sistemática de actividades, flujos de trabajo y métricas operativas, para facilitar que el plan se construya sobre una base metodológica común para clasificar, planear y evaluar la eficacia de las intervenciones de mantenimiento. Esto consolidó un esquema ordenado que vincula la función del activo con su necesidad de intervención y mejora la coherencia del sistema de gestión.

La formulación de las rutinas de mantenimiento realizada bajo criterios de criticidad y confiabilidad aplicados a cada equipo, integra actividades preventivas, predictivas y correctivas según su impacto operativo. Este enfoque coincide con la estructura de procesos descrita en la literatura vinculada a la ISO 17007, que destaca la importancia de descomponer el mantenimiento en actividades sistemáticas y registrables para asegurar la trazabilidad técnica y el control del desempeño; con ello, el plan contribuye a reducir fallas repetitivas, fortalecer la disponibilidad y orientar decisiones basadas en datos (Kok, 2023).

Finalmente, la definición de recursos y responsabilidades, junto con los recursos materiales, permite establecer un modelo organizacional claro, minimiza ambigüedades y fortalece la capacidad de respuesta del área de mantenimiento. La asignación de roles, competencias y materiales críticos conforme a lo recomendado por la ISO 17007 facilita la coordinación operativa y la eficiencia logística, integra la gestión del talento humano y del inventario de repuestos en un mismo marco de planificación. En conjunto, este objetivo contribuyó a la consolidación de una gestión de mantenimiento coherente, medible y orientada a resultados para los equipos críticos del CEDI.

**Objetivo CUATRO- Cuadro de Mando**

Organizar para su implementación, un cuadro de mando integral basado en la metodología Quantum Performance con al menos 8 indicadores de gestión y operación de mantenimiento, alineados a ISO 15341:2020 y a las mejores prácticas pertinentes del SMRP 6th Edition, con medición periódica para satisfacer el nivel de servicio y la calidad de pedidos de los clientes.

***Introducción***

La gestión efectiva del mantenimiento en un CEDI es crucial para garantizar la continuidad operativa, la seguridad y la rentabilidad. Los equipos críticos, como transportadores, sistemas de clasificación automática, montacargas, y sistemas de alistamiento automático de pedidos, requieren un monitoreo constante a través de Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs) que permitan evaluar y mejorar su desempeño.

Este documento presenta 8 indicadores fundamentales, alineados con los estándares internacionales ISO 14224, ISO 15341 (indicadores de mantenimiento), las mejores prácticas del SMRP, y los principios de Quantum Performance, los cuales se enfocan en la eficiencia integral y la creación de valor (Hronec, 1995).

Se proporciona un marco de medición para evaluar la efectividad, eficiencia y confiabilidad del mantenimiento de los equipos críticos en el CEDI, para facilitar la toma de decisiones basada en datos.

**Indicadores Propuestos**

La Tabla 32 muestra los indicadores propuestos para el programa de mantenimiento, con un objetivo por indicador, la frecuencia de medición y la meta propuesta.

**Tabla 32****Indicadores claves de desempeño**

| Ítem | Indicador                              | Fórmula                                                                                       | Objetivo                             | Frecuencia | Meta       |
|------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------|------------|
| 1    | <b>Disponibilidad</b>                  | $\frac{MTBF}{(MTBF+MTTR)} \times 100$                                                         | Maximizar tiempo operativo           | Mensual    | > 95%      |
| 2    | <b>OEE</b>                             | $(Disponibilidad\% \times Rendimiento\% \times Calidad\%)$                                    | Medir productividad real vs. teórica | Mensual    | > 85%      |
| 3    | <b>MTBF</b>                            | Tiempo Operativo / Total Fallos                                                               | Incrementar confiabilidad            | Mensual    | 600 horas  |
| 4    | <b>MTTR</b>                            | Tiempo Reparación / Total Reparaciones                                                        | Reducir tiempo de respuesta          | Mensual    | 50 horas   |
| 5    | <b>Cumplimiento Plan Mantenimiento</b> | $\frac{(Tareas Realizadas / Tareas Planificadas) \times 100\%}{100\%}$                        | Garantizar ejecución planificada     | Mensual    | > 90%      |
| 6    | <b>Backlog Mantenimiento</b>           | Horas Pendientes / Horas-Hombre Disponibles                                                   | Gestionar carga de trabajo           | Mensual    | (15 horas) |
| 7    | <b>Costo Mantenimiento vs VRA</b>      | $\frac{(Costo Anual Mant. / VRA) \times 100\%}{VRA}$                                          | Controlar costos vs valor activo     | Trimestral | < 3-5%     |
| 8    | <b>Cumplimiento Órdenes de trabajo</b> | $\frac{(\text{Órdenes a Tiempo} / \text{Total Órdenes}) \times 100\%}{Total \text{ Órdenes}}$ | Medir eficacia ejecución             | Semanal    | > 95%      |

*Nota. Los indicadores propuestos para la gestión de mantenimiento del CEDI, están enfocados en desempeño, valor y satisfacción del usuario. Estos indicadores permiten tomar decisiones en el proceso de alistamiento de pedidos, mejorar rutinas de mantenimiento o iniciar procesos de cambio de equipos. Autoría Propia.*

**Descripción de los indicadores**

- Disponibilidad: Mide el porcentaje de tiempo que un equipo está listo y operativo cuando se necesita. Es fundamental para la productividad del CEDI. Una disponibilidad baja indica fallos frecuentes o tiempos de reparación extensos.
- Efectividad General del Equipo (OEE): Es un indicador compuesto que evalúa la utilización de un equipo en el proceso de alistamiento de pedidos. Considera:

Disponibilidad: Paradas.

Rendimiento: Velocidad reducida.

Calidad: Productos defectuosos o pedidos alistados con errores.

Interpretación: Un OEE bajo (<65%) señala ineficiencias significativas en los procesos.

- Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF): Representa la confiabilidad del equipo. Un MTBF alto indica que el equipo funciona durante largos periodos sin fallar es ideal para predecir la vida útil de componentes. Es una métrica clave en la gestión de la confiabilidad (SMRP, 2017)
- Tiempo Medio Para Reparar (MTTR): Mide la mantenibilidad y la eficiencia del equipo de mantenimiento para reparar una falla. Un MTTR alto sugiere falta de repuestos, capacitación insuficiente o procedimientos deficientes.
- Cumplimiento del Plan de Mantenimiento: Evalúa la disciplina en la ejecución del mantenimiento planificado (preventivo y predictivo). Un bajo cumplimiento aumenta el riesgo de fallos repentinos.
- Backlog de Mantenimiento: Es una medida de la carga de trabajo pendiente en semanas u horas de trabajo. Un backlog controlado es signo de una buena planificación y dotación de personal. Un backlog muy alto (>20 horas) indica exceso de trabajo correctivo. Uno muy bajo (<10 horas) puede sugerir recursos ociosos.
- Costo de Mantenimiento vs. Valor de Reemplazo del Activo (VRA): Este indicador contextualiza el gasto en mantenimiento. Compara el costo anual de mantener un activo con

lo que costaría reemplazarlo por uno nuevo. Un porcentaje que se eleva constantemente es una alerta de que el activo es costoso de mantener. (Ley de los Costos Crecientes) (Hronec, 1995).

