

MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA
EL COMPLEJO GRANELERO DE LA SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL
BARRANQUILLA

LUIS EDUARDO CORDOBA VILLALBA
CARLOS ARTURO ZAMBRANO PINEDO

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

2019

MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA
EL COMPLEJO GRANELERO DE LA SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL
BARRANQUILLA

LUIS EDUARDO CORDOBA VILLALBA
CARLOS ARTURO ZAMBRANO PINEDO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
GERENCIA DE MANTENIMIENTO

DIRECTOR
JAIRO PICALUA CARDONA
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

A Dios por permitirme alcanzar este logro, un escalón más para mi desarrollo profesional.

Esta monografía se la dedico a mi hijo Luis Alejandro, por ser mi motivación más grande, quien me llena de fuerzas para superarme día a día, a mi compañera de batallas María Alejandra por ser ese apoyo constante e incondicional en todos los proyectos de mi vida, a mis padres que con su ejemplo y amor me enseñaron a luchar por mis sueños y a mi hermano Álvaro que me motiva y reta a ser cada día mejor.

Luis Eduardo Córdoba Villalba

Gracias y la gloria para Dios por darme la sabiduría para desarrollar este proyecto.

Dedico esta monografía a mi familia, gracias a mis padres por su apoyo incondicional y a mis hermanos por su motivación.

Carlos Arturo Zambrano Pinedo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	20
1.1 MARCO CONTEXTUAL	20
1.1.1 Reseña Histórica.....	20
1.1.2 Ubicación De La Empresa.	21
1.1.3 Carga a granel.	22
1.1.4 Políticas de la empresa.....	23
1.1.5 Estructura Organizacional.....	25
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.3 OBJETIVOS.....	27
1.3.1 Objetivo General.	27
1.3.2 Objetivos Específicos.....	27
1.4 JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	27
2. MARCO TEORICO	30
3. MARCO CONCEPTUAL	33
3.1. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO	33
3.2 LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	34
3.3 EL RCM	36
3.4 EL RCM: SIETE PREGUNTAS BÁSICAS.	37
3.5 ANALISIS DE CRITICIDAD.	37
3.6 CONFIABILIDAD	38
3.7 CONFIABILIDAD OPERACIONAL.....	39
3.8 DISPONIBILIDAD EN MANTENIMIENTO	39
3.9 BANDAS TRANSPORTADORAS	40

3.10 TRANSPORTADORES DE RASTRILLOS O CADENAS DE ARRASTRE. ...	41
3.11 ELEVADORES DE CANGILONES.	44
3.12 CLASIFICACIÓN DE LOS ELEVADORES DE CANGILONES.....	49
3.13 BASCULAS DE PASO	50
 4. COMPLEJO GRANELERO DEL SISTEMA GRANELERO.....	 52
4.1 DESCRIPCIÓN	52
4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	53
4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA GRANELERO	57
4.3.1 Paso a paso del proceso de descargue por medio del sistema granelero: ...	57
4.3.2 Rutas de almacenaje hacia las bodegas graneleras.....	58
4.4 EQUIPOS PRINCIPALES DEL SISTEMA GRANELERO	59
4.4.1 Bandas de muelle.	59
4.4.2 Elevadores de cangilones.	60
4.4.3 Banda transportadora reversible.	61
4.4.4 Transportadores de arrastre portátiles y retráctiles.....	62
 5. ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN EL AREA DE EQUIPOS FIJOS.	 64
5.1 EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN G&F	66
 6. RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION	 68
6.1 TAXONOMIA Y FRONTERAS	68
6.2 HISTORIAL DE FALLAS.....	71
6.2.1 Análisis de Pareto.	71
6.3 ANALISIS DE CRITICIDAD	79
 7. MODELO DE RCM PARA COMPLEJO GRANELERO	 86
7.1 MODOS DE FALLAS DE LOS SISTEMAS	87
 8. HOJA DE DECISIONES PARA CADA EQUIPO	 95

9. PROPUESTA DE REDISEÑO PARA EL CONTROL DE FALLAS POR CAUSA DE LA SOBRECARGA	104
10. MANTENIMIENTO PREVENTIVO SISTEMA CARGUE A GRANEL.....	109
10.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA BANDAS DE MUELLE	110
10.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA ELEVADORES DE CANGILONES	111
10.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TOLVAS GRANELERAS.....	112
10.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA BASCULAS DE BACHES	113
10.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TRANSPORTADORES DE ARRASTRE	114
10.6 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA COMPRESORES DE VELOCIDAD VARIABLE	115
11. CONCLUSIONES	116
BIBLIOGRAFÍA.....	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los equipos del sistema granelero.	54
Tabla 2. Especificaciones técnicas del compresor Ingersoll Rand.....	54
Tabla 3. Especificaciones técnicas de las Básculas de bache BP-5000-G.....	55
Tabla 4. Especificaciones Técnicas Transportadores de Arrastre muelle 5.....	56
Tabla 5. Especificaciones técnicas transportadores muelle 6.....	57
Tabla 6. Rutas de Descargue Sistema Granelero.....	58
Tabla 7. Base de datos de órdenes descargadas de SAP. Anexo 1.....	71
Tabla 8. Conteo de causas que generaron fallas.....	73
Tabla 9. Fallas frecuentes por sistemas	74
Tabla 10. Fallas recurrentes en el sistema estructural de los equipos.....	74
Tabla 11. Fallas recurrentes en el sistema mecánico.	75
Tabla 12. Fallas recurrentes en el sistema neumático.....	75
Tabla 13. Fallas recurrentes en el sistema transmisión de potencia.....	76
Tabla 14. Fallas recurrentes en el sistema de transporte de producto.	76
Tabla 15. Fallas recurrentes en el sistema de Básculas.....	77
Tabla 16. Fallas recurrentes en el sistema eléctrico.	78
Tabla 17. Elementos de evaluación para el análisis de criticidad.	79
Tabla 18. Análisis de criticidad de los equipos del sistema granelero.	82
Tabla 19. Análisis de criticidad de las bandas de muelle.....	83
Tabla 20. Análisis de criticidad de las básculas de bache.	84
Tabla 21. Análisis de criticidad de los compresores.	85
Tabla 22. Descripción falla funcional y modo de falla bandas de muelle	87
Tabla 23. Descripción falla funcional y modo de falla elevadores de cangilones.....	88
Tabla 24. Descripción falla funcional y modo de falla tolvas graneleras.	89
Tabla 25. Descripción falla funcional y modo de falla para Transportadores de cadena de arrastre.....	90
Tabla 26. Descripción falla funcional y modo de falla para compresores de Aire de velocidad variable.	91

Tabla 27. Descripción falla funcional y modo de falla para basculas de baches sección A.	92
Tabla 28. Descripción falla funcional y modo de falla para basculas de baches sección B.	93
Tabla 29. Hoja de decisión para la metodología RCM.....	96
Tabla 30. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para fallas bandas de muelle sección A.	99
Tabla 31. Sección B- Bandas de muelle.	99
Tabla 32. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para fallas elevadores de cangilones	100
Tabla 33. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para fallas de las tolvas graneleras.	101
Tabla 34. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para básculas de baches.	102
Tabla 35. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para transportadores de arrastre.....	102
Tabla 36. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para compresores de velocidades variables.	103
Tabla 37. Check List de la banda de muelle.	110
Tabla 38. Check List de elevadores de cangilones.....	111
Tabla 39. Check List de tolvas graneleras.	112
Tabla 40. Check List de las básculas de bache.	113
Tabla 41. Check List de los transportadores de arrastre.	114
Tabla 42. Check List de los compresores del sistema.	115

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación del Puerto de Barranquilla.....	21
Ilustración 2. Organigrama SPRB.	25
Ilustración 3. Partes de un elevador de cangilones.....	47
Ilustración 4. Tipos de elevadores de cangilones según construcción y trayectoria.	50
Ilustración 5. Bascula de paso Modelo con tolva de alimentación continua.....	51
Ilustración 6. Sistema granelero de la sociedad Portuaria de Barranquilla.	52
Ilustración 7. Operación de Descargue de Maíz en Muelle 5.....	53
Ilustración 8. Báscula de Bache BP-5000-G.....	56
Ilustración 9. Diagrama de Flujo del Sistema Granelero.....	57
Ilustración 10. Rutas de descargue de Muelle 5.	59
Ilustración 11. Rutas de descargue de Muelle 6.	59
Ilustración 12. Banda de Muelle 6.....	60
Ilustración 13. Elevadores de cangilones Torre norte y sur.	61
Ilustración 14. Banda reversible del sistema granelero.....	62
Ilustración 15. Modelo de Transportador de arrastre de paletas.....	62
Ilustración 16. Transportador portátil de 6 metros usados en muelle 6.....	63
Ilustración 17. Equipos en operación de descargue.	63
Ilustración 18. Organigrama del área de mantenimiento SPRB.....	64
Ilustración 19. Organigrama Mantenimiento granel y equipos fijos.....	65
Ilustración 20. Diagrama de flujo de las actividades actuales de mantenimiento. .	67
Ilustración 21. Diagrama jerárquico de Sistemas del complejo granelero.....	68
Ilustración 22. Diagrama Jerárquico general.	69
Ilustración 23. Fronteras del complejo granelero.	70
Ilustración 24. Análisis de Pareto según tipo de equipos.....	72
Ilustración 25. Diagrama de decisión de la criticidad de un equipo.....	81
Ilustración 26. Diagrama de Decisión metodología RCM.....	98

Ilustración 27. Falla por sobrecarga en el transportador de arrastre de la bodega 6A.	104
Ilustración 28. Fallas por sobrecarga en el elevador de bodega 6.....	104
Ilustración 29. Falla por sobrecarga en la banda externa de la bodega 7A.	105
Ilustración 30. Esquema del proyecto de mejora para el sistema granelero.....	107
Ilustración 32. Proyecto de mejora sistema granelero.	108

LISTA DE ANEXOS
(Ver anexos en la carpeta adjunta al CD)

ANEXO A. Histórico fallas sistema granelero

ANEXO B. Hojas de Decisión

ANEXO C. Análisis de Criticidad del Sistema Granelero

ANEXO D. Manual compresor Ingersoll Rand 40 to 50 hp Rotary Screw

ANEXO E. Diagrama de procesos Secuencia de automatización Sistema Granelero

ANEXO F. Check list Equipos G&F

ANEXO G. Modelo función-falla funcional-modos de fallas

ANEXO H. Taxonomía de equipos SPRB

ANEXO I. Reporte de productividad de sistema granelero gerencial

ANEXO J. ANTEPROYECTO MONOGRAFIA - LECV-CAZP- 06 abril-final

ANEXO K. Hoja de Vida JAIRO A. PICALUA CARDONA

ANEXO L. Libro 3 RCM - Guía práctica - [DOP] - versión 05

RESUMEN

TITULO:

MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL COMPLEJO GRANELERO DE LA SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL BARRANQUILLA

AUTOR (ES):

LUIS EDUARDO CORDOBA VILLALBA, CARLOS ARTURO ZAMBRANO PINEDO

PALABRAS CLAVE:

DESCARGUE, SISTEMA GRANELERO, BANDA TRANSPORTADORA, RCM, MODO DE FALLA, EFECTOS DE FALLA, MANTENIMIENTO, SOBRECARGA.

CONTENIDO:

En esta monografía se muestra el desarrollo de un modelo de mantenimiento basado en RCM para los equipos que intervienen en el descargue de buques a granel de la empresa Sociedad Portuaria de Barranquilla, realizado como respuesta a la necesidad de minimizar los impactos en la operación causados por la indisponibilidad y fallas de los equipos que conforman el sistema, los cuales generan demoras en tiempo de descargue, por baja capacidad de flujo, fallas de los equipo o mala operación. Con el objetivo determinar las tareas o actividades que se deben ejecutar para prevenir las fallas, se enfoca en la aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM el cual aumenta la confiabilidad operacional de los equipos.

Este desarrollo está soportado por la información técnica de los equipos almacenada en la base de datos del sistema de información, el conocimiento y experiencia del personal que opera y mantiene a los mismos. Una vez desarrollado esto, la metodología RCM, a través del diagrama de decisión, entrega de forma estructurada, las actividades necesarias para preservar la función del activo. De esta forma, se logra optimizar las actividades de mantenimiento, eliminando de las rutinas aquellas tareas que no generan valor agregado.

El resultado debe estar acompañado de un compromiso en la ejecución de las tareas resultantes del RCM y un seguimiento constante por parte del personal de mantenimiento, buscando oportunidades de mejora en el modelo planteado que permitan incrementar la efectividad del mismo.

*Monografía de grado

**Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Jairo Picalua Cardona

ABSTRACT

TITLE:

MAINTENANCE MODEL CENTERED IN RELIABILITY FOR THE BULK COMPLEX OF THE BARRANQUILLA PORT SOCIETY.

AUTHORS:

LUIS EDUARDO CORDOBA VILLALBA, CARLOS ARTURO ZAMBRANO PINEDO

KEYWORDS:

DISCHARGE, BULK SYSTEM, CONVEYOR, RCM, FAILURE MODE, FAILURE EFFECTS, MAINTENANCE, OVERLOAD.

CONTENTS:

This monograph shows the development of an RCM-based maintenance model for the equipment involved in the discharge of bulk ships from the Sociedad Portuaria de Barranquilla, carried out in response to the need to minimize the impacts on the operation caused by the unavailability and failures of the equipment that make up the system, which generate delays in download time, due to low flow capacity, equipment failures or poor operation. In order to determine the tasks or activities that must be executed to prevent failures, it focuses on the application of the RCM reliability-centered maintenance methodology which increases the operational reliability of the equipment.

This development is supported by the technical information of the equipment stored in the database of the information system, the knowledge and experience of the personnel that operates and maintains them. Once this is developed, the RCM methodology, through the decision diagram, delivers in a structured way, the activities necessary to preserve the function of the asset. In this way, it is possible to optimize maintenance activities, eliminating from the routines those tasks that do not generate added value.

