

ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LA RUTA
DE RECIBO DE LA OPERACIÓN PORTUARIA DE GRANOS ITALCOL BARRANQUILLA
UTILIZANDO LA METODOLOGÍA RCM

LAURA ANDREA GALLARDO STAND

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2025

Actualización del plan de mantenimiento de los equipos de la ruta de recibo de la operación
portuaria de granos Itacol Barranquilla utilizando la metodología RCM

Laura Andrea Gallardo Stand

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Daniel Ortiz Plata

Magister en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

Quiero empezar agradeciendo a Dios por regalarme la vida y por darme fuerzas siempre para seguir luchando por mis sueños. Sin él no hubiese sido posible esta maravillosa oportunidad.

Este proyecto de grado está dedicado:

A mi madre Katia Stand Acosta por su amor incondicional y por llevarme a la luz de Cristo.

A mi padre Marco Alfonso Gallardo Bolaño, por apoyarme siempre, por consentirme tanto y dejarme tantas enseñanzas.

A mis hermanos por siempre estar unidos y siempre cuidarme.

Al mito por siempre apoyarme en cada situación y nunca dejarme sola, por acompañarme cuando más lo necesité.

A mis amigos, esos que me han ayudado a levantarme y siempre seguir.

A mis profesores que contribuyeron enriqueciendo mis conocimientos.

A mis compañeros y colegas que me ayudaron a crecer profesionalmente.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Marco referencial	14
1.1. Generalidades de la empresa.....	14
1.2. Reseña histórica.	14
1.3. Ubicación de la empresa	16
1.4. Operación portuaria de grano.....	17
1.5. Políticas de la empresa.....	18
1.6. Planteamiento del problema.....	21
2. Objetivos.....	22
2.1. Objetivo General.....	22
2.2. Objetivos Específicos.....	22
3. Justificación del proyecto	23
4. Análisis de la literatura recopilada.....	25
4.1. Marco teórico	25
4.2. Marco conceptual.....	28
4.2.1. Mantenimiento	28
4.2.2. La evolución del mantenimiento.....	29
4.2.3. El RCM.....	30
4.2.4. Siete preguntas básicas del RCM.....	30
4.2.5. Análisis de criticidad.....	31
4.2.6. Confiabilidad.....	32

4.2.7.	Confiabilidad operacional.....	33
4.2.8.	Disponibilidad en mantenimiento.....	34
4.2.9.	Equipos de la ruta de recibo.....	35
5.	Equipos ruta de recibo – operación portuaria Barranquilla.....	40
5.1.	Especificaciones técnicas de los equipos de recibo.....	41
5.2.	Equipos principales ruta de recibo.....	43
5.2.1.	Bandas transportadoras.....	43
5.2.2.	Transportadores de cadena.....	45
5.2.3.	Bascula de paso.....	46
5.2.4.	Elevador de cangilones.....	48
6.	Estrategia actual del mantenimiento operación portuaria.....	50
7.	Análisis de la información.....	51
7.1.	Taxonomía.....	51
7.2.	Historial de falla.....	56
7.3.	Análisis de Pareto.....	57
7.4.	Análisis de criticidad.....	64
8.	Modelo de RCM para la ruta de recibo.....	73
8.1.	Descripción de funciones de los equipos.....	73
8.2.	Descripción de modos de falla de los equipos.....	74
9.	Diagrama de decisiones para cada equipo.....	79
10.	Implementación de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad.....	82
11.	Inventario de repuestos para la ruta de recibo.....	85
12.	Conclusiones.....	86

Bibliografía 88

Lista de Anexos..... 90

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Especificaciones de equipos ruta de recibo	41
Tabla 2 Anterior jerarquización de equipos ruta de recibo	52
Tabla 3 Nueva jerarquización de equipos ruta de recibo	52
Tabla 4 Historial de falla.....	57
Tabla 5 Modos de falla.	59
Tabla 6 Fallas por sistema.....	60
Tabla 7 Fallas en el sistema eléctrico.	61
Tabla 8 Fallas en el sistema estructural	62
Tabla 9 Fallas en el sistema mecánico	62
Tabla 10 Fallas en el sistema hidráulico.	63
Tabla 11 Fallas en el sistema de refrigeración.....	63
Tabla 12 Fallas en el sistema neumático.....	63
Tabla 13 Fallas en la operación.	64
Tabla 14 Fallas en la operación. ¹⁸	65
Tabla 15 Análisis de criticidad de los equipos.....	66
Tabla 16 Análisis de criticidad bascula de recibo.....	67
Tabla 17 Análisis de criticidad transportadores de cadena.....	68
Tabla 18 Análisis de criticidad bandas transportadoras.....	69
Tabla 19 Análisis de criticidad elevador de cangilones.....	70
Tabla 20 Análisis de criticidad tolvas de recibo.	71
Tabla 21 Análisis de criticidad palas tipo almeja.	71

Tabla 22 Análisis de criticidad cargador Komatsu.	72
Tabla 23 Análisis de criticidad excavadora Hitachi.	72
Tabla 24 Análisis de criticidad compresor de aire.	73
Tabla 25 Funciones de los equipos ruta de recibo.	74
Tabla 26 Modos de falla pala tipo almeja.	75
Tabla 27 Modos de falla tolvas de recibo.	75
Tabla 28 Modos de falla compresor de aire.	75
Tabla 29 Modos de falla bandas transportadoras.	76
Tabla 30 Modos de falla elevador de cangilones.	76
Tabla 31 Modos de falla báscula de recibo.	77
Tabla 32 Modos de falla transportadores de cadena.	77
Tabla 33 Modos de falla excavadora Hitachi.	78
Tabla 34 Modos de falla cargador Komatsu.	78
Tabla 35 Actividades de mantenimiento preventivo palas tipo almeja.	82
Tabla 36 Actividades de mantenimiento preventivo tolvas de recibo.	82
Tabla 37 Actividades de mantenimiento preventivo bandas transportadoras.	83
Tabla 38 Actividades de mantenimiento preventivo bascula de recibo.	83
Tabla 39 Actividades de mantenimiento preventivo cargador Komatsu.	83
Tabla 40 Actividades de mantenimiento preventivo elevador de cangilones.	84
Tabla 41 Actividades de mantenimiento preventivo excavadora Hitachi.	84
Tabla 42 Actividades de mantenimiento preventivo transportadores de cadena.	85

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Ubicación geográfica sociedad portuaria Riverport¹</i>	16
Figura 2 <i>Diagrama recibo de materias primas</i>	17
Figura 3 <i>Diagrama de almacenamiento de materias primas</i>	18
Figura 4 <i>Ruta de recibo</i>	40
Figura 5 <i>Banda 100 metros muelle (1), Banda 400 metros viaducto (2), Banda transportadora tripper de llenado de los silos (3), Banda 32 metros sobre silo 5.</i>	44
Figura 6 <i>Transportadores de cadena sobre bodega 1 y 2, 3 y 4 (1); Transportador receptor bascula de recibo</i>	46
Figura 7 <i>Báscula de paso</i>	47
Figura 8 <i>Elevador de 800 ton/h</i>	49
Figura 9 <i>Organigrama del pilar de mantenimiento.</i>	50
Figura 10 <i>Frontera elementos de estudio.</i>	56
Figura 11 <i>Análisis de Pareto según tipo de equipos.</i>	58
Figura 12 <i>Diagrama de decisión para definición de tareas de mantenimiento basados en RCM¹⁹.</i>	79

Lista de Anexos

	pág.
Anexo A. Historial de falla.	90
Anexo B. Hojas de vida equipos.....	90
Anexo C. Hoja de vida motores.....	90
Anexo D. RCM recibo.	90
Anexo E. Taxonomía de equipos.....	90

Resumen

Título: Actualización del plan de mantenimiento de los equipos de la ruta de recibo de la operación portuaria de granos Itacol Barranquilla utilizando la metodología RCM. *

Autor: Laura Andrea Gallardo Stand, Daniel Ortiz Plata. **

Palabras Clave: RCM, Análisis De Criticidad, Operación Portuaria, Plan De Mantenimiento.

Descripción: La operación portuaria de Itacol Barranquilla se enfoca principalmente en la movilización de granos y harinas, materias primas esenciales para la producción de concentrados en sus plantas, lo que representa el 70% del uso de estas cargas, y para ventas externas, con un 30% adicional. Este flujo de materiales es clave para los ingresos de la empresa, por lo que la disponibilidad de los equipos de descarga de buques es crítica. Sin embargo, durante 2023, problemas de disponibilidad redujeron el cumplimiento al 90,06%, un valor inferior a la meta del 93%, y aumentaron los costos de mantenimiento en un 117,18% sobre el presupuesto, lo que significó \$199 millones COP adicionales en costos operativos. A pesar de contar con planes preventivos, estos no se han actualizado desde 2017, y la falta de un inventario adecuado de repuestos críticos ha incrementado las paradas no programadas, provocando retrasos y sobrecostos.

Este estudio propone la actualización del plan de mantenimiento mediante una matriz de criticidad para los equipos de la ruta de recibo. Se realizará una reestructuración de la jerarquización y taxonomía de sistemas y subsistemas para, posteriormente, efectuar un análisis de criticidad y aplicar un mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). La implementación de estas mejoras busca optimizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, reducir el tiempo medio entre fallas y los tiempos de reparación, impactando positivamente en la producción y en la reducción de costos de operación.

* Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Daniel Ortiz Plata. Magister en Gerencia de Mantenimiento.

Abstract

Title: Updating of the maintenance plan of the equipment of the receiving route of the Itacol Barranquilla grain port operation using the RCM methodology.^{***}

Author(s): Laura Andrea Gallardo Stand, Daniel Ortiz Plata. ^{**}

Key Words: RCM, Criticality Analysis, Port Operation, Maintenance Planning.

Description: Itacol Barranquilla's port operation is mainly focused on the mobilization of grains and meals, essential raw materials for the production of concentrates in its plants, which represents 70% of the use of these cargoes, and for external sales, with an additional 30%. This flow of materials is key to the company's revenues, so the availability of ship unloading equipment is critical. However, during 2023, availability problems reduced compliance to 90.06%, below the 93% target, and increased maintenance costs by 117.18% over budget, which meant an additional COP\$199 million in operating costs. Despite having preventive plans, these have not been updated since 2017, and the lack of an adequate inventory of critical spare parts has increased unscheduled shutdowns, causing delays and cost overruns.

This study proposes updating the maintenance plan through a criticality matrix for the equipment on the receiving route. A restructuring of the hierarchy and taxonomy of systems and subsystems will be carried out in order to subsequently perform a criticality analysis and apply reliability-centered maintenance (RCM). The implementation of these improvements seeks to optimize equipment availability and reliability, reduce mean time between failures and repair times, positively impacting production and reducing operating costs.it so that it remains on a sheet

* Degree Work

** School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: Daniel Ortiz Plata, Master's Degree in Maintenance Management.

Introducción

Italcol, una compañía con base en Colombia produce, distribuye, vende y exporta alimentos concentrados para varias especies de ganado, además de comercializar materias primas y premezclas. Con una posición consolidada en el mercado, Italcol tiene 20 plantas de producción estratégicamente ubicadas en Colombia, Panamá y Ecuador. La empresa cuenta con una extensa red de más de 1.800 distribuidores. Italcol, fue constituida por Sebastiano Carbone Bellini y María Scarletti Rodríguez en 1970, combina las nacionalidades italiana y colombiana en su nombre "Italcol". La empresa tiene una capacidad de producción que excede las 500,000 toneladas de materia prima y 2 millones de toneladas anuales de alimentos.

Italcol se dedica especialmente a fabricar y comercializar alimentos para animales, así como en la gestión de la recepción, almacenamiento y envío de materias primas pecuarias en sus instalaciones portuarias. Además, se enfoca en la elaboración de premezclas vitamínicas y minerales para la alimentación de aves y cerdos, utilizando una combinación de materias primas locales e importadas.

Italcol Planta Barranquilla, donde contamos con la planta de concentrados, la operación portuaria de granos y la operación portuaria de carbón, fue inaugurada en octubre de 1994 y hoy se encuentra ubicada en la Sociedad Portuaria Riverport.

1. Marco referencial

1.1. Generalidades de la empresa

Italcol es una de las empresas más importantes en la producción y comercialización de alimentos balanceados en Colombia. Fundada en 1970, Italcol inició sus operaciones con una visión centrada en el desarrollo del sector agropecuario, ofreciendo productos de alta calidad para el consumo animal. A lo largo de los años, la compañía ha diversificado su portafolio de productos y servicios, manteniéndose a la vanguardia en innovación tecnológica y desarrollo sostenible.

En cuanto a su ubicación estratégica en la Sociedad Portuaria Riverport, Italcol ha fortalecido sus operaciones logísticas siendo papel clave en el comercio marítimo Colombia. La Sociedad Portuaria Riverport, establecida en 2010, gestiona una infraestructura portuaria moderna en la región de Barranquilla, facilitando la importación de materias primas esenciales para la producción de alimentos balanceados y la exportación de productos a mercados internacionales.

La ubicación de Italcol en la sociedad portuaria Riverport ha sido crucial para optimizar los tiempos de operación, reducir costos logísticos y garantizar una mayor eficiencia en el suministro de insumos. Además, ha permitido a Italcol mejorar sus procesos de distribución, tanto en el mercado interno como externo, asegurando que la empresa mantenga su liderazgo en la industria.

1.2. Reseña histórica.

Italcol, ha evolucionado significativamente desde sus inicios en 1968, cuando comenzó a mezclar alimentos para consumo propio y ventas a las fincas cercanas. A continuación, se destacan los hitos más relevantes de su desarrollo:

- En 1968, Itacol comenzó mezclando alimento para cerdos para consumo propio y ventas locales.
- El 18 de febrero de 1970, se fundó Itacol, especializándose en alimentos concentrados para animales en Colombia, Panamá y Ecuador.
- El 5 de marzo de 1976, se inició la distribución desde una bodega alquilada en Girón.
- El 2 de julio de 1986, comenzó a operar la planta de Palmira. • En junio de 1988, la planta de producción de Girón inició actividades.
- El 28 de octubre de 1994, la actual sede en Palmira entró en funcionamiento.
- El 25 de octubre de 1999, empezó la operación en Barranquilla y se adquirió la marca "El Rebaño", llegando a Antioquia.
- En 2004, Itacol puso en marcha su planta de alimentos para mascotas en Girardota.
- En 2005, expandió sus operaciones a Panamá.
- En 2006, se abrieron plantas en Ibagué, Villavicencio y se adquirieron bodegas en Buenaventura.
- En abril de 2008, se inauguró la planta en Palermo.
- En 2011, comenzó la producción en Ecuador.
- En 2013, se abrió la planta de Yarumal, seguida por una nueva planta en Barranquilla.
- En 2014, la planta de Pereira entró en operación y Riverport recibió su primer buque.
- En 2015, comenzó la producción en la planta de Chiriquí, Panamá.
- En 2018, se fundó la Universidad Itacol y el CEPI.
- En 2019, fue creada la Universidad Corporativa.
- En 2020, Itacol inauguró su vigésima planta en Ecuador y expandió su operación en Villavicencio.

1.3. Ubicación de la empresa

La planta de Itacol en Barranquilla (Colombia) está ubicada en la Carrera 48 # 3 – 136, dentro del Puerto Riverport, una instalación estratégica en la zona portuaria cercana a la desembocadura del río Magdalena. Este puerto facilita tanto la importación como la exportación de insumos y productos terminados. La planta se encuentra a aproximadamente 8 kilómetros del centro de Barranquilla. También está a 18 kilómetros del Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz.

Figura 1.

Ubicación geográfica sociedad portuaria Riverport¹



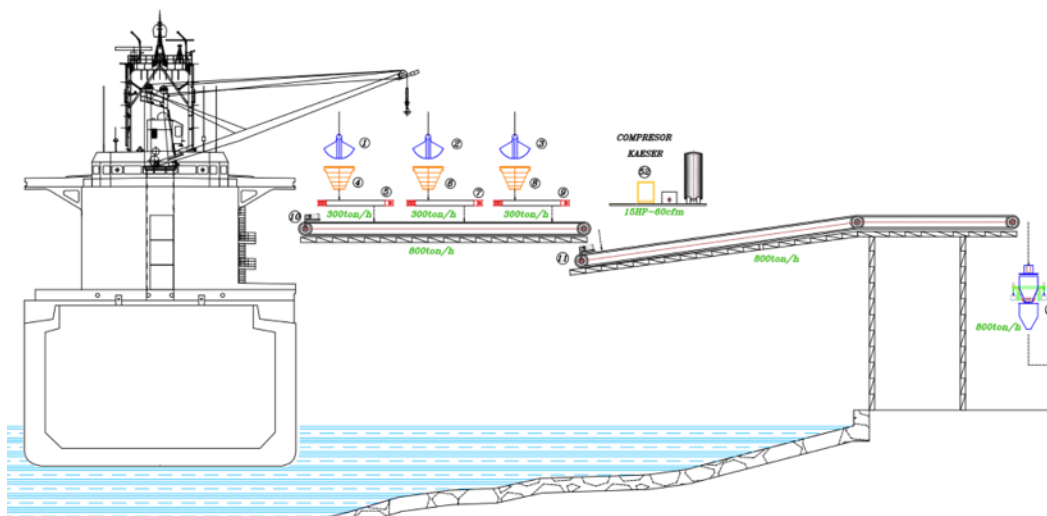
¹ Fuente: Riverport [sitio web]. Página oficial. (Recuperado el 15 de septiembre del 2024). Disponible en: <https://riverport.co/>

1.4. Operación portuaria de grano

La operación portuaria Itacol Barranquilla cuenta con un complejo granelero capaz de recibir, almacenar y despachar carga para cada uno de los procesos que lo necesiten.

Figura 2

Diagrama recibo de materias primas



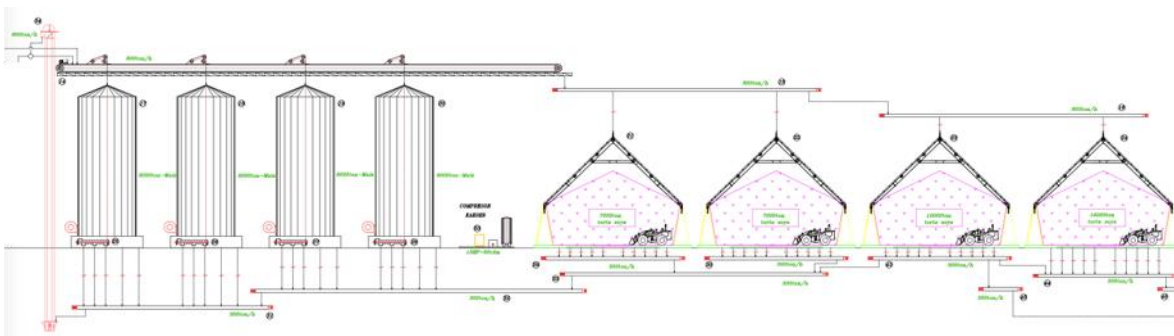
Comenzando desde el muelle, el sistema cuenta con 3 Tolvas de recibo (4, 6 y 8), las cuales toman la carga directamente de las bodegas de los buques, por medio de cucharas electrohidráulicas (1, 2 y 3). Estas tolvas tienen en su parte inferior un transportador de arrastre por cadena de 300 ton/h (5, 7 y 9), conectado a un variador de velocidad, que permite controlar la capacidad y rata de descarga. Estos transportadores entregan a la banda de muelle (10), la cual tiene 100 metros de longitud aproximadamente y es accionada por un motor eléctrico, esta banda hace la transición a la banda del viaducto (11), la cual tiene aproximadamente 474 metros de largo.

Figura 2.

Aguas abajo se encuentra la báscula de bache (12, Figura 2), la cual es la encargada de pesar el producto que se está descargando, esta cuenta con un sistema hidráulico, el cual permite abrir y cerrar las compuertas de llenado y evacuación, dependiendo del bache que sea programado. De la báscula llega a un transportador de arrastre, el cual mantiene y dosifica la carga que le llega al elevador de cangilones de 800 ton/h de capacidad (34, figura 3).

Figura 3

Diagrama de almacenamiento de materias primas



Para el almacenamiento de las materias primas contamos con 4 silos para granos (17, 18, 19 y 20) con capacidad de 9000 ton c/u, además 2 bodegas (21 y 22) para almacenar 7000 ton c/u, más 2 bodegas (23 y 24) de 10000 ton c/u. En los silos se realiza monitoreo de temperatura de los granos, y se cuenta con un sistema de enfriamiento llamado Cool Seed para enfriar y regular la temperatura bajo parámetros de humedad controlada en caso de presentarse un calentamiento en las materias primas. Figura 3.