- Cumplimiento de Órdenes de Trabajo en Tiempo: Mide la puntualidad en la finalización de las órdenes de trabajo, según lo planificado. Refleja la eficacia de la programación, la disponibilidad de herramientas y la productividad del personal. Impacta directamente en el MTTR y la disponibilidad.

### ***Metodología de Implementación***

- Recolección de datos: Establecer un sistema confiable (CMMS) para registrar tiempos de parada, causas de fallo, horas de trabajo y costos.
- Línea base: Calcular los indicadores con datos históricos para establecer un punto de partida.
- Metas y objetivos: Definir metas realistas y desafiantes para cada KPI, alineadas con los objetivos del CEDI.
- Análisis y mejora continua: Realizar reuniones periódicas (semanales/mensuales) para revisar los KPIs, analizar desviaciones y definir planes de acción como análisis de causa raíz para los fallos recurrentes.
- Tablero de Control (Dashboard): Crear un visual dashboard accesible para toda la organización, para realizar seguimiento y control de las actividades.

### ***Cuadro de mando integral***

La gestión del mantenimiento, evaluada a través de métricas aisladas de disponibilidad o costo, debe ser reenfocada a través de una lente sistémica. Como establece Steven M. Hronec en su modelo Quantum Performance, el desempeño superior no es el resultado de optimizar funciones individuales, sino de la alineación sinérgica de tres dimensiones interdependientes.

Al aplicar este principio al mantenimiento de equipos críticos del CEDI, la medida del éxito se define por la armonía entre:

- El Desempeño del Proceso: La eficiencia y confiabilidad operativa tangible, reflejada en la máxima disponibilidad de los equipos y la efectividad de los flujos de trabajo de mantenimiento.
- La Generación de Valor: La traducción de dicho desempeño en resultados financieros, a través del control estricto de costos y la maximización del ciclo de vida útil del activo, garantiza que su contribución neta sea positiva.
- La Satisfacción del Cliente Interno: El cumplimiento y superación de las expectativas de las áreas operativas que dependen del activo, construyen una cadena de confiabilidad que sustenta toda la operación del CEDI.

La Tabla 33, integra los indicadores clave del modelo Quantum Performance aplicados a equipos críticos de un CEDI, organizados en las dimensiones de desempeño, valor y satisfacción. En desempeño, se evalúan la disponibilidad, la eficiencia y el cumplimiento del plan de mantenimiento para asegurar continuidad operativa y estabilidad en los procesos. En la dimensión de valor, se analizan los costos de mantenimiento y el nivel de backlog como medida del equilibrio entre recursos y carga de trabajo. Finalmente, la dimensión de satisfacción considera la oportunidad en la atención de órdenes y la confiabilidad técnica reflejada en los tiempos y frecuencia de fallos, con el fin de fortalecer la percepción interna del servicio y la efectividad del sistema.

Tabla 33

## Mapa quantum de desempeño

| Dimensión Quantum | Indicador                              | Métrica                                                | Meta Quantum | Impacto en Valor                                                      |
|-------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Desempeño         | Disponibilidad Operacional             | $(MTBF/(MTBF+MTTR)) \times 100\%$                      | >95%         | Garantiza continuidad operativa y reduce pérdidas por paro.           |
|                   | OEE (Eficiencia Global del Equipo)     | Disp.% × Rend.% × Calidad%                             | >85%         | Mide la productividad real y refleja eficiencia integral.             |
|                   | Cumplimiento del Plan de Mantenimiento | $(Tareas Realizadas/Tareas Planificadas) \times 100\%$ | >90%         | Demuestra disciplina operativa y estabilidad de procesos.             |
| Valor             | Costo de Mantenimiento/VRA             | $(Costo Mant./VRA) \times 100\%$                       | <5%          | Evalúa si el gasto genera valor o se aproxima al umbral de reemplazo. |
|                   | Backlog de Mantenimiento               | Horas Pendientes/Horas Disponibles                     | 10–15 horas  | Mide equilibrio entre carga de trabajo y recursos disponibles.        |
| Satisfacción      | Cumplimiento de Órdenes en Tiempo      | $(Órdenes a Tiempo/Total) \times 100\%$                | >95%         | Aumenta confianza interna y percepción de servicio eficiente.         |
|                   | MTTR (Tiempo Medio para Reparar)       | Tiempo Total de Reparación/Total Fallos                | <50 horas    | Reduce impacto en operaciones y mejora la satisfacción interna.       |
|                   | MTBF (Tiempo Medio entre Fallos)       | Tiempo Operativo/Total Fallos                          | >600 horas   | Refuerza la confiabilidad del sistema y reduce intervenciones.        |

*Nota. Se establece un mapa quantum, donde se establecen las metas y el impacto en valor de cada uno de los indicadores asociados al proceso de mantenimiento del CEDI. Autoría Propia.*

La implementación de estos 8 indicadores, basados en marcos reconocidos internacionalmente, proporciona una visión integral y objetiva del desempeño del mantenimiento en el CEDI. No se trata solo de medir, sino de utilizar estos datos para impulsar decisiones que aumenten la confiabilidad, reduzcan costos y aseguren el flujo ininterrumpido de las operaciones logísticas. La sinergia entre la disciplina de la ISO, las mejores prácticas del SMRP y el enfoque de eficiencia de Quantum Performance, crea un sistema robusto para la excelencia operacional.

**Conclusión del desarrollo del objetivo CUATRO**

La construcción del Cuadro de Mando Integral basado en la metodología Quantum Performance permitió establecer una estructura sólida para evaluar el desempeño del mantenimiento en los equipos críticos del CEDI. La integración de los ocho indicadores seleccionados dentro del marco de la ISO 15341:2020 aseguró un sistema de medición coherente con estándares internacionales, orientado a la efectividad, la eficiencia y la calidad del servicio. La medición del rendimiento genera valor cuando refleja y coordina simultáneamente las dimensiones de calidad, tiempo y costo, lo cual se logró mediante la adopción de esta metodología (Hronec, 1995).