The result must be accompanied by a commitment in the execution of the tasks resulting from the RCM and a constant follow-up by the maintenance staff, seeking opportunities for improvement in the proposed model that will increase its effectiveness.

*Monograph

**Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization.

Director: Jairo Picalua Cardona

INTRODUCCIÓN

El Puerto de Barranquilla es una importante terminal marítima y fluvial con más de 80 años de experiencia, situada a 22 km de la desembocadura del Río Magdalena, es la principal terminal portuaria multipropósito del Caribe colombiano. El puerto abarca una superficie de 94 hectáreas, con una longitud total de muelles de 1058 metros. Está equipado para la manipulación de contenedores, carga refrigerada y congelada, carga general y carga proyecto, gráneles y coque.

La participación de la carga a granel representa el 41% de la carga total que llega al terminal. Para que esta operación sea posible, se necesita que los equipos estén en óptimas condiciones, tales como, cucharas, tolvas móviles, transportadoras de arrastre portátil y todo el complejo granelero. Dado que gran parte del negocio depende de la operatividad de estos equipos, es de suma importancia mantenerlos siempre disponibles, y con una alta confiabilidad.

Las rutinas de mantenimiento preestablecidas son esenciales y de vital importancia cuando se busca elevar la disponibilidad de los equipos que conforman el sistema granelero, y esto a su vez incide en forma directa en la elevación de la competitividad de la compañía, cuando la inversión realizada asegura la realización continua de la función necesaria, motivo por el cual continuamente se encuentran sujetas a cambios y mejoras procedimentales, tecnológicas y estratégicas con el fin de replantear su efectividad.

Es esta monografía se mostrará cómo se encuentra actualmente el plan de mantenimiento de la sociedad portuaria regional Barranquilla, cuales son los tipos de fallas funcionales que presentan sus equipos, cuales son las fallas más críticas que se evidencian y con qué frecuencia se muestran, las cuales afectan directamente su operación.

Con el apoyo de la metodología RCM estableceremos los tipos de mantenimientos, como y cuando se deben ejecutar, estableciendo frecuencias justas y necesarias de las actividades en mención. Lo anterior nos permitirá aumentar la disponibilidad y confiabilidad de sus activos, disminuyendo significativamente las paradas no programadas y performance de sus equipos, lo que trae como consecuencias múltiples retrasos y traumas en las operaciones del puerto, traducido en pérdidas económicas por penalizaciones e incumplimiento en tiempos de descargas.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 MARCO CONTEXTUAL

Barranquilla es conocida como la Puerta de Oro de Colombia ya que a través de esta entraron al país importantes adelantos tecnológicos como la radio, el cine, la televisión, la aviación, el ferrocarril, la navegación fluvial, entre otros, lo cual fue posible gracias a su condición natural de ciudad – puerto.

El Puerto de Barranquilla – Sociedad Portuaria, es la terminal más antigua del territorio y en 2016 cumplió 80 años de constitución.

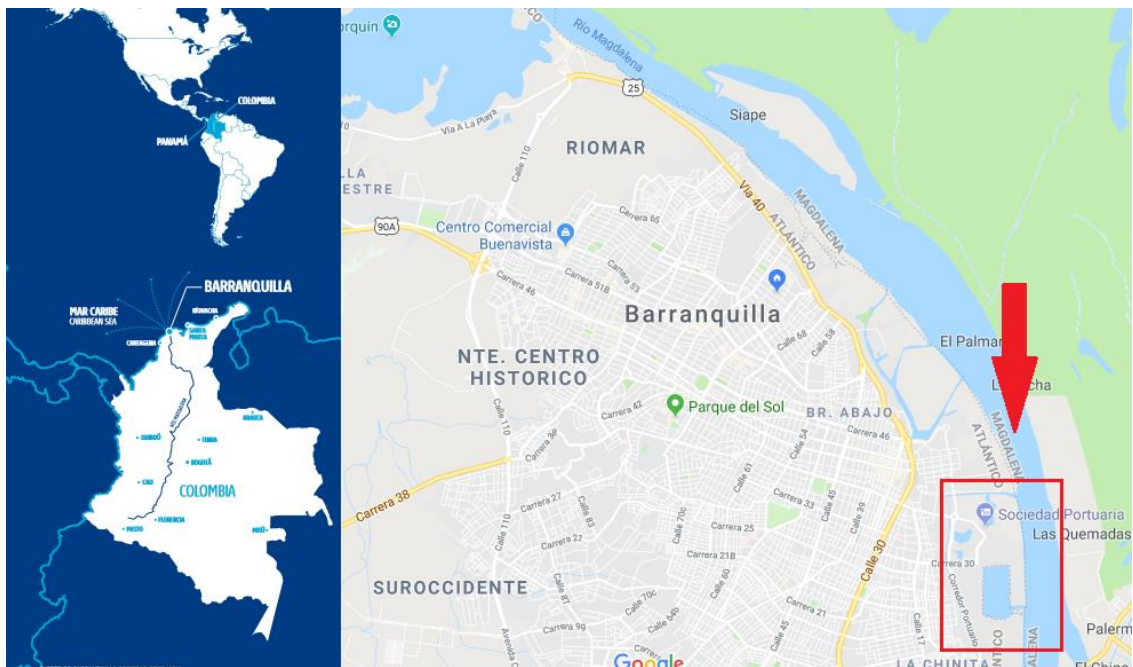
1.1.1 Reseña Histórica. Las siguientes son fechas en las que se presentaron hechos importantes para la conformación de lo que ahora es el puerto de Barranquilla, son sucesos que ayudaron a generar confianza y una experiencia de más de 80 años en servicios portuarios:

- En 1925 se inicia las obras de construcción de Bocas de Cenizas por parte de firma norteamericana Ullen.
- En 1930 Debido a múltiples variaciones en el proyecto que generaron sobre costos, se finaliza el contrato con la empresa norteamericana y el Gobierno Nacional asume la responsabilidad del proyecto.
- En 1935 Gracias a las obras adelantadas, fue posible que atracara en Barranquilla el buque tanque petrolero Taralalite.
- En 1964 Después de haber perdido gran parte de la carga que se movilizaba por la ciudad, gracias a la ejecución de varias obras en el canal de acceso, a partir de 1964 la navegación por Bocas de Cenizas se regularizó y presentó una relativa estabilidad. El canal casi siempre se mantuvo con una profundidad superior a los 30 pies.

- En 1994 Se crea la Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla S.A. (SPRB), una empresa de economía mixta, para la operación, administración y comercialización del Terminal Marítimo y Fluvial de Barranquilla. El 13 de diciembre de 1936 el Terminal le fue entregado en concesión por parte de la Nación para un periodo de 20 años.

1.1.2 Ubicación De La Empresa. La Sociedad Portuaria de Barranquilla, se encuentra ubicada en la costa norte de Colombia, en la ciudad de barranquilla, capital del departamento del Atlántico. Situada a 22 km de la desembocadura del Río Magdalena, es la principal terminal portuaria multipropósito del Caribe colombiano. El puerto abarca una superficie de 94 hectáreas, con una longitud total de muelles de 1058 metros. Está equipado para la manipulación de contenedores, carga refrigerada y congelada, carga general y carga proyecto, gráneles y coque.

Ilustración 1. Ubicación del Puerto de Barranquilla



1.1.3 Carga a granel. Contamos con un sistema granelero con capacidad para descargar hasta 14.000 toneladas/día de granel, a una rata de hasta 600 toneladas/hora, y recibir dos buques simultáneamente, almacenando el granel en diferentes bodegas. En este tipo de carga podemos apoyar a nuestros clientes con las siguientes actividades:

- Ensacado en bodega o al costado del muelle (sujeto a disponibilidad) suministro de sacos.
- Almacenamiento.
- Cargue de barcazas.
- Servicio de pallets.
- Servicio de carpado de camiones.
- Trimado por bodega dentro del buque.
- Sacos igualados (bascula especial para que todos los sacos pesen igual).
- Retiros de divisiones en buques.
- Servicio de laboratorio para inspección de la carga.
- Equipos para controlar la humedad de los granos.

Así mismo, para el manejo de este tipo de carga contamos con:

- Área de 40.384 m² para almacenamiento de gráneles.
- 14 Bodegas graneleras.
- Capacidad de almacenamiento de 141.000 toneladas. Sistema mecanizado para el descargue de motonaves, que se encuentra conformado por tolvas móviles, bandas transportadoras, elevadoras de cangilones y cadenas de arrastre.
- Servicio de monitoreo y preservación del grano almacenado.
- Control de inventarios para la carga.
- 11 básculas camioneras con capacidad de 80 toneladas, distribuidas estratégicamente a lo largo del terminal.

1.1.4 Políticas de la empresa. La SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL DE BARRANQUILLA S.A. es una organización que prestar servicios portuarios integrales y diferenciados como terminal multipropósito marítimo y fluvial, nacional e internacional, a clientes y usuarios, con eficiencia, seguridad, innovación y versatilidad, utilizando tecnología y sistemas de información apropiados, desarrollando estrategias e induciendo la acción de factores externos que otorguen ventajas competitivas sostenibles, pretendiendo una adecuada retribución para nuestros accionistas y colaboradores quienes coadyuvan y trabajan en el mejoramiento continuo de sus actividades; procediendo con sentido ético, respeto a la ley y al medio ambiente y asumiendo posición de liderazgo y de compromiso con el gobierno en el desarrollo económico y social de la ciudad, el departamento y el país.

Como Misión el puerto establece: Somos el puerto multipropósito líder de la Costa Caribe Colombiana, que genera valor al país, prestando servicios logísticos integrados, ágiles y efectivos, con un talento humano innovador comprometido con la comunidad.

Como visión el puerto regional Barranquilla establece: Seremos la plataforma logística portuaria referente, que desde el Río Magdalena, conecta a Colombia y el mundo.

Dentro de sus valores corporativos figura:

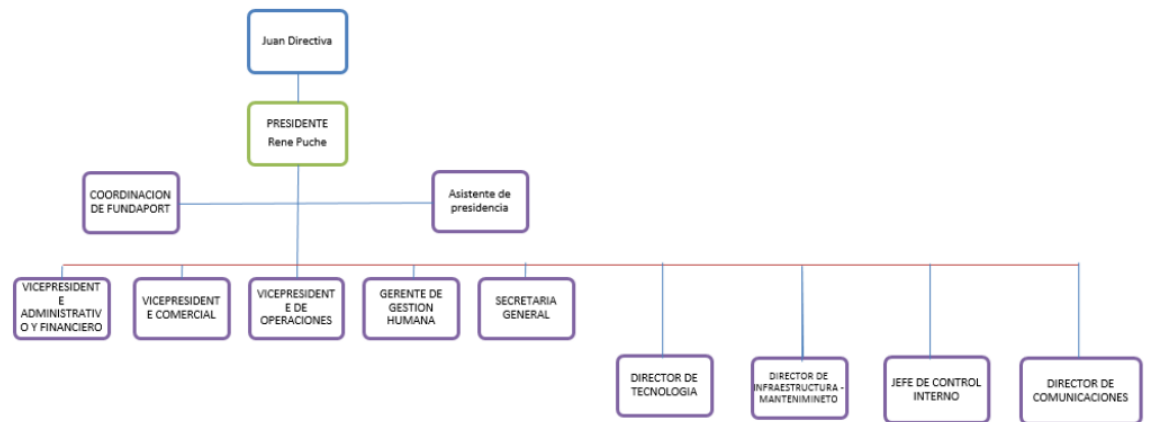
- Confianza: Generar credibilidad a través de nuestros actos, conductas y comportamientos; Creer en el otro, en sus competencias y en el rol que juega en el equipo de trabajo; Reconocer el valor de la palabra; Ser leales con los miembros del equipo, con la empresa y con los clientes; INNOVACIÓN como herramientas importante en el desarrollo del puerto; Retarnos permanentemente a salirnos de la zona de confort; Tener la capacidad y el valor de desafiar y romper paradigmas tradicionales;

Promover la creatividad a través del trabajo multidisciplinario; Crear y fomentar los espacios de confianza y credibilidad para recibir ideas y estudiarlas

- Excelencia: Hacer bien el trabajo desde el primer momento; Fijarse estándares de alto desempeño, y cumplirlos; Enfoque organizacional al cliente, centrados en la efectividad; Creer firmemente que la excelencia organizacional se logra a través de la excelencia de nuestro talento humano; Estar orientado al logro de los resultados, sin pasar por encima de los valores y las personas; Desarrollar la habilidad de trabajar en equipo, mirando el impacto de una decisión en el resto de la organización y en el entorno.
- Coherencia: Actuar consecuente y responsablemente con lo que pensamos, decimos y sentimos; Asumir actitudes responsables al ejecutar decisiones que sean o no acertadas; Alinearse con los objetivos de la empresa; Mostrar compromiso y sentido de pertenencia por la compañía, actuando como si fuera propia; Ser conscientes de nuestro papel protagónico como entidad, en nuestra responsabilidad social y ambiental.
- Transparencia: Soy un buen ejemplo; Soy honesto; La rectitud rige mis decisiones; La transparencia es la esencia de mi comportamiento; No soy cómplice de actos incorrectos, los denuncio; Me comunico abierta y claramente; No soy corrupto; Ser responsable es mi compromiso; Pregunto a la persona correcta garantizando claridad en la información de los procesos; Soy el Puerto de Barranquilla, promuevo los valores.

1.1.5 Estructura Organizacional

Ilustración 2. Organigrama SPRB.



1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Puerto de Barranquilla es un puerto multipropósito que se encarga del almacenamiento, movilización, inspección y despacho de diferentes tipos de carga tales como contenedores, gráneles sólidos y líquidos, carga general y coque, para ello cuenta con una amplia gama de equipos (maquinaria pesada y sistema granelero).

Esta compañía cuenta con un sistema granelero con capacidad para descargar hasta 14.000 toneladas/día de granel, a una rata de hasta 600 toneladas/hora, y recibir dos buques simultáneamente, almacenando el granel en diferentes bodegas.