1.5. Políticas de la empresa

Italcol es una empresa dedicada a la producción, distribución y comercialización de alimentos balanceados para todas las especies pecuarias, ofreciendo soluciones integrales y diferenciadas tanto a nivel nacional como internacional. La compañía opera con eficiencia,

seguridad e innovación, utilizando tecnologías avanzadas y sistemas de información adecuados que optimizan sus procesos productivos y logísticos. Itacol se enfoca en desarrollar estrategias que fomenten la competitividad sostenible, generando valor para sus accionistas y colaboradores, quienes contribuyen al crecimiento y mejoramiento continuo de la empresa.

Con un fuerte sentido ético, Itacol respeta las leyes y el medio ambiente, asumiendo una posición de liderazgo en el sector agropecuario. Además, está comprometida con el desarrollo económico y social de las comunidades donde opera, alineándose con los objetivos del gobierno para impulsar el progreso regional y nacional. La empresa sigue orientada hacia la mejora continua, siempre enfocada en satisfacer las necesidades de sus clientes y mantener una relación cercana y transparente con ellos.

Como misión Itacol existe para satisfacer la necesidad de alimentación, en busca permanente de una mejor nutrición, manteniendo y desarrollando una oferta de productos, social, económica y ambientalmente sostenibles, procurando el mejoramiento continuo del nivel de vida de nuestra comunidad.

Como visión Itacol establece: liderar el mercado latinoamericano de nutrición animal, desarrollando más altos estándares de calidad, basado en la investigación y transformación digital que nos permiten el desarrollo de nuevas soluciones. Con esto buscamos generar valor y satisfacción para nuestros clientes, manteniendo un alto compromiso social y ambiental con la comunidad.

Dentro de sus valores corporativos:

- Honestidad: Actuamos de manera recta y transparente movidos por principios éticos y somos coherentes con nuestro propósito y valores.

- Lealtad: Somos fieles y reservados con los principios y valores corporativos, políticas, procesos e información organizacional, así como con nuestros clientes, dentro y fuera de las Compañías.
- Perseverancia: Nos esforzamos con fortaleza continua para enfrentar retos y dificultades, hasta lograr las metas deseadas.
- Compromiso: Asumimos con responsabilidad el propósito individual y colectivo en las acciones realizadas y el comportamiento diario.
- Respeto: Respetamos la pluralidad, la diversidad y promovemos adecuadas y sanas relaciones interpersonales de carácter profesional e interinstitucional.
- Sostenibilidad: Trabajamos comprometidos para asegurar las condiciones de vida de las futuras generaciones, buscando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y desarrollo social.

1.6. Planteamiento del problema

Actualmente el proceso más crítico es la ruta de recibo, en donde los costos de operación se han aumentado debido a los tiempos extendidos de paradas, lo cual implican multas y sobre ejecución del presupuesto. Esto se ve afectado por el tiempo de intervención para corregir una falla porque no se cuentan con los repuestos disponibles al momento de presentarse un daño, debido a que no está bien representada la jerarquización de los equipos ni está bien establecido el plan de mantenimiento y mucho menos el inventario de los repuestos críticos. Tan solo una hora de parada de la operación de descargue de un buque le cuesta a la compañía aproximadamente \$2.000 dólares, además del impacto en la disminución de la producción.

Es por esto que se usará la metodología RCM para actualizar el plan de mantenimiento y con base a eso poder determinar los equipos y repuestos críticos de la ruta de recibo y actualizar el nivel de inventario de los repuestos, en busca de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, así como reducir los tiempos medios entre fallas y los tiempos medios de reparación., lo que impactará notablemente la producción y costos de operación.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Actualizar el plan de mantenimiento de la ruta de recibo de la operación portuaria de granos utilizando la metodología RCM y con base en eso definir los equipos críticos y la disponibilidad de repuestos.

2.2. Objetivos Específicos

- Restructurar la jerarquización de sistemas y subsistemas de los equipos que conforman la ruta de recibo de la operación portuaria de granos estableciendo la taxonomía apoyada en la recomendación dada en la norma ISO 14224.
- Evaluar el plan de mantenimiento de los equipos críticos de la ruta de recibo aplicando RCM apoyado en la recomendación dada en la norma SAE JA1012.
- Definir el listado de repuestos de los equipos como resultado de la jerarquización de los subsistemas.

3. Justificación del proyecto

En la Operación Portuaria de Itacol de Barranquilla se movilizan básicamente dos tipos de cargas de materias primas (granos y harinas). El 70% de la materia prima va destinada a la planta de concentrados. El otro 30% va destinado a las demás plantas de Itacol y ventas a clientes externos. Cifras que indican que la compañía obtiene los mayores ingresos gracias al movimiento de este tipo de carga. Por ende, es importante garantizar que los equipos que se utilizan para el descargue de los buques que traen carga a granel y de harinas siempre estén disponibles.

En el año 2023 durante los meses de febrero, marzo, abril, mayo y agosto. debido a las fallas presentadas y el extenso tiempo de reparación de los equipos, la disponibilidad de toda la ruta de recibo estuvo en promedio en 90,06% de cumplimiento, valor que se encuentra por debajo de la meta establecida que es el 93%. Esto no solo incurrió en la disponibilidad y baja producción, sino también en el incremento del gasto ejecutado en dichos meses, estando en promedio en 117,18% por encima de la meta establecida del 100%, lo que representó un aumento en el gasto del año 2023 de \$ 199.199.194 millones.

Actualmente, aunque el departamento de mantenimiento tiene planes y rutas establecidos para el mantenimiento preventivo de cada proceso, estos no han sido actualizados desde su creación en el año 2017. Además, no se cuenta con un inventario definido de repuestos críticos de los equipos que hacen parte del proceso de recibo. Esto ha conllevado a un incremento significativo en los costos de operación por el tiempo de paradas no programadas repetitivas. Hasta ahora se viene ejecutando un mantenimiento reactivo, es decir que se reparan los daños cada vez que ocurre una interrupción en la operación. Esto genera atrasos en los tiempos de descargue ocasionándole sobrecostos a la compañía, lo cual también implica multas por parte de los proveedores de las materias primas.

Con la presente monografía se pretende actualizar el plan de mantenimiento de los equipos de la ruta de recibo e identificar cuáles son los equipos y repuestos críticos mediante una matriz de criticidad de los equipos de la ruta de recibo de la operación Portuaria Itacol Barranquilla, que permitan orientar y direccionar el mantenimiento en la operación, para eso primero se debe reestructurar la jerarquización de sistemas y subsistemas de los equipos que conforman la ruta de recibo, estableciendo la taxonomía de los equipos, para luego de esto realizar el análisis de criticidad y aplicar el RCM.

Esto se realiza con el objetivo de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, reducir los tiempos medios entre fallas y los tiempos medios de reparación, lo cual tendrá un impacto significativo en la producción y los costos de operación.

4. Análisis de la literatura recopilada

4.1. Marco teórico

Borras² dice que el mantenimiento tiene como objetivo ayudar a las organizaciones a alcanzar sus metas y objetivos, haciéndolas más competitivas. Hoy en día, se ve como un sistema integrado que puede ofrecer una ventaja significativa, permitiendo que las organizaciones produzcan productos o servicios de alta calidad.

En ese orden de ideas, si la Sociedad Portuaria Riverport actualiza el plan de mantenimiento y elige estrategias óptimas para sus equipos utilizados en el descargue de buques graneleros, la compañía puede asegurar la calidad de sus servicios. Esto beneficiaría directamente a los clientes finales al asegurar la entrega puntual de su carga y evitar costos adicionales. En última instancia, esto haría que la compañía fuera más competitiva en el mercado portuario.

El artículo "Mantenimiento en 3D" de Silva³ describe una situación común en la que un ingeniero de mantenimiento recién llegado a una organización se encuentra con un taller y un equipo técnico excelentes, pero enfrenta una cantidad abrumadora de trabajo debido a la gran cantidad de equipos que necesitan reparación urgente. En esta dinámica, el enfoque predominante es reactivo, con poco tiempo para planificar o realizar mantenimiento preventivo más allá de cambios de aceite e inspecciones visuales rápidas. El énfasis está en reparar rápidamente los activos para ponerlos nuevamente en funcionamiento, lo que genera satisfacción por el trabajo realizado, pero a largo plazo, la carga de trabajo sigue aumentando y el taller se satura cada vez más.

El artículo también destaca que el ingeniero de mantenimiento puede perder de vista el panorama general y las razones fundamentales de las fallas de los equipos. A menudo, se enfoca en mejorar la eficiencia del taller y en realizar reparaciones más rápidas y de mayor calidad, sin

comprender completamente por qué los equipos están fallando con mayor frecuencia. Esto lo lleva a no identificar el origen principal de los problemas, lo que perpetúa el ciclo de fallas y reparaciones constantes en lugar de abordar los problemas fundamentales.

El artículo también resalta que cualquier trabajo de mantenimiento reactivo no planificado y no programado aumenta en un 20% la posibilidad de convertirse en una fuente de defectos ya sea debido a errores en la mano de obra, operación o materiales. Además, este tipo de trabajo reactivo no planificado y no programado tiende a ser un 57% más largo en duración en comparación con un trabajo que está planificado y programado. Esto sugiere que las organizaciones que en gran medida dependen de este tipo de mantenimiento pueden encontrarse en un ciclo creciente de necesidad de personal para abordar fallas de manera reactiva, lo que a su vez introduce más fallas y posterga el mantenimiento preventivo y predictivo necesario.

Moubray⁴ introduce dos conceptos importantes para distinguir entre el mantenimiento básico y el mantenimiento centrado en la confiabilidad. Define el mantenimiento como el proceso de garantizar que los activos físicos sigan respondiendo a las expectativas de sus clientes. Por otro lado, describe el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) como un proceso utilizado para determinar las acciones necesarias para garantizar que un activo físico siga cumpliendo con las expectativas de sus usuarios dentro de su contexto operativo actual

Entender el contexto operativo en el que trabaja un equipo es fundamental para identificar y comprender sus posibles fallas. Un mismo equipo puede tener diferentes niveles de criticidad dependiendo de la función específica que desempeñe en su entorno operativo.

² BORRAS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga; UIS pág. 1.

³ SILVA, Pedro Eliseo. Mantenimiento en 3D, Mantenimiento en Latinoamérica Volumen 3, la revista para la gestión de activos. Junio 2011.

⁴ Moubray, J. (2004). Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II (Edición en español). Asheville: Alandon LLC.

Por lo tanto, al aplicar el enfoque de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), es crucial considerar este contexto para determinar las estrategias de mantenimiento más efectivas y garantizar el cumplimiento continuo de las expectativas de los usuarios.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) no solo se trata de garantizar el funcionamiento confiable de los activos, sino que también desempeña un papel crucial en la seguridad, tanto del personal como del medio ambiente. Al evaluar los posibles impactos de las fallas, el RCM ayuda a identificar y priorizar aquellas actividades de mantenimiento que son críticas para mitigar riesgos para la seguridad y el medio ambiente. Moubray⁵ señala que las organizaciones deben adaptarse a las expectativas crecientes de la sociedad en términos de seguridad y cuidado ambiental, o enfrentar consecuencias que podrían afectar su viabilidad operativa. Esto resalta la importancia de integrar consideraciones de seguridad y ambientales en las estrategias de mantenimiento y en la administración integral de la organización.

La implementación de la metodología RCM según Moubray⁶ garantiza una mejora integral en la gestión de mantenimiento, logrando una mayor seguridad y protección ambiental, incrementando la disponibilidad y fiabilidad de la planta, asegurando la calidad del producto, optimizando la eficiencia del mantenimiento en términos de costos, prolongando la vida útil de equipos costosos, motivando al personal al aumentar sus competencias y confianza, fomentando el trabajo en equipo y estableciendo una base de datos de mantenimiento para la toma de decisiones fundamentadas y la mejora continua.

⁵ Moubray, J. (2004). *Ibid.*, p. 312.

⁶ Moubray, J. (2004). *Ibid.*, p. 314.

4.2. Marco conceptual

4.2.1. Mantenimiento

⁷El mantenimiento se refiere a un conjunto de actividades destinadas a mejorar la confiabilidad y seguridad de equipos, maquinaria, construcciones e instalaciones. Según Anzola (1992), el mantenimiento busca reducir el costo total y aumentar la eficacia de sistemas y equipos.

El mantenimiento abarca acciones para asegurar el rendimiento óptimo y seguro de equipos e infraestructuras. Incluye mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo y proactivo (Moubray, 1997). Es crucial en múltiples sectores para maximizar la disponibilidad operativa, prolongar la vida útil de los activos y garantizar la seguridad (Smith, 2005).

El mantenimiento puede definirse como la suma de las acciones dirigidas a preservar o restaurar un sistema o equipo a su estado normal de funcionamiento, con el objetivo de cumplir un servicio específico de manera económicamente favorable y conforme a normas integrales de protección, según el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (1995). Por otro lado, según Moubray (1997), el mantenimiento se refiere a las acciones destinadas a asegurar que cualquier elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas.

El ámbito del mantenimiento está progresando para adaptarse a nuevas expectativas y necesidades. Esto implica una mayor atención hacia aspectos como la seguridad y la sostenibilidad ambiental, además de reconocer la influencia del mantenimiento en la calidad del producto. También se enfrenta a la presión creciente de garantizar una alta disponibilidad de equipos, al tiempo que se optimizan los recursos disponibles.

⁷ACOME, Viviana- PIÑERES, Jesús, Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad para cargadores 938 h Caterpillar de la sociedad portuaria regional de barranquilla; Proyecto de Grado de especialización de gerencia de mantenimiento, UIS. 2017 pág. 44.

4.2.2. La evolución del mantenimiento

La evolución del mantenimiento atraviesa diversas etapas, cada una con metodologías distintivas. En la primera generación, previa a la Segunda Guerra Mundial, la industria poseía maquinaria simple y adoptaba un enfoque reactivo ante las averías. La prioridad era mantener la producción en marcha, sin considerar la optimización de los procesos de mantenimiento. La segunda generación marcó el surgimiento del mantenimiento programado, en respuesta a una mayor dependencia de los equipos y la necesidad de prevenir fallas costosas.

A partir de los años setenta, la rápida evolución empresarial, impulsada por avances tecnológicos y globalización, ha exigido una adaptación continua en las prácticas de mantenimiento. La creciente mecanización ha intensificado la presión para minimizar los tiempos improductivos, especialmente con la adopción de sistemas de producción justo a tiempo.

La investigación reciente ha desafiado creencias tradicionales, reconociendo la complejidad de la relación entre el tiempo de funcionamiento de un equipo y sus probabilidades de falla. Avances en estadística y teoría de la confiabilidad han contribuido a mejorar las prácticas de mantenimiento, aunque su aplicación universal se ve limitada por la diversidad de equipos y entornos de producción.

La necesidad de establecer criterios unificados dentro de cada organización se hace evidente para mejorar continuamente las prácticas de mantenimiento. Estos criterios deben estar fundamentados en el conocimiento específico de los equipos y sus funciones. Esta adaptación constante y la búsqueda de mejoras representan los desafíos actuales en el campo del mantenimiento, que sigue evolucionando en respuesta a las demandas cambiantes de la industria.

4.2.3.El RCM

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), según la norma SAE JA1011, se basa en un enfoque estructurado para asegurar que los sistemas físicos cumplan su función de manera confiable dentro de los límites de diseño. Este método, originado en la industria aeronáutica, ha sido clave para estandarizar prácticas que integran teoría de la confiabilidad y análisis estadístico, promoviendo un mantenimiento eficaz y adaptado a las necesidades operativas de cada sistema.

La norma SAE JA1011 destaca que el RCM debe identificar los modos de falla específicos de cada componente y su impacto en el sistema completo, reconociendo que las fallas no son aisladas y pueden propagarse, afectando el desempeño general. Este enfoque subraya la importancia de considerar las condiciones operativas únicas de cada sistema, como ubicación, altitud, temperatura y otros factores ambientales, que influyen directamente en su confiabilidad. Al implementar el RCM según la SAE JA1011, se garantiza un proceso de mantenimiento metódico y centrado en maximizar la vida útil y la eficiencia de los equipos⁸.

4.2.4.Siete preguntas básicas del RCM

⁹El enfoque de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) se fundamenta en la interacción entre la organización y sus componentes físicos. Antes de profundizar en esta interacción, es esencial identificar los diferentes tipos de elementos físicos presentes en la empresa y determinar cuáles de ellos deben ser evaluados mediante el proceso de revisión del RCM.

⁸ SAE International. (2009). SAE JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Warrendale, PA: SAE International.

⁹ Moubay, J. (2004). Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II (Edición en español). Asheville: Alandon LLC. Pág. 1:3

En muchos casos, esto implica realizar un registro completo de los equipos si aún no se ha hecho. Una vez que se han identificado los elementos físicos seleccionados, el RCM plantea una serie de siete preguntas fundamentales sobre cada uno de ellos:

1. ¿Cuáles son las funciones del equipo?
2. ¿De qué manera puede fallar el equipo?
3. ¿Qué causa las posibles fallas del equipo?
4. ¿Qué consecuencias tiene cuando el equipo falla?
5. ¿Qué impacto tiene la falla del equipo en la organización?
6. ¿Qué acciones se pueden tomar para prevenir las fallas del equipo?
7. ¿Qué medidas se pueden tomar si la falla del equipo no se puede prevenir?

Estas preguntas orientan el análisis exhaustivo de equipos y sistemas, facilitando la identificación de las estrategias de mantenimiento más adecuadas para asegurar su fiabilidad y eficiencia operativa.

4.2.5. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología utilizada para categorizar equipos, instalaciones y sistemas, según su impacto global, con el fin de hacer fácil la toma de decisiones. Para llevar a cabo este análisis de manera efectiva, es fundamental definir claramente el alcance y el propósito, establecer criterios de evaluación y considerar los límites de diseño y el contexto operativo específico. En un programa destinado a optimizar la Confiabilidad Operacional, es fundamental examinar cuatro aspectos principales: la confiabilidad humana, la confiabilidad de los procesos, la mantenibilidad de los equipos y la confiabilidad de los equipos.

Es importante destacar que cualquier variación en uno o más de estos parámetros puede tener un impacto significativo en la confiabilidad operacional global de un sistema. Por lo tanto, es fundamental considerar y gestionar estos aspectos de manera integral en la estrategia de mantenimiento y gestión de activos de una organización.

El objetivo principal de un análisis de criticidad es establecer un método que simplifique la clasificación jerárquica de procesos, sistemas y equipos dentro de una planta compleja. Esto permite segmentar los elementos en secciones que puedan ser gestionadas de manera controlada y verificable, optimizando así la administración de activos y recursos.

Desde un punto de vista matemático, la criticidad se determina multiplicando la frecuencia de eventos o fallos por su consecuencia. La frecuencia representa la cantidad de veces que ocurren eventos o fallos en el sistema o proceso evaluado, mientras que la consecuencia incluye su impacto operativo, costos de reparación y efectos en seguridad y medio ambiente.

Una vez identificados los sistemas más críticos, es posible priorizar de manera más eficaz los programas y planes de mantenimiento, incluyendo actividades como mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, así como ajustes en procedimientos y modificaciones menores. Además, esto permite determinar qué elementos deben recibir prioridad en la programación y ejecución de órdenes de trabajo, lo cual optimiza la gestión de activos y recursos.

4.2.6. Confiabilidad

La confiabilidad está vinculada a la disminución en la frecuencia de fallos dentro de un intervalo de tiempo y se define como la probabilidad de que un sistema opere correctamente y sin fallos durante un período específico. En síntesis, es una métrica que refleja el nivel de éxito en la ejecución sin incidentes.

Esta medida de confiabilidad frecuentemente se expresa mediante la fórmula $R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$ donde $R(t)$ es la confiabilidad en un momento dado (t), $MTBF$ (Mean Time Between Failures) es el tiempo medio entre fallas y e es la constante de Euler. El MTBF representa el tiempo promedio entre las fallas de un sistema y es más fácil de entender que un simple número de probabilidad. En el caso de modos de falla distribuidos exponencialmente, el MTBF es un indicador fundamental de confiabilidad, donde la tasa de falla λ es el inverso del MTBF. Para alcanzar una alta confiabilidad durante un periodo de operación determinado, se necesita un MTBF significativamente elevado.¹⁰

4.2.7. Confiabilidad operacional

La confiabilidad operacional se centra en la capacidad de un sistema o instalación, compuesto por procesos, tecnología y personal, para cumplir consistentemente con su función a lo largo del tiempo. Reconoce que la confiabilidad no solo depende de la tecnología o los equipos, sino también de la integración adecuada de procesos y el factor humano.