La incorporación de las mejores prácticas del SMRP 6th Edition fortaleció el rigor técnico del tablero, ya que cada indicador presenta claridad conceptual y utilidad operativa. Los indicadores de disponibilidad, OEE, MTBF, MTTR, cumplimiento del plan de mantenimiento, backlog, costo de mantenimiento frente al valor de reemplazo del activo y cumplimiento de órdenes de trabajo permiten una evaluación integral del comportamiento de los activos y de la gestión del área. Este conjunto de métricas facilita la identificación de desviaciones, la priorización de acciones correctivas y la consolidación de un proceso de toma de decisiones sustentado en datos verificables, lo cual incrementa la madurez operativa del sistema de mantenimiento.

Finalmente, la aplicación del modelo Quantum Performance otorgó una visión sistémica al tablero, al relacionar el desempeño operativo con la generación de valor y la satisfacción del cliente interno. Esta perspectiva permitió comprender que el éxito del mantenimiento no depende únicamente de la reducción de fallas, sino también del impacto directo en la confiabilidad del proceso logístico y en la calidad de los pedidos. La implementación del cuadro de mando estableció una estructura estratégica que fortalece la comunicación entre mantenimiento y operación, promueve una gestión orientada a resultados y contribuye al desarrollo de una organización más eficiente, confiable y alineada con las demandas del cliente.

**Objetivo CINCO- Plan Estratégico**

Recomendar la construcción e implementación de un Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA), alineado con los objetivos estratégicos de la organización bajo la norma ISO 55000:2024 y tener como base el presente trabajo de profundización y la normatividad aplicada.

***Introducción***

La Gestión de Activos es un enfoque sistemático y coordinado para dirigir y controlar los activos a lo largo de su ciclo de vida, con el fin de generar valor sostenible para la organización. El Presente Esquema de Gestión de Activos (PEGA) para un CEDI, integra de forma práctica los conceptos de confiabilidad, mantenibilidad, riesgo, desempeño y sostenibilidad, esta alineado con los lineamientos de las normas ISO 55000, ISO 55001 e ISO 55002. Este documento establece la estructura, los requisitos, los criterios de toma de decisiones y los mecanismos de control que permiten gestionar los activos físicos del CEDI, de manera eficaz, trazable y conforme con estándares internacionales, con base en el presente documento y asegura la continuidad operativa de procesos críticos como almacenamiento, Picking y despachos.

***Conceptos y Principios Fundamentales según ISO 55000***

La ISO 55000 define el marco conceptual de la gestión de activos, enfatiza cinco principios esenciales que orientan el diseño del sistema en el CEDI:

**Principio de Valor:** el valor para el CEDI se define no solo en términos financieros, sino también a través de la continuidad operativa, la seguridad de los operarios, la confiabilidad de los equipos de manejo de materiales, la protección ambiental, el cumplimiento regulatorio y la reputación. El PEGA integra este principio y asegura que todas las decisiones, desde la adquisición de un montacargas hasta el mantenimiento del sorter, se fundamenten en la generación de valor durante todo su ciclo de vida.

**Principio de Alineación:** la gestión de activos del CEDI está directamente vinculada con los objetivos estratégicos corporativos, como la reducción de tiempos de despacho, el incremento de la precisión en el picking, la optimización de costos logísticos y la garantía de servicio al cliente. Las decisiones de mantenimiento, renovación, operación, inversión y retiro de activos siguen criterios derivados de esta estrategia global.

**Principio de Liderazgo y Gobierno:** la alta dirección del CEDI proporciona claridad en la gobernanza mediante políticas, roles, responsabilidades y disponibilidad de recursos. Este principio garantiza que la gestión de activos se ejecute bajo un marco de autoridad bien definido y compatible con las expectativas estratégicas y asigna dueños claros para cada categoría de activo.

**Principio de Aseguramiento:** la organización valida que los procesos del sistema de gestión funcionan conforme a lo establecido mediante auditorías internas, control documental, indicadores clave (KPIs), revisiones de desempeño y mecanismos de mejora continua. Esto garantiza la trazabilidad de las intervenciones y la confiabilidad operativa de los equipos.

**Principio de Sostenibilidad:** el enfoque del ciclo de vida considera el uso eficiente de recursos energéticos en equipos como montacargas y bandas transportadoras, el impacto ambiental, los costos totales de propiedad y la continuidad operativa. La sostenibilidad se incorpora mediante prácticas de mantenimiento eficaces, renovación oportuna, desempeño energético y gestión responsable del fin de vida de los activos.

### ***Requisitos del Sistema de Gestión de Activos según ISO 55001***

La ISO 55001 establece los requisitos obligatorios que debe cumplir el SGA. El PEGA del CEDI considera cada uno de ellos de la siguiente manera:

**Contexto de la Organización:** se identifican las necesidades y expectativas de las partes interesadas internas (Operaciones, Logística, Mantenimiento) y externas (clientes, proveedores).

Se han identificado los activos críticos<sup>7</sup>, los procesos esenciales (Picking Automático, Clasificación, Almacenamiento) y los factores internos (competencia técnica) y externos (disponibilidad de repuestos) que afectan la operación.

**Liderazgo:** la dirección define la Política de Gestión de Activos y establece coherencia con la estrategia corporativa. El liderazgo garantiza los recursos necesarios, define roles claros y promueve la participación activa de todas las áreas involucradas, desde Operaciones de Almacén hasta Mantenimiento.

**Planificación:** la planificación del PEGA para su implementación en el CEDI debe incluir:

- Objetivos medibles, como el aumento del OEE (Eficiencia General de los Equipos) en las bandas transportadoras o la reducción del MTTR (Tiempo Medio de Reparación) de los montacargas.
- Evaluación estructurada de riesgos para cada activo crítico, con AMEF.
- Integración con los indicadores estratégicos del negocio.
- Planes de mantenimiento que consideren disponibilidad, confiabilidad, costos totales y sostenibilidad.

**Soporte:** comprende el desarrollo de competencias técnicas del personal de mantenimiento y operación, protocolos de comunicación, la creación y actualización de la información de cada activo (historial, datos técnicos, manuales), y la provisión de recursos físicos y tecnológicos (software GMAO, herramientas de diagnóstico).

**Operación:** establece controles operacionales mediante planes de mantenimiento basados en la criticidad de cada activo. Para los montacargas trilaterales, esto implica mantenimiento predictivo; para los transpaletas, un enfoque más correctivo. Incluye procedimientos de operación segura, inspecciones periódicas, actualización de datos y gestión de cambios técnicos.

---

<sup>7</sup> Ver Tabla 3

Evaluación del Desempeño: requiere mecanismos para monitorear, medir y analizar:

- KPIs específicos por tipo de activo (ej.: ciclos/hora del SDA, disponibilidad de la Planta Eléctrica).
- Auditorías internas anuales al SGA.
- Revisión anual de la eficacia del PEGA por la dirección.
- Cumplimiento de la legislación aplicable.
- Análisis de resultados frente a objetivos establecidos.