El sistema granelero se encuentra conformado por tolvas móviles, bandas transportadoras, elevadoras de cangilones, basculas de bache y transportadores de cadenas de arrastre. En el proceso de descargue también participan otros equipos de apoyo como lo son las cucharas SMAG, las tolvas fijas, las bandas apiladoras y las estructuras para carpar camiones. Todos estos equipos pertenecen al área de mantenimiento de gráneles y equipos fijos.

Las constantes paradas no programadas y sobrecargas en los sistemas de descargue traen como consecuencia interrupciones muy prolongadas en las operaciones del puerto, afectando la disponibilidad en un 60% y confiabilidad por debajo de 50 horas de operación, generando incumplimientos en el tiempo de despacho pactado a los clientes, obligando a operaciones logística a recurrir a sobre costos, teniendo que alquilar maquinaria extra costosa y menos eficiente para darle continuidad a la operación y no hacer tan traumática la parada, todo lo anterior incurriendo en gastos que afectan la ejecución presupuestal preestablecida para las diferentes áreas del puerto regional Barranquilla.

En la actualidad el área no cuenta con indicadores de confiabilidad ni disponibilidad de los equipos claramente establecidos, los cuales indiquen cuales son las fallas más críticas y con qué frecuencia se presentan, las rutinas de mantenimiento no han sido actualizadas desde hace casi 6 años, se desconoce la criticidad de cada uno de los equipos que participan en la operación y la programación de las tareas de mantenimiento se realizan diariamente, dado que no se cuenta con una metodología de mantenimiento.

Para conocer y poder mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos fijos de la sociedad portuaria de Barranquilla, primero se debe organizar y registrar la información que se obtiene de las diferentes tareas de mantenimiento de manera clara y concreta, en el sistema de información integrada, lo cual ayudará a obtener los indicadores que se definan como necesarios.

Por ende, se plantea en esta monografía un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad “RCM” para todos los equipos que componen el complejo granelero de la sociedad portuaria Regional Barranquilla, y de esta forma impactar directamente en su confiabilidad y disponibilidad de los activos que la conforma y se encuentran involucrados directamente en su operación.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Diseñar un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad “RCM” para el complejo granelero de la sociedad portuaria regional Barranquilla, que permita mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los activos que lo componen.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Revisar el estado actual del mantenimiento en el área de graneles y equipos fijos.
- Recopilar y analizar la información de los registros de fallas en SAP
- Identificar cuáles son los equipos más críticos que componen el sistema granelero de SPRB (Sociedad Portuaria Regional Barranquilla).
- Definir las funciones de los diferentes activos en su contexto operacional.
- Revisar el catálogo de fallas de los equipos y proponer como deben ser actualizados.
- Examinar los síntomas y causas de los diferentes modos de falla que presentan los equipos críticos del sistema granelero de SPRB, e incluirlos en el catálogo de mantenimiento y operación.
- Evaluar el plan de mantenimiento preventivo actual de todos los equipos y proponer cuales deben ser actualizados en base a sus fallas más recurrentes.
- Determinar las tareas o actividades que se deben ejecutar para prevenir las fallas.
- Proponer mejoras para el control de las fallas más recurrentes.

1.4 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

En el Puerto de Barranquilla se movilizan básicamente tres tipos de cargas, las cuales son contenedores, Granel y carga general. El 59.1% de la Carga que se moviliza de importación o exportación es a granel. (26% Granel Limpio y 33%

Coque). Cifras que indican que los mayores ingresos que obtiene la compañía se dan gracias al movimiento de este tipo de carga. Por ende, es de suma importancia garantizar en todo momento la disponibilidad de los equipos que se utilizan para el descargue de los buques que traen carga a Granel.

Los principales equipos que se utilizan en el descargue de un buque granelero son: Cucharas, Tolvas, Transportadores de paletas portátiles, bandas transportadoras, elevadores de cangilones, básculas de bache, cargadores y excavadoras.

Actualmente el área de mantenimiento ha diseñado una estrategia de mantenimiento para los equipos móviles, pero no cuenta con una para los equipos fijos. Esto ha conllevado a desconocer cuales son las fallas más continuas, cuales son los equipos más críticos, cuales son los indicadores que se deben llevar (mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad), cuál debe ser el costo óptimo de inventario que se debe tener para aminorar las fallas durante la operación.

En este momento se viene desempeñando un mantenimiento reactivo, es decir que se atienden los daños cada vez que ocurre en la operación. Esto genera atrasos en los tiempos de descargue ocasionándole sobrecostos a la compañía.

La presente metodología busca conocer cuál es la confiabilidad y establecer una matriz de criticidad de los equipos fijos de la sociedad portuaria de Barranquilla, que permitan enrutar y direccionar el mantenimiento en el puerto, para eso se debe registrar la información que se obtiene de las diferentes tareas de mantenimiento de manera clara y concreta, en el sistema de información integrada, lo cual ayudará a definir y obtener los indicadores. Lo que permitirá conocer si la raíz de las fallas se origina por la falta de capacitación de los operadores, por desconocimiento de las capacidades máximas de diseño de los

equipos o por falta de la implementación de unas correctas tareas de mantenimiento.

2. MARCO TEORICO

Borras¹ explica que el mantenimiento tiene como objetivo coadyuvar en el alcance de los objetivos y el logro de las metas estipuladas en las organizaciones, con el fin de que estas se vuelvan más competitivas. Señala además que actualmente el mantenimiento es considerado como un sistema integrado que puede ofrecer una ventaja considerable dentro de las organizaciones para que estas sean competitivas y generen productos o servicios de alta calidad.

Aplicando esto al tipo de negocio que realiza la sociedad portuaria de barranquilla, se puede extraer que si se aplica una correcta planeación del mantenimiento y la selección de una estrategia optima en los equipos que se utilizan en el descargue de los buques graneleros, la compañía podría comenzar a garantizar la calidad de sus servicios, lo que al final buscará beneficiar al cliente final, dado que contará con su carga a tiempo y sin sobre costos.

Silva² explica en su artículo “mantenimiento en 3D” que son muchos los casos donde el ingeniero de mantenimiento recién llegado a la organización se enfrenta a situaciones como esta: un taller muy bueno, con un grupo de técnicos también muy buenos y una flota de equipos para mantener. Una cantidad de trabajo extenuante por el número de equipos que llegan al taller, todos urgentes. No hay tiempo de pensar ni de planear nada. Todos los trabajos son reactivos, muchas veces repetidos sin siquiera saberlo (sin tiempo de pensar), el mantenimiento preventivo se limita a cambios de aceite y una inspección visual si hay tiempo. Es más importante el correctivo puesto que hay que poner en funcionamiento el activo que ha salido de producción o servicio. Al terminar el día, este ingeniero

¹ BORRAS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga; UIS Pág. 1.

² SILVA, Pedro Eliseo. Mantenimiento en 3D, Mantenimiento en Latinoamérica Volumen 3, la revista para la gestión de activos. Junio 2011

está satisfecho por el trabajo realizado y orgulloso de su grupo por la cantidad de trabajo evacuado durante la jornada laboral. Sin embargo, el trabajo cada día aumenta y el taller está cada vez más saturado de equipos por reparar.

Además, señala que el ingeniero no logra entender lo que sucede. Por lo general centra sus esfuerzos en el trabajo del taller, en hacer cada vez mejores reparaciones y en menor tiempo. No alcanza a ver el entorno ni las razones por las cuales los equipos cada vez fallaban más. Pierde de vista la causa raíz de los defectos que a su vez originan las fallas.

Añade que todo trabajo de mantenimiento reactivo no planeado y programado incrementa en un 20% la probabilidad de ser una fuente de defectos (Mano de obra, operación, materiales). Si a esto se le suma que un trabajo reactivo no planeado y programado incrementa su duración en un 57% con respecto a un trabajo planeado y programado, es muy probable que una organización con este tipo de mantenimiento cada vez va a requerir más personal para corregir fallas en forma reactiva lo que le irá introduciendo más fallas, posponiendo el tiempo para hacer el mantenimiento preventivo y predictivo necesarios.

Moubray³, presenta dos conceptos muy válidos para conocer la diferencia entre el mantenimiento básico, y el mantenimiento centrado en confiabilidad. Él dice que el mantenimiento es asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan. Y dice que el RCM es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

³ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon LLC, 2004. p. 7.

Con lo anterior se define que para conocer las fallas que pueda tener un equipo, se debe conocer el contexto en el que trabaja, dado que el mismo equipo, puede tener diferentes tipos de criticidad según la función que tenga asignada.

El RCM también es importante en temas de seguridad, dado que evalúa los posibles impactos que pueda tener alguna falla, ya sea a la seguridad del personal, del activo o del medio ambiente. Moubray⁴ señala que en algunas partes del mundo se ha llegado a un punto en que las organizaciones deben, o bien adecuarse a las expectativas de seguridad y cuidado ambiental de la sociedad, o dejar de operar.

Con la implementación de la metodología RCM, Moubray⁵ dice que se logra, mayor seguridad e integridad ambiental, mayor disponibilidad y confiabilidad de planta, mejor calidad del producto, mayor eficiencia del mantenimiento (costo-efectividad), vida útil más larga de los ítems caros, mayor motivación de los individuos, dado que aumentan sus competencias, y por ende, su confianza. Mejor trabajo en equipo, una base de datos de mantenimiento.

⁴ Ibíd., p. 312.

⁵ Ibíd., p. 314.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

⁶El mantenimiento es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles e instalaciones. Además, permite eliminar condiciones inseguras que podrían afectar a las personas. Anzola (1992), lo describe como "Aquél que permite alcanzar una reducción de los costos totales y mejorar la efectividad de los equipos y sistemas".

El Centro Internacional de Educación y Desarrollo (1995), define al mantenimiento como: "El conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema o equipo a su estado normal de operación, para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorables y de acuerdo a las normas de protección integral". Para Moubray (1997), el mantenimiento significa "Acciones dirigidas a asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas".

El mantenimiento está reaccionando ante nuevas expectativas. Estas incluyen una mayor importancia a los aspectos de seguridad y del medio ambiente, un conocimiento creciente de la conexión existente entre el mantenimiento y la calidad del producto, y un aumento de la presión ejercida para conseguir una alta disponibilidad de la maquinaria al mismo tiempo que se optimizan.

⁶JACOME, 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.

3.2 LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Como todo proceso en evolución, el dominio del mantenimiento ha seguido una serie de etapas cronológicas que se han caracterizado por una metodología específica

La primera Generación cubre el período hasta la II Guerra Mundial. Es esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los períodos de paradas ni importaban mucho. La maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un propósito determinado. Esto hacía que fuera confiable y fácil de reparar. Como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, y la necesidad de personal calificado era menor que ahora.

En la segunda generación las empresas habían comenzado a depender de ellas. Al aumentar esta dependencia, el tiempo improductivo de una máquina se hizo más evidente. Esto llevó a la idea de que las fallas se podían y debían de prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento del concepto del concepto del mantenimiento programado. El costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costos de funcionamiento.

Desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en las empresas ha tomado incluso velocidades más altas.

El crecimiento continuo de la mecanización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente, esto se hace más claro con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta.

Esta consideración está creando fuertes demandas en la función del mantenimiento. Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto. Al mismo tiempo, se están elevando continuamente los estándares de calidad. Esto crea mayores demandas en la función del mantenimiento. Otra característica en el aumento de la mecanización es que cada vez son más serias las consecuencias de las fallas de una instalación para la seguridad y/o el medio ambiente.

Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando las creencias más básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace aparente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva un equipo funcionando y sus posibilidades de falla.

En los últimos años el mantenimiento ha recibido brillantes aportes provenientes del campo de la estadística y de la teoría de la confiabilidad, el mantenimiento de aeronaves ha sido el motor que ha activado los mejores planteamientos dentro del mantenimiento.

Estas teorías también se han ampliado con estudios efectuados en grandes flotas de transporte urbano, y aunque no se pueden aplicar a la totalidad de una fábrica u otra empresa, debido a la falta de homogeneidad en los equipos instalados a las grandes diferencias entre fábricas y a la carencia de organismos que regulen, que coordinen y tengan autoridad en lo que respecta a la práctica del mantenimiento.

Ante esta situación, puede ser de primera necesidad el conseguir y seguir un método que pretenda únicamente unificar criterios dentro de una misma organización.

Criterios que, como primer caso, se basen en la lógica y el conocimiento de los equipos y de sus misiones. Son los mismos parámetros que se aplican a diario, pero sistematizados para obtener una mayor uniformidad. El plan así diseñado,

puede ser un buen punto de partida para que posteriormente sea afinado y retocado con aportaciones de mayor nivel.

3.3 EL RCM

En los últimos años el mantenimiento ha recibido brillantes aportes provenientes del campo de la estadística y de la teoría de la confiabilidad, el mantenimiento de aeronaves ha sido el motor que ha activado los mejores planteamientos dentro del mantenimiento.

Estas teorías también se han ampliado con estudios efectuados en grandes flotas de transporte urbano, y aunque no se pueden aplicar a la totalidad de una fábrica u otra empresa, debido a la falta de homogeneidad en los equipos instalados a las grandes diferencias entre fábricas y a la carencia de organismos que regulen, que coordinen y tengan autoridad en lo que respecta a la práctica del mantenimiento.

RCM se llama Mantenimiento centrado en la Confiabilidad porque reconoce que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada confiabilidad inherente. No se puede lograr mayor confiabilidad que la diseñada al interior de los activos y sistemas que la brindada por sus diseñadores.

Cada componente tiene su propia y única combinación de modos de falla, con sus propias intensidades de falla. Cada combinación de componentes es única y las fallas en un componente pueden conducir a fallas en otros componentes. Cada sistema opera en un ambiente único consistente de ubicación, altitud, profundidad, atmósfera, presión, temperatura, humedad, salinidad, exposición a procesar fluidos o productos, velocidad, aceleración, entre otros.