Huerta Mendoza (2000) enfatizó la relevancia del análisis de criticidad como una metodología fundamental para mejorar la confiabilidad operativa en diversos entornos industriales (como se citó en la ponencia presentada en el 2º Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica).¹¹ La metodología de análisis de criticidad proporciona un método estructurado para identificar y clasificar los activos más importantes en cuanto a su impacto en la fiabilidad operativa. Esto permite enfocar los recursos de mantenimiento y gestión hacia aquellas áreas que tienen el mayor potencial para mejorar tanto la confiabilidad como la eficiencia operativa en general.

¹⁰ Barringer, H. P. (s.f.). *Disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y capacidad* (p. 5). Barringer & Associates.

¹¹ Huerta Mendoza, R. (2000, septiembre). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Ponencia presentada en el 2º Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, ISPJAE, Ciudad de la Habana.

La metodología de análisis de criticidad proporciona un método estructurado para identificar y clasificar los activos más importantes en cuanto a su impacto en la fiabilidad operativa. Esto permite enfocar los recursos de mantenimiento y gestión hacia aquellas áreas que tienen el mayor potencial para mejorar tanto la confiabilidad como la eficiencia operativa en general.

4.2.8. Disponibilidad en mantenimiento

La disponibilidad en mantenimiento incluye en términos cuantitativos mediciones como el tiempo en línea, el tiempo de factor de corrida y la falta de paradas, entre otros términos operativos coloquiales. Estos indicadores se utilizan para evaluar qué tan frecuentemente un sistema está disponible y listo para operar.

Aunque varios equipos no están en funcionamiento continuo, es común que los departamentos de producción necesiten que estén disponibles durante ciertos períodos para completar las tareas. Por lo tanto, se establece un mínimo umbral de disponibilidad para asegurar que los equipos estén listos cuando se requieran.

La disponibilidad se diferencia de la duración del tiempo en servicio por operaciones, ya que no solo tiene en cuenta el tiempo en que el equipo está en servicio, sino también el tiempo en parada. Se expresa comúnmente como $\frac{\text{tiempo en servicio}}{\text{tiempo en servicio} + \text{tiempo en parada}}$, aunque puede haber variaciones en la forma en que se calcula según el contexto específico.¹²

¹² Barringer, H. P. (n.d.). Barringer & Associates DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y CAPACIDAD (P. 2:3)

4.2.9. Equipos de la ruta de recibo

CUCHARAS GRANELERAS (BULKGRAB)

Un "bulk grab" (agarre a granel) es un tipo de implemento utilizado en la manipulación de materiales a granel, especialmente en operaciones portuarias y de carga/descarga marítima. Este dispositivo está diseñado para levantar grandes cantidades de materiales sueltos, como granos, minerales, carbón, arena, entre otros, de manera eficiente.

El bulk grab generalmente está montado en grúas o excavadoras y está compuesto por mandíbulas o cucharas que se pueden abrir y cerrar para agarrar y soltar el material. Estas mandíbulas se abren para recoger el material a granel y luego se cierran para asegurarlo antes de ser levantado y movido.

El diseño y tamaño de los bulk grabs varía según el material que se maneje y los requisitos de la aplicación específica. Su objetivo principal es facilitar la carga y descarga rápida de grandes volúmenes de material a granel en operaciones portuarias y marítimas.

TOLVAS GRANELERAS

Las tolvas graneleras para la recepción de material a granel desde buques son cruciales para garantizar una operación portuaria eficiente y segura, facilitando la descarga rápida y controlada de grandes volúmenes de material y contribuyendo al flujo continuo de mercancías a través del puerto.

El proceso de descarga de material a granel desde los buques generalmente implica el uso de equipos especializados, como grúas, cintas transportadoras o sistemas de transporte neumático, para transferir el material desde las bodegas de los barcos hasta las tolvas graneleras en tierra firme.

Suelen tener una abertura grande en la parte superior para facilitar la carga del material a granel, y una o más aberturas inferiores que se pueden abrir y cerrar para controlar el flujo del material. Una vez que el material llega a las tolvas graneleras, se almacena temporalmente antes de ser transportado y procesado más adelante. Estas tolvas están diseñadas para manejar una variedad de materiales a granel, como granos, minerales, carbón, entre otros.

Dependiendo de la aplicación específica, las tolvas graneleras pueden tener diferentes tamaños y capacidades, así como características adicionales como sistemas de pesaje integrados para monitorear y registrar la cantidad de material que se está cargando o descargando, sistemas de control de polvo, y dispositivos de seguridad para evitar derrames o accidentes durante la manipulación del material.

BANDAS TRANSPORTADORAS

Los transportadores de banda son equipos utilizados para mover materiales a granel, aprovechando su capacidad para funcionar silenciosamente y manejar eficientemente el producto. Una ventaja importante es su capacidad para descargar en cualquier punto del trayecto mediante dispositivos como carros viajeros o trippers. Los materiales se colocan en la banda y se desplazan a lo largo de un recorrido continuo. La mitad de la banda transporta el material, mientras que la otra mitad vuelve generalmente vacía. Los rodillos motores, o poleas, en cada extremo impulsan la cinta para transportar los materiales.

Las bandas transportadoras son dispositivos diseñados para desplazar materiales de un punto a otro de manera intermitente o continua. Se utilizan como parte del equipo de manejo de materiales para facilitar el movimiento de productos a lo largo de una ruta establecida. Estos

sistemas son generalmente mecanizados y en ocasiones automatizados, instalados en ubicaciones fijas para establecer rutas de transporte eficientes (Langford, 2006).

Por lo general, permiten un flujo unidireccional de materiales y pueden manejar cargas discretas, así como voluminosas o continuas. Además, son utilizados tanto para el transporte como para el almacenamiento automático de elementos.

TRANSPORTADORES DE CADENAS DE ARRASTRE

Los transportadores de cadenas de arrastre se distinguen de los transportadores de banda o tablillas en su funcionamiento. En lugar de que el material se desplace sobre una superficie de tracción, como en otros tipos de transportadores, en los transportadores de cadenas de arrastre, la carga es arrastrada a lo largo de un canal o conducto fijo por la estructura de la máquina. Este diseño es especialmente eficaz para mover materiales a granel que fluyen fácilmente, como polvos y granulados, entre otros.

Funciona mediante una cadena continua que se desplaza por una canaleta, transportando el producto en una dirección mientras que la parte de retorno permanece vacía. Se divide en dos grupos según la construcción de sus rastrillos: completos y perfilados. El primer grupo está formado por transportadores de rastrillo completos, altos, rectos y tubulares, que arrastran la carga en segmentos individuales a lo largo del canal. En contraste, el segundo grupo engloba los transportadores de rastrillo perfilados, donde la carga es arrastrada por un flujo continuo que ocupa toda o la mayor parte de la sección del canal.

Sus ventajas incluyen un diseño simple, facilidad de carga y descarga, capacidad de transporte en dirección opuesta y hermeticidad bajo el agua, pero conlleva desventajas como

desgaste significativo, limitación en el transporte de materiales triturables y alto consumo de energía.

Los transportadores que utilizan arrastre continuo son más eficientes debido a su capacidad para aprovechar mejor el volumen del canal, lo que resulta en dimensiones transversales considerablemente más pequeñas en comparación con los transportadores de rastrillos altos. Esta reducción en las dimensiones transversales no solo mejora las características operativas de los transportadores, sino que también contribuye a la reducción de costos asociados con su implementación.¹³

ELEVADORES DE CANGILONES

Los elevadores de cangilones son transportadores utilizados para elevar materiales a granel mediante recipientes llamados cangilones, fijados en una cinta o cadena. Estos realizan un recorrido entre un cabezal superior, motriz y tensor, y uno inferior, generalmente tensor. Los cabezales pueden ser tambores o ruedas dentadas, dependiendo del tipo de tracción. La estructura portante puede ser abierta o cerrada, según el material transportado; por ejemplo, cereales requieren estructura cerrada, mientras que la piedra caliza puede usar un bastidor.

Es crucial que la estructura del elevador sea cerrada para aislarlo de personas u otros equipos por razones de seguridad, ya que los elementos en movimiento pueden representar riesgos graves. Para construir una estructura liviana pero estable, se requiere arriostrarla con tensores en cuatro puntos separados por ángulos de 90 grados, con bases adecuadas para soportar las cargas generadas y resistir los vientos.

¹³ Díaz Delgado, D. (2014). Diseño de las cadenas de tracción del transportador de rastrillos para el acarreo de mineral laterítico reducido (Tesis de pregrado). Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", República de Cuba.

Los elevadores operan de dos maneras principales para cargar: arrastrando desde la base o utilizando un canal de carga. Luego, dependiendo del diseño del elevador, descargan verticalmente desde el cabezal superior impulsados por la gravedad y la fuerza centrífuga generada por la rotación del tambor o la rueda dentada de accionamiento.¹⁴

Tienen ventajas como amplia capacidad, facilidad de carga y descarga, bajo mantenimiento y consumo de energía, así como niveles reducidos de ruido. Sin embargo, son sensibles a las sobrecargas y requieren una carga uniforme. Se usan para manejar materiales a granel en trayectorias verticales o inclinadas.

BASCULAS DE PASO

Las básculas de paso son equipos diseñados para medir con precisión el peso de productos a granel durante su recepción o despacho. Estas máquinas permiten llevar un registro acumulado del peso total mediante lotes, sin interrumpir el flujo del producto. Se emplean estas básculas para pesar una diversidad de productos, que incluyen pellets y harinas, almidones, azúcar, café, carbonato de calcio, fertilizantes, fosfatos, diversos granos como maíz, trigo, soya, arroz, lentejas, sorgo y malta. Además, se utilizan para pesar productos en polvo, pellets, plásticos, sustancias químicas, harina de trigo, semolatos, sal, semillas.¹⁵

Las básculas de paso y/o de bacheo forman parte de un sistema electrónico de pesaje en flujo continuo. Este sistema consta de una tolva superior para la alimentación, una báscula intermedia para el pesaje, y un control de flujo de materiales con su correspondiente registro de flujo de material.¹⁶

¹⁴ Garofoli, A., & Garofoli, J. (2014). Elevadores a cangilones de descarga centrífuga: pérdidas ocasionadas por problemas de diseño. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 18(2), 55-67.

¹⁵ Jaramillo, J. E. & CIA. (2024, 20 de mayo). Integradores de soluciones industriales PESAPACK. Manizales, Colombia. Recuperado de <https://www.pesapack.com/>

¹⁶ identificación Pesaje y Control. (2024, 20 de mayo). Especialistas en Básculas, Balanzas, Sistemas de pesaje e Identificación. México D.F. Recuperado de: <https://ipc.com.mx/pi-basculas-paso-y-bacheo/>

5. Equipos ruta de recibo – operación portuaria Barranquilla

La operación de la ruta de recibo en Itacol Barranquilla es un sistema granelero de alta eficiencia, diseñado para optimizar la recepción y almacenamiento de granos y otras materias primas provenientes de buques. Este sistema cuenta con tolvas de recibo conectadas a transportadores de cadena, los cuales controlan y regulan el flujo de material hacia una banda de muelle de aproximadamente 100 metros, que transfiere la carga a una banda de viaducto de 474 metros. A lo largo del proceso, una báscula de bache monitorea el peso de los materiales, asegurando un control preciso antes de que estos lleguen al elevador de cangilones, con capacidad para transportar hasta 800 toneladas por hora.

Figura 4

Ruta de recibo.



La operación finaliza en los silos de almacenamiento, cada uno con capacidad para 9.000 toneladas, y bodegas adicionales para almacenar entre 7.000 y 10.000 toneladas, con monitoreo constante de temperatura y sistemas de enfriamiento que mantienen las condiciones óptimas del

grano. Este complejo permite descargar buques rápidamente, contribuyendo a la disponibilidad del muelle y maximizando la eficiencia en el flujo de carga en el puerto.

5.1. Especificaciones técnicas de los equipos de recibo

La ruta de recibo de Itacol en Barranquilla se especializa en el manejo eficiente de graneles, que integra una serie de equipos diseñados para recibir, transportar y almacenar grandes volúmenes de materia prima desde los buques hasta los silos y bodegas almacenamiento. Este sistema incluye dos compresores, junto a un cargador frontal y una retroexcavadora que agilizan la manipulación de materiales. Las tolvas de recibo canalizan el granel hacia los transportadores de cadena, los cuales dirigen el material hacia las bandas transportadoras del muelle y viaducto. Luego, una báscula de recibo mide la carga antes de ser transferida a un elevador de alta capacidad y a una banda tripper para el llenado de silos y bodegas, con una capacidad total de almacenamiento robusta para mantener la integridad de los graneles. La siguiente tabla presenta las especificaciones técnicas de los principales equipos que componen la ruta de recibo en la operación portuaria de Itacol.

Tabla 1

Especificaciones de equipos ruta de recibo

Nombre del activo	Capacidad	Descripción	Especificaciones
Compresor Kaeser recibo de materia prima muelle	71 cfm	Compresor de tornillo para suministro de aire para accionamiento de equipos de muelle	Potencia del motor: 15 HP, 120 PSI
Cargador frontal Komatsu	2.7 m3	Maquinaria amarilla para el movimiento y arrumes de material dentro de las bodegas de las motonaves.	Modelo: WA320-6, Peso: 15.35 t, Neumáticos estándar: 20.5 R 25, Ancho balde: 2.74 m Potencia del motor 127 KW
Retroexcavadora Hitachi	0.82 m3	Maquinaria amarilla para el movimiento y arrumes de material dentro de las bodegas de las motonaves.	Modelo: ZX 160 LC-5, Peso: 17.5 t, Longitud de transporte: 8.62 m, Anchura transporte: 2.5 m, Altura de transporte: 2.95 m, potencia del motor 122 HP
Pala tipo almeja 1	11 ton	Pala tipo almeja para el descargue de granel.	15 metros cúbicos, sistema de apertura y cierre: Electro-hidráulico

Pala tipo almeja 2	11 ton	Pala tipo almeja para el descargue de granel.	15 metros cúbicos, sistema de apertura y cierre: Electro-hidráulico
Pala tipo almeja 3	11 ton	Pala tipo almeja para el descargue de granel.	15 metros cúbicos, sistema de apertura y cierre: Electro-hidráulico
Pala tipo almeja 4	11 ton	Pala tipo almeja para el descargue de granel.	15 metros cúbicos, sistema de apertura y cierre: Electro-hidráulico
Tolva de recibo 1	110 ton	Tolva que recibe material del buque y lo evacua hacia el transportador de salida	Tolva de: B=49 m -b=2.8 m -h=7 m
Tolva de recibo 2	110 ton	Tolva que recibe material del buque y lo evacua hacia el transportador de salida	Tolva de: B=49 m -b=2.8 m -h=7 m
Tolva de recibo 3	110 ton	Tolva que recibe material del buque y lo evacua hacia el transportador de salida	Tolva de: B=49 m -b=2.8 m -h=7 m
Transportador de cadena salida tolva 1	300 ton/h en harinas y 800 ton/h en Maíz	Transportador de cadena bajo la tolva de recibo que le entrega el producto a la banda de 100	Transportador con cadena KD 3000, paletas de Ultrapool, potencia de motor 4 HP, 1800 rpm
Transportador de cadena salida tolva 2	300 ton/h en harinas y 800 ton/h en Maíz	Transportador de cadena bajo la tolva de recibo que le entrega el producto a la banda de 100	Transportador con cadena KD 3000, paletas de Ultrapool, potencia de motor 4 HP, 1800 rpm
Transportador de cadena salida tolva 3	300 ton/h en harinas y 800 ton/h en Maíz	Transportador de cadena bajo la tolva de recibo que le entrega el producto a la banda de 100	Transportador con cadena KD 3000, paletas de Ultrapool, potencia de motor 4 HP, 1800 rpm
Banda 100 metros muelle	800 ton/h	Transporta el material hasta la banda de 400 m	Banda de 100 metros de longitud, potencia motor 60 HP
Banda 400 metros viaducto	800 ton/h	Transporta el material hasta la báscula de recibo	Banda de 400 metros de longitud, 2 motores con potencia de 100 HP
Báscula de paso de materia prima	6.3 ton	Báscula de recibo de materia prima encargada del pesaje del material que se recibe de los buques	Calibrada para maíz a baches de 6300 kg y para harinas de 5100 kg
Transportador de cadena receptor bascula de paso	800 ton/h	Transportador que recibe el material pesado de la báscula y lo evacua al elevador de 800.	Potencia del motor: 20 HP, 1800 rpm
Elevador de 800 toneladas	800 ton/h	Elevador que entrega el producto a la banda transportadora de llenado de silos de almacenamiento.	Banda de 3 lonas de 42", cangilones tigger 18x8, 2 motores de 150 HP
Banda transportadora tripper de llenado de los silos	800 ton/h	Banda encargada de descargar el producto en los silos de almacenamiento y de transportar hacia los transportadores sobre bodega.	Banda de 240 m, potencia de motor de 75 HP
Banda 32 metros sobre silo 5	800 ton/h	Banda encargada de llenado del silo 5.	Banda de 32 m, potencia del motor 40 HP
Transportador de cadena sobre bodega 1 y 2	300 ton/h	Transportador de cadena sobre bodega 1 y 2, diseñado para transporte de harinas y maíz a bodegas	Cadena de arrastre KD 3000, potencia del motor 40 HP
Transportador de cadena sobre bodega 3 y 4	300 ton/h	Transportador de cadena sobre bodega 3 y 4, diseñado para transporte de harinas y maíz a bodegas	Cadena de arrastre KD 3000, potencia del motor 40 HP
Transportador de cadena techo bodega 1	300 ton/h	Transportador que recibe del transportador sobre bodega 1 y 2 para llenado de bodega 1	Transportador con cadena KD 3000, paletas de Ultrapool, potencia del motor 25 HP

Transportador de cadena techo bodega 2	300 ton/h	Transportador que recibe del transportador sobre bodega 1 y 2 para llenado de bodega 2	Transportador con cadena KD 3000, paletas de Ultrapool, potencia del motor 25 HP
Transportador de cadena techo bodega 3	300 ton/h	Transportador que recibe del transportador sobre bodega 3 y 4 para llenado de bodega 3	Transportador con cadena KD 3000, paletas de Ultrapool, potencia del motor 50 HP
Transportador de cadena techo bodega 4	300 ton/h	Transportador que recibe del transportador sobre bodega 3 y 4 para llenado de bodega 4	Transportador con cadena KD 3000, paletas de Ultrapool, potencia del motor 50 HP
Compresor Kaeser recibo y despacho de materia prima silos	71 cfm	Compresor de tornillo para suministro de aire para accionamiento de equipos de muelle	Potencia del motor: 15 HP, 120 PSI

5.2. Equipos principales ruta de recibo

5.2.1. Bandas transportadoras

Las bandas transportadoras son una solución eficiente y económica para el transporte de materiales a granel y empaquetados en grandes volúmenes, adaptándose a diversas necesidades operativas y características de los productos. Son ideales para el manejo de materiales con propiedades desafiantes, como fragilidad, alto contenido de humedad, o tendencia a la compactación y segregación. Este tipo de equipo es capaz de mover materiales abrasivos o difíciles, manteniendo un alto rendimiento y reduciendo el ruido, lo cual permite un transporte silencioso y un trato cuidadoso de productos delicados.

Las bandas incluidas en la planta cumplen funciones específicas de acuerdo con sus dimensiones y potencia. Por ejemplo, la banda de 100 metros transporta material desde el muelle hasta la báscula, mientras que otras de menor longitud, como la banda de 32 metros, se encargan del llenado de silos. Estas bandas están diseñadas para distintas capacidades de carga, alcanzando hasta 800 ton/h, y permiten la descarga en puntos específicos mediante accesorios adicionales, lo que aumenta la flexibilidad y eficiencia en el flujo de materiales a lo largo de su recorrido. Las diferentes partes a considerar son:

- Cabezote de tracción: polea principal, polea secundaria, ejes de polea, chumaceras, mecanismo de limpieza.
- Cabezote de tensión: polea, eje, chumaceras, tornillos tensores.
- Cuerpos: chasis, tren de rodillos, rodillos autoalineantes, soporte estándar, rodillos de carga, rodillos de retorno, banda.
- Unidad motriz: motor, reductor, poleas, correas de la transmisión.
- Sistema de descarga: Tripper

Figura 5

Banda 100 metros muelle (1), Banda 400 metros viaducto (2), Banda transportadora tripper de llenado de los silos (3), Banda 32 metros sobre silo 5.