**Mejora Continua:** incluye la implementación de acciones correctivas derivadas de fallas, el análisis de causa raíz (RCA) de paradas no programadas, la evaluación de oportunidades de optimización (ej.: modernización de equipos) y la incorporación de lecciones aprendidas.

#### ***Guía de Aplicación según ISO 55002***

La ISO 55002 proporciona orientación práctica para implementar los requisitos de ISO 55001 en el CEDI.

**Definición del Valor:** la organización establece criterios cuantitativos y cualitativos para evaluar el valor de sus activos, como:

- Disponibilidad: crítica para los equipos de alistamiento.
- Confiabilidad: esencial en montacargas y operación de almacén.
- Cumplimiento: normas de seguridad en equipos de trabajo de alturas.
- Riesgo residual: asociado a la falla de la UPS o Planta Eléctrica.
- Costo total de propiedad: incluye energía, mantenimiento y depreciación.
- Impacto operativo y ambiental: de la gestión de baterías y lubricantes usados.

**Ciclo de Vida del Activo:** considera todas las etapas para cada equipo:

- Identificación de necesidades: basada en proyectos de expansión o mejora de eficiencia.
- Adquisición: con especificaciones técnicas que aseguren confiabilidad y facilidad de mantenimiento.
- Puesta en marcha: aceptación técnica y registro en el inventario de activos.
- Operación: uso según procedimientos y capacitación del operador.
- Mantenimiento: aplica la estrategia definida por criticidad.
- Renovación / Modernización: evaluación tecnológica y económica.
- Retiro o disposición final: baja controlada y gestión de residuos.

La Tabla 34 muestra las etapas del ciclo de vida de una activo; cada etapa se basa en criterios técnicos, económicos y de riesgo. Se indican los responsables para cada actividad.

**Tabla 34**

**Etapas del ciclo de vida de un activo**

| <b>Etapas</b>    | <b>Actividad Clave</b>                                                 | <b>Responsable</b>                     | <b>Norma</b>                                    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Adquisición      | Análisis de LCC, especificaciones técnicas y evaluación de proveedores | Ingeniería/Compras                     | ISO 55002/UNE-EN 16646                          |
| Puesta en Marcha | Pruebas de aceptación (SAT-FAT), Capacitación.                         | Proyectos/Mantenimiento                | ISO 55001                                       |
| Operación        | Seguimiento del desempeño, registro de desempeño y condición.          | Operaciones                            | ISO 55001                                       |
| Mantenimiento    | RCM, CBM, predictivo, análisis de modos de falla                       | Mantenimiento                          | ISO 14224 / ISO 55002/UNE EN 13460/UNE EN 17007 |
| Modernización    | Evaluación en obsolescencia, análisis de mejora tecnológica            | Ingeniería/Mantenimiento               | ISO 55002/UNE-EN 60300                          |
| Retiro           | Evaluación de obsolescencia, riesgo residual y costo remanente         | Mantenimiento, Gerencia de operaciones | ISO 55002                                       |

*Nota. La tabla indica las etapas del ciclo de vida de un activo. Autoría Propia.*

**Gestión del Riesgo:** Incluye metodologías aplicables como:

- AMEF: para analizar modos de falla potenciales en sistemas complejos como el SDA o los montacargas.
- Análisis RAM (Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad): para sistemas de bandas transportadoras.
- Modelos de confiabilidad: como Weibull para predecir la vida útil de componentes.
- Matrices de riesgo operativo: para priorizar intervenciones.
- Evaluación cuantitativa de consecuencias: de una parada del sistema de picking o el SDA

La tabla 35 muestra la matriz de priorización de activos de un CEDI, donde se establecen los niveles de riesgo operativo de los equipos críticos que apoyan los procesos logísticos.

**Tabla 35**

**Matriz de priorización de activos**

| Equipo                            | Área del Proceso   | Criticidad | Impacto  | Riesgo |
|-----------------------------------|--------------------|------------|----------|--------|
| Montacargas Trilateral 1-3        | Almacén            | Alta       | Alto     | Alto   |
| Montacargas Order Picker 1-3      | Almacén            | Media-Alta | Medio    | Medio  |
| Transpaleta 1-2                   | Almacén            | Baja       | Bajo     | Bajo   |
| Estibador eléctrico 1-3           | Almacén            | Baja       | Bajo     | Bajo   |
| Subestación eléctrica 450 KVA     | CEDI General       | Muy alta   | Muy Alto | Alto   |
| Planta eléctrica 500 KVA          | CEDI General       | Muy alta   | Muy Alto | Alto   |
| UPS (100KVA)                      | CEDI General       | Alta       | Alto     | Medio  |
| Sistema bandas Rodillo 1-4        | Picking            | Media      | Alto     | Alto   |
| Impresora etiquetas 1-2           | Picking            | Media      | Medio    | Medio  |
| Sorter clasificador despachos     | Despachos          | Alta       | Alto     | Medio  |
| Flejadora automática              | Despachos          | Alta       | Alto     | Medio  |
| SDA (System Dispensing Automatic) | Picking automático | Alta       | Alto     | Medio  |
| Banda de rodillos salida SDA      | Picking automático | Media      | Medio    | Medio  |

*Nota. La tabla indica la priorización de equipos de un CEDI y establece niveles de criticidad, impacto y riesgo. Autoría Propia.*

**Gobernanza del PEGA:** La gobernanza formal fija roles, responsabilidades y autoridad para asegurar control y trazabilidad en el CEDI. Los roles principales son:

- Director de Activos / Planta: responsable último del SGA y su alineación estratégica con los objetivos del CEDI.
- Ingeniero de Confiabilidad: responsable del análisis RAM, aplicación de RCM, análisis de modos de falla y definición de indicadores técnicos.
- Coordinador de Mantenimiento: responsable de la ejecución del plan de mantenimiento, control de recursos (repuestos, mano de obra) y gestión de órdenes de trabajo.
- Analista de Riesgos: responsable del análisis cuantitativo de riesgos, actualización de matrices y verificación del cumplimiento de los controles.
- Jefe de Operaciones (Almacén/Despachos): responsable de la operación segura de los equipos, la retroalimentación sobre el desempeño y el control operativo diario.

Cada rol mantiene una responsabilidad documentada en procedimientos y es auditado conforme a ISO 55001.

**Evaluación del Riesgo para el CEDI:** se aplican metodologías específicas de acuerdo con la naturaleza de cada activo:

- AMEF / FMECA: aplicado a sistemas complejos y automatizados como el SDA y el Sorter para identificar puntos débiles críticos.
- Modelos RAM (Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad): utilizados para los sistemas de bandas transportadoras para simular escenarios y optimizar stocks de repuestos.
- Diagramas de Confiabilidad (RBD): para modelar la dependencia entre los sistemas de energía (Subestación, Planta, UPS) y su impacto en la operación.
- Matrices de Riesgo Operativo: para priorizar las intervenciones de mantenimiento basándose en la criticidad de los equipos<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Véase Tabla 35.