3.4 EL RCM: SIETE PREGUNTAS BÁSICAS.

El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existentes en la empresa, y decidir cuáles son las que deben estar sujetas al proceso de revisión del RCM. En la mayoría de los casos, esto significa que se debe de realizar un registro de equipos completo si no existe ya uno. Más adelante, RCM hace una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados, como sigue: ¿Cuáles son las funciones? ¿De qué forma puede fallar? ¿Qué causa que falle? ¿Qué sucede cuando falla? ¿Qué ocurre si falla? ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas? ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla?⁷

3.5 ANALISIS DE CRITICIDAD.

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Es importante puntualizar que, en un programa de optimización de Confiabilidad Operacional, es necesario el análisis de los siguientes cuatro parámetros: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad de los equipos y la confiabilidad de los equipos. La variación en conjunto o individual de cualquiera de los cuatro parámetros presentados en la figura 1, afectará el comportamiento global de la confiabilidad operacional de un determinado sistema.

⁷ PÉREZ J. Carlos Mario, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM), Por John Moubray, traducido y adaptado. Pág. 1:3

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como: Criticidad = Frecuencia x Consecuencia, donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños a nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

3.6 CONFIABILIDAD

Se relaciona con la reducción en la frecuencia de las fallas en un intervalo de tiempo, y es una medida de la probabilidad para una operación libre de fallas, durante un intervalo de tiempo dado; así, es una medida del éxito para una operación libre de fallas.

Frecuentemente, ésta es expresada como: $R(t) = \exp(-t/MTBF) = \exp(-\lambda t)$ donde λ es la rata constante de falla y MTBF es el Tiempo Medio Entre Fallas.

El MTBF mide el tiempo entre las fallas del sistema y es más fácil de entender que un número de probabilidad. Para los modos de falla distribuidos exponencialmente, el MTBF es un índice básico de confiabilidad (la rata de falla, λ ,

es el recíproco del MTBF). Para un tiempo de corrida dado con el fin de lograr una alta confiabilidad, se requiere un gran MTBF⁸.

3.7 CONFIABILIDAD OPERACIONAL

Es la capacidad de una instalación o sistema (integrados por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función donde se observa que la jerarquía de los activos la constituyen grupos consecutivos⁹

3.8 DISPONIBILIDAD EN MANTENIMIENTO

Se describe en términos cuantitativos como: tiempo en línea, tiempo de factor de corrida, falta de paradas, y un buen número de términos operativos coloquiales, que incluyen un mínimo valor para la disponibilidad operacional. Aunque muchos equipos no están en operación permanente, los Departamentos de Producción quieren que estén disponibles por lo menos una cantidad específica de tiempo con el fin de completar sus tareas, por lo que se necesita un mínimo valor de disponibilidad.

La disponibilidad diverge de la duración del tiempo en servicio por operaciones, y es una medida de qué tan frecuente el sistema está bien y listo para operar. Esta es frecuentemente expresada como (tiempo en servicio)/ (tiempo en servicio + tiempo en parada) con muchas variantes.¹⁰

⁸ H. Paul Barringer, de Barringer & Associates. DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y CAPACIDAD. Pág. 5

⁹ HUERTA MENDOZA R. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Ponencia recibida para ser presentada en el 2º Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, ISPJAE, Ciudad de la Habana, Septiembre 2000.

¹⁰ H. Paul Barringer, de Barringer & Associates. DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y CAPACIDAD. Pág. 2:3

3.9 BANDAS TRANSPORTADORAS

Las bandas transportadoras o conveyors son definidos como: “Aparatos fijos y portables utilizados para transportar materiales entre dos puntos fijos a través de movimientos intermitentes o continuos”. Por su parte, Langford (2006), lo describe como: “equipo de manejo de materiales, que permite mover el producto sobre una ruta fija”.

Las bandas transportadoras, pueden ser clasificadas en diferentes categorías, a continuación, se describen las principales identificadas en la literatura académica y científica.

Se puede indicar que las bandas de cinta son las más utilizadas, incluyendo las operaciones en patio de almacenamiento para la recepción y despacho principalmente. A continuación, se describen algunos:

- Conventional Stringer Conveyor (convencional): Es una banda transportadora tradicional, la cual, está conformada por unos soportes que sostienen la franja sobre el cual el producto se traslada entre las diferentes operaciones del patio de almacenamiento y extracción.
- Pipe conveyor (tubería): Es un tipo de banda que tiene forma de círculo o ducto después de que se carga el carbón, lo cual, puede mejorar la eficiencia en su traslado debido a la disminución de desperdicios y mejorar la relación con el medio ambiente. Además, permite diseñar mayor cantidad de curvas y ángulos en el manejo del carbón generando flexibilidad en el manejo de materiales.
- Sandwich Conveyor: Consiste en una adaptación compuesta de una banda encima de otra donde el producto, se transporta en la mitad de ambas. Este

tipo de banda se utilizada cuando se tienen inclinaciones de aproximadamente 90°, lo cual, permite mejorar la eficiencia en el manejo de materiales, especialmente, en operaciones de recepción y despacho en patios de almacenamiento.

- Horizontal curve conveyor (horizontal): Son bandas que permiten seguir caminos de traslados o transporte con curvas que no requieren demasiado radio de giro, ni necesitan dos bandas como las bandas tipo sándwich con útil estaciones de transferencia cuando se realiza manejo de materiales en altura. Adicionalmente, este tipo de banda ofrece agilidad y flexibilidad cuando el producto debe transportarse en montañas de las minas o esquivar obstáculos de infraestructura como almacenamiento, equipos de exploración, explotación, entre otros.

El uso de los diferentes tipos de bandas transportadores puede depender de las necesidades operacionales, capacidad de inversión, diseño y disponibilidad de tecnología de la empresa.¹¹

3.10 TRANSPORTADORES DE RASTRILLOS O CADENAS DE ARRASTRE.

A diferencia del transportador de banda o el transportador de tablillas, donde el material a transportar se traslada sobre el órgano de tracción, en el transportador de rastrillo la carga es arrastrada sobre un canal o conducto fijo a la solución estructural de dicha máquina. Las cargas que se transportan son materiales a granel que fluyan fácilmente como polvos, granulados, entre otros.

¹¹ RODRIGO A. GÓMEZ M.1 & CORREA Alexander A. Análisis de implementación de sistemas de bandas transportadoras en patios de almacenamiento en empresas de minería de carbón con simulación discreta y diseño de experimentos. Medellín; Universidad Nacional de Colombia. pág. 61.

De acuerdo con la forma constructiva de los rastrillos, los transportadores se dividen en dos grupos en los cuales el principio de funcionamiento difiere poco entre ellos. En el primer grupo se encuentran los transportadores con rastrillos completos, altos, rectos y tubulares, donde la carga es arrastrada a lo largo del canal o conducto en porciones independientes. En el segundo grupo se encuentran los transportadores de rastrillo perfilados, donde la carga es arrastrada por un flujo continuo que llena toda la sección del canal o conductos o la mayor parte de este.

Ventajas: Simpleza en el diseño Fácil carga y descarga Posibilidad de transportar la carga en sentido contrario Hermeticidad (sumergidos). Entre algunas desventajas figuran: fuerte desgaste de las cadenas, canal y rastrillos, no se puede transportar materiales triturables (altos), alto consumo de energía.

Los transportadores de rastrillo constan de diferentes partes componentes, a continuación, relacionamos las principales:

- Estructura: Las soluciones estructurales de un transportador de rastrillo son de fácil diseño; sí es necesario tener en cuenta que el material se desplazará sobre el canal o conducto que está fijo a la estructura a partir de la fuerza de arrastre que le imprimirán los rastrillos. Por esta razón el canal o conducto estará sometido a una constante fricción y desgaste. El resto de la estructura se construye con perfiles laminados, los tipos dependen de la capacidad y la carga para la cual se vaya a diseñar el transportador.
- Rastrillos: Son los encargados de arrastrar la carga por el canal o conducto. Las formas más usadas de rastrillos completos del tipo alto se construyen de planchas de acero soldadas o estampadas de 4 a 6 mm, cuando el ancho es menor de 320 mm pueden construirse de plástico.

- La altura de los rastrillos se toma de dos a cuatro veces menor que su ancho. Los valores mayores son correspondientes a mayores anchos de rastrillos. El paso de los rastrillos para cargas en pedazos grandes debe ser mayor que el más voluminoso de estos pedazos. Para el resto de las cargas el paso se toma igual a dos pasos de la cadena utilizada. En los transportadores tubulares, los rastrillos se fabrican de acero, hierro fundido, plástico o goma con un grosor de 10 a 20 mm. En ellos la fijación puede ser central o lateral.
- Canal o conducto: está formado por secciones que se unen sucesivamente unas con otras y cuya cantidad se determina por la longitud del transportador, las secciones generalmente tienen sección transversal rectangular, la longitud de las mismas no es mayor de tres metros.
- Sistema de atesado: en todos los transportadores de rastrillos se emplean los atesadores de tornillo y tornillo muelle. El desplazamiento para el ajuste debe ser mayor de 1.6 veces el paso de la cadena. El sistema de atesado cuando se utilizan rastrillos altos, además de todas las funciones conocidas, garantiza la estabilidad del rastrillo.
- Sistema propulsor: el sistema de transmisión del transportador de rastrillo es similar al de banda, la diferencia entre ambos radica en la utilización de catalinas en vez de tambores. Las catalinas se construyen de acero o hierro fundido. El montaje debe ser exacto para lograr que estén bien alineadas y que exista una coincidencia en la posición de los dientes de las ruedas y el tiraje de ambas cadenas sea uniforme.
- Los transportadores que trabajan por el principio de arrastre continuo son más perspectivas. Estos, con igual productividad, tienen dimensiones

transversales considerablemente más pequeñas que los transportadores de rastrillos altos debido a la mejor utilización del volumen del canal. La disminución de las dimensiones transversales de los transportadores mejora sus características y disminuye su costo.¹²

3.11 ELEVADORES DE CANGILONES.

Los elevadores a cangilones o norias son los transportadores normalmente usados para elevar materiales a granel. Consisten en una serie continua o discontinua de baldes o recipientes, denominados “cangilones” fijados sobre una cinta o sobre uno o dos ramales de cadena que actúa/n como elemento de tracción. Los mismos cumplen un recorrido sin fin entre un cabezal superior motriz (a veces motriz y tensor), y uno inferior, normalmente tensor (que es fijo, cuando el superior es motriz y tensor).

Los cabezales mencionados, son tambores cuando el elemento de tracción es cinta, y ruedas dentadas cuando es cadena. La estructura portante de los componentes antes descritos, puede ser abierta o cerrada, dependiendo del tipo de elevador que se trate. Cuando se trata con materiales que se pueden degradar o contaminar, la estructura debe ser cerrada; típico caso de los cereales. Si la necesidad es mover materiales que no afectan al medio ambiente, ni que el medio ambiente los afecta a ellos, la estructura portante puede ser un bastidor; un material de estas condiciones podría ser piedra caliza en trozos.

¹² DÍAZ DELGADO, Deuel. Diseño de las cadenas de tracción del transportador de rastrillos para el acarreo de mineral laterítico reducido. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. República de Cuba. Tesis pregrado. Pág. 5: 9.

La estructura debe ser cerrada cuando al elevador hay que aislarlo de personas o de otros equipos por razones de seguridad, dado que hay elementos que se desplazan que puede causar serios riesgos a quien tome contacto con ellos cuando el equipo está en servicio.

Para construir una estructura liviana, que pueda soportar los vientos manteniendo la estabilidad, dado su grado de esbeltez, se debe arriostrar la estructura, mediante el uso de tensores a cuatro puntos, separados por ángulos de 90° (vista en planta), a bases aptas para las cargas que se generan por todo concepto.

Funcionan cargando en el pie del elevador por dragado o por medio de un canal de carga. Dependiendo del tipo de que se trate, descargan a partir de la vertical que pasa por el cabezal superior, por efecto de las fuerzas de gravedad y la centrífuga que se genera por la rotación del tambor o rueda/s dentada/s de accionamiento.¹³

Los elevadores de cangilones son los sistemas más utilizados para el transporte vertical de materiales a granel, secos, húmedos e incluso líquidos. Son diseñados con amplias opciones de altura, velocidad y detalles constructivos según el tipo de material que tienen que transportar; La altura a la que pueden desplazar la carga varía, desde los 3 metros para pequeñas plantas clasificadoras de cereales, hasta los 70 metros correspondientes a las instalaciones de puertos y grandes plantas de acopio.

¹³ ALDO GAROFOLI, JORGE GAROFOLI. Elevadores a cangilones de descarga centrífuga. pérdidas ocasionadas por problemas de diseño. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. Vol. 18, N.º 2, pp. 55-67, 2014.

Los elevadores de cangilones han encontrado un gran campo de aplicación, en los depósitos de grano, en la producción alimenticia, en la producción de materiales de construcción, en la industria química y otras.

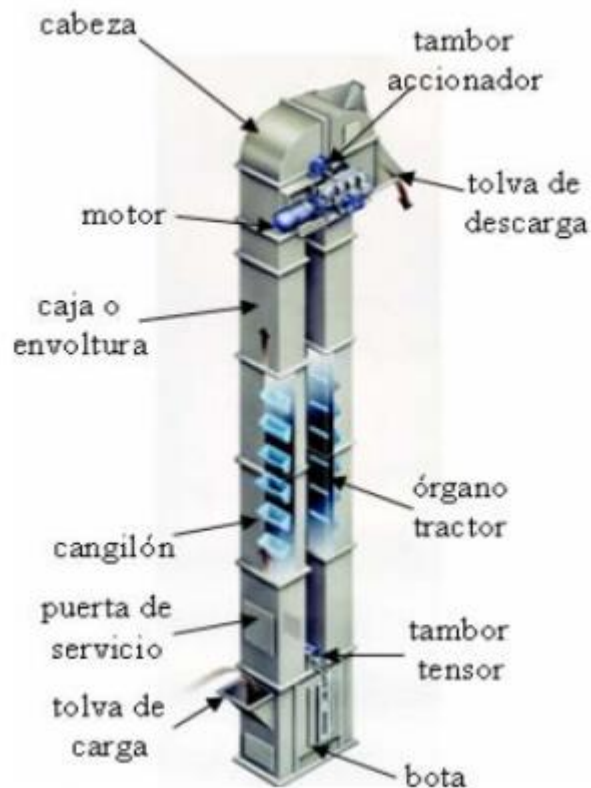
El Transportador de cangilones se pone en funcionamiento a través del sistema propulsor. El cual, por mediación de la tambora motriz o catalina, en dependencias del órgano de tracción que se utilice, proporciona movimiento al mismo. En el órgano de tracción van a ir acoplado los cangilones, que son los encargados de recoger la carga de la parte inferior y elevarla hasta el punto de descarga. El material se introduce al elevador por un conducto que se encuentra en la parte inferior y se descarga por la parte superior.