(1)



(2)



(3)



(4)

5.2.2. Transportadores de cadena

Los transportadores de cadena de la planta presentan una estructura robusta y adaptable para el manejo de diferentes materiales en condiciones operativas demandantes. Equipados con paletas de plástico o metal acopladas a cadenas, estos transportadores son ideales para materiales frágiles, abrasivos o húmedos, manteniendo su integridad en trayectorias de alta inclinación. La planta cuenta con transportadores de capacidades de hasta 800 ton/h, como los que alimentan las tolvas y bodegas, y sus características permiten adaptarse a cada necesidad específica, incluyendo opciones de transporte bidireccional y múltiples puntos de descarga.

Estos transportadores están diseñados para trabajo continuo en entornos industriales, construidos en acero al carbono para alta durabilidad. Su configuración permite un funcionamiento eficiente con entradas y salidas múltiples, facilitando el flujo de materiales entre distintos equipos, como tolvas y silos. Los diferentes modelos, como el KD 3000, están diseñados para integrarse en procesos de alta capacidad, minimizando el mantenimiento y optimizando el rendimiento de la planta mediante un manejo cuidadoso y eficiente de los materiales. Dentro de sus partes podemos considerar:

- Cabezote de tracción: piñón, eje, chumaceras, compuerta de acceso, compuerta de seguridad, unidad de volteo.
- Tramos o cuerpos intermedios: patín o bandeja, cadena de arrastre, paletas, canales.
- Cabezote de tensión: piñón, eje, chumaceras, tornillos tensores, compuerta de acceso, unidad de volteo.
- Unidad motriz: motorreductor, poleas, correas de transmisión.

Todas ellas construidas en lámina de acero (A-36, inoxidable o galvanizada) y de forma modular para permitir la longitud necesaria.

Figura 6

Transportadores de cadena sobre bodega 1 y 2, 3 y 4 (1); Transportador receptor bascula de recibo



(1)

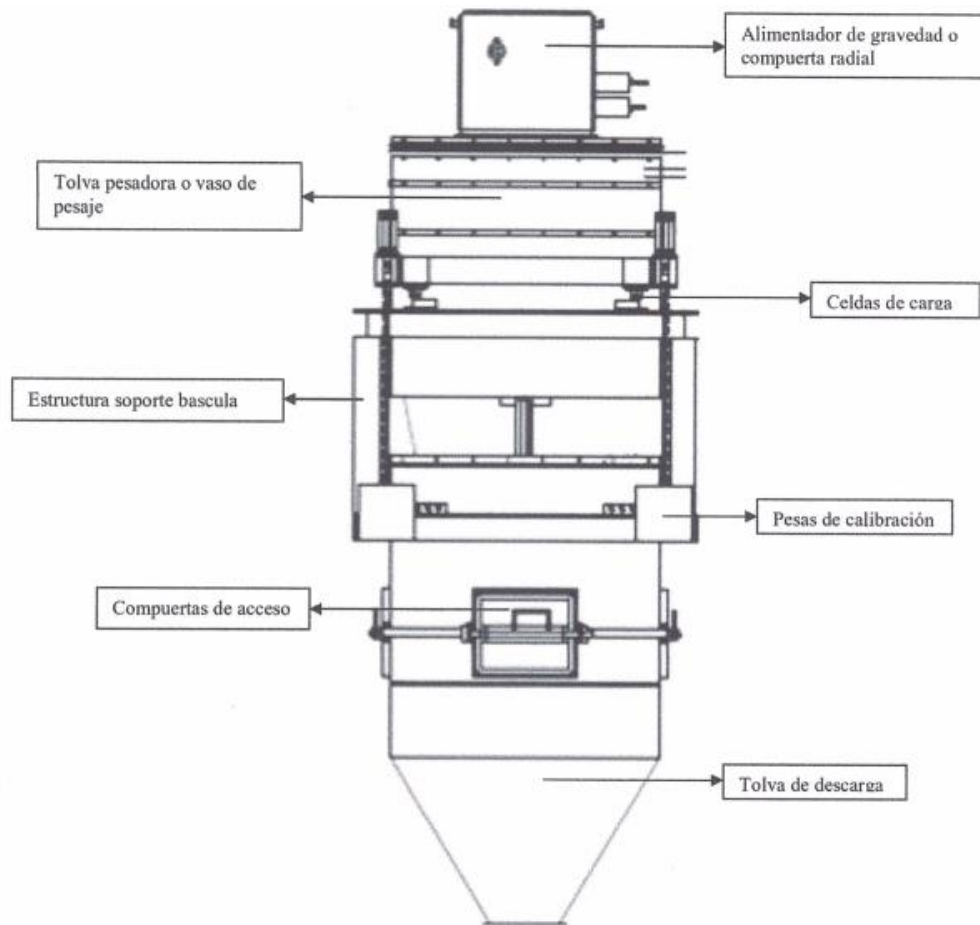


(2)

5.2.3. Bascula de paso

La báscula de paso de materia prima en la planta funciona mediante una tolva de pesaje que, alimentada por gravedad o por una compuerta radial, permite dosificar el producto de manera precisa hasta alcanzar la cantidad deseada. Controlada neumáticamente, realiza la alimentación, descarga y calibración automática. Esta última se logra a través de celdas de carga que registran el peso, asegurando una medición confiable y precisa para cada lote de material.

El equipo es ideal para operaciones que requieren precisión y eficiencia en el tiempo de carga. La báscula puede configurarse para acumular peso en "batches" de hasta 6.3 toneladas para maíz y 5.1 toneladas para harina, con ajustes de densidad según el tipo de material. Esta flexibilidad permite un diseño específico que se adapta a los requerimientos industriales, optimizando el manejo de materiales en función de la capacidad y velocidad de operación. Entre sus componentes principales destacan:

Figura 7*Báscula de paso*

- Alimentador por gravedad: Controla el flujo de material mediante una compuerta radial accionada neumáticamente, dosificando con precisión para el llenado del vaso de pesaje.
- Vaso de pesaje: Suspende el material durante el pesaje, utilizando celdas de carga y actuadores neumáticos que operan las pesas de calibración y la compuerta de descarga.
- Celdas de carga: Estas convierten el peso en señales eléctricas, gracias a sus galgas extensométricas conectadas en un puente de Wheatstone.

- Pesas de calibración: Hechas de acero, permiten verificar la exactitud de las celdas de carga para asegurar la precisión de la báscula.
- Estructura de soporte: Fabricada en acero A-36, sostiene la báscula y el vaso de pesaje, permitiendo un anclaje seguro a la estructura general de la planta.
- Tolva de descarga: Facilita la evacuación rápida del producto mediante sensores capacitivos y compuertas ajustables, garantizando un control eficiente del proceso.

Esta estructura optimiza el manejo de materiales y facilita el acceso para mantenimiento.

5.2.4. Elevador de cangilones

El elevador de cangilones en la planta es una herramienta eficiente para el transporte vertical de materiales a granel, especialmente diseñada para lugares donde un sistema convencional no es viable. Este equipo opera mediante cangilones montados sobre bandas, los cuales trasladan el producto hacia la parte superior del elevador para su descarga.

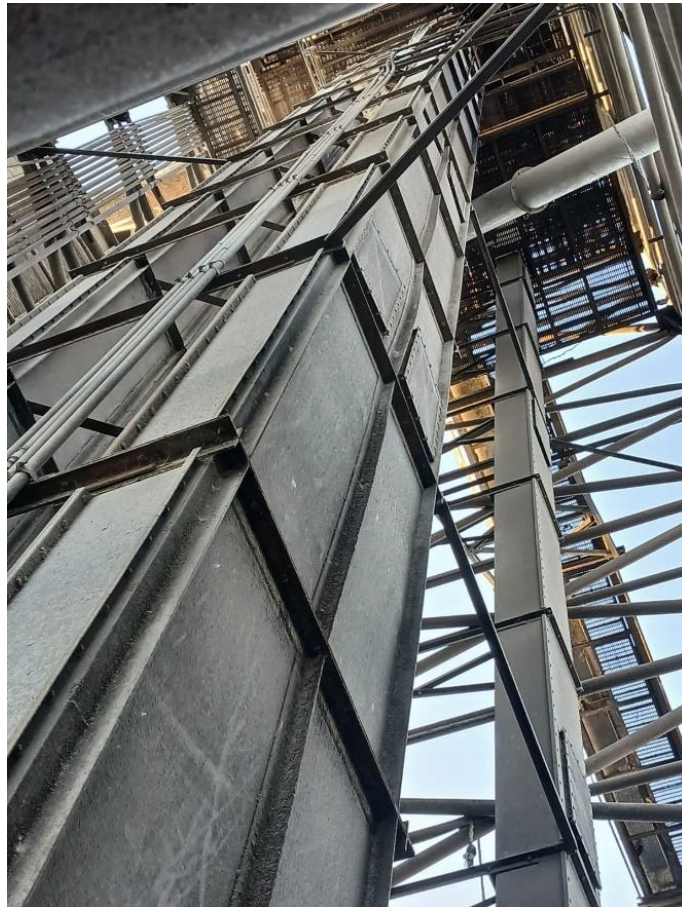
La carga de los cangilones se realiza en la base del elevador, donde el material entra a través de una boca de entrada, mientras que la descarga ocurre en la parte superior aprovechando la fuerza centrífuga. Posteriormente, los cangilones retornan vacíos para repetir el ciclo. La capacidad de transporte de 800 toneladas por hora y la velocidad de los cangilones están ajustadas a las demandas operativas de la planta, optimizando el flujo de materiales en condiciones específicas de espacio y pendiente. Algunos de sus componentes son:

- Zona inferior o de carga (Base): polea tensora, eje, chumaceras, sistema de tensión, tolvas de carga.
- Zona superior o de descarga (Cabeza): polea motriz, eje, chumaceras, babero, amortiguador.

- Tramos intermedios (Piernas): piernas estándar, pierna especial con compuerta de inspección y tapa trasera removible para mantenimiento, pierna con compuertas anti explosión.
- Unidad de transporte: banda o cadena, cangilones, tornillos cangilón.
- Unidad motriz: motorreductor con back-stop, poleas, correas de transmisión.

Figura 8

Elevador de 800 ton/h

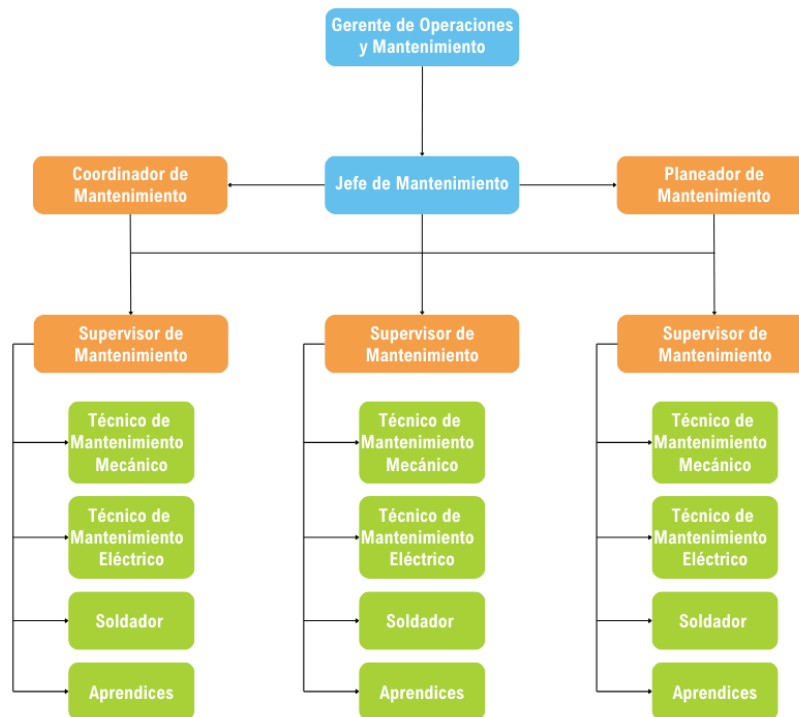


6. Estrategia actual del mantenimiento operación portuaria

La estrategia de mantenimiento en Itacol se basa en planes generales de mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y rutas de inspección, diseñados para mantener los equipos como sistemas integrales. Sin embargo, estos planes no contemplan el mantenimiento específico de cada subsistema. Los equipos se clasifican en niveles de criticidad (alto, medio y bajo) según parámetros como seguridad, impacto operativo, y costos, lo que permite priorizar las intervenciones y asignar el tipo de mantenimiento adecuado.

Figura 9

Organigrama del pilar de mantenimiento.



Es por eso que el resultado que se quiere obtener al realizar esta monografía es implementar para los equipos de criticidad alta un enfoque de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) que permita desarrollar un mantenimiento preventivo y predictivo más específico y

focalizado. Este enfoque incluiría listas de chequeo detalladas y la gestión de repuestos críticos, alineando las intervenciones con los parámetros de confiabilidad del equipo. Los equipos de criticidad media continuarían recibiendo un mantenimiento preventivo y predictivo regular, mientras que los de baja criticidad se manejarían principalmente con mantenimiento correctivo y medidas preventivas puntuales cuando sea necesario.

7. Análisis de la información

7.1. Taxonomía

La norma ISO 14224 establece directrices para la recopilación e intercambio de datos de mantenimiento y confiabilidad, proporcionando un marco estructurado para analizar el rendimiento de los equipos. Aplicada al listado de equipos y especificaciones de la planta, esta norma permite clasificar y jerarquizar los activos según su función y criticidad, asegurando una gestión eficiente y basada en datos.

En el caso de los equipos del sistema de recibo y transporte de Itacol, como bandas transportadoras, transportadores de cadena, básculas de recibo y elevadores de cangilones, la ISO 14224 permite estandarizar la recopilación de información clave, como modos de falla, tiempos de inactividad, frecuencia de paradas y costos asociados. Esto facilita el análisis del desempeño de cada equipo, identificando patrones de falla y optimizando los planes de mantenimiento preventivo y predictivo.¹⁷

En la tabla 2, se observa un listado general de los equipos antes de realizar la jerarquización de sistemas y subsistemas. Pero luego en la tabla 3, se observa el listado más detallado de los equipos teniendo en cuenta cada subsistema.

¹⁷ International Organization for Standardization. (2016). ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Geneva, Switzerland: ISO.

Tabla 2

Anterior jerarquización de equipos ruta de recibo

IDENTIFICADOR	NOMBRE
OPG-SIG-COMP-01	COMPRESOR KAESER RECIBO DE MATERIA PRIMA MUELLE
OPG-ES-CG-02	CARGADOR FRONTAL KOMATSU
OPG-ES-RT-02	RETROEXCAVADORA HITACHI
OPG-RE-PA-01	PALA TIPO ALMEJA 1
OPG-RE-PA-02	PALA TIPO ALMEJA 2
OPG-RE-PA-03	PALA TIPO ALMEJA 3
OPG-RE-PA-04	PALA TIPO ALMEJA 4
OPG-RE-TV-01	TOLVA DE RECIBO 1
OPG-RE-TV-02	TOLVA DE RECIBO 2
OPG-RE-TV-03	TOLVA DE RECIBO 3
OPG-RE-TC-01	TRANSPORTADOR DE CADENA SALIDA TOLVA 1
OPG-RE-TC-02	TRANSPORTADOR DE CADENA SALIDA TOLVA 2
OPG-RE-TC-03	TRANSPORTADOR DE CADENA SALIDA TOLVA 3
OPG-RE-BT-01	BANDA 100 METROS MUELLE
OPG-RE-BT-02	BANDA 400 METROS VIADUCTO
OPG-RE-BA-01	BASCULA DE RECIBO DE MATERIA PRIMA
OPG-RE-TC-04	TRANSPORTADOR DE CADENA RECEPTOR BASCULA DE RECIBO
OPG-RE-EL-01	ELEVADOR DE 800 TONELADAS
OPG-RE-BT-03	BANDA TRANSPORTADORA TRIPPER DE LLENADO DE LOS SILOS
OPG-RE-BT-04	BANDA 32 METROS SOBRE SILO 5
OPG-RE-TC-05	TRANSPORTADOR DE CADENA SOBRE BODEGA 1 Y 2
OPG-RE-TC-06	TRANSPORTADOR DE CADENA SOBRE BODEGA 3 Y 4
OPG-RE-TC-07	TRANSPORTADOR DE CADENA TECHO BODEGA 1
OPG-RE-TC-08	TRANSPORTADOR DE CADENA TECHO BODEGA 2
OPG-RE-TC-09	TRANSPORTADOR DE CADENA TECHO BODEGA 3
OPG-RE-TC-10	TRANSPORTADOR DE CADENA TECHO BODEGA 4
OPG-SIG-COMP-02	COMPRESOR KAESER RECIBO Y DESPACHO DE MATERIA PRIMA SILOS

Tabla 3

Nueva jerarquización de equipos ruta de recibo

Identificador	Nombre
OPG-SIG-COMP-01	COMPRESOR KAESER RECIBO DE MATERIA PRIMA MUELLE
OPG-ES-CG-02	CARGADOR FRONTAL KOMATSU
OPG-ES-RT-02	RETROEXCAVADORA HITACHI
OPG-RE-PA-01	PALA TIPO ALMEJA 1
OPG-RE-PA-01-CR-01	Control Remoto Pala
OPG-RE-PA-01-UH-01	Unidad Hidráulica
OPG-RE-PA-01-UH-01-CL-01	Cilindro Hidráulico
OPG-RE-PA-02	PALA TIPO ALMEJA 2
OPG-RE-PA-02-CR-01	Control Remoto Pala
OPG-RE-PA-02-UH-01	Unidad Hidráulica

OPG-RE-PA-02-UH-01-CL-01	Cilindro Hidráulico
OPG-RE-PA-03	PALA TIPO ALMEJA 3
OPG-RE-PA-03-CR-01	Control Remoto Pala
OPG-RE-PA-03-UH-01	Unidad Hidráulica
OPG-RE-PA-03-UH-01-CL-01	Cilindro Hidráulico
OPG-RE-PA-04	PALA TIPO ALMEJA 4
OPG-RE-PA-04-CR-01	Control Remoto Pala
OPG-RE-PA-04-UH-01	Unidad Hidráulica
OPG-RE-PA-04-UH-01-CL-01	Cilindro Hidráulico
OPG-RE-TV-01	TOLVA DE RECIBO 1
OPG-RE-TV-01-FM-01	Filtros de manga 1 de tolva de recibo 1
OPG-RE-TV-01-FM-02	Filtros de manga 2 de tolva de recibo 1
OPG-RE-TV-01-M-01	Motor Eléctrico Filtro De manga tolva 1 lado Bitco
OPG-RE-TV-01-M-02	Motor Eléctrico Filtro De manga tolva 1 lado Carbón
OPG-RE-TV-01-MR-01	Moto-Reductor 1Traslación Tolva 1 Lado Rio
OPG-RE-TV-01-MR-02	Moto-Reductor 2 Traslación Tolva 1 Lado Muelle
OPG-RE-TV-01-PM-01	Placa Magnética Salida Tolva de Recibo 1
OPG-RE-TV-01-TB-01	Tablero de mando de la tolva 1
OPG-RE-TV-02	TOLVA DE RECIBO 2
OPG-RE-TV-02-FM-01	Filtros de manga 1 de la tolva de recibo 2
OPG-RE-TV-02-FM-02	Filtros de manga 2 de la tolva de recibo 2
OPG-RE-TV-02-M-01	Motor Eléctrico 1 Filtro De Manga Tolva 2 Lado Bitco
OPG-RE-TV-02-M-02	Motor Eléctrico 2 Filtro De Manga Tolva 2 Lado Carbón
OPG-RE-TV-02-MR-01	Moto-Reductor 1 Traslación Tolva 2 Lado Rio
OPG-RE-TV-02-MR-02	Moto-Reductor 2 Traslación Tolva 2 Lado Muelle
OPG-RE-TV-02-PM-01	Placa Magnética Salida Tolva de Recibo 2
OPG-RE-TV-02-TB-01	Tablero de mando de la tolva 2
OPG-RE-TV-03	TOLVA DE RECIBO 3
OPG-RE-TV-03-FM-01	Filtros de manga 1 de la tolva de recibo 3
OPG-RE-TV-03-FM-02	Filtros de manga 2 de la tolva de recibo 3
OPG-RE-TV-03-M-01	Motor Eléctrico 1 Filtro De Manga Tolva 3 Lado Bitco
OPG-RE-TV-03-M-02	Motor Eléctrico 2 Filtro De Manga Tolva 3 Lado Carbón
OPG-RE-TV-03-MR-01	Moto-Reductor 1 Traslación Tolva 3 Lado Rio
OPG-RE-TV-03-MR-02	Moto-Reductor 2 Traslación Tolva 3 Lado Muelle
OPG-RE-TV-03-PM-01	Placa Magnética Salida Tolva de Recibo 3
OPG-RE-TV-03-TB-01	Tablero de mando de la tolva 3
OPG-RE-TC-01	TRANSPORTADOR DE CADENA SALIDA TOLVA 1
OPG-RE-TC-01-MR-01	Moto-Reductor Transportador de Cadena Tolva 1
OPG-RE-TC-02	TRANSPORTADOR DE CADENA SALIDA TOLVA 2
OPG-RE-TC-02-MR-01	Moto-Reductor Transportador de Cadena Tolva 2
OPG-RE-TC-03	TRANSPORTADOR DE CADENA SALIDA TOLVA 3
OPG-RE-TC-03-MR-01	Moto-Reductor Transportador de Cadena Tolva 3
OPG-RE-BT-01	BANDA 100 METROS MUELLE
OPG-RE-BT-01-M-01	Motor Eléctrico Reductor Banda 100
OPG-RE-BT-01-PM-01	Placa magnética salida banda de 100
OPG-RE-BT-01-RD-01	Reductor banda 100 metros muelle
OPG-RE-BT-01-SNA-01	Sensor de Alineamiento Banda 100