**Modelos Probabilísticos de Falla:** como el análisis Weibull, para predecir la vida útil de componentes críticos en montacargas.

**Evaluación de Criticidad Integral:** combina consecuencia operativa, probabilidad de falla y detectabilidad para cada activo.

**Cronograma de Implementación del PEGA:** el PEGA comprende un proyecto de alta importancia para su implementación en la organización; esto hace que sea prioritario la implementación de un cronograma de actividades para su correcta implementación.

La Tabla 36 muestra un cronograma con las diversas fases de implementación del PEGA y las actividades claves, así como la duración que tiene cada una de ellas y los entregables en cada fase.

**Tabla 36**

**Cronograma de implementación del PEGA**

| Fase               | Semanas | Actividades                                                   | Entregables                                   |
|--------------------|---------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Diagnóstico        | 1–4     | Evaluación de madurez, análisis de brechas, revisión de datos | Informe de diagnóstico y brechas              |
| Diseño estratégico | 5–8     | Definición de política, objetivos, estructura gobernanza      | Política de activos, objetivos estratégicos   |
| Diseño técnico     | 9–14    | Modelos de ciclo de vida, RCM, AMEF, análisis de riesgos      | Matriz de criticidad, planes de mantenimiento |
| Implementación     | 15–20   | Capacitación, indicadores, integración con operaciones        | Programa, capacitación, tableros de control   |
| Mejora             | 21–24   | Auditorías, análisis de desempeño, ajustes del sistema        | Informe de auditoría, plan de mejora          |

*Nota. La tabla muestra el cronograma de implementación de un PEGA para un CEDI, con un tiempo de ejecución de 6 meses. Autoría Propia.*

**Beneficios del PEGA para el CEDI:** en un entorno logístico donde la precisión, la velocidad y la confiabilidad son pilares fundamentales, la gestión eficaz de los activos físicos se convierte en un factor crítico de éxito. Los Centros de Distribución dependen de una operación continua y fluida para cumplir con los exigentes niveles de servicio. Una falla inesperada en áreas críticas como la de picking o despachos puede generar interrupciones costosas en toda la cadena de suministro.

PEGA se presenta como una solución integral que trasciende el mantenimiento correctivo tradicional. Al integrar metodologías predictivas y datos en tiempo real con un sistema de gestión (GMAO) robusto, transforma la gestión de activos en un proceso estratégico, proactivo y basado en datos. Esta aproximación no solo previene fallas, sino que optimiza todos los aspectos del ciclo de vida de los activos y da al CEDI en una ventaja competitiva sostenible.

A continuación, se detallan los beneficios clave que PEGA aporta a la operación:

- Reducción del Costo Total de Propiedad: optimiza las estrategias de mantenimiento, extiende la vida útil de los activos y reduce los costos asociados a su propiedad y operación.
- Incremento en Confiabilidad y Disponibilidad: minimiza las paradas no programadas en áreas críticas como Picking y Despachos y asegura la continuidad operativa.
- Mejor Control del Riesgo Operacional: facilita la identificación y mitigación proactiva de riesgos, minimiza incidentes y mejora la seguridad.
- Optimización del Ciclo de Vida de los Activos: permite tomar decisiones informadas y económicamente ventajosas sobre reparar, renovar o reemplazar un activo.
- Mayor Trazabilidad Técnica y Documental: centraliza toda la información a través de un sistema GMAO robusto con el control documental y el historial de cada activo.
- Sostenibilidad Operativa y Ambiental: contribuye a la reducción de consumos energéticos, gestiona correctamente los residuos y alinea la operación con objetivos de sostenibilidad.

- Disminución de Fallas Imprevistas: gracias a la implementación de mantenimiento predictivo y al análisis continuo de datos, se anticipa y previene las fallas antes de que ocurran.
- Mejora en la Toma de Decisiones: proporciona datos precisos de desempeño y análisis de costos del ciclo de vida y es la base de las decisiones estratégicas y tácticas.

### ***Conclusión del desarrollo del objetivo CINCO***

El Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA) es un componente estratégico fundamental para el sistema de gestión del CEDI. Su alineación con la familia de normas ISO 55000 garantiza un enfoque estructurado, auditable y orientado al valor a lo largo de todo el ciclo de vida de los activos, que abarca desde los montacargas hasta los sistemas automatizados complejos.

La implementación exitosa de este esquema dota a la organización de una disciplina operativa sólida, una reducción significativa de riesgos y un aumento tangible en la confiabilidad de los equipos. Este marco robusto, además, asegura la sostenibilidad y la mejora continua de las operaciones logísticas centrales para la cadena de suministro.

Además, el modelo funciona como un nexo central que integra perspectivas financieras, operativas y de gestión de riesgos. Transforma la gestión de activos de una función de mantenimiento reactiva y centrada en costos, en un pilar estratégico proactivo que genera valor. Al establecer líneas claras de responsabilidad y procesos de toma de decisiones basados en datos, el PEGA capacita a la gerencia para que optimice los gastos de capital y los gastos operativos.

Este resultado se logra mediante la priorización de inversiones y acciones de mantenimiento con base en su impacto directo en los objetivos del negocio, como los niveles de servicio al cliente y las tasas de cumplimiento de pedidos, lo que vincula el desempeño de los activos físicos con resultados financieros corporativos.

La adopción de este modelo alineado con la ISO 55000 representa un cambio cultural y operativo hacia la excelencia en la gestión de activos. Establece una base sólida no solo para sostener el desempeño actual, sino también para impulsar un entorno de optimización perpetua. El ciclo de retroalimentación continúa incorporado en el marco estratégico y asegura que la gestión de activos se mantenga dinámica y se adapte a los futuros desafíos del mercado y los avances tecnológicos para los entornos logísticos. Esta estrategia posiciona al CEDI como un eslabón resiliente, eficiente y altamente competitivo dentro de la cadena de suministro, lo que asegura la creación de valor para la organización a largo plazo.

### **Objetivo SEIS- Conclusiones**

Concluir los principales resultados obtenidos y las recomendaciones sugeridas en el presente trabajo.

### ***Introducción***

A continuación se presenta un resumen de las conclusiones derivadas del desarrollo de los objetivos propuestos en para este documento. Cada sección presenta una síntesis de los hallazgos claves, con comentarios que destacan los puntos fuertes y las áreas de consideración. El documento culmina con una conclusión general que integra los aspectos más relevantes para el cierre del informe.