Dentro de las ventajas de los transportadores de cangilones se encuentran las siguientes: amplio rango de capacidades, facilidad para la carga y descarga del material, posee una estructura liviana de fácil mantenimiento, bajo consumo de energía, bajos niveles de ruido, cuentan con una construcción y montaje simple comparado con otros transportadores.

Dentro de las desventajas pueden citarse: son muy sensibles a las sobrecargas, deben ser cargados uniformemente, el trabajo con estas máquinas es ampliamente difundido ya que su utilización es cotidiana, prácticamente en toda industria para manejo de materiales a granel como talcos granulados y en pedazos pequeños por una traza vertical o inclinada (más de 60 grados sobre la horizontal).

Los transportadores o elevadores de cangilones constan de diferentes partes componentes que permiten el funcionamiento de los mismos. En la ilustración 4, se muestran los componentes más importantes que constituyen un elevador de cangilones.

Ilustración 3. Partes de un elevador de cangilones.



Fuente: Jeibel Pino Reyna. Simulación de la descarga del elevador de cangilones del sistema de transportación de azúcar refino del ingenio "Chiquitico Fabregat"

- Órgano tractor: el órgano de tracción de los transportadores o elevadores de cangilones puede ser de banda o cadenas, en el cual se fijan los cangilones. Este será el encargado de transmitir el movimiento proporcionado por el tambor de accionamiento y sobre la cual van montados los cangilones. La elección del tipo de órgano de tracción entre cadena o banda, se condiciona por la característica del elevador y de la carga.

- Cangilón: el desplazamiento de la carga a granel se efectúa con los cangilones. Sus tamaños y perfiles están normalizados, dependiendo de la naturaleza del producto y la carga a transportar. Dependiendo del material a transportar, los cangilones se pueden clasificar en tres tipos: profundos, poco profundos y de escama. Los cangilones profundos se emplean para los materiales que son fácilmente movedizos, como por ejemplo los cereales.
- Los cangilones de escama se utilizan en los elevadores con descarga dirigida por gravedad. Los cangilones poco profundos se emplean para transportar materiales que se encuentran húmedo. Los materiales utilizados principalmente para su fabricación son acero inoxidable, acero al carbono o plásticos tales como el Nylon, polietileno o uretano.
- La cabeza: es el elemento situado en la parte superior del elevador y tiene por objeto soportar el peso del motor, el tambor de accionamiento y la transmisión. La cabeza consiste en una estructura metálica fabricada en acero que tiene el perfil adecuado para adaptarse a la trayectoria del material transportado durante su descarga. La descarga de material se realiza en la cabeza a través de la tolva de descarga.
- La bota: es el elemento situado en la parte inferior del elevador, donde es realizada la carga del material a través de la tolva de carga que puede estar situada en la parte superior, inferior o en ambas partes de la bota. La bota contiene el tambor tensor, que tiene como misión el guiar y tensar el órgano tractor (banda o cadena).

- Caja: la caja o envoltura está formada por estructuras metálicas intermedias que tienen como función proteger los elementos que forman el elevador de cangilones (órgano tractor, cangilones), así como de dar rigidez a todo el conjunto.

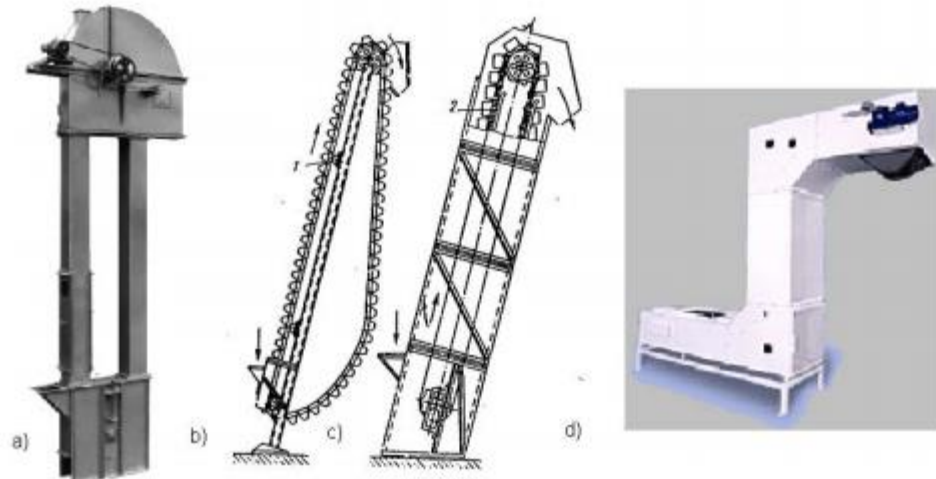
3.12 CLASIFICACIÓN DE LOS ELEVADORES DE CANGILONES

Los elevadores de cangilones se pueden clasificar en tres grandes grupos atendiendo a la construcción y trayectoria de los cangilones.

- Elevadores de cangilones verticales (Ver figura 4): están destinados al transporte de material vertical o inclinado con un ángulo menor de 20° con respecto al eje vertical. Son sencillos por su construcción y no necesitan una envoltura de forma compleja o dispositivos de apoyo especiales para el ramal libre.
- Elevadores de cangilones inclinados (Ver figura 4): están destinados al transporte de material a lo largo de una trayectoria rectilínea que presenta una inclinación con un ángulo de 55° a 70° con respecto al eje horizontal. En los elevadores inclinados el ramal de trabajo se mueve por los rodillos de apoyo o por las guías especiales; El ramal libre se mueve a través de dispositivos de soporte.
- Transportadores de cangilones basculantes en plano vertical (Ver figura xx). Están destinados al transporte de material entre dos puntos situados en un mismo plano vertical y niveles diferentes.¹⁴

¹⁴ PINO REYNA, Jeibel. Simulación de la descarga del elevador de cangilones del sistema de transportación de azúcar refino del ingenio “Chiquitico Fabregat”. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas Facultad de Ingeniería Mecánica. Santa Clara. Pág. 5:13.

Ilustración 4. Tipos de elevadores de cangilones según construcción y trayectoria.



Fuente: Jeibel Pino Reyna. Simulación de la descarga del elevador de cangilones del sistema de transportación de azúcar refinado del ingenio “Chiquitico Fabregat”

3.13 BASCULAS DE PASO

Las básculas de paso son máquinas que realizan una medición precisa de pesaje tanto para el recibo como el despacho de productos a granel. Estas máquinas cumplen la función de medir un total acumulado de peso por medio de baches (lotes) sin interrumpir el flujo de producto.

Estas básculas son empleadas en el pesaje de productos como: pellets y harinas, almidones, azúcar, café, carbonato de calcio, fertilizantes, fosfatos, granos (tales como maíz, trigo, soya, arroz, lentejas, sorgo, malta), pellets plásticos, productos en polvo, productos químicos, sal, semillas y harina de Trigo¹⁵.

¹⁵ JARAMILLO, Jorge E. & CIA. Integradores de soluciones industriales PESAPACK. Manizales, Colombia. 5 de abril de 2019. Disponible en: <http://jjycia.com/PESA-PACK>

Las básculas de paso y/o básculas de bacheo son parte de un sistema electrónico de pesaje de flujo continuo que consta de una tolva superior alimentadora, una de pesaje intermedia y el control de flujo de materiales con su respectivo control de registro de flujo de material¹⁶. Ver ilustración 5.

Ilustración 5. Bascula de paso Modelo con tolva de alimentación continua.



Fuente: JARAMILLO, Jorge E. & CIA. Integradores de soluciones industriales PESAPACK.
Disponible en internet: <http://jjycia.com/PESA-PACK>

¹⁶ IDENTIFICACION PESAJE Y CONTROL. Especialistas en Básculas, Balanzas, Sistemas de pesaje e Identificación. México D.F. 5 de abril de 2019. Disponible en: <http://www.ipc.com.mx/pi-basculas-paso-y-bacheo.html>

4. COMPLEJO GRANELERO DEL SISTEMA GRANELERO

4.1 DESCRIPCIÓN

El puerto de Barranquilla cuenta con un sistema granelero, el cual se encuentra conformado por tolvas móviles, bandas transportadoras, elevadoras de cangilones, basculas de bache y transportadores de cadenas de arrastre. Este sistema funciona como una línea de producción, la cual recibe la carga del buque, como entrada y lo ubica en cada una de las bodegas como producto final. Este tiene la capacidad para descargar hasta 14.000 toneladas/día de granel, a una rata de hasta 600 toneladas/hora, y recibir dos buques simultáneamente, almacenando el granel en diferentes bodegas.

Ilustración 6. Sistema granelero de la sociedad Portuaria de Barranquilla.



Este complejo está diseñado para descargar un buque de 30 mil toneladas, en menos de 3 días, impactando directamente en la disponibilidad de muelle, abriéndole la posibilidad de ingreso a un nuevo buque. Este dato es importante dado que si se compara esta rata de descargue (14 mil Ton/día) con la rata de otro tipo de carga, ya sea contenedores o carga general, se puede dimensionar la

importancia de este sistema, puesto que en promedio un buque de carga general con ese mismo peso, puede tardar entre 5 y 6 días.

Ilustración 7. Operación de Descargue de Maíz en Muelle 5.



4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

El sistema granelero es un conjunto de equipos que trabajan en serie, para cumplir con la tarea de descargar los buques con carga de granel limpio. Este conjunto de equipos, lo componen las tolvas graneleras, los transportadores portátiles, las bandas transportadoras de muelle, los elevadores de cangilones, las basculas de bache, la banda reversible, los transportadores de arrastre de paletas, los compresores, el cuarto de control de operaciones (CCO) y el cuarto de control de motores (CCM), que es lugar donde se encuentran los sistemas de protección, guarda motores, arrancadores suave, PLC, etc...

En la Tabla 1. Se presentan las especificaciones técnicas de los equipos que componen el sistema granelero. Datos como potencia de los motores, marca, sistema de transporte, largo de banda y capacidad de arrastre.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los equipos del sistema granelero.

Motor	Potencia	Marca	Características
Banda Muelle 5	125 hp	Reliance electric	Banda 4 lonas de 36" de Ancho X 247 Mts de Largo
Banda Muelle 6	100 hp	Reliance electric	Banda 4 lonas de 36" de Ancho X 198 Mts de Largo
Elevador Cangilones #1	100 hp	ABB	Elevador de 3 hileras de Cangilones de 16"X8" de 26 Mts de alto
Elevador Cangilones #2	100 hp	ABB	Elevador de 3 hileras de Cangilones de 16"X8" de 26 Mts de alto
Elevador Cangilones #3	100 hp	ABB	Elevador de 3 hileras de Cangilones de 16"X8" de 26 Mts de alto
Elevador Cangilones #4	75 hp	ABB	Elevador de 3 hileras de Cangilones de 16"X8" de 26 Mts de alto
Transp Ext Bodega 6A	40 hp	Brook Crompton	Transportador de Paletas de 12 Mts de largo con capacidad de 600 Ton/hr
Transp Int #1 Bodega 6A	60 hp	Baldor reliancer	Transportador de Paletas de 20 Mts de largo con capacidad de 600 Ton/hr
Transp Int #2 Bodega 6A	60 hp	Brook Crompton	Transportador de Paletas de 20 Mts de largo con capacidad de 600 Ton/hr
Transp Int #3 Bodega 6A	60 hp	Brook Crompton	Transportador de Paletas de 20 Mts de largo con capacidad de 600 Ton/hr
Transp Int #4 Bodega 6A	60 hp	Brook Crompton	Transportador de Paletas de 20 Mts de largo con capacidad de 600 Ton/hr
Transp Ext Bodega 6	30 Hp	SEW	Transportador de Paletas de 15 Mts de largo con capacidad de 600 Ton/hr
Banda Interna Bodega 6	48 hp	Flender	Banda 4 lonas de 36" de Ancho X 198 Mts de Largo
Transp Subterráneo Bodega 6	18 hp	Flender	Transportador de Paletas de 8 Mts de largo con capacidad de 600 Ton/hr
Banda Reversible	30 hp	Reliance electric	Banda 3 lonas de 30" de Ancho X 48 Mts de Largo
Banda Externa Bodega 7A-7	25 hp	Reliance electric	Banda 3 lonas de 30" de Ancho X 25 Mts de Largo
Transp Int #1 Bodega 7A	60 hp	Brook Crompton	Transportador de Paletas de 30 Mts de largo con capacidad de 600 Ton/hr
Transp Int #2 Bodega 7A	60 hp	Brook Crompton	Transportador de Paletas de 30 Mts de largo con capacidad de 600 Ton/hr
Transp Ext #1 Bodega 7	40 hp	Brook Crompton	Transportador de Paletas de 20 Mts de largo con capacidad de 600 Ton/hr
Transp #1 Pasarela #1 Bodega 7	75 hp	ABB	Transportador de Paletas de 40 Mts de largo con capacidad de 200 Ton/hr
Transp #2 Pasarela #1 Bodega 7	30 Hp	SEW Eurodrive	Transportador de Paletas de 20 Mts de largo con capacidad de 200 Ton/hr
Transp #1 Pasarela #2 Bodega 7	50 hp	ABB	Transportador de Paletas de 40 Mts de largo con capacidad de 200 Ton/hr
Transp #2 Pasarela #2 Bodega 7	50 hp	Flender	Transportador de Paletas de 20 Mts de largo con capacidad de 200 Ton/hr
Transp #1 Pasarela #3 Bodega 7	75 hp	ABB	Transportador de Paletas de 40 Mts de largo con capacidad de 200 Ton/hr
Transp #2 Pasarela #3 Bodega 7	30 hp	SEW Eurodrive	Transportador de Paletas de 20 Mts de largo con capacidad de 200 Ton/hr

En la tabla 2. Se muestran las características técnicas que tienen los compresores del proceso, los cuales son 2 compresores que trabajan en redundancia, con motores de 40 Hp y un consumo de 125 Cfm.