OPG-RE-BT-01-SNM-01	Sensor de Movimiento Banda 100
OPG-RE-BT-01-SNS-01	Sensor de Sobrecarga Banda 100
OPG-RE-BT-01-SNT-01	Sensor de Temperatura Banda 100
OPG-RE-BT-01-TM-01	Trampa magnética de barra
OPG-RE-TB-01	Tablero transformador seco muelles
OPG-RE-TB-02	Tablero de control n°1 muelle
OPG-RE-BT-02	BANDA 400 METROS VIADUCTO
OPG-RE-BT-02-M-01	Motor Eléctrico Reductor Banda 400 Lado Subestación
OPG-RE-BT-02-M-02	Motor Eléctrico Reductor Banda 400 Lado Planta Itacol
OPG-RE-BT-02-PM-01	Placa magnética de salida de banda de 400
OPG-RE-BT-02-RD-01	Reductor Banda 400 Viaducto 2 Lado Subestación
OPG-RE-BT-02-RD-02	Reductor Banda 400 Viaducto 2 Lado Planta Itacol
OPG-RE-BT-02-SNA-01	Sensor de Alineamiento Banda 400
OPG-RE-BT-02-SNM-01	Sensor de Movimiento Banda 400
OPG-RE-BT-02-SNS-01	Sensor de Sobrecarga Banda 400
OPG-RE-BT-02-SNT-01	Sensor de Temperatura Banda 400
OPG-RE-BT-02-TB-01	Tablero de control de banda viaducto
OPG-RE-BA-01	BASCULA DE RECIBO DE MATERIA PRIMA
OPG-RE-BA-01-BO-01	Bomba Hidráulica Bascula de Recibo
OPG-RE-BA-01-CW-01	CompuWeigh Bascula de Recibo
OPG-RE-BA-01-SNN-01	Sensor de Nivel de Bascula
OPG-RE-TC-04	TRANSPORTADOR DE CADENA RECEPTOR BASCULA DE RECIBO
OPG-RE-TC-04-M-01	Motor Eléctrico Reductor Transportador de cadena Receptor
OPG-RE-TC-04-RD-01	Reductor Transportador de Cadena Receptor
OPG-RE-EL-01	ELEVADOR DE 800 TONELADAS
OPG-RE-EL-01-CC-01	Caja de cambio 1 hacia ruta de despacho
OPG-RE-EL-01-CC-01-SNP-01	Sensor de Posición Caja de Cambio 1
OPG-RE-EL-01-CC-02	Caja de cambio 2 ruta de traslado
OPG-RE-EL-01-CC-02-SNP-01	Sensor de Posición Caja de Cambio 2
OPG-RE-EL-01-CC-03	Caja de cambio 3 hacia silo 5
OPG-RE-EL-01-CC-03-SNP-01	Sensor de Posición Caja de Cambio 3
OPG-RE-EL-01-M-01	Motor Eléctrico Reductor Elevador de 800 Lado CCM
OPG-RE-EL-01-M-02	Motor Eléctrico Reductor Elevador de 800 Lado Subestación
OPG-RE-EL-01-RD-01	Reductor Elevador de 800 Lado CCM
OPG-RE-EL-01-RD-02	Reductor Elevador de 800 Lado Subestación
OPG-RE-EL-01-SNA-01	Sensor de Alineamiento Elevador de 800
OPG-RE-EL-01-SNM-01	Sensor de Movimiento Elevador de 800
OPG-RE-EL-01-SNT-01	Sensor de Temperatura Elevador de 800
OPG-RE-BT-03	BANDA TRANSPORTADORA TRIPPER DE LLENADO DE LOS SILOS
OPG-RE-BT-03-M-01	Motor Eléctrico Reductor Banda Transportadora de llenado de los Tripper
OPG-RE-BT-03-RD-01	Reductor Banda Transportadora de llenado de los Tripper
OPG-RE-BT-03-SNA-01	Sensor de Alineamiento Banda de llenado Tripper
OPG-RE-BT-03-SNM-01	Sensor de Movimiento Banda de llenado Tripper
OPG-RE-BT-03-SNP-01	Sensor de Posición Banda de llenado Tripper
OPG-RE-BT-03-SNS-01	Sensor de Sobrecarga Banda de llenado Tripper
OPG-RE-BT-03-SNT-01	Sensor de Temperatura Banda de llenado Tripper
OPG-RE-BT-03-TB-01	Tablero de control de los Tripper

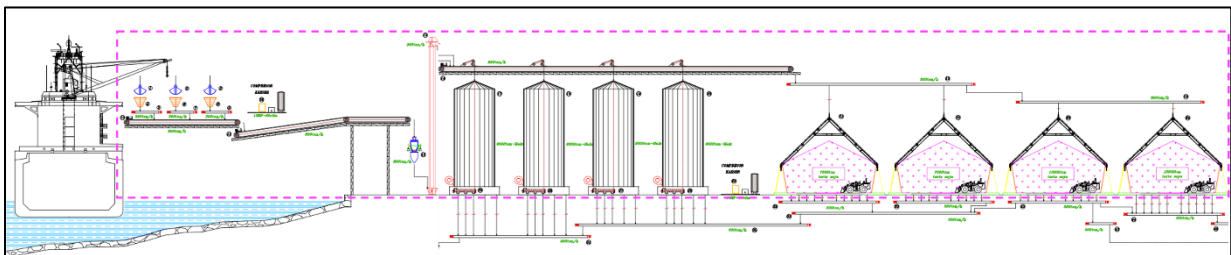
OPG-RE-BT-04	BANDA DE 32 METROS SOBRE SILO 5
OPG-RE-BT-04-M-01	Motor Eléctrico Reductor Banda de 32 Metros sobre Silo 5
OPG-RE-BT-04-RD-01	Reductor Banda de 32 metros sobre silo 5
OPG-RE-BT-04-SNA-01	Sensor de Alineamiento Banda 32
OPG-RE-BT-04-SNM-01	Sensor de Movimiento Banda 32
OPG-RE-BT-04-SNS-01	Sensor de Sobrecarga Banda 32
OPG-RE-TC-05	TRANSPORTADOR DE CADENA SOBRE BODEGA 1 Y 2
OPG-RE-TC-05-M-01	Motor Eléctrico Reductor Transportador de cadena Sobre Bodegas 1 y 2
OPG-RE-TC-05-RD-01	Reductor Transportador de Cadena
OPG-RE-TC-05-SNM-01	Sensor de Movimiento Transportador Sobre Bodega 1 y 2
OPG-RE-TC-05-SNP-01	Sensor de Posición Transportador Sobre Bodega 1 y 2
OPG-RE-TC-05-SNS-01	Sensor de Sobrecarga TC Sobre Bodega 1 y 2 Hacia Bodega 1
OPG-RE-TC-05-SNS-02	Sensor de Sobrecarga TC Sobre Bodega 1 y 2 Hacia Bodega 2
OPG-RE-TC-05-SNS-03	Sensor de Sobrecarga TC Sobre Bodega 1 y 2 Hacia Sobre Bodega 3 y 4
OPG-RE-TC-05-TB-01	Tablero de control sobre bodega 1 Y 2
OPG-RE-TC-06	TRANSPORTADOR DE CADENA SOBRE BODEGA 3 Y 4
OPG-RE-TC-06-M-01	Motor Eléctrico Reductor Transportador de cadena Sobre Bodegas 3 y 4
OPG-RE-TC-06-RD-01	Reductor Transportador de Cadena
OPG-RE-TC-06-SNM-01	Sensor de Movimiento Transportador Sobre Bodega 3 y 4
OPG-RE-TC-06-SNP-01	Sensor de Posición Transportador Sobre Bodega 3 y 4
OPG-RE-TC-06-SNS-01	Sensor de Sobrecarga Transportador Sobre Bodega 3 y 4 Hacia Bodega 3
OPG-RE-TC-06-SNS-02	Sensor de Sobrecarga TC Sobre Bodega 3 y 4 Hacia Bodega 4
OPG-RE-TC-06-TB-01	Tablero de control #8 sobre bodega 3
OPG-RE-TC-06-TB-02	Tablero de control #11 sobre bodega 4
OPG-RE-TC-07	TRANSPORTADOR DE CADENA TECHO BODEGA 1
OPG-RE-TC-07-M-01	Motor Eléctrico Reductor Transportador de cadena Techo Bodega 1
OPG-RE-TC-07-RD-01	Reductor Transportador de Cadena Techo Bodega 1
OPG-RE-TC-07-SNM-01	Sensor de Movimiento Transportador Techo Bodega 1
OPG-RE-TC-07-SNP-01	Sensor de Posición Transportador Techo Bodega 1
OPG-RE-TC-08	TRANSPORTADOR DE CADENA TECHO BODEGA 2
OPG-RE-TC-08-M-01	Motor Eléctrico Reductor Transportador de cadena Techo Bodega 2
OPG-RE-TC-08-RD-01	Reductor Transportador de Cadena Techo Bodega 2
OPG-RE-TC-08-SNM-01	Sensor de Movimiento Transportador Techo Bodega 2
OPG-RE-TC-08-SNP-01	Sensor de Posición Transportador Techo Bodega 2
OPG-RE-TC-09	TRANSPORTADOR DE CADENA TECHO BODEGA 3
OPG-RE-TC-09-M-01	Motor Eléctrico Reductor Transportador de cadena Techo Bodega 3
OPG-RE-TC-09-RD-01	Reductor Transportador de Cadena Techo Bodega 3
OPG-RE-TC-09-SNM-01	Sensor de Movimiento Transportador Techo Bodega 3
OPG-RE-TC-09-SNP-01	Sensor de Posición Transportador Techo Bodega 3
OPG-RE-TC-10	TRANSPORTADOR DE CADENA TECHO BODEGA 4
OPG-RE-TC-10-M-01	Motor Eléctrico Reductor Transportador de cadena Techo Bodega 4
OPG-RE-TC-10-RD-01	Reductor Transportador de Cadena Techo Bodega 4
OPG-RE-TC-10-SNM-01	Sensor de Movimiento Transportador Techo Bodega 4
OPG-RE-TC-10-SNP-01	Sensor de Posición Transportador Techo Bodega 4
OPG-SIG-COMP-02	COMPRESOR KAESER RECIBO Y DESPACHO DE MATERIA PRIMA SILOS

En la figura 10 se delimita la zona que será objeto de estudio, correspondiente a la ruta de recibo, identificada como la más crítica dentro de la operación portuaria. Esta área está comprendida desde las palas tipo almejas hasta las bodegas de almacenamiento.

Para optimizar la confiabilidad y reducir las interrupciones en esta zona crítica, se aplicará la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). Este enfoque permitirá identificar modos de falla específicos, priorizar intervenciones de mantenimiento y establecer estrategias que garanticen el desempeño óptimo de los equipos. Con ello, se busca minimizar las paradas no programadas y mejorar la disponibilidad operativa de la planta.

Figura 10

Frontera elementos de estudio.



7.2. Historial de falla

El software actualmente empleado en la gestión de mantenimiento en la operación portuaria no permite un registro fiable de las paradas de equipos, lo cual limita la precisión en el historial de fallas. En su lugar, se emplea el archivo "Estado de hechos", que documenta en detalle cada evento ocurrido durante la recepción de los buques. Este historial se consolida y analiza en el Anexo A – Historial de fallas (tabla 4), permitiendo identificar las fallas recurrentes, los equipos con mayor cantidad de eventos y los sistemas con problemas predominantes.

Tabla 4

Historial de falla.

Equipo	Especificación	Clase	Clase 2	Motonave	Año	Mes	Día	Minutos	Horas
Elevador de cangilones de 800 ton/h	Fluctuación de energía	Sistema Eléctrico	Fluctuación de energía	CHICAGO HARMONY	2023	1	01	18	0,3
Transportador techo bodega 3	Rotura de cadena de transmisión motorreductor-transportador	Sistema Mecánico	Fractura de cadena	CHICAGO HARMONY	2023	1	01	70	1,2
Transportador tolva 3	Falla de lectura de corriente en el variador	Sistema Eléctrico	Falla lectura corriente	CHICAGO HARMONY	2023	1	01	1	0,0
Caja de cambio 6	Falla de la caja de cambio	Sistema Estructural	Caja de cambio desalineada	PORT OSAKA	2023	1	04	16	0,3
Elevador de cangilones de 800 ton/h	Desprendimiento de cangilón por tornillería suelta	Sistema Estructural	Cangilón suelto	YUAN AN HAI	2023	1	18	31	0,5
Silo 4	Falla en apertura y cierre de la compuerta de llenado del silo de almacenamiento 4	Sistema Eléctrico	Sensor no se activa	SIFINOS	2023	1	23	23	0,4
Banda 400	Fuga por el bajante hacia la balsa de recibo	Sistema Estructural	Fuga de materia prima	SEATTLE HARMONY	2023	1	25	25	0,4
Transportador techo bodega 4	Falla movimiento motor 56 techo B4	Sistema Eléctrico	Sensor no se activa	SEATTLE HARMONY	2023	1	26	22	0,4
Todos	Se apagan los equipos sin causa aparente	Sistema Eléctrico	Fluctuación de energía	SEATTLE HARMONY	2023	1	27	10	0,2
Elevador de cangilones de 800 ton/h	Cangilón partido	Sistema Estructural	Cangilón partido	SEATTLE HARMONY	2023	1	28	35	0,6
Transportador sobre bodegas 1 y 2	Atascamiento	Sistema Mecánico	Sobrecarga	SEATTLE HARMONY	2023	1	28	90	1,5
Banda 100	Se activa sensor de sobrecarga	Sistema Eléctrico	Señal incorrecta en sensor	SEATTLE HARMONY	2023	1	29	2	0,0
Caja de cambio 1	Falla en la señal de apertura (sensórica)	Sistema Eléctrico	Sensor no se activa	SEATTLE HARMONY	2023	1	29	16	0,3
Elevador de cangilones de 800 ton/h	Paro para abastecer MP a planta	Operación	Abastecimiento de MP	SEATTLE HARMONY	2023	1	29	250	4,2
Elevador de cangilones de 800 ton/h	Paro para abastecer MP a planta	Operación	Abastecimiento de MP	SEATTLE HARMONY	2023	1	30	280	4,7
Elevador de cangilones de 800 ton/h	Contaminación cruzada desde TC bajo silos 1 y 2	Sistema Eléctrico	Rasera manual	SEATTLE HARMONY	2023	1	30	230	3,83

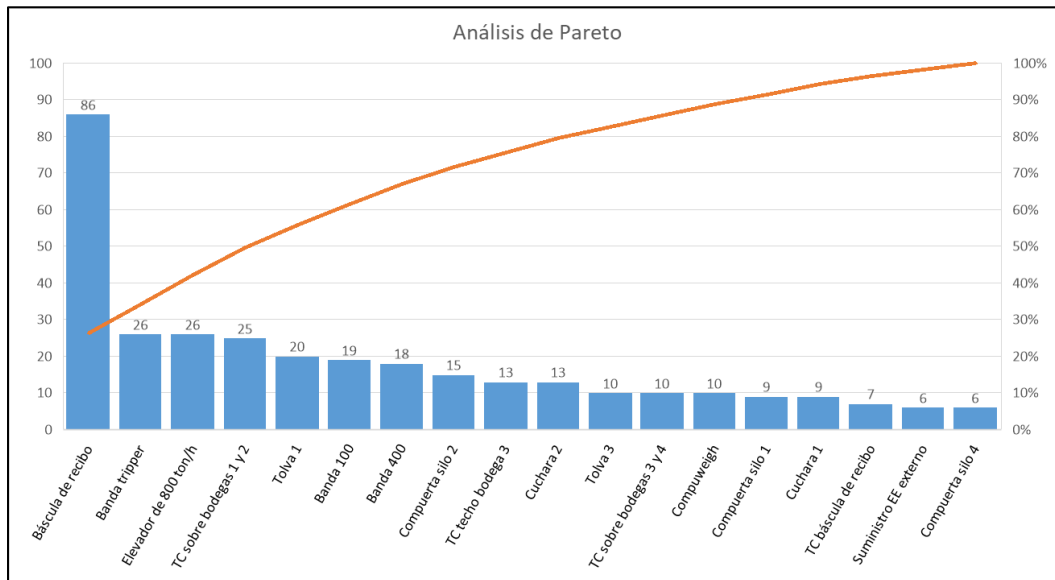
7.3. Análisis de Pareto

El análisis de Pareto es una herramienta que permite identificar y priorizar los elementos con mayor incidencia en un sistema. Este método organiza los datos de manera decreciente, facilitando la visualización de los aspectos que generan más problemas o costos. Mediante esta representación gráfica o tabular, se pueden reconocer los elementos críticos que, aunque representan un porcentaje reducido del total, son responsables de la mayor parte de las incidencias. Aplicado en el contexto portuario, este análisis permite a mantenimiento enfocar sus esfuerzos en los equipos y fallas más frecuentes, promoviendo una estrategia más eficiente y orientada a

resultados. Por tanto, se implementó un análisis de falla teniendo en cuenta los datos de la tabla 4 historial de falla.

Figura 11

Análisis de Pareto según tipo de equipos.



La gráfica de Pareto presentada muestra la frecuencia de fallas de los equipos de la operación portuaria. En ella se observa que la báscula de recibo es el equipo que ha presentado la mayor cantidad de fallas, con un total de 86 incidentes, lo cual representa una proporción significativa en comparación con los demás equipos. Le siguen en importancia la banda tripper y el elevador de 800 toneladas/hora, ambos con 26 fallas, y el transportador de cadena sobre las bodegas 1 y 2, con 25 eventos.

Estos cuatro equipos concentran un alto porcentaje de las fallas registradas, confirmando el principio de Pareto, donde un pequeño grupo de elementos genera la mayoría de los problemas. Los equipos restantes muestran frecuencias significativamente menores, siendo menos críticos en términos de cantidad de fallas. No obstante, se debe seguir monitoreando su desempeño para evitar que problemas menores se conviertan en fallas recurrentes en el futuro.

Este análisis, complementado con la tabla dinámica en Excel, permite dirigir las actividades de mantenimiento de manera más efectiva, enfocándose en los equipos con mayor incidencia de fallas y optimizando los recursos para reducir el tiempo de inactividad en la operación portuaria.

Tabla 5

Modos de falla.

Sistema / Modo de falla	Horas down	Participación horas	Cantidad de paros	Participación paros
Sin energía eléctrica externa	37,0	13,15%	10	2,45%
Radiadores tapados	17,3	6,16%	1	0,25%
Fuga de materia prima	17,2	6,13%	36	8,82%
Pérdida de comunicación	13,1	4,65%	110	26,96%
Campana reductor frenada	12,1	4,30%	1	0,25%
Rotura de banda	9,4	3,35%	3	0,74%
Fractura de eje	9,2	3,29%	1	0,25%
Banda desalineada	9,0	3,22%	8	1,96%
Sensor sin relevo	8,9	3,16%	6	1,47%
Abastecimiento de MP	8,8	3,14%	2	0,49%
Fractura de cadena	8,8	3,13%	7	1,72%
Rotura de correas	8,3	2,94%	4	0,98%
Alta temperatura	8,2	2,92%	8	1,96%
Cortocircuito	7,9	2,80%	8	1,96%
Fuga de aceite	7,6	2,70%	8	1,96%
Compuerta de llenado desajustada	7,0	2,49%	17	4,17%
Sensor no se activa	6,8	2,41%	31	7,60%
Falla de rodamiento	6,3	2,25%	3	0,74%
Lámina desprendida	5,8	2,06%	2	0,49%
Daño en chumacera	5,0	1,78%	2	0,49%
Motor aterrizado	4,3	1,54%	1	0,25%
Sobrecarga	4,3	1,52%	13	3,19%
Rasera manual	3,8	1,36%	1	0,25%
Falsa señal en sensor	3,8	1,35%	19	4,66%
Válvula solenoide en corto	3,3	1,19%	11	2,70%
Horquilla cilindro fracturada	2,8	1,00%	1	0,25%
Sensor desajustado	2,7	0,97%	6	1,47%
Rodillo frenado	2,6	0,93%	2	0,49%
Pasador fuera de posición	2,4	0,86%	6	1,47%

La tabla muestra una lista detallada de modos de falla en un sistema, con sus respectivas horas de inactividad (“Horas down”), la cantidad de eventos de paro, y su porcentaje de participación en las horas totales y paros totales. El análisis revela que algunas fallas específicas generan un mayor impacto en el sistema.