El desarrollo del Objetivo 1 estableció una base integral para la taxonomía y jerarquía de activos de los equipos industriales del CEDI, con base en la norma ISO 14224:2016. Esta norma proporcionó un marco sistemático para la recolección y organización de datos de confiabilidad y mantenimiento. Se logró una identificación precisa de familias, clases y subclases de activos, lo que facilita un análisis de fallas consistente y una toma de decisiones basada en datos. La clasificación consideró la criticidad operativa de equipos como montacargas y bandas transportadoras. Además, el análisis de datos específicos permitió alinear la información con los requisitos del Anexo A de la ISO 14224, sentando una base sólida para metodologías avanzadas como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el análisis predictivo.

Se demuestra una base técnica debido a la adopción de la ISO 14224:2016 la cual estandariza los datos y permite comparaciones y análisis confiables. La mención explícita de equipos críticos evidencia un enfoque práctico y priorizado. El éxito futuro depende de la aplicación consistente de esta taxonomía en los sistemas de gestión del día a día. Se debe garantizar que el personal operativo y de mantenimiento adopte y utilice este sistema de clasificación para que los beneficios de trazabilidad y confiabilidad se materialicen plenamente. La base establecida es excelente, pero su valor real se medirá en la implementación sostenida.

El análisis de Confiabilidad del Sistema (RBD) reveló que el sistema de alistamiento de pedidos posee una confiabilidad general robusta, con etapas finales como impresión y despachos que superan el 99%. No obstante, se identificaron componentes críticos con desempeño inferior al 90%, como la Flejadora 1 y el Sorter, que actúan como cuellos de botella y afectan la fluidez operativa general. El estudio destacó la interdependencia de los subsistemas, donde elementos auxiliares como estibadores y transpaletas presentan confiabilidades entre 85% y 92%, introduciendo riesgos de interrupción. La conclusión subraya que la fortaleza del sistema depende de su eslabón más débil y recomienda un plan de mejora continua focalizado para alcanzar una confiabilidad global sostenible superior al 95%.

Este análisis con RBD, es fundamental porque traslada la teoría de la confiabilidad a la realidad operativa. La identificación cuantitativa de los cuellos de botella es un resultado crucial y accionable, esto permite dirigir recursos y atención a los sistemas críticos. La recomendación de un plan de mantenimiento focalizado es correcta, pero se debe complementar con un análisis de causa raíz para estos equipos problemáticos. No basta con aumentar la frecuencia del mantenimiento; se debe entender por qué fallan estos componentes específicos para implementar soluciones permanentes y no soluciones reactivas.

El Objetivo 3 consistió en el desarrollo de un Plan de Mantenimiento alineado con la norma ISO 17007. Este plan estructuró una estrategia basada en procesos para la gestión de equipos críticos. Se formularon rutinas de mantenimiento con base en la criticidad y confiabilidad

de cada equipo, con actividades preventivas, predictivas y correctivas según su impacto operativo. La definición clara de recursos, responsabilidades y materiales estableció un modelo organizacional que minimiza ambigüedades y fortalece la capacidad de respuesta del área de mantenimiento. El plan contribuye a reducir fallas repetitivas, fortalecer la disponibilidad y orientar las decisiones con base en datos.

La creación de un plan de mantenimiento formal y estándar es un paso hacia la madurez en la gestión de activos. La alineación con la ISO 17007 asegura un enfoque sistemático y auditable. La integración de distintos tipos de mantenimiento según la criticidad es una práctica que optimiza recursos y maximiza la disponibilidad. El mayor desafío en esta fase será la ejecución disciplinada y el seguimiento meticuloso de las métricas definidas. La claridad en roles y responsabilidades es un pilar para el éxito, pero requiere un programa de capacitación continua y un sistema de gestión del desempeño para asegurar el cumplimiento.

Para el Objetivo 4, se construyó un Cuadro de Mando Integral, bajo la metodología Quantum Performance, con ocho indicadores claves alineados con la ISO 15341:2020 y las mejores prácticas del SMRP. Los indicadores, como Disponibilidad, OEE, MTBF, MTTR y cumplimiento del plan de mantenimiento, permiten una evaluación integral del desempeño. Este tablero facilita la identificación de desviaciones, la priorización de acciones correctivas y la toma de decisiones basada en datos verificables. La aplicación del modelo otorga una visión sistémica que relaciona el desempeño operativo del mantenimiento con la generación de valor y la satisfacción del cliente interno.

La implementación de un Cuadro de Mando Integral representa la evolución de la gestión de mantenimiento de una función operativa a una estratégica. La selección de indicadores bajo estándares internacionales le confiere rigor y credibilidad. La gran ventaja de este cuadro de mando es que convierte datos operativos en información estratégica, facilita la comunicación entre mantenimiento y alta dirección. El reto principal consiste en garantizar la calidad y la puntualidad de los datos de entrada, así como en crear una cultura organizacional donde los

indicadores se utilicen para el aprendizaje y la mejora, y no solo para la supervisión o la rendición de cuentas.

El Objetivo 5 culminó con la formulación de un Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA), alineado con la familia de normas ISO 55000. Este plan establece un enfoque estructurado y orientado al valor para gestionar el ciclo de vida completo de los activos. El PEGA transforma la gestión de activos de una función reactiva centrada en costos a un pilar estratégico proactivo que genera valor, integra perspectivas financieras, operativas, de gestión de riesgos, y establece líneas claras de responsabilidad y procesos de decisión basados en datos. Su implementación busca optimizar gastos, priorizar inversiones y vincular el desempeño de los activos físicos con los resultados financieros corporativos.

El PEGA es la pieza maestra que consolida y da sentido a todos los objetivos anteriores. La adopción del marco ISO 55000 representa un cambio de paradigma cultural, posiciona la gestión de activos en el corazón de la estrategia del negocio. Este plan proporciona la gobernanza necesaria para sostener las mejoras técnicas logradas en los objetivos previos. El mayor beneficio es la creación de un lenguaje común entre la gerencia financiera, operativa y de mantenimiento. La sostenibilidad del PEGA depende del compromiso continuo de la alta dirección y de la integración de su ciclo de retroalimentación en los procesos de planificación estratégica anual de la organización.

### ***Conclusión general***

El desarrollo secuencial de los cinco objetivos presenta un recorrido lógico y completo hacia la excelencia en la gestión de activos del CEDI. El proyecto inicia con la base fundamental de la clasificación y taxonomía de activos, progresa hacia el diagnóstico de la confiabilidad del sistema, consolida las operaciones mediante un plan de mantenimiento estructurado, implementa un sistema de medición del desempeño y culmina con un marco estratégico integral.

Cada conclusión no solo valida el cumplimiento de un objetivo específico, sino que también construye sobre el anterior, creando una pirámide de madurez organizacional. La

estandarización bajo normas ISO a lo largo de todo el proyecto (14224, 17007, 15341, 55000) garantiza coherencia y un alto nivel de rigor técnico.