Tabla 2. Especificaciones técnicas del compresor Ingersoll Rand.

60Hz	UP6 40				UP6 50PE UP6 50PEI			
					HF50-PE	EP50-PE	HP50-PE	HXP50-PE
COMPRESOR	115	125	150	200	115	125	150	200
Presión máxima de trabajo psig (barg)	115 (8.0)	125 (8.5)	150 (10.3)	200 (13.8)	115 (8.0)	125 (8.5)	150 (10.3)	200 (13.8)
Presión de recarga fijada en fábrica psig (barg)	105 (7.2)	115 (7.9)	140 (9.6)	190 (13.1)	105 (7.2)	115 (7.9)	140 (9.6)	190 (13.1)
Medida del gasto cfm (m³/min)	188 (5.32)	185 (5.24)	170 (4.81)	143 (4.05)	212 (6.02)	208 (5.69)	201 (5.70)	167 (4.73)
Temperatura máxima de descarga de la unidad compresora	216° F (102° C)							
Temperatura ambiente de trabajo mínimo a máxima	(35° F) » (104° F)(35° F) » (104° F)36° F(+2° C) → 105° F(+40° C)				(35° F) » (104° F)(35° F) » (104° F)36° F(+2° C) → 115° F(+46° C)			
MOTOR								
Envolvente del motor	ODP		TEFC		ODP		TEFC	
Potencia nominal	40HP				50HP			
Número de revoluciones	1775 RPM				1775 RPM			
Tipo de construcción	324T		324T		326T		326T	
Arrollamiento F	F							
REFRIGERADOR – Refrigeración por aire								
Corriente volumétrica de aire refrigerante mediante motor de ventilador separado	3100 ft³/min (87.8m³/min)				3900 ft³/min (110m³/min)			
Caudal de aire refrigerador del secador	1200 ft³/min (34m³/min)							
Presión libre para conductos de aire	0.5 inWg (12.7mmH₂O) (no recomendado para aberturas del secador)							

En la Tabla 3, se presentan las características técnicas de las básculas de bache BP-5000-G. Donde se muestra cuál es su capacidad, y cuáles son sus principales características. La báscula de paso BP5000-G ha sido diseñada únicamente para pesaje de material de flujo libre, tiene una precisión estática de 0,1%, precisión dinámica estimada de 0,2% del total acumulado y capacidad de 600 Ton/h con base en densidad de trigo de 0,75 Kg/m³.

Tabla 3. Especificaciones técnicas de las Básculas de bache BP-5000-G

<u>Tolva pesadora con la siguiente descripción:</u> - Capacidad de 3500 kg por bache, su parte recta está construida en acero al carbón y su transición de salida en acero de alta resistencia a la abrasión. - Para su descarga tiene doble compuerta tipo radial operada neumáticamente y sensor inductivo para confirmación de posición cerrada. - La tolva pesadora se encuentra apoyada directamente en cuatro celdas de carga tipo viga, de procedencia americana, de 5000 lb de capacidad nominal c/u fabricadas en acero inoxidable con protección al ambiente IP-68. Incluyen monturas auto-nivelantes fabricadas en acero al carbón zincado. - Caja de unión de celdas con potenciómetros para ajuste individual, con carcasa en acero inoxidable NEMA 4X y prensaestopas para entrada de cables. - Marco estructural fabricado en acero al carbón A-36 para ser anclado a estructura de apoyo del sistema, el cual recibe las monturas de las celdas de carga que a su vez soportan la tolva pesadora. - Incluye toda la neumática requerida para su normal funcionamiento tales como unidad de mantenimiento, cilindros, electroválvulas y presostato para generar alarmas por baja presión de aire. - Todo el equipo es terminado exteriormente utilizando primer imprimante epóxico, barrera epóxica y pintura de acabado final epóxica, cada capa de 3 mills de espesor para un espesor total de 9 mills.
<u>Sistema automático para verificar calibración con:</u> - Cuatro pesas patrón de 500 kg cada una, fabricadas en lámina de acero al carbón y calibradas en laboratorio de metrología debidamente certificado ante la superintendencia de industria y comercio colombiana. - Cilindros neumáticos para el levantamiento de las pesas con sus respectivos accesorios de sujeción. - Sensores para detección de posición extendida de los cilindros levantadores de pesas, su función es asegurar que no hay cargas adicionales antes de iniciar operación de la báscula. - Incluye todos los accesorios neumáticos para su normal funcionamiento.
<u>Sistema de doble pesaje “Double Check” el cual incluye:</u> Cuatro celdas de carga tipo viga adicionales, incluidas en un sistema de pesaje totalmente independiente al suministrado con la báscula. Cada sistema de pesaje está compuesto por cuatro celdas de carga los cuales envían una señal al controlador por un módulo análogo digital independiente y el controlador hace una comparación entre los dos pesajes detectados. En caso de que haya una diferencia significativa entre ambas lecturas, la máquina generará una alarma que diagnostica un problema de calibración o de celdas de carga. Si después de un número configurable de ciclos, luego de ser generada la alarma el problema no se ha corregido, la máquina automáticamente detendrá la operación para obligar al operador a revisar y corregir el problema. Caja de unión de celdas con potenciómetros para ajuste individual, con carcasa en acero inoxidable NEMA 4X y prensaestopas para entrada de cables. En caso de daño de una celda de carga, se puede trabajar con un solo juego de celdas dejando fuera de servicio el sistema “Double Check” temporalmente, mientras se reemplaza la celda dañada.

Ilustración 8. Báscula de Bache BP-5000-G

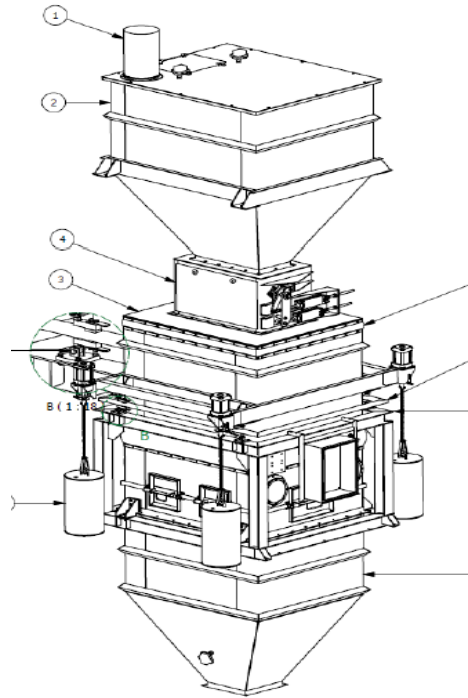


Tabla 4. Especificaciones Técnicas Transportadores de Arrastre muelle 5

TABLA DE CONFIGURACION DE EQUIPOS DE ELEVACION Y TRANSPORTE / ELEVATION AND CONVEYOR CONFIGURATION CHART											
CLIENTE / CLIENT	SPRB		VOTAJE / VOLTAGE		440		v		REVISION / EDITION: 4		
PROYECTO/ PROJECT	PLANTA		FRECUENCIA / FREQUENCY		60		Hz				
PAIS / COUNTRY	BARRANQUILLA		NOTAS /NOTES		APROVECHAMIENTO DE MOTORES DE 0.75 KW EN PLANTA						
INSTRUCTIVO / JOB ORDER	162-08		LAS CASILLAS RESALTADAS INDICAN CAMBIOS REALIZADOS CON REFERENCIA A LA REVISION ANTERIOR								
FECHA DE EMISION / EMISSION DATE	25/02/09		THE CELLS MARKED HAVE CHANGES IN REFERENCE WITH THE LAST EDITION								
PARAMETRO	PARAMETER	UNIDADES	UNIT	TRANSPORTADORES / CHAIN CONVEYORS							
				T1 (TA - 16)	T2 (TA - 16)	T3 (TA - 16)	T12 (TA - 16)	T14 (TA - 16)	T15 (TA - 16)	T24 (TA - 16)	
LONGITUD TOTAL	TOTAL LENGTH	METROS	METER	9,40	9,40	9,40	27,52	10,60	10,60	46,00	
POTENCIA REQUERIDA	POWER REQUIRED	HP	HP	10	10	10	30	10	10	50	
POTENCIA MOTORREDUCTOR	MOTORGear POWER	KW	KW	7,5	7,5	7,5	22	7,5	7,5	37	
REF. MOTORREDUCTOR	MOTORGear REFERENCE	DATO	DATA	R87DV132H4	R87DV132H4	R87DV132H4	R107DV180H4	R87DV132H4	R87DV132H4	R137DV225H4	
RPM	RPM	DATO	DATA	80	80	80	88	80	80	80	
F.S.	SERVICE FACTOR	DATO	DATA	1,7	1,7	1,7	1,4	1,7	1,7	1,8	
PINON CONDUCTOR	SPROCKET DRIVER	REFERENCIA	REFERENCE	008165	008165	008165	1408165	1008165	1008165	1208160	
PINON CONDUCTIDO	SPROCKET DRIVEN	REFERENCIA	REFERENCE	008525	008525	008525	1408515	1008525	1008525	1208450	
DIAMETRO EJES	AXIS DIAMETER	PULGADAS	INCHES	2,3/4 - 2	2,3/4 - 2	2,3/4 - 2	3, 1/4 - 2"	2,3/4, 2	2,3/4, 2	80MM - 2	
MODULOS 2.4 M	STANDAR MODULES (2.4 M)	CANT	QTY	3	3	3	11	3	3	19	
MODULO ESPECIAL	SPECIAL MODULE (LENGTH)	METROS	METERS	0,52	0,52	0,52	0	1,72	1,72	0	
RODAMIENTOS	BEARINGS	PULGADAS	INCHES	2" - 2"	2" - 2"	2" - 2"	3" - 2"	2,1/2" - 2"	2,1/2" - 2"	3" - 2"	
ESPECIFICACIONES DE PINTURA	CABEZA Y COLA	RAL	RAL	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	
	CUERPO	RAL	RAL	GAL	GAL	GAL	GAL	GAL	GAL	GAL	
	ACCESORIOS	RAL	RAL	-	-	-	-	-	-	-	
ESPECIFICACIONES DE MATERIAL	CABEZA Y COLA	TIPO	TYPE	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	LAIN CR NEGRA GALV	
	CUERPO	TIPO	TYPE								

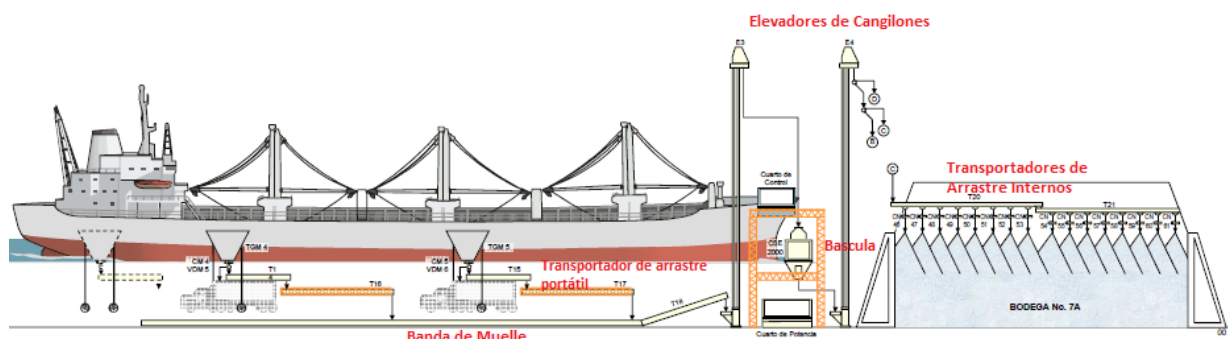
Tabla 5. Especificaciones técnicas transportadores muelle 6.