Por ejemplo, la falta de energía eléctrica externa destaca con 37 horas de inactividad, representando un 13,15% del tiempo total de inactividad y afectando considerablemente las operaciones, sin embargo, estos casos se presentaron en el 2023, siendo así que la “Pérdida de comunicación” sea evento que ocurre con mayor frecuencia, con 110 paros, lo que constituye el 26,96% de los paros totales.

Otros problemas notables, como los "Radiadores tapados" y la “Fuga de materia prima,” también tienen una participación significativa en las horas de inactividad (6,16% y 6,13%, respectivamente), aunque ocurren con menos frecuencia que las fallas de comunicación. A continuación, se muestra una tabla de análisis de falla por sistema.

Tabla 6

Fallas por sistema.

Sistema / Modo de falla	Horas down	Participación horas	Cantidad de paros	Participación paros
⊕ Sistema Eléctrico	113,8	40,52%	252	61,76%
⊕ Sistema Mecánico	81,9	29,16%	53	12,99%
⊕ Sistema Estructural	41,6	14,80%	83	20,34%
⊕ Sistema de Refrigeración	21,0	7,46%	4	0,98%
⊕ Sistema Hidráulico	11,6	4,11%	10	2,45%
⊕ Operación	8,8	3,14%	2	0,49%
⊕ Sistema Neumático	2,2	0,79%	4	0,98%
Total general	280,9	100%	408	100%

En esta tabla se puede evidenciar que el sistema eléctrico presenta la mayor cantidad de paros con 252 fallas, en donde la mayoría obedece a pérdida de comunicación entre los equipos, lo cual está relacionado con fallas en el hardware o conexiones inestables, impidiendo el envío de señales para el accionamiento oportuno de las funciones establecidas.

Tabla 7

Fallas en el sistema eléctrico.

Sistema / Modo de falla	Horas down	Participación horas	Cantidad de paros	Participación paros
☑ Sistema Eléctrico	113,8	100,00%	252	100,00%
Pérdida de comunicación	13,1	11,47%	110	43,65%
Sensor no se activa	6,8	5,96%	31	12,30%
Falsa señal en sensor	3,8	3,32%	19	7,54%
Válvula solenoide en corto	3,3	2,93%	11	4,37%
Sin energía eléctrica externa	37,0	32,46%	10	3,97%
Cortocircuito	7,9	6,91%	8	3,17%
Alta temperatura	8,2	7,22%	8	3,17%
Señal incorrecta en sensor	1,2	1,01%	7	2,78%
Fluctuación de energía	1,2	1,05%	7	2,78%
Sensor desajustado	2,7	2,40%	6	2,38%
Sensor sin relevo	8,9	7,80%	6	2,38%
Sin causa aparente	1,0	0,89%	5	1,98%
Falla lectura corriente	1,1	0,92%	3	1,19%
Cableado aislado	1,8	1,61%	3	1,19%
Sobre capacidad	0,8	0,72%	2	0,79%
Intermitencia en señal de sensor	0,6	0,48%	2	0,79%
Baja tensión eléctrica	0,2	0,20%	1	0,40%
Frecuencia variador desajustada	0,1	0,10%	1	0,40%
Arrancador disparado	1,5	1,29%	1	0,40%
Falla de fuente de voltaje	0,5	0,44%	1	0,40%
Ventilador de motor fracturado	1,3	1,17%	1	0,40%
Falla de control remoto	0,1	0,10%	1	0,40%
Sensibilidad desajustada	0,0	0,01%	1	0,40%
Cables desprendidos	0,3	0,22%	1	0,40%
Bascula desajustada	0,6	0,48%	1	0,40%
Motor aterrizado	4,3	3,79%	1	0,40%
Tomacorriente Aterrizado	0,8	0,66%	1	0,40%
Rasera manual	3,8	3,37%	1	0,40%
Alternador frenado	0,5	0,44%	1	0,40%
Falla de relevo	0,6	0,56%	1	0,40%
Total general	113,8	100%	252	100%

La información recolectada se presenta en las siguientes tablas las cuales muestran las fallas más recurrentes en los diferentes sistemas.

Tabla 8

Fallas en el sistema estructural

Sistema / Modo de falla	Horas down	Participación horas	Cantidad de paros	Participación paros
Sistema Estructural	41,6	100,00%	83	100,00%
Fuga de materia prima	17,2	41,39%	36	43,37%
Compuerta de llenado desajustada	7,0	16,79%	17	20,48%
Pasador fuera de posición	2,4	5,83%	6	7,23%
Rasera pegada	2,3	5,41%	5	6,02%
Caperuza suelta	2,3	5,53%	4	4,82%
Caja de cambio desalineada	0,6	1,32%	3	3,61%
Estructura desprendida	0,3	0,64%	2	2,41%
Lámina desprendida	5,8	13,95%	2	2,41%
Obstrucción con objeto extraño	0,8	1,92%	2	2,41%
Cangilón suelto	0,5	1,24%	1	1,20%
Base de motor mal soportada	0,7	1,76%	1	1,20%
Limpiador desgastado	0,7	1,68%	1	1,20%
Caja de cambio pegada	0,1	0,28%	1	1,20%
Cangilón partido	0,6	1,40%	1	1,20%
Ruedas desgastadas	0,4	0,84%	1	1,20%
Total general	41,6	100%	83	100%

Las fugas por materia prima representan un numero representativo de paros en la operación debido a que es inadmisibile fuga de material.

Tabla 9

Fallas en el sistema mecánico

Sistema / Modo de falla	Horas down	Participación horas	Cantidad de paros	Participación paros
Sistema Mecánico	81,9	100,00%	53	100,00%
Sobrecarga	4,3	5,21%	13	24,53%
Banda desalineada	9,0	11,03%	8	15,09%
Fractura de cadena	8,8	10,72%	7	13,21%
Rotura de correas	8,3	10,09%	4	7,55%
Rotura de banda	9,4	11,49%	3	5,66%
Falla de rodamiento	6,3	7,73%	3	5,66%
Rodillo frenado	2,6	3,17%	2	3,77%
Daño en chumacera	5,0	6,10%	2	3,77%
Cadena de transmisión desalineada	1,7	2,01%	2	3,77%
Campana reductor frenada	12,1	14,75%	1	1,89%
Cadena de transmisión elongada	0,4	0,49%	1	1,89%
Rodillo desalineado	0,3	0,41%	1	1,89%
Fractura de eje	9,2	11,27%	1	1,89%
Banda húmeda	1,5	1,85%	1	1,89%
Paletas partidas	1,5	1,79%	1	1,89%
Poleas de transmisión desalineadas	0,1	0,14%	1	1,89%
Recubrimiento de tambor despegado	0,6	0,77%	1	1,89%
Cardan desajustado	0,8	0,98%	1	1,89%
Total general	81,9	100%	53	100%

Tabla 10

Fallas en el sistema hidráulico.

Sistema / Modo de falla	Horas down	Participación horas	Cantidad de paros	Participación paros
Sistema Hidráulico	11,6	100,00%	10	100,00%
Fuga de aceite	7,6	65,54%	8	80,00%
Horquilla cilindro fracturada	2,8	24,22%	1	10,00%
Obstrucción con objeto extraño	1,2	10,24%	1	10,00%
Total general	11,6	100%	10	100%

Tabla 11

Fallas en el sistema de refrigeración.

Sistema / Modo de falla	Horas down	Participación horas	Cantidad de paros	Participación paros
Sistema de Refrigeración	21,0	100,00%	4	100,00%
Filtros tapados	0,5	2,38%	1	25,00%
Radiadores tapados	17,3	82,51%	1	25,00%
Alta temperatura de refrigerante	1,5	7,15%	1	25,00%
Fuga de refrigerante	1,7	7,95%	1	25,00%
Total general	21,0	100%	4	100%

Tabla 12

Fallas en el sistema neumático.

Sistema / Modo de falla	Horas down	Participación horas	Cantidad de paros	Participación paros
Sistema Neumático	2,2	100,00%	4	100,00%
Fuga de aire	2,0	90,30%	3	75,00%
Caída de presión	0,2	9,70%	1	25,00%
Total general	2,2	100%	4	100%

Con estas tablas se puede concluir que se deben mejorar las rutinas de inspección de mangueras, válvulas, racores y demás elementos que representen un riesgo de falla por desgaste debido a la operación.

Tabla 13

Fallas en la operación.

Sistema / Modo de falla	Horas down	Participación horas	Cantidad de paros	Participación paros
Operación	8,8	100,00%	2	100,00%
Abastecimiento de MP	8,8	100,00%	2	100,00%
Total general	8,8	100%	2	100%

Este tipo de parada no se considera una falla operativa, ya que el abastecimiento de materia prima hacia la planta de concentrados es esencial para garantizar la continuidad de la producción. La planta no puede permitirse detener sus actividades debido a la falta de insumos, por lo que asegurar un flujo constante de materia prima es una prioridad crítica. Esto implica que cualquier interrupción relacionada con el suministro debe gestionarse con alta eficiencia para evitar impactos negativos en la producción.

7.4. Análisis de criticidad.

El análisis de criticidad es fundamental para jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos según su impacto en la confiabilidad general del complejo granelero. Esta metodología facilita la toma de decisiones estratégicas, ya que define un alcance y propósito específicos, establece criterios de evaluación claros y contextualiza cada elemento dentro de sus límites operativos. Para optimizar la confiabilidad, se consideran cuatro factores clave: impacto ambiental, seguridad del personal, costos de operación y reputación corporativa. Las variaciones en estos aspectos, reflejadas en la tabla 14, influyen en el desempeño global del complejo.

Tabla 14

Fallas en la operación.¹⁸

CONSECUENCIAS				CONSECUENCIA		PROBABILIDAD					
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN			IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE
Mas de un muerto	Efectos irreversibles	> 150	Internacional	Catastrofico	1	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 150M - 100M	Nacional	Critico	2	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 100M - 10M	Regional	Marginal	3	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 10M - 1M	Local	Insignificante	4	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Ninguna	No afecta el medio ambiente	< 1M	Ninguno	Ninguno	5	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
						> 10 Años A	< 10 Años B	< 5 Años C	< 2 Años D	< 6 Meses E	± 1 Mes F



La criticidad de los equipos se clasifica en niveles de riesgo alto, medio y bajo, considerando su impacto en el medio ambiente, la seguridad del personal, los costos operativos y la imagen corporativa de la empresa. Los equipos de nivel alto son críticos, ya que una falla afectaría significativamente la producción, seguridad y costos; los de criticidad media pueden fallar sin detener la operación, pero impactan la eficiencia; y los de baja criticidad no presentan un impacto relevante.

Para identificar y priorizar estos riesgos, se utiliza una matriz de riesgo en el análisis de criticidad. Esta herramienta permite evaluar la probabilidad de ocurrencia de una falla y el impacto potencial, orientando las acciones preventivas y correctivas hacia los riesgos más críticos, aquellos con mayor probabilidad de materializarse y causar daños significativos. En el siguiente diagrama de decisión, se muestra la asignación de criticidad de acuerdo con el contexto operacional del equipo.

Teniendo en cuenta la tabla 14, se evaluaron los equipos que conforman la ruta de recibo, lo cual arrojó los siguientes resultados de criticidad en la operación.

¹⁸ Ortiz Plata, D. (2023). Matriz de riesgo. Mantenimiento centrado en confiabilidad [Notas de clase]. Universidad Industrial de Santander.

Tabla 15

Análisis de criticidad de los equipos.

Elemento de estudio	Nivel del riesgo	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ	R. Imagen
Bascula de recibo	ALTO	F5	F5	F3	F5
Transportadores de cadena	ALTO	E4	E4	E3	E5
Bandas transportadoras	ALTO	D5	D5	D2	D5
Elevador de cangilones	MEDIO	F5	F5	F4	F5
Tolvas de recibo	MEDIO	F5	F5	F4	F5
Palas tipo almeja	MEDIO	E4	E5	E4	E5
Cargador Komatsu	MEDIO	D4	D5	D3	D5
Excavadora Hitachi	MEDIO	D4	D5	D3	D5
Compresor de aire	MEDIO	D5	D5	D4	D5

NIVEL DE RIESGO	BAJO
	MEDIO
	ALTO

En el estudio de criticidad de los equipos de la ruta de recibo, se identifican tres elementos con un nivel de alto riesgo: bascula de recibo, los transportadores de cadena y las bandas transportadoras. Estos equipos presentan una mayor probabilidad de impacto en factores ambientales, humanos, económicos e incluso en la imagen corporativa de la operación.

La bascula de recibo cuenta con un alto nivel de modos de falla por perdida de comunicación, sellos de cilindros hidráulicos desgastados lo cual se refleja en su riesgo de criticidad alto.

Tabla 16

Análisis de criticidad bascula de recibo.

Elemento de estudio	Cód. MF	Modo de Falla	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambier	R. Hum	R. Econ	R. Image
Bascula de recibo	MF05-0106	Pérdida de comunicación	Tres fallas en un mes	ALTO	F5	F5	F3	F5
	MF05-0201	Sellos de cilindros hidráulicos desgastados	Cinco fallas en doa años	ALTO	E4	E4	E3	E5
	MF05-0301	Sellos de cilindros hidráulicos desgastados	Cinco fallas en doa años	ALTO	E4	E4	E3	E5
	MF05-0101	Bascula con obstrucción interna	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D5	D4	D5
	MF05-0102	Bascula desprogramada	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF05-0103	Celda de carga dañada	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C4	C5
	MF05-0104	Falla en caja sumadora	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C4	C5
	MF05-0105	Falla en sensor de nivel	Una falla en un mes	MEDIO	F5	F5	F4	F5
	MF05-0202	Falla en electroválvula	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D4	D4	D5
	MF05-0203	Vástago de cilindro partido	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF05-0302	Fuga de aceite en unidad hidráulica	Una falla en un año	MEDIO	D4	D4	D4	D5
	MF05-0303	Horquilla cilindro hidráulico fracturada	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D4	D3	D5
	MF05-0401	Bascula con compuerta abierta	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D5	D4	D5
	MF05-0403	Lámina desprendida	Dos fallas en dos años	MEDIO	D4	D4	D4	D5
	MF05-0501	Bascula desprogramada	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF05-0502	Celda de carga dañada	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C4	C5
	MF05-0503	Falla en caja sumadora	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C4	C5
	MF05-0504	Falla en sensor de nivel	Una falla en un mes	MEDIO	F5	F5	F4	F5
	MF05-0506	Sobre capacidad	Dos fallas en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF05-0304	Mangueras hidráulicas rotas	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5
MF05-0402	Lámina con fisura	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C5	C4	C5	
MF05-0505	Sensibilidad desajustada	Una falla en cinco años	BAJO	C5	C5	C5	C5	

Así mismo se realizó el análisis de criticidad a los transportadores de cadena encontrando que su modo de falla más crítico es “cadena de arrastre partida”.

Tabla 17

Análisis de criticidad transportadores de cadena.

Elemento estudio	Cód. MF	Modo de Falla	Probabilidad	Nivel del ries	R. Ambiel	R. Hum	R. Ecor	R. Imag
Transportadores de cadena	MF06-0112	Cadena de arrastre partida	Una falla en seis meses	ALTO	E4	E4	E3	E5
	MF06-0101	Acometida eléctrica en mal estado	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D3	D4	D4
	MF06-0102	Arrancador suave disparado, motor disparado	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF06-0103	Base de motor mal soportada	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D4	D4	D5
	MF06-0104	Cadena de arrastre desalineada	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF06-0105	Cadena de arrastre elongada	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF06-0106	Cortocircuito	Dos fallas en un año	MEDIO	E5	E5	E4	E5
	MF06-0107	Chumacera partida	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C3	C5
	MF06-0108	Falla de relevo	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF06-0109	Falla en rodamientos	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D3	D5
	MF06-0110	Falla en sensor	Una falla en un mes	MEDIO	F5	F5	F4	F5
	MF06-0111	Falla lectura corriente	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D4	D4	D5
	MF06-0113	Fractura de eje cabezote	Una falla en dos años	MEDIO	C5	C5	C3	C5
	MF06-0114	Pérdida de comunicación	Una falla en dos meses	MEDIO	E5	E5	E4	E5
	MF06-0115	Correa de transmisión partida	Dos fallas en un año	MEDIO	E5	E5	E4	E5
	MF06-0116	Sobrecarga	Una falla en seis meses	MEDIO	E4	E4	E4	E5
	MF06-0201	Base de motor mal soportada	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D4	D4	D5
	MF06-0202	Cadena de arrastre desalineada	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF06-0203	Cadena de arrastre elongada	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF06-0205	Obstrucción en bajante	Dos fallas en dos años	MEDIO	D4	D5	D4	D5
	MF06-0206	Paletas de arrastre deformadas	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF06-0207	Paletas de arrastre incompletas	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF06-0208	Rasera pegada	Cuatro fallas en dos años	MEDIO	D4	D5	D4	D5
	MF06-0302	Compuerta de llenado abierta o cerrada	Una falla en seis meses	MEDIO	E4	E5	E4	E5
	MF06-0303	Lámina desprendida	Dos fallas en dos años	MEDIO	D4	D4	D4	D5
	MF06-0304	Rasera pegada	Cuatro fallas en dos años	MEDIO	D4	D5	D4	D5
	MF06-0204	Frecuencia en variador desajustada	Una falla en dos años	BAJO	D5	D5	D5	D5
	MF06-0301	Lámina con fisura	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C5	C4	C5

El modo de falla “campana reductor frenada” a pesar de tener una probabilidad de falla relativamente bajo, corresponde a un nivel de riesgo alto, dado el impacto que este genera dentro de la operación.

Tabla 18

Análisis de criticidad bandas transportadoras.

Elemento estudio	Cód. MF	Modo de Falla	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambient	R. Hum	R. Econ	R. Imag
Bandas transportadoras	MF03-0106	Campana reductor frenada	Una falla en dos años	ALTO	D5	D5	D2	D5
	MF03-0101	Acometida eléctrica en mal estado	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D3	D4	D4
	MF03-0102	Arrancador suave disparado, motor disparado	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF03-0103	Banda transportadora rota	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D4	D3	D5
	MF03-0104	Banda detenida por sobrecarga	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D4	D4	D5
	MF03-0105	Banda con humedad	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D4	D4	D5
	MF03-0107	Chumacera partida	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C3	C5
	MF03-0108	Falla en rodamientos	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D3	D5
	MF03-0109	Falla en sensor	Una falla en un mes	MEDIO	F5	F5	F4	F5
	MF03-0110	Motor aterrizado	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C3	C5
	MF03-0111	Rodillo frenado	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D3	D5
	MF03-0112	Correa de transmisión partida	Dos fallas en un año	MEDIO	E5	E5	E4	E5
	MF03-0113	Ventilador de motor fracturado	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D3	D5
	MF03-0201	Banda transportadora desalineada	Cuatro fallas en un año	MEDIO	E5	E5	E4	E5
	MF03-0202	Banda destensionada	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF03-0204	Recubrimiento de tambor despegado	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF03-0205	Rodillo desalineado	Dos fallas en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF03-0301	Banda transportadora con rotos	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D5	D3	D5
	MF03-0302	Banda transportadora desalineada	Cuatro fallas en un año	MEDIO	E4	E5	E4	E5
	MF03-0303	Banda destensionada	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF03-0304	Caperuza suelta	Tres fallas en un año	MEDIO	E4	E4	E4	E5
	MF03-0305	Compuerta de llenado abierta o cerrada	Una falla en seis meses	MEDIO	E4	E5	E4	E5
	MF03-0307	Lámina desprendida	Dos fallas en dos años	MEDIO	D4	D4	D4	D5
	MF03-0308	Limpiador desgastado	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D5	D4	D5
	MF03-0203	Poleas de transmisión desalineadas	Una falla en cinco años	BAJO	C5	C5	C4	C5
	MF03-0306	Lámina con fisura	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C5	C4	C5

A continuación, se presentan los equipos que tienen un nivel de riesgo medio.

Tabla 19

Análisis de criticidad elevador de cangilones.