Los hallazgos claves convergen en un mensaje central: la gestión de activos dejó de ser una función técnica aislada para convertirse en un elemento estratégico, transversal y generador de valor. La identificación de cuellos de botella en el RBD, la priorización basada en criticidad en el plan de mantenimiento y la visión integral del Cuadro de Mando Integral y el PEGA, demuestran una transición de un enfoque reactivo a uno proactivo y basado en datos.

El éxito futuro del CEDI y sus operaciones, reside en la implementación disciplinada, la apropiación cultural de estos nuevos procesos y sistemas y la explotación continua del ciclo de retroalimentación establecido. Este proyecto sienta las bases no solo para mantener el desempeño operativo actual, sino para impulsar una mejora continua que fortalezca la resiliencia, la eficiencia y la competitividad del CEDI en el mercado logístico. El resultado final es una organización mejor preparada para enfrentar los desafíos futuros, con una gestión de activos que sustenta la creación de valor a largo plazo.

**Desarrollo de los CINCO Objetivos**

A continuación se muestra el desarrollo de cómo se alcanza cada uno de los objetivos del presente trabajo de profundización.

***Objetivo UNO - Taxonomía***

La consolidación de la taxonomía de activos del CEDI se alcanzó a través de un proceso metódico que unificó información técnica, operativa y funcional bajo los criterios de la ISO 14224:2016. Esta estructuración permitió ordenar los equipos de forma coherente, definir sus relaciones jerárquicas y establecer criterios de clasificación que reflejan su comportamiento real dentro del sistema logístico. Con esta organización de activos, el CEDI dispone de un mapa técnico claro que otorga consistencia al análisis de confiabilidad y mantenimiento.

El proceso también permitió identificar cómo cada equipo influye en la cadena operativa, lo que aportó claridad sobre el rol y la criticidad de los activos dentro del flujo logístico. La estandarización obtenida evita interpretaciones ambiguas, facilita la integración con futuros modelos analíticos y mejora el control de la información técnica. Este logro incrementa la capacidad del CEDI para administrar datos históricos, ejecutar diagnósticos precisos y priorizar intervenciones. Además, crea un lenguaje común entre las áreas técnicas, lo que favorece la comunicación y asegura una gestión más disciplinada.

***Objetivo DOS - RBD***

El desarrollo del RBD permitió visualizar cómo interactúan los equipos del sistema logístico del CEDI y qué tan expuestos están los puntos críticos a fallas que detienen la operación. El análisis reveló etapas con alta estabilidad, pero también mostró componentes cuyos niveles de confiabilidad requieren atención inmediata para evitar interrupciones. Esta representación gráfica otorgó al CEDI una herramienta que conecta el comportamiento real de los subsistemas con su impacto directo en la capacidad operativa.

La lectura detallada de cada bloque permitió establecer prioridades técnicas y entender el efecto acumulado de los fallos menores sobre el rendimiento global. La metodología adoptada

fortalece la planificación y apoya intervenciones más precisas en los componentes más vulnerables.

El ejercicio permitió también identificar la dependencia entre las etapas de alistamiento, transporte interno y despacho, lo que dio una visión sistémica del flujo logístico. La información derivada del modelo facilita el cálculo de la confiabilidad total y aporta criterios objetivos para sustentar decisiones tácticas. A partir del RBD, El CEDI posee una herramienta que mejora su capacidad para anticipar riesgos y estructurar estrategias de mantenimiento alineadas con el comportamiento real del sistema.

### ***Objetivo TRES – Plan de Mantenimiento***

El desarrollo del plan de mantenimiento partió de un análisis profundo de la criticidad y las funciones operativas de los activos, lo que permitió definir actividades preventivas, correctivas y predictivas ajustadas a las necesidades reales del CEDI. La aplicación de los lineamientos de la ISO 17007 facilitó la construcción de un modelo ordenado, con responsabilidades claras y procesos articulados de forma lógica. Esta estructura otorga estabilidad a las operaciones de mantenimiento y promueve intervenciones más eficientes.

El plan también integró la asignación de recursos, la definición de competencias necesarias y los materiales estratégicos para garantizar continuidad operativa. La formalización del proceso mejoró la trazabilidad de las actividades y fortaleció la capacidad del área para evaluar su propio desempeño. Cada actividad se formuló con criterios técnicos que se ajustan a las condiciones reales de trabajo y al comportamiento histórico de los equipos. La estructura obtenida impulsa una cultura de mantenimiento disciplinada, orientada a la mejora continua y basada en datos verificables.

### ***Objetivo CUATRO – Cuadro de Mando Integral***

La formulación del Cuadro de Mando Integral permitió unificar los indicadores clave de mantenimiento dentro de un sistema que refleja el desempeño técnico y su impacto sobre la operación del CEDI. La integración de la metodología Quantum Performance con la ISO 15341

aportó un marco analítico sólido que facilita la lectura del comportamiento de los activos. El tablero reúne métricas que muestran la eficiencia, la efectividad y la calidad del mantenimiento, lo que habilita un control más riguroso sobre la gestión del área

El Cuadro de Mando Integral, facilitó la alineación entre mantenimiento y operación, puesto que cada indicador muestra cómo la gestión técnica influye en el nivel de servicio y la continuidad del proceso logístico. La herramienta establece una conexión directa entre la calidad del mantenimiento y el valor generado para el negocio. Con este desarrollo, el CEDI dispone de un sistema que permite anticipar tendencias, gestionar riesgos y evaluar el impacto financiero de cada acción técnica.

#### ***Objetivo CINCO- Plan Estratégico***

El PEGA se desarrolló bajo los lineamientos de la norma ISO 55000, lo que permitió estructurar un enfoque que integra valor, riesgo y desempeño a lo largo del ciclo de vida de los activos. El plan unifica las dimensiones técnica, financiera y operativa, lo que transforma la gestión de activos en un componente estratégico dentro del CEDI. Este modelo ofrece criterios claros para priorizar inversiones, reducir riesgos y orientar la organización hacia resultados sostenibles. La definición de roles, la alineación con los objetivos corporativos y la visión de largo plazo consolidaron un marco estratégico robusto. El PEGA otorga una ruta clara para administrar los activos de forma disciplinada y orientada al valor.