PARAMETRO	PARAMETER	UNIDADES	UNIT	TRANSPORTADORES / CHAIN CONVEYORS						
				T26 (TA - 16)	T28 (TA - 16)	T4 (TA - 16)	T5 (TA - 16)	T6 (TA - 16)	T16(TA - 16)	T17 (TA - 16)
LONGITUD TOTAL	TOTAL LENGTH	METROS	METER	69,08	69,08	13,6	13,6	13,6	6,64	6,64
POTENCIA REQUERIDA	POWER REQUIRED	HP	HP	75	75	15	15	15	7,5	7,5
POTENCIA MOTORREDUCTOR	MOTOREAR POWER	KW	KW	55	55	11	11	11	5,5	5,5
REF. MOTORREDUCTOR	MOTOREAR REFERENCE	DATO	DATA	R137D/250M4	R137D/250M4	R97D/160M4	R97D/160M4	R97D/160M4	R77D/132S4	R77D/132S4
RPM	RPM	DATO	DATA	90	90	86	86	86	90	90
F.S.	SERVICE FACTOR	DATO	DATA	1,45	1,45	2,2	2,2	2,2	1,4	1,4
PIÑON CONDUCTOR	SPROCKET DRIVER	REFERENCIA	REFERENCE	140B18T	140B18T	120B16S	120B16S	120B16S	80B16S	80B16S
PIÑON CONDUcido	SPROCKET DRIVEN	REFERENCIA	REFERENCE	140B59T	140B59T	120B50S	120B50S	120B50S	80B52S	80B52S
DIAMETRO EJES	AXIS DIAMETER	PULGADAS	INCHES	3, 1/2" - 2, 1/2"	3, 1/2" - 2, 1/2"	2, 1/4" - 2	2, 1/4" - 2	2, 1/4" - 2	2" - 2"	2" - 2"
MODULOS 2.4 M	STANDARD MODULES (2.4 M)	CANT	QTY	29	29	5	5	5	2	2
MODULO ESPECIAL	SPECIAL MODULE (LENGTH)	METROS	METERS	0,52	0,52	0	0	0	0	0
RODAMIENTOS	BEARINGS	PULGADAS	INCHES	3, 1/2" - 2"	3, 1/2" - 2"	3, 1/2" - 2"	3, 1/2" - 2"	3, 1/2" - 2"	2"	2"
ESPECIFICACIONES DE PINTURA	CABEZA Y COLA	RAL	RAL	GAL	GAL	GAL	GAL	GAL	GAL	GAL
	CUERPO	RAL	RAL	GAL	GAL	GAL	GAL	GAL	GAL	GAL
	ACCESORIOS	RAL	RAL	-	-	-	-	-	-	-
ESPECIFICACIONES DE MATERIAL	CABEZA Y COLA	TIPO	TYPE	LAM CR NEGRA GALV	LAM CR NEGRA GALV	LAM CR NEGRA GALV	LAM CR NEGRA GALV	LAM CR NEGRA GALV	LAM CR NEGRA GALV	LAM CR NEGRA GALV
	CUERPO	TIPO	TYPE	LAM GALV	LAM GALV	LAM GALV	LAM GALV	LAM GALV	LAM GALV	LAM GALV

4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA GRANELERO

En la Siguiete gráfica se muestra gráficamente el diagrama de flujo de una operación de descargue de un buque granelero por medio del sistema granelero.

Ilustración 9. Diagrama de Flujo del Sistema Granelero



4.3.1 Paso a paso del proceso de descargue por medio del sistema granelero:

1. Se ubican los equipos portuarios en muelle antes del atraque del buque.
2. Se revisa la ruta hacia la bodega donde se va almacenar la carga.
3. Se amarra el buque, y se acomodan tolvas en cada una de las diferentes bodegas.
4. Por medio de cucharas de 12 metros cúbicos, se descargan las bodegas hacia las tolvas graneleras.
5. Las tolvas tienen unos transportadores de arrastre, lo cuales entregan el producto a otros transportadores portátiles.

6. Los transportadores portatiles entregan la carga a una banda transportadora que está ubicada a lo largo del muelle.
7. La banda de muelle le entrega la carga, al primer elevador de cangilones.
8. El primer elevador de cangilones sube el producto, a casi 25 metros de altura, y por medio de la fuerza centrifuga, le entrega la carga a un ducto bajante, el cual lo lleva hasta la bascula de bache.
9. La bascula de Bache, pesa el producto y lo suelta para el segundo elevador de cangilones.
10. El segundo elevador de cangilones, sube el grano nuevamente para iniciar su recorrido hacia la bodega donde se almacenará.

4.3.2 Rutas de almacenaje hacia las bodegas graneleras. Existen 8 diferentes tipos de rutas de almacenaje, las cuales se arman con las diferentes combinaciones de muelles y bodegas.

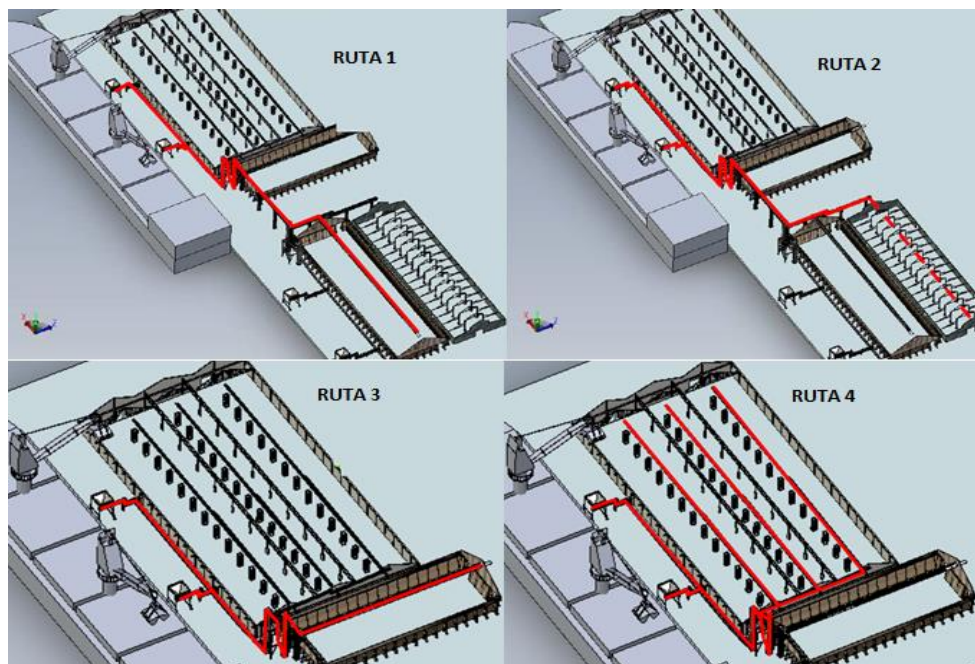
Tabla 6. Rutas de Descargue Sistema Granelero.

Ruta 1	Muelle 5-Bodega 6A
Ruta 2	Muelle 5-Bodega 6
Ruta 3	Muelle 5-Bodega 7A
Ruta 4	Muelle 5-Bodega 7
Ruta 5	Muelle 6-Bodega 7
Ruta 6	Muelle 6-Bodega 7A
Ruta 7	Muelle 6-Bodega 6A
Ruta 8	Muelle 6-Bodega 6

Dependiendo de la disponibilidad de espacios para almacenar, y del tipo de producto que se va a descargar, el area de operaciones, selecciona la bodega y la ruta que le convenga para su proceso logístico de almacenamiento.

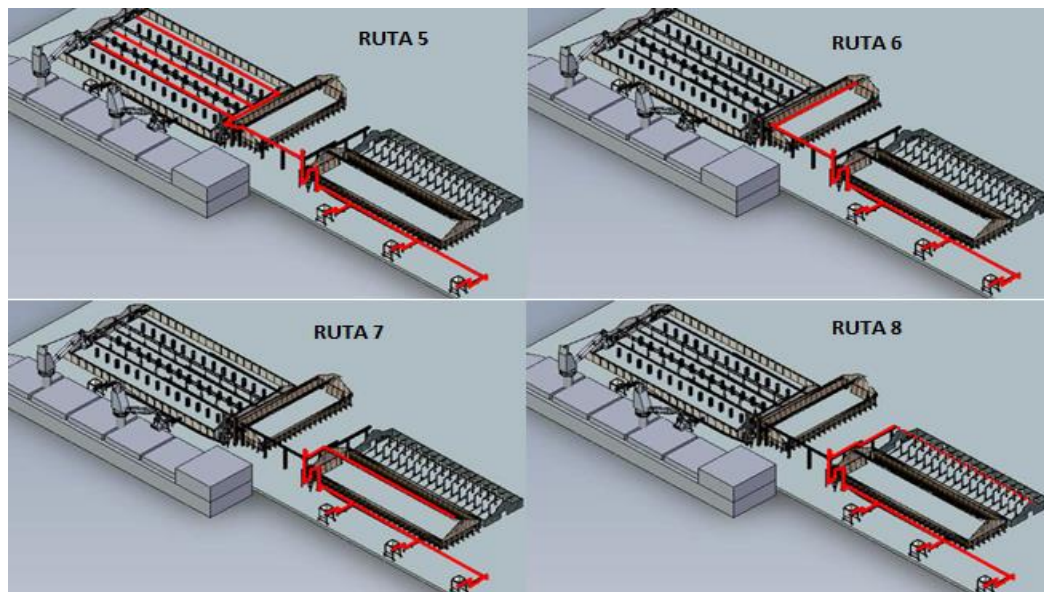
En la ilustración se muestra graficamente, cual es el recorrido que hace la carga, dependiendo del lugar donde se va a almacenar. (Bodega 6A, Bodega 6, Bodega 7A o Bodega 7). Ver Anexo 5.

Ilustración 10. Rutas de descargue de Muelle 5.



De igual forma, en la siguiente imagen se muestran las rutas de descargue de muelle 6, hacia las diferentes bodegas.

Ilustración 11. Rutas de descargue de Muelle 6.



4.4 EQUIPOS PRINCIPALES DEL SISTEMA GRANELERO

4.4.1 Bandas de muelle. Las bandas de muelle son las que se encargan de recibir el producto que viene de las tolvas, y transportarlo hasta los elevadores de

cangilones, son bandas robustas, de cuatro lonas, de 36 pulgadas de ancho y de más de 200 metros de largo, las cuales están ubicadas a los lados de las bodegas 6A y 7 en los muelles 5 y 6 respectivamente.

Ilustración 12. Banda de Muelle 6



4.4.2 Elevadores de cangilones. El sistema cuenta con cuatro elevadores de cangilones, los cuales se encargan de recibir el producto de las bandas de muelle y subirlo hasta la báscula de bache, donde después de hacer su tarea de pesado y registro, suelta el bache hacia el siguiente elevador, el cual también sube la carga para entregarlo ya sea a la banda reversible o a los transportadores de arrastre externo de las diferentes bodegas. El sistema tiene dos pares de elevadores que se encargan de esta actividad, el # 1 y el # 2, que se encuentran en la torre norte, y el # 3 y # 4, que se encuentran en torre sur. Estos elevadores poseen motores recién cambiados de 100 Hp, excepto el elevador # 4, el cual tiene uno de 75 HP, el cual fue cambiado en el 2017. La altura de estos elevadores es de aproximadamente 25 metros, con banda 3 lonas, que agarran los cangilones por medio de tornillos. El Tambor motriz viene conectado al reductor por medio de un sistema de transmisión de potencia de polea correa. Actualmente los elevadores son los equipos que cuando tienen fallas durante operación de descargue, aumentan los tiempos de fuera de servicio, dado que la actividad de evacuar el producto del elevador tarda en 1 o 2 horas.

Ilustración 13. Elevadores de cangilones Torre norte y sur.



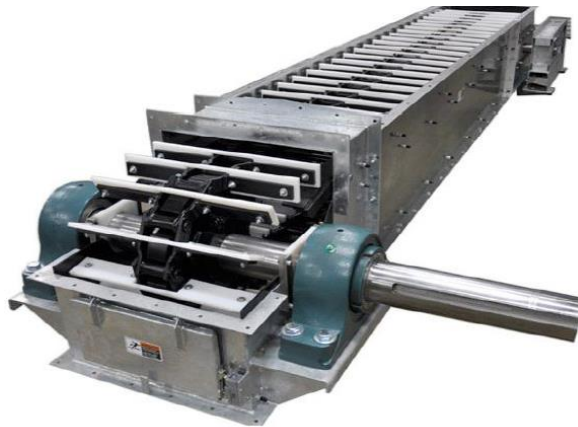
4.4.3 Banda transportadora reversible. La banda reversible, se encuentra ubicada en el puente que une torre norte con torre sur. Esta banda tiene la capacidad de ser bidireccional, es decir que el motor puede cambiar el sentido de giro, permitiendo que la operación se pueda dar de muelle 5 a las bodegas 7 o 7A o de muelle 6 a las bodegas 6 o 6A. Esta banda es 3 lonas, tiene 40 metros de largo, transporta a una tasa máxima de 600 toneladas hora, con motor de 30 Hp. Esta soportada por una estructura de cerchas galvanizadas, posee escaleras de acceso y pasarelas de inspección. Este equipo es muy importante, dado que una falla de ella, obliga a cambiar la ruta hacia otra bodega.

Ilustración 14. Banda reversible del sistema granelero.



4.4.4 Transportadores de arrastre portátiles y retractiles. Los transportadores de arrastre de cadena, son equipos sencillos en su configuración, que se encargan de transportar el producto de un punto a otro, por medio de paleas de nylon, las cuales arrastran en grano a través de una especie de gabinete rectangular.

Ilustración 15. Modelo de Transportador de arrastre de paletas.