Elemento de estudio	Cód. MF	Modo de Falla	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambien	R. Humar	R. Econó	R. Image
Elevador de cangilones	MF04-0101	Acometida eléctrica en mal estado	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D3	D4	D4
	MF04-0102	Alta temperatura en variador	Una falla en un mes	MEDIO	F5	F5	F4	F5
	MF04-0103	Banda de elevador rota	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF04-0104	Banda de elevador desalineada	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF04-0105	Chumacera partida	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C3	C5
	MF04-0106	Correa de transmisión partida	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C4	C5
	MF04-0107	Correa de transmisión salida	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C4	C5
	MF04-0108	Falla en sensor	Una falla en un mes	MEDIO	F5	F5	F4	F5
	MF04-0109	Falla lectura corriente	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D4	D4	D5
	MF04-0201	Banda de elevador desalineada	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF04-0202	Banda destensionada	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF04-0203	Cangilón partido	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF04-0204	Cangilón suelto	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF04-0205	Cangilones incompletos	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF04-0302	Lámina desprendida	Dos fallas en dos años	MEDIO	D4	D4	D4	D5
	MF04-0303	Rasera manual	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D5	D3	D5
	MF04-0206	Recubrimiento de tambor desgastado	Una falla en cinco años	BAJO	C5	C5	C4	C5
	MF04-0301	Lámina con fisura	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C5	C4	C5
	MF04-0304	Tomillos faltantes en estructura	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C5	C4	C5

Tabla 20

Análisis de criticidad tolvas de recibo.

Elemento de estudio	Cód. MF	Modo de Falla	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambien	R. Humar	R. Econó	R. Image
Tolvas de recibo	MF02-0101	Cables desprendidos	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF02-0102	Cadena de arrastre partida	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF02-0103	Cadena de arrastre salida	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D4	D4	D5
	MF02-0104	Falla de comunicación en variador	Una falla en un mes	MEDIO	F5	F5	F4	F5
	MF02-0105	Falla lectura corriente	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D4	D4	D5
	MF02-0106	Tomacorriente de transportador aterrizado	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D3	D4	D5
	MF02-0201	Cadena de arrastre destensionada	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF02-0202	Frecuencia en variador desajustada	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF02-0203	Motor eléctrico con baja potencia	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C3	C5
	MF02-0301	Cadena de arrastre destensionada	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF02-0302	Cadena de arrastre salida	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D4	D4	D5
	MF02-0303	Encauzador desajustado	Dos fallas en un año	MEDIO	D4	D5	D4	D5
	MF02-0305	Ruedas de las tolvas desgastadas	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D4	D4	D5
	MF02-0306	Se desprende pasador que asegura posición de la tolva	Tres fallas en dos años	MEDIO	D4	D5	D4	D5
	MF02-0304	Lámina con fisura	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C5	C4	C5

Tabla 21

Análisis de criticidad palas tipo almeja.

Elemento de estudio	Cód. MF	Modo de Falla	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambien	R. Humar	R. Econó	R. Image
Palas tipo almeja	MF01-0101	Aire en el sistema hidráulico	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF01-0102	Falla en cableado de baterías	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF01-0103	Falla en control remoto	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF01-0104	Falla en electroválvula	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D4	D4	D5
	MF01-0105	Falla en receptor de señal	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF01-0107	Pin de articulación fuera de posición	Dos fallas en dos años	MEDIO	D4	D4	D4	D5
	MF01-0201	Los labios no sellan completamente	Cuatro fallas en un año	MEDIO	E4	E5	E4	E5
	MF01-0202	Se le cayeron los labios	Cuatro fallas en un año	MEDIO	E4	E5	E4	E5
	MF01-0301	Aceite emulsionado o con baja viscosidad	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF01-0302	Aire en el sistema hidráulico	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF01-0303	Baterías descargadas	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF01-0304	Obstrucción en sistema hidráulico	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF01-0106	Mangueras hidráulicas rotas	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5

Tabla 22

Análisis de criticidad cargador Komatsu.

Elemento de estudio	Cód. MF	Modo de Falla	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambien	R. Humar	R. Econó	R. Image
Cargador Komatsu	MF09-0101	Alta temperatura de refrigerante	Una falla en un año	MEDIO	D4	D5	D3	D5
	MF09-0102	Alternador frenado	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF09-0103	Falla en los sistemas eléctricos	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF09-0106	Problemas en el sistema de transmisión	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF09-0202	Baja presión hidráulica	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF09-0203	Sobrecalentamiento del motor	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C5	C3	C5
	MF09-0301	Tuberías de combustible rotas	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF09-0303	Sellos de inyectores desgastados	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF09-0304	Sellos de bomba de inyección desgastada	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF09-0403	Sellos de cilindros hidráulicos desgastados	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF09-0404	Sellos de bomba hidráulica desgastada	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF09-0104	Filtros de aire tapados	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5
	MF09-0105	Fuga de refrigerante	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C5	C4	C5
	MF09-0107	Radiadores tapados	Una falla en cinco años	BAJO	C5	C5	C4	C5
	MF09-0201	Fugas de aceite hidráulico	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5
	MF09-0302	Filtro de combustible tapado	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5
	MF09-0401	Mangueras hidráulicas rotas	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5
	MF09-0402	Filtro de aceite tapado	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5

Tabla 23

Análisis de criticidad excavadora Hitachi.

Elemento de estudio	Cód. MF	Modo de Falla	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambien	R. Humar	R. Econó	R. Image
Excavadora Hitachi	MF08-0101	Alta temperatura de refrigerante	Una falla en un año	MEDIO	D4	D5	D3	D5
	MF08-0102	Alternador frenado	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF08-0103	Falla en los sistemas eléctricos	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF08-0104	Filtros de aire tapados	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C4	C5
	MF08-0105	Fuga de refrigerante	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D5	D4	D5
	MF08-0107	Radiadores tapados	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF08-0202	Baja presión hidráulica	Una falla en un año	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF08-0203	Sobrecalentamiento del motor	Una falla en dos años	MEDIO	D4	D5	D3	D5
	MF08-0301	Tuberías de combustible rotas	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF08-0303	Sellos de inyectores desgastados	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF08-0403	Sellos de cilindros hidráulicos desgastados	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF08-0404	Sellos de bomba hidráulica desgastada	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF08-0304	Sellos de bomba de inyección desgastada	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C3	C5
	MF08-0106	Problemas en el sistema de transmisión	Una falla en cinco años	BAJO	C5	C5	C4	C5
	MF08-0201	Fugas de aceite hidráulico	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5
	MF08-0302	Filtro de combustible tapado	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5
	MF08-0401	Mangueras hidráulicas rotas	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5
	MF08-0402	Filtro de aceite tapado	Una falla en cinco años	BAJO	C4	C4	C4	C5

Tabla 24

Análisis de criticidad compresor de aire.

Elemento de estudio	Cód. MF	Modo de Falla	Probabilidad	Nivel del riesgo	R. Ambien	R. Humar	R. Econó	R. Image
Compresor de aire	MF07-0101	Caída de presión	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF07-0102	Baja tensión eléctrica	Una falla en dos años	MEDIO	D5	D5	D4	D5
	MF07-0104	Variador muestra falla	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C4	C5
	MF07-0105	Bajo nivel de aceite	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C4	C5
	MF07-0201	Filtro de succión obstruidos	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C5	C4	C5
	MF07-0202	Válvula de carga obstruida	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C4	C4	C5
	MF07-0203	Filtro separador de aceite obstruido	Una falla en cinco años	MEDIO	C4	C5	C4	C5
	MF07-0204	Fuga de aire	Una falla en cinco años	MEDIO	C5	C5	C4	C5
	MF07-0103	Motor quemado	Una falla en cinco años	BAJO	C5	C5	C4	C5

8. Modelo de RCM para la ruta de recibo

8.1. Descripción de funciones de los equipos

Con base en la información recopilada, se definen las funciones básicas que deben cumplir los equipos críticos de la ruta de recibo para satisfacer los requerimientos operativos en la recepción, transporte y almacenamiento de materias primas. Asimismo, se identifican las fallas funcionales más relevantes y frecuentes que afectan la continuidad de la operación y generan pérdida en las funciones del sistema. A continuación, se presenta la tabla 25 que detalla las funciones clave de cada equipo:

Tabla 25

Funciones de los equipos ruta de recibo.

Planta	Proceso	Sistema	Elemento de estudio	Cód. Func.	Función
Itacol Barranquilla	Operación Portuaria Granos	Recibo de Materia Prima	Palas tipo almeja	CF01-01	Abrir o cerrar cuando el control remoto emita la señal
				CF01-02	Transportar el producto sin regueros ni fugas
				CF01-03	Descargar 360 ton/h
			Tolvas de recibo	CF02-01	Evacuar el producto hacia el transportador de las tolvas
				CF02-02	Evacuar el producto a una rata de 300 ton/h
				CF02-03	Evacuar el producto sin regueros ni fugas
			Bandas transportadoras	CF03-01	Transportar el producto
				CF03-02	Transportar el producto a una rata de 800 ton/h
				CF03-03	Transportar el producto sin regueros ni fugas
			Elevador de cangilones	CF04-01	Transportar el producto
				CF04-02	Transportar el producto a una rata de 800 ton/h
				CF04-03	Transportar el producto sin regueros ni fugas
			Bascula de recibo	CF05-01	Pesar cada bache que recibe
				CF05-02	Almacenar el producto mientras se llena cada bache
				CF05-03	Descargar cada bache de 6.3 ton
				CF05-04	Almacenar y pesar cada bache sin regueros ni fugas
				CF05-05	Cada bache debe pesar ton
			Transportadores de cadena	CF06-01	Transportar el producto
				CF06-02	Transportar el producto a una rata de 600 ton/h
				CF06-03	Transportar el producto sin regueros ni fugas
			Compresor de aire	CF07-01	Suministrar aire a la red neumática
				CF07-02	Suministrar aire a la red neumática a una presión de 120 PSI
			Excavadora Hitachi	CF08-01	Descomponer el producto que viene compactado
				CF08-02	Operar con potencia normal
				CF08-03	Operar sin fugas de combustible
				CF08-04	Operar sin fugas de aceite
			Cargador Komatsu	CF09-01	Apilar el producto dentro de la bodega de la MN
				CF09-02	Operar con potencia normal
				CF09-03	Operar sin fugas de combustible
				CF09-04	Operar sin fugas de aceite

8.2. Descripción de modos de falla de los equipos

Para garantizar la implementación efectiva de la metodología en la ruta de recibo, es fundamental analizar los modos de falla de los equipos críticos. La identificación y descripción detallada de los modos de falla permite comprender las causas raíz de los problemas que afectan la operación, así como las consecuencias que generan en el sistema.

Tabla 26

Modos de falla pala tipo almeja.

Elemento de estudio	Cód.	Descripción Falla Funcional	FALLA OCULTA	Evidencia	Cód. MF	Modo de Falla
Palas tipo almeja	FF01-01	Pala tipo almeja no abre/no cierra	NO	El operador se da cuenta que al usar el control remoto no abre o cierra	MF01-0101	Aire en el sistema hidráulico
					MF01-0102	Falla en cableado de baterías
					MF01-0103	Falla en control remoto
					MF01-0104	Falla en electroválvula
					MF01-0105	Falla en receptor de señal
					MF01-0106	Mangueras hidráulicas rotas
					MF01-0107	Pin de articulación fuera de posición
	FF01-02	Presenta reguero o fuga de producto	NO	El operador se da cuenta que durante el uso de pala presenta reguero o fuga	MF01-0201	Los labios no sellan completamente
					MF01-0202	Se le cayeron los labios
	FF01-03	Descarga Lenta	NO	El operador se da cuenta que la productividad está por debajo de 360 ton/h	MF01-0301	Aceite emulsionado o con baja viscosidad
					MF01-0302	Aire en el sistema hidráulico
					MF01-0303	Baterías descargadas
					MF01-0304	Obstrucción en sistema hidráulico

Tabla 27

Modos de falla tolvas de recibo.

Elemento de estudio	Cód.	Descripción Falla Funcional	FALLA OCULTA	Evidencia	Cód. MF	Modo de Falla
Tolvas de recibo	FF02-01	No evacua el producto	NO	El operador de la grúa se da cuenta que la tolva se está llenando muy rápido	MF02-0101	Cables desprendidos
					MF02-0102	Cadena de arrastre partida
					MF02-0103	Cadena de arrastre salida
					MF02-0104	Falla de comunicación en variador
					MF02-0105	Falla lectura corriente
					MF02-0106	Tomacorriente de transportador aterizado
	FF02-02	Descarga Lenta	NO	El operador se cuenta que el producto descarga muy lento y la tolva empieza a llenarse	MF02-0201	Cadena de arrastre destensionada
					MF02-0202	Frecuencia en variador desajustada
					MF02-0203	Motor eléctrico con baja potencia
	FF02-03	Presenta reguero o fuga de producto	NO	El supervisor se da cuenta que hay reguero de producto	MF02-0301	Cadena de arrastre destensionada
					MF02-0302	Cadena de arrastre salida
					MF02-0303	Encauzador desajustado
					MF02-0304	Lámina con fisura
					MF02-0305	Ruedas de las tolvas desgastadas
					MF02-0306	Se desprende pasador que asegura posición de la tolva

Tabla 28

Modos de falla compresor de aire.

Elemento de estudio	Cód.	Descripción Falla Funcional	FALLA OCULTA	Evidencia	Cód. MF	Modo de Falla
Compresor de aire	FF07-01	Compresor no arranca	NO	El supervisor del muelle se da cuenta que al encender el compresor no arranca	MF07-0101	Caída de presión
					MF07-0102	Baja tensión eléctrica
					MF07-0103	Motor quemado
					MF07-0104	Variador muestra falla
					MF07-0105	Bajo nivel de aceite
	FF07-02	Perdida de capacidad	NO	El operador de silos se da cuenta que las raseras no accionan. (Visualiza la señal de alarma en pantalla de CCM)	MF07-0201	Filtro de succión obstruidos
					MF07-0202	Válvula de carga obstruida
					MF07-0203	Filtro separador de aceite obstruido
					MF07-0204	Fuga de aire

Tabla 29

Modos de falla bandas transportadoras.

Elemento de estudio	Cód.	Descripción Falla Funcional	FALLA OCULTA	Evidencia	Cód. MF	Modo de Falla
Bandas transportadoras	FF03-01	No transporta producto	NO	El operador de silos se da cuenta de señal de alarma en pantalla del CCM	MF03-0101	Acometida eléctrica en mal estado
					MF03-0102	Arrancador suave disparado, motor disparado
					MF03-0103	Banda transportadora rota
					MF03-0104	Banda detenida por sobrecarga
					MF03-0105	Banda con humedad
					MF03-0106	Campana reductor frenada
					MF03-0107	Chumacera partida
					MF03-0108	Falla en rodamientos
					MF03-0109	Falla en sensor
					MF03-0110	Motor aterrizado
					MF03-0111	Rodillo frenado
					MF03-0112	Correa de transmisión partida
	MF03-0113	Ventilador de motor fracturado				
	FF03-02	No transporta el producto a 800 Ton/h	NO	El operador de silos se da cuenta que la productividad bajó	MF03-0201	Banda transportadora desalineada
					MF03-0202	Banda destensionada
					MF03-0203	Poleas de transmisión desalineadas
					MF03-0204	Recubrimiento de tambor despegado
					MF03-0205	Rodillo desalineado
	FF03-03	Presenta reguero o fuga de producto	NO	El supervisor se da cuenta que hay reguero de producto	MF03-0301	Banda transportadora con rotos
					MF03-0302	Banda transportadora desalineada
					MF03-0303	Banda destensionada
					MF03-0304	Caperuza suelta
					MF03-0305	Compuerta de llenado abierta o cerrada
					MF03-0306	Lámina con fisura
					MF03-0307	Lámina desprendida
					MF03-0308	Limpiador desgastado

Tabla 30

Modos de falla elevador de cangilones.

Elemento de estudio	Cód.	Descripción Falla Funcional	FALLA OCULTA	Evidencia	Cód. MF	Modo de Falla
Elevador de cangilones	FF04-01	No transporta producto	NO	El operador de silos se da cuenta de señal de alarma en pantalla del CCM	MF04-0101	Acometida eléctrica en mal estado
					MF04-0102	Alta temperatura en variador
					MF04-0103	Banda de elevador rota
					MF04-0104	Banda de elevador desalineada
					MF04-0105	Chumacera partida
					MF04-0106	Correa de transmisión partida
					MF04-0107	Correa de transmisión salida
					MF04-0108	Falla en sensor
					MF04-0109	Falla lectura corriente
	FF04-02	No transporta el producto a 800 Ton/h	NO	El operador de silos se da cuenta que la productividad bajó	MF04-0201	Banda de elevador desalineada
					MF04-0202	Banda destensionada
					MF04-0203	Cangilón partido
					MF04-0204	Cangilón suelto
					MF04-0205	Cangilones incompletos
					MF04-0206	Recubrimiento de tambor desgastado
	FF04-03	Presenta reguero o fuga de producto	NO	El operador de silos se da cuenta que la productividad bajó	MF04-0301	Lámina con fisura
					MF04-0302	Lámina desprendida
					MF04-0303	Rasera manual
					MF04-0304	Tomillos faltantes en estructura

Tabla 31

Modos de falla báscula de recibo.

Elemento de estudio	Cód.	Descripción Falla Funcional	FALLA OCULTA	Evidencia	Cód. MF	Modo de Falla
Báscula de recibo	FF05-01	Báscula No pesa	NO	El operador de silos se da cuenta que no se registra el peso del bache en la computadora de la báscula	MF05-0101	Báscula con obstrucción interna
					MF05-0102	Báscula desprogramada
					MF05-0103	Celda de carga dañada
					MF05-0104	Falla en caja sumadora
					MF05-0105	Falla en sensor de nivel
					MF05-0106	Pérdida de comunicación
	FF05-02	No almacena el producto	NO	El operador de silos se da cuenta que la báscula está liberando los baches sin pesarlos ni retenerlos. (Visualiza toneladas en pantalla CCM)	MF05-0201	Sellos de cilindros hidráulicos desgastados
					MF05-0202	Falla en electroválvula
					MF05-0203	Vástago de cilindro partido
	FF05-03	Descarga Lenta	NO	El operador de silos se da cuenta que se están encontrando los baches. (Visualiza toneladas en pantalla CCM)	MF05-0301	Sellos de cilindros hidráulicos desgastados
					MF05-0302	Fuga de aceite en unidad hidráulica
					MF05-0303	Horquilla cilindro hidráulico fracturada
					MF05-0304	Mangueras hidráulicas rotas
	FF05-04	Presenta reguero o fuga de producto	NO	El supervisor se da cuenta que hay reguero de producto	MF05-0401	Báscula con compuerta abierta
					MF05-0402	Lámina con fisura
					MF05-0403	Lámina desprendida
FF05-05	Báscula desajustada	NO	El operador de silos se da cuenta que los baches de la báscula están por encima o por debajo del valor establecido por bache. (Visualiza toneladas en pantalla CCM)	MF05-0501	Báscula desprogramada	
				MF05-0502	Celda de carga dañada	
				MF05-0503	Falla en caja sumadora	
				MF05-0504	Falla en sensor de nivel	
				MF05-0505	Sensibilidad desajustada	
MF05-0506	Sobre capacidad					

Tabla 32

Modos de falla transportadores de cadena.

Elemento de estudio	Cód.	Descripción Falla Funcional	FALLA OCULTA	Evidencia	Cód. MF	Modo de Falla
Transportadores de cadena	FF06-01	No transporta producto	NO	El operador de silos se da cuenta de señal de alarma en pantalla del CCM	MF06-0101	Acometida eléctrica en mal estado
					MF06-0102	Arancador suave disparado, motor disparado
					MF06-0103	Base de motor mal soportada
					MF06-0104	Cadena de arrastre desalineada
					MF06-0105	Cadena de arrastre elongada
					MF06-0106	Cortocircuito
					MF06-0107	Chumacera partida
					MF06-0108	Falla de relevo
					MF06-0109	Falla en rodamientos
					MF06-0110	Falla en sensor
					MF06-0111	Falla lectura corriente
					MF06-0112	Cadena de arrastre partida
					MF06-0113	Fractura de eje cabezote
					MF06-0114	Pérdida de comunicación
					MF06-0115	Correa de transmisión partida
					MF06-0116	Sobrecarga
					FF06-02	No transporta el producto a 800 Ton/h
	MF06-0202	Cadena de arrastre desalineada				
	MF06-0203	Cadena de arrastre elongada				
	MF06-0204	Frecuencia en variador desajustada				
	MF06-0205	Obstrucción en bajante				
	MF06-0206	Paletas de arrastre deformadas				
	FF06-03	Presenta reguero o fuga de producto	NO	El supervisor se da cuenta que hay reguero de producto	MF06-0207	Paletas de arrastre incompletas
					MF06-0208	Rasera pegada
MF06-0301					Lámina con fisura	
MF06-0302					Compuerta de llenado abierta o cerrada	
MF06-0303	Lámina desprendida					
MF06-0304	Rasera pegada					

Tabla 33

Modos de falla excavadora Hitachi.