### Bibliografía

- AENOR UNE 15341. (2020). *UNE 15341:2020. Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento (KPI)*. Asociación Española de Normalización.
- AENOR UNE 17007. (2018). *UNE-EN 17007*. [www.une.org](http://www.une.org)
- Alsyouf, I. (2006). Measuring maintenance performance using a balanced scorecard approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(2), 133-149. <https://doi.org/10.1108/13552510610667165>
- AltaRica 3.0. (2017). *Reliability Block Diagrams with AltaRica 3.0: part 1*. [www.altarica-association.org](http://www.altarica-association.org)
- Anthony, N., & Hastings, J. (2015). *Physical Asset Management With an Introduction to ISO55000 Second Edition*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14777-2>
- Asiedu, Y., & Gu, P. (1998). Product life cycle cost analysis: State of the art review. *International Journal of Production Research*, 36(4), 883-908. <https://doi.org/10.1080/002075498193444>
- Birolini, A. (2017). *Reliability Engineering: Theory and Practice* (8th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54209-5>
- Choi, T.-M., De Arijit, Goswami, M., Kundu, T., & Sheu, J.-B. (s. f.). *Achieving Sustainability while managing Supply-Distribution Operations during Facility Disruptions*.
- Clavijo Mesa, M. V., Patino-Rodriguez, C. E., Guevara Carazas, F. J., Gunawan, I., & Droguett, E. L. (2021). Asset management strategies using reliability, availability, and maintainability (RAM) analysis. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(11). <https://doi.org/10.1007/s40430-021-03222-y>
- Czerniachowska, K., & Lutoslawski, K. (2023). Optimising order picking efficiency in a warehouse and distribution centre: A flexible flow shop scheduling approach. *Procedia Computer Science*, 225, 832-841. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.070>
- Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. CRC Press.

- Elderhalli, Y., Hasan, O., & Tahar, S. (2019). *A Formally Verified HOL Algebra for Dynamic Reliability Block Diagrams*. <http://arxiv.org/abs/1908.01930>
- Fraifer, M. A., Coleman, J., Maguire, J., Trslić, P., Dooly, G., & Toal, D. (2025). Autonomous Forklifts: State of the Art—Exploring Perception, Scanning Technologies and Functional Systems—A Comprehensive Review. *Electronics (Switzerland)*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/electronics14010153>
- García, D., Crespo, A., & Márquez, A. (2019). Asset management decision making: Using multi-criteria decision analysis for asset management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25(2), 189-207. <https://doi.org/10.1108/JQME-08-2017-0054>
- Hastings, N. (2010). *Physical Asset Management*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-751-6>
- Hronec, S. M. (1995). *Signos vitales: el empleo de las medidas del rendimiento, la calidad, el tiempo y el coste para proyectar el futuro de la empresa*. McGraw-Hill.
- IEC 61078. (2006). *Analysis techniques for dependability-Reliability block diagram and boolean methods*.
- ISO 14224. (2016). *ISO 14224:2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. ISO.
- ISO 14224, & The British Standards Institution. (2016). *Iso 14224:2016[E]*. Bsi, 1999.
- ISO 55000. (2024). *Asset management-Vocabulary, overview and principles International Standard ISO 55000 Second edition 2024-07 ISO 55000:2024(en) COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT*.
- ISO 55001. (2024). *Asset management-Asset management system-Requirements COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT*. [www.iso.org](http://www.iso.org)
- Jenssen, H. P. (2022). *Implementing ISO 14224 taxonomy and equipment model in WellMaster Reliability Management System (WRMS) 5th ISO Seminar on International Standardization in the Reliability Technology and Cost Area*.

Kaplan, R. S. ., & Norton, D. P. . (2016). *El cuadro de mando integral : the balanced scorecard*. Gestión 2000.

Knezevic, Jezdimir. (1996). *Mantenimiento* (Primera Edicion). Isdefe.

Kok, D. (2023). *Towards the optimal maintenance process according with the EN-17007 standard*.  
<https://purl.utwente.nl/essays/94206>

Kovacevic, J., & Mmp, ; (s. f.). *Asset Hierarchy and the Link to Reliability Improvements*.  
Recuperado 29 de noviembre de 2025, de [www.smrp.org](http://www.smrp.org)

Mangano, G., & de Marco, A. (2014). The role of maintenance and facility management in logistics: A literature review. En *Facilities* (Vol. 32, Número 5). <https://doi.org/10.1108/F-08-2012-0065>

Márquez, A. C. (2019). *The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6779-4>

Mobley, R. Keith. (2002). *An introduction to predictive maintenance*. Butterworth-Heinemann.

Mora, L. A. (2019a). *Mantenimiento Industrial Efectivo CLAPAM 2024 a color Best Seller*.

Mora, L. A. (2019b). *Stock Cero para CLAPAM Best seller 2019 libro a colores*.

Mora, L. Alberto. (2009). *Mantenimiento : planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.

Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered-Maintenance-II* (Butterworth-Heinemann, Ed.; 2.a ed.).

Nachlas, J. A. (1995). *Fiabilidad*. Isdefe.

O'Connor, P., & Kleyner, A. (2011). *Practical Reliability Engineering i*.

Oyeniyi, L. D., Ugochukwu, C. E., Mhlongo, N. Z., Oyeniyi, L. D., Ugochukwu, C. E., & Mhlongo, N. Z. (2024). IoT applications in asset management: A review of accounting and tracking techniques. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(2), 1510-1525.  
<https://doi.org/10.30574/IJSRA.2024.11.2.0640>

- Ponce Talancón, H. (2007). La matriz foda: alternativa de diagnóstico y determinación de estrategias de intervención en diversas organizaciones. *Enseñanza e Investigación en Psicología*, 12(1), 113-130. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29212108>
- Prando, R. (1996). *Manual de Mantenimiento* (Primera). Editorial Piedra Santa S.A:
- Rausand, M., & Hoyland, A. (2004). *SYSTEM RELIABILITY THEORY Second Edition*.
- Richards, G. (2011a). *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse*. Kogan Page Ltd.
- Richards, G. (2011b). *Warehouse Management i*.
- Rios, J., Linfati, R., Morillo-Torres, D., Derpich, I., & Gatica, G. (2021). Optimal placement design for picking and packing in distribution centers. *Advances in Mechanical Engineering*, 13(4). <https://doi.org/10.1177/16878140211010657>
- Saderova, J., Rosova, A., Sofranko, M., & Kacmary, P. (2021). Example of warehouse system design based on the principle of logistics. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/su13084492>
- Saetia, K., Lukens, S., Pijcke, E., & Hu, X. (s. f.). *Data-driven Approach to Equipment Taxonomy Classification*.
- Shang, G. (2023). Warehouse equipment maintenance strategy based on the prediction of high-incidence periods of failure. *Engineering Failure Analysis*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827123007138>
- Shang, G., Xu, L., Lu, C., & Zhang, B. (2023). Warehouse equipment maintenance strategy based on the prediction of total amount of stock in & out operations. *Procedia CIRP*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.08.042>
- SMRP. (2017). SMRP Best Practices. En *Maintenance & Reliability Body of Knowledge* (Vol. 5, Número 2).
- Urbani, M. (2021). *Maintenance policies optimization in the Industry 4.0 paradigm*.

Woodward, D. G. (1997). Life cycle costing—Theory, information acquisition and application. *International Journal of Project Management*, 15(6), 335-344. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(96\)00089-0](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(96)00089-0)