Elemento de estudio	Cód.	Descripción Falla Funcional	FALLA OCULTA	Evidencia	Cód. MF	Modo de Falla
Excavadora Hitachi	FF08-01	Excavadora no arranca	NO	El operador del cargador se da cuenta que al encender el equipo no arranca	MF08-0101	Alta temperatura de refrigerante
					MF08-0102	Alternador frenado
					MF08-0103	Falla en los sistemas eléctricos
					MF08-0104	Filtros de aire tapados
					MF08-0105	Fuga de refrigerante
					MF08-0106	Problemas en el sistema de transmisión
					MF08-0107	Radiadores tapados
	FF08-02	Opera a baja potencia	NO	El operador del equipo se da cuenta que le hace falta fuerza para realizar sus movimientos normales.	MF08-0201	Fugas de aceite hidráulico
					MF08-0202	Baja presión hidráulica
					MF08-0203	Sobrecalentamiento del motor
	FF08-03	Presenta fuga de combustible	NO	El supervisor del muelle se da cuenta que hay reguero de combustible en suelo o producto	MF08-0301	Tuberías de combustible rotas
					MF08-0302	Filtro de combustible tapado
					MF08-0303	Sellos de inyectores desgastados
					MF08-0304	Sellos de bomba de inyección desgastada
	FF08-04	Presenta fuga de aceite hidráulico	NO	El supervisor del muelle se da cuenta que hay reguero de aceite en suelo o producto	MF08-0305	Mangueras hidráulicas rotas
					MF08-0306	Filtro de aceite tapado
MF08-0403					Sellos de cilindros hidráulicos desgastados	
MF08-0404					Sellos de bomba hidráulica desgastada	

Tabla 34

Modos de falla cargador Komatsu.

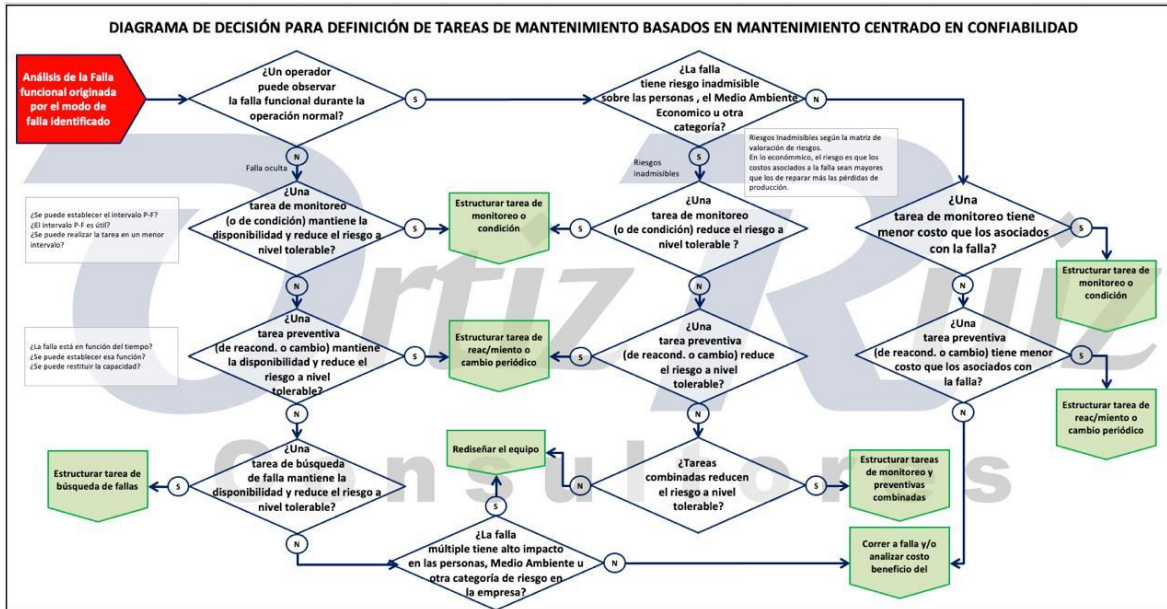
Elemento de estudio	Cód.	Descripción Falla Funcional	FALLA OCULTA	Evidencia	Cód. MF	Modo de Falla
Cargador Komatsu	FF09-01	Cargador no arranca	NO	El operador del cargador se da cuenta que al encender el equipo no arranca	MF09-0101	Alta temperatura de refrigerante
					MF09-0102	Alternador frenado
					MF09-0103	Falla en los sistemas eléctricos
					MF09-0104	Filtros de aire tapados
					MF09-0105	Fuga de refrigerante
					MF09-0106	Problemas en el sistema de transmisión
					MF09-0107	Radiadores tapados
	FF09-02	Opera a baja potencia	NO	El operador del equipo se da cuenta que le hace falta fuerza para realizar sus movimientos normales.	MF09-0201	Fugas de aceite hidráulico
					MF09-0202	Baja presión hidráulica
					MF09-0203	Sobrecalentamiento del motor
	FF09-03	Presenta fuga de combustible	NO	El supervisor del muelle se da cuenta que hay reguero de combustible en suelo o producto	MF09-0301	Tuberías de combustible rotas
					MF09-0302	Filtro de combustible tapado
					MF09-0303	Sellos de inyectores desgastados
					MF09-0304	Sellos de bomba de inyección desgastada
	FF09-04	Presenta fuga de aceite hidráulico	NO	El supervisor del muelle se da cuenta que hay reguero de aceite en suelo o producto	MF09-0401	Mangueras hidráulicas rotas
					MF09-0402	Filtro de aceite tapado
MF09-0403					Sellos de cilindros hidráulicos desgastados	
MF09-0404					Sellos de bomba hidráulica desgastada	

9. Diagrama de decisiones para cada equipo

El Diagrama de Decisión de RCM (Figura #) es una herramienta fundamental dentro de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad que se aplicará en la operación portuaria de Itacol. Este diagrama permite evaluar y registrar decisiones clave relacionadas con el mantenimiento de los equipos críticos de la ruta de recibo, asegurando una gestión estructurada y orientada a la confiabilidad.

Figura 12

Diagrama de decisión para definición de tareas de mantenimiento basados en RCM¹⁹.



A través del diagrama, se establecen:

- Las tareas de mantenimiento de rutina necesarias, incluyendo la frecuencia de ejecución y los responsables de llevarlas a cabo.
- Las fallas críticas que requieren un rediseño del equipo o del sistema para garantizar su confiabilidad.

¹⁹ Ortiz Plata, D. (2023). Matriz de riesgo. Mantenimiento centrado en confiabilidad [Notas de clase]. Universidad Industrial de Santander.

- Los casos en los que se decide, de forma deliberada, permitir que ocurran ciertas fallas debido a que su impacto es limitado y no compromete la operación ni los costos de manera significativa.

Este enfoque asegura que las estrategias de mantenimiento sean eficaces, priorizando las intervenciones que más contribuyen a la optimización de la operación portuaria dentro del marco de la monografía desarrollada.

Un diagrama de decisión para definir tareas de mantenimiento basado en RCM se estructura a partir de una serie de preguntas clave que permiten clasificar y priorizar las tareas en función de su impacto en la confiabilidad y seguridad del equipo. A continuación, un resumen de las preguntas principales:

- Función y Fallo del Equipo
 - ¿Cuál es la función del equipo?
 - ¿Qué fallos funcionales podrían ocurrir?
 - ¿Qué modos de fallo pueden causar estas fallas funcionales?
- Impacto del Modo de Fallo
 - ¿Qué consecuencias tiene este modo de fallo?: consecuencias de seguridad o ambientales, impacto operacional (producción, tiempo de inactividad), impacto económico (costos de reparación o pérdida).
- Detectabilidad del Fallo
 - ¿Es posible detectar el fallo antes de que ocurra?
 - ¿Se puede medir algún parámetro o señal que indique el desarrollo del fallo?
 - ¿El modo de fallo presenta síntomas predecibles?
- Tareas Preventivas o Predictivas

- ¿Existe una tarea de mantenimiento preventiva que pueda reducir la probabilidad de fallo?
- ¿Hay una técnica de monitoreo o mantenimiento predictivo adecuada para identificar el fallo a tiempo?
- ¿La tarea propuesta es técnica y económicamente viable?
- Acciones Correctivas
 - Si no se pueden realizar tareas preventivas, ¿es necesario dejar el equipo en fallo funcional?
 - ¿Qué medidas correctivas se deben planificar para minimizar el impacto de este fallo?
- Frecuencia y Recursos
 - ¿Con qué frecuencia se debe realizar la tarea para ser efectiva?
 - ¿Se tienen los recursos necesarios para llevar a cabo esta tarea?
- Decisión Final
 - ¿La tarea seleccionada es suficiente para mitigar los riesgos asociados al fallo?
 - ¿Es necesario rediseñar el equipo para eliminar el modo de fallo?

Estas preguntas ayudan a determinar si el mantenimiento debe ser preventivo, predictivo, correctivo o basado en rediseño, asegurando que las decisiones sean eficientes y estén alineadas con los objetivos operativos y de confiabilidad.

Tabla 37

Actividades de mantenimiento preventivo bandas transportadoras.

Bandas Transportadoras											
Horas	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Verificar frecuencia de descarga para cada producto previo arranque MN	X										
Días calendario	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Revisión y ajuste de cierres de caperuzas previo arribo MN		X									
Revisión y ajuste de compuertas previo arribo MN		X									
Revisar ajuste y cierres rápidos de caperuzas										X	
Realizar limpieza, revisión y pruebas de sensores										X	
Revisar la tensión y alineación de la banda											X
Revisar estado de limpiadores de la banda											X
Meses	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Revisar estado de la banda			X								
Inspeccionar tensión de las correas de transmisión			X								
Revisar estado de desgaste de las láminas de la estructura					X						
Realizar limpieza y revisión de arrancador, revisar configuración de parámetros.					X						
Revisar ajuste y alineación de rodillos de la banda					X						
Inspeccionar la alineación de la polea de transmisión					X						
Revisar estado de recubrimiento de tambores					X						
Realizar análisis de vibraciones						X					
Verificar estado de cableado de acometidas eléctricas								X			
Años	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Realizar mantenimiento preventivo al motor			X								
Realizar mantenimiento preventivo al reductor			X								

Tabla 38

Actividades de mantenimiento preventivo bascula de recibo.

Bascula de Recibo											
Días calendario	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Realizar calibración de bascula previo arribo de MN		X									
Verificar ajuste y cierres rápidos de compuertas previo arribo MN		X									
Realizar limpieza, revisión y pruebas a sistema hidráulico										X	
Realizar limpieza y revisión de variador, ajustar borneras.										X	
Realizar limpieza interna y externa de la tolva de la bascula										X	
Meses	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Realizar limpieza, revisión y pruebas de sensor			X								
Revisar estado de desgaste de las láminas de la estructura					X						
Realizar verificación de bascula					X						

Tabla 39

Actividades de mantenimiento preventivo cargador Komatsu.

Cargador Komatsu											
Horas de operación	1 d prev arri MN	250	500	1	2	3	4	5	6	7	
Inspección visual y limpieza del alternador		X									
Revisar conexiones eléctricas y fusibles.		X									
Cambiar filtro de aire		X									
Cambiar filtro de combustible		X									
Cambiar filtro de aceite		X									
Realizar revisión, cambio de aceite de motor y filtro de aceite			X								
Días calendario	1 d prev arri MN	250	500	1	2	3	4	5	6	7	
Monitorear la presión hidráulica utilizando un manómetro para realizar una prueba de presión previo arribo MN	X										
Realizar lavado de radiadores											X
Realizar limpieza, revisión y pruebas a sistema hidráulico											X
Realizar limpieza, revisión y pruebas a sistema de refrigeración											X
Realizar limpieza, revisión y pruebas a sistema de combustión											X
Realizar limpieza, revisión y pruebas a sistema de inyección											X
Meses	1 d prev arri MN	250	500	1	2	3	4	5	6	7	
Inspeccionar y ajustar sistema de transmisión						X					

Tabla 40

Actividades de mantenimiento preventivo elevador de cangilones.

Elevador de cangilones											
Días calendario	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Revisión y ajuste de raseras previo arribo MN		X									
Realizar limpieza y revisión de variador, ajustar borneras.									X		
Realizar limpieza, revisión y pruebas de sensores									X		
Revisar la tensión y alineación de la banda										X	
Meses	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Inspeccionar tensión de las correas de transmisión			X								
Inspeccionar el estado de los cangilones y ajustarlos			X								
Revisar estado de desgaste de las láminas de la estructura					X						
Revisar estado de recubrimiento de tambores					X						
Inspeccionar el estado de la banda					X						
Revisar tornillería de toda la estructura del elevador					X						
Realizar análisis de vibraciones						X					
Verificar estado de cableado de acometidas eléctricas								X			

Tabla 41

Actividades de mantenimiento preventivo excavadora Hitachi.

Excavadora Hitachi											
Horas de operación	1 d prev arri MN	250	500	1	2	3	4	5	6	7	
Realizar limpieza, revisión y pruebas a sistema de refrigeración		X									
Inspección visual y limpieza del alternador		X									
Revisar conexiones eléctricas y fusibles.		X									
Cambiar filtro de aire		X									
Cambiar filtro de combustible		X									
Cambiar filtro de aceite		X									
Realizar revisión, cambio de aceite de motor y filtro de aceite			X								
Días calendario	1 d prev arri MN	250	500	1	2	3	4	5	6	7	
Monitorear la presión hidráulica utilizando un manómetro para realizar una prueba de presión previo arribo MN	X										
Realizar lavado de radiadores										X	
Realizar limpieza, revisión y pruebas a sistema hidráulico										X	
Realizar limpieza, revisión y pruebas a sistema de refrigeración										X	
Realizar limpieza, revisión y pruebas a sistema de combustión										X	
Realizar limpieza, revisión y pruebas a sistema de inyección										X	
Meses	1 d prev arri MN	250	500	1	2	3	4	5	6	7	
Inspeccionar y ajustar sistema de transmisión						X					

Tabla 42

Actividades de mantenimiento preventivo transportadores de cadena.

Transportadores de cadena											
Horas	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Verificar frecuencia de descarga para cada prodcuto previo arranque MN	X										
Días calendario	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Revisión y ajuste de compuertas previo arribo MN		X									
Revisión y ajuste de raseras previo arribo MN		X									
Realizar limpieza y revisión de bajantes previo arribo MN		X									
Realizar limpieza y revisión de variador, ajustar borneras.											X
Realizar limpieza, revisión y pruebas de sensores											X
Revisar la tensión y alineación del transportador											X
Meses	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Inspeccionar tensión de las correas de transmisión			X								
Inspeccionar el estado de las paletas y ajustarlas o cambiarlas si es necesario.			X								
Revisar estado de desgaste de las láminas de la estructura					X						
Realizar limpieza y revisión de arrancador, revisar configuración de parámetros.					X						
Ajustar pernos flojos en todos los componentes del tranaportador					X						
Realizar análisis de ultrasonido						X					
Realizar analisis de vibraciones						X					
Verificar estado de cableado de acometidas eléctricas										X	
Años	1 h prev arra MN	1 d prev arri MN	1	2	3	4	5	6	7	15	
Realizar mantenimiento preventivo al reductor			X								

11. Inventario de repuestos para la ruta de recibo

Para llevar a cabo los mantenimientos preventivos y correctivos programados en la ruta de recibo, es necesario disponer de un conjunto mínimo de repuestos en el almacén de la empresa, con el fin de evitar paradas prolongadas debido a la falta de repuestos en stock.

Con base en lo anterior, se elaboró una lista de repuestos mínimos (Tabla 28 – Anexo 2), definida después de la nueva jerarquización de los equipos, tomando como referencia los catálogos y placas de los activos.

12. Conclusiones

La actualización del plan de mantenimiento de la ruta de recibo de la operación portuaria de Itacol Barranquilla utilizando la metodología RCM ha demostrado ser un enfoque integral y efectivo para abordar los desafíos operativos y de disponibilidad en esta área crítica. Este estudio permitió identificar las principales limitaciones en los sistemas y subsistemas actuales, destacando la falta de una jerarquización adecuada, un inventario de repuestos críticos y un plan de mantenimiento actualizado desde 2017.

La reestructuración jerárquica de los sistemas y subsistemas, siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 14224, aportó claridad y orden al proceso de mantenimiento. Esto facilitó una evaluación más precisa de los equipos, permitiendo identificar los más críticos mediante un análisis de criticidad robusto. entre ellos:

Báscula de paso: Las fallas incluyen errores en la medición de peso y fallos en el sistema hidráulico de apertura y cierre de compuertas, que impactan la precisión y continuidad del flujo de material.

Transportadores de cadena bajo tolvas: Principales modos de falla incluyen atascos por acumulación de material y desgaste de cadenas, lo que puede causar paradas prolongadas.

Banda transportadora de 100 metros: Sus fallas críticas incluyen desgaste excesivo de la banda y desalineación de los rodillos, que afectan directamente el transporte continuo de material.

El análisis de criticidad, basado en la metodología RCM según la norma SAE JA1012, permitió identificar estos modos de falla críticos, priorizando los que afectan la continuidad de la operación, la seguridad y los costos operativos. Con base en este análisis, se definieron actividades específicas de mantenimiento preventivo, incluyendo ajustes periódicos, inspección y reemplazo

de componentes clave, así como la implementación de mejores prácticas de mantenimiento proactivo.

Adicionalmente, se creó un inventario actualizado de repuestos críticos, alineado con las necesidades operativas de los equipos, garantizando una respuesta rápida ante fallas y reduciendo significativamente los tiempos medios de reparación (MTTR).

En conclusión, la implementación de esta actualización permitirá optimizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de la ruta de recibo, disminuir las paradas no programadas y reducir los costos operativos, mejorando el desempeño general de la operación portuaria de Itacol Barranquilla. Este enfoque centrado en la confiabilidad no solo beneficiará la producción, sino que también fortalecerá la sostenibilidad y competitividad de la compañía en el mercado.

Bibliografía

- ACOME, Viviana- PIÑERES, Jesús. Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad para cargadores 938 h Caterpillar de la sociedad portuaria regional de Barranquilla; Proyecto de Grado de especialización de gerencia de mantenimiento, UIS. 2017 pág. 44.
- Barringer, H. P. (s.f.). *Disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y capacidad* (p. 5). Barringer & Associates.
- Barringer, H. P. (n.d.). Barringer & Associates. *Disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y capacidad* (P. 2:3).
- BORRAS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga; UIS pág. 1.
- Díaz Delgado, D. (2014). Diseño de las cadenas de tracción del transportador de rastrillos para el acarreo de mineral laterítico reducido (Tesis de pregrado). Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, República de Cuba.
- Garofoli, A., & Garofoli, J. (2014). Elevadores a cangilones de descarga centrífuga: pérdidas ocasionadas por problemas de diseño. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 18(2), 55-67.
- Huerta Mendoza, R. (2000, septiembre). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Ponencia presentada en el 2º Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, ISPJAE, Ciudad de la Habana.
- Identificación Pesaje y Control. (2024, 20 de mayo). Especialistas en Básculas, Balanzas, Sistemas de pesaje e Identificación. México D.F. Recuperado de: <https://ipc.com.mx/pi-basculas-paso-y-bacheo/>

- International Organization for Standardization. (2016). ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Geneva, Switzerland: ISO.
- Jaramillo, J. E. & CIA. (2024, 20 de mayo). Integradores de soluciones industriales PESAPACK. Manizales, Colombia. Recuperado de <https://www.pesapack.com/>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II* (Edición en español). Asheville: Alandon LLC.
- Ortiz Plata, D. (2023). Matriz de riesgo. Mantenimiento centrado en confiabilidad [Notas de clase]. Universidad Industrial de Santander.
- Riverport [sitio web]. Página oficial. (Recuperado el 15 de septiembre del 2024). Disponible en: <https://riverport.co/>
- SAE International. (2009). *SAE JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. Warrendale, PA: SAE International.
- SILVA, Pedro Eliseo. *Mantenimiento en 3D*, Mantenimiento en Latinoamérica Volumen 3, la revista para la gestión de activos. Junio 2011.

Lista de Anexos

Anexo A. Historial de falla.

Anexo B. Hojas de vida equipos.

Anexo C. Hoja de vida motores.

Anexo D. RCM recibo.

Anexo E. Taxonomía de equipos.

“Los anexos están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”