Los transportadores de arrastre de SPRB, tienen sistema de transmisión por piñones y cadena, con un motor eléctrico conectado a una fuente de 440 V. Existen tres tipos de transportadores de arrastre, los cuales son, el transportador de arrastre retráctil, los cuales van montados en una estructura debajo de la tolva granelera móvil, con unos rodamientos que le permiten moverse hacia adelante o devolverse hacia atrás, para que pueda embonar y entregar el producto al otro

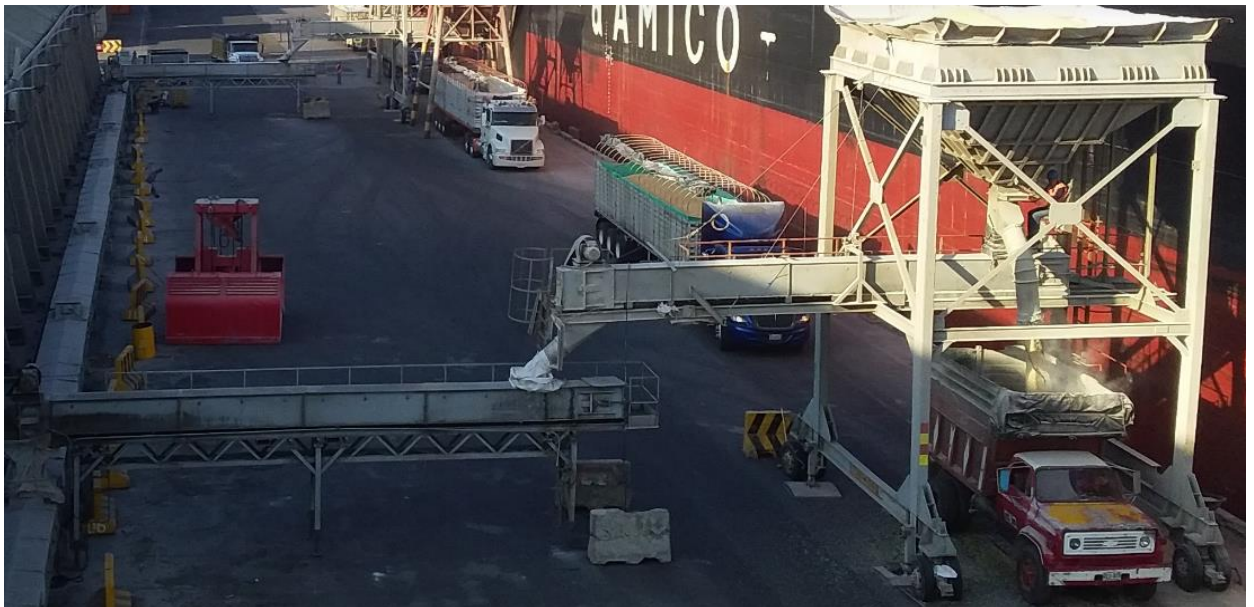
transportador. Están los transportadores portátiles de muelle 5 y de muelle 6. Estos son iguales en funcionamiento pero difieren en su largo, dado que muelle 5 es un poco más largo, usan transportadores de 12 metros, y en muelle 6 se usan de 6 metros.

Ilustración 16. Transportador portátil de 6 metros usados en muelle 6.



En la siguiente grafica se muestran cómo trabajan embonados el transportador de arrastre retráctil, el portátil de 12 metros y la banda de muelle 5.

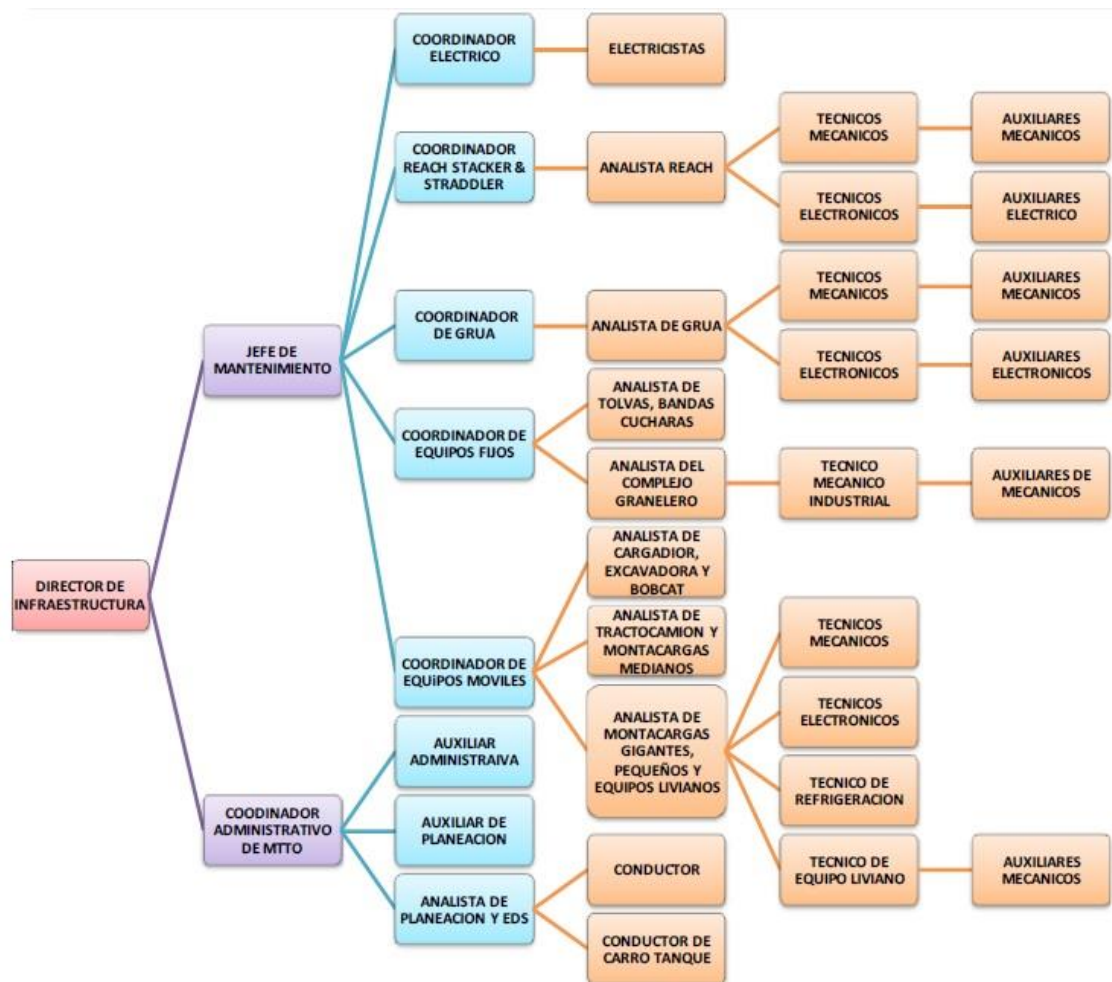
Ilustración 17. Equipos en operación de descargue.



5. ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN EL AREA DE EQUIPOS FIJOS.

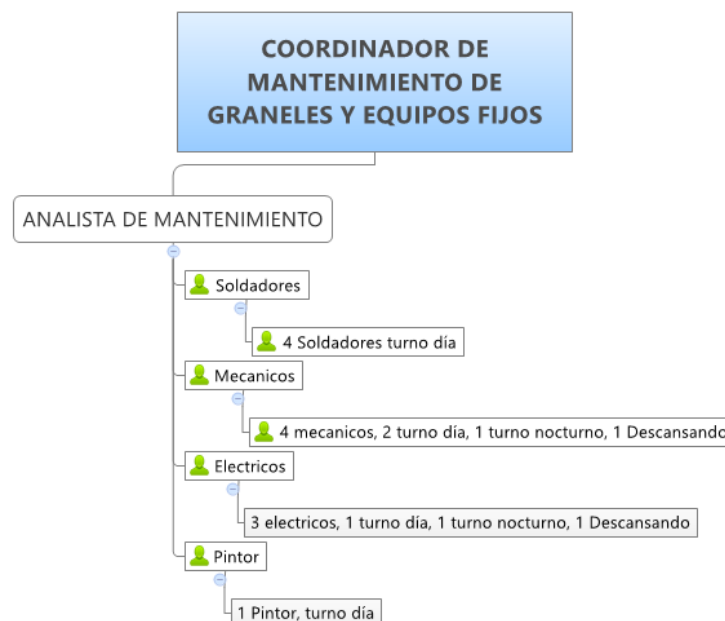
El área de mantenimiento de graneles y equipos fijos, es una de las cuatro coordinaciones que tiene la estructura organizacional de mantenimiento en la sociedad portuaria de Barranquilla. Las cuales son, mantenimiento de equipos móviles (Automotriz, Cargadores & Elevadores, Plataformas & tracto-camiones Straddles & reach stacker), mantenimiento eléctrico, mantenimiento grúas y mantenimiento de granel y equipos fijos. A continuación se explica el organigrama del mantenimiento.

Ilustración 18. Organigrama del área de mantenimiento SPRB.



El área de mantenimiento de granel y equipos fijos, está conformada por el coordinador, quien es el encargado de velar por la disponibilidad de los equipos y ubicaciones técnicas del grupo de planificación a su cargo, calcular y mantener los indicadores de mantenimiento dentro de los límites establecidos. Además, debe interactuar con las otras áreas de la compañía para garantizar la continuidad de la gestión de mantenimiento, por un analista de mantenimiento, encargado de elaborar y cerrar técnicamente los avisos y órdenes de mantenimiento. Además, de supervisar las actuaciones de mantenimiento que realicen los técnicos o contratistas sobre los equipos y ubicaciones técnicas. Y por el personal técnico, compuesto por doce personas (4 mecánicos industriales, 1 mecánico diésel, 3 electromecánicos, 4 soldadores y 1 pintor.) quienes son responsables por la ejecución y cierre de las actuaciones de mantenimiento sobre los equipos y ubicaciones técnicas.

Ilustración 19. Organigrama Mantenimiento granel y equipos fijos



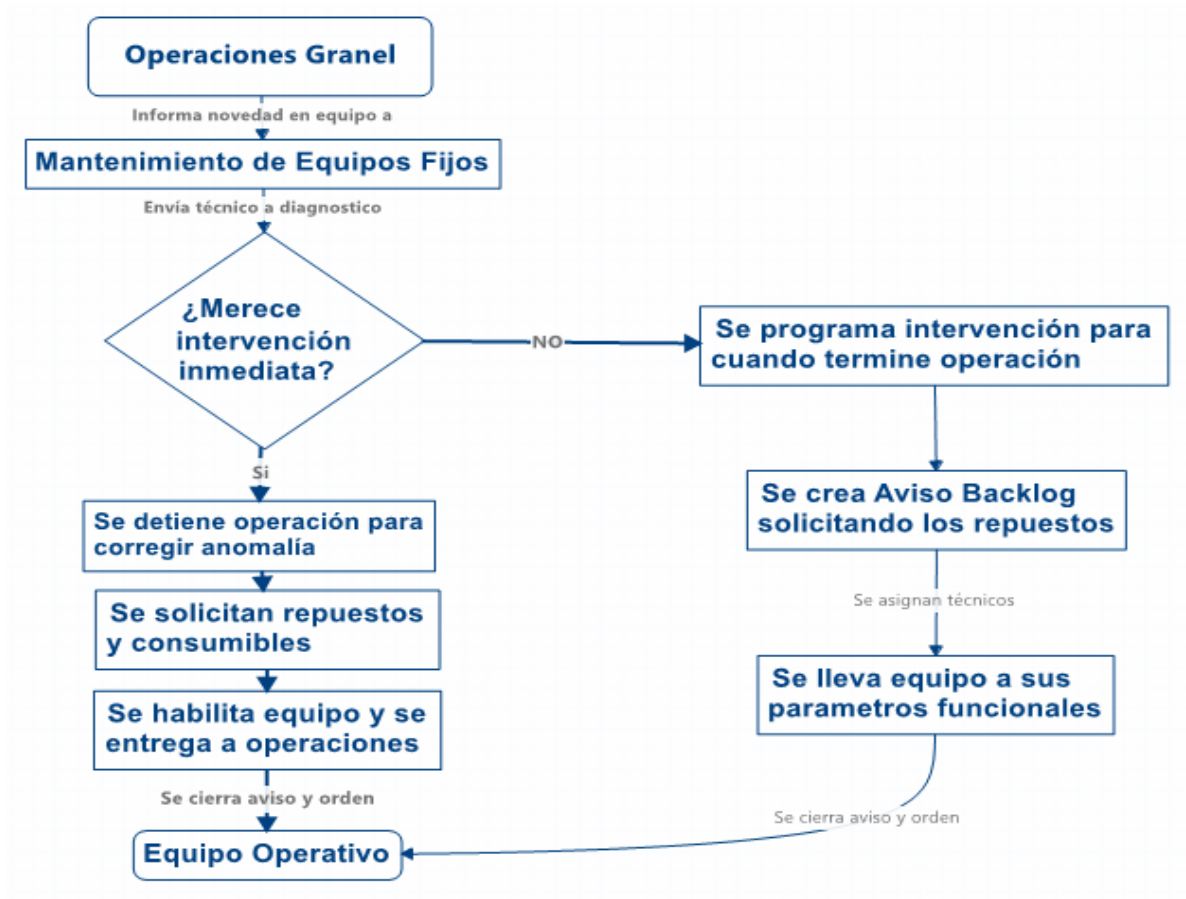
5.1 EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN G&F

Diariamente se realizan reuniones a primera hora, donde se hace una evaluación de los equipos que va a necesitar la operación y acorde a eso se asignan prioridades. El área de mantenimiento de graneles y equipos fijos, viene ejecutando las actividades de mantenimiento dependiendo de la programación de la operación, es decir, que se vienen realizando correctivos y muy poco preventivos. El plan de mantenimiento preventivo existente es muy básico, y solo unos cuantos equipos son los que cuentan con rutinas y programación en el software de gestión, que para el caso de SPRB es SAP. Por esta razón es muy común que cuando se revisan los indicadores de mantenibilidad, se observa como son más las órdenes de mantenimiento correctivo, que las de mantenimiento preventivo.

La implementación de la metodología RCM busca crear unas rutinas de mantenimiento adecuadas, con unas frecuencias de ejecución que ayuden a disminuir y detectar las fallas funcionales que afectan la operación, y de esta forma impactar directamente en la disponibilidad y confiabilidad del sistema granelero.

Existen dos formas por medio de las cuales se reportan la existencia de fallas o anomalías. Una es por medio de reportes directos del área de operaciones granel, quienes por medio de correo o vía celular, reportan alguno de los problemas que estén pasando en cualquiera de los equipos que estén en operación, o que se tenga pensado utilizar. La segunda forma, es por tareas de inspección de equipos la cual se realiza por el personal técnico, esta actividad es la que a la postre, ayuda a anticiparse a las posibles fallas funcionales, y poder tener mantenimientos correctivos pero programados.

Ilustración 20. Diagrama de flujo de las actividades actuales de mantenimiento.



6. RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION

6.1 TAXONOMIA Y FRONTERAS

En el siguiente diagrama se presenta el orden jerárquico de los sistemas que conforman el complejo granelero. Con esta jerarquización se puede conocer cuáles es la función que realiza cada uno de los equipos o subsistemas en el sistema general.

Ilustración 21. Diagrama jerárquico de Sistemas del complejo granelero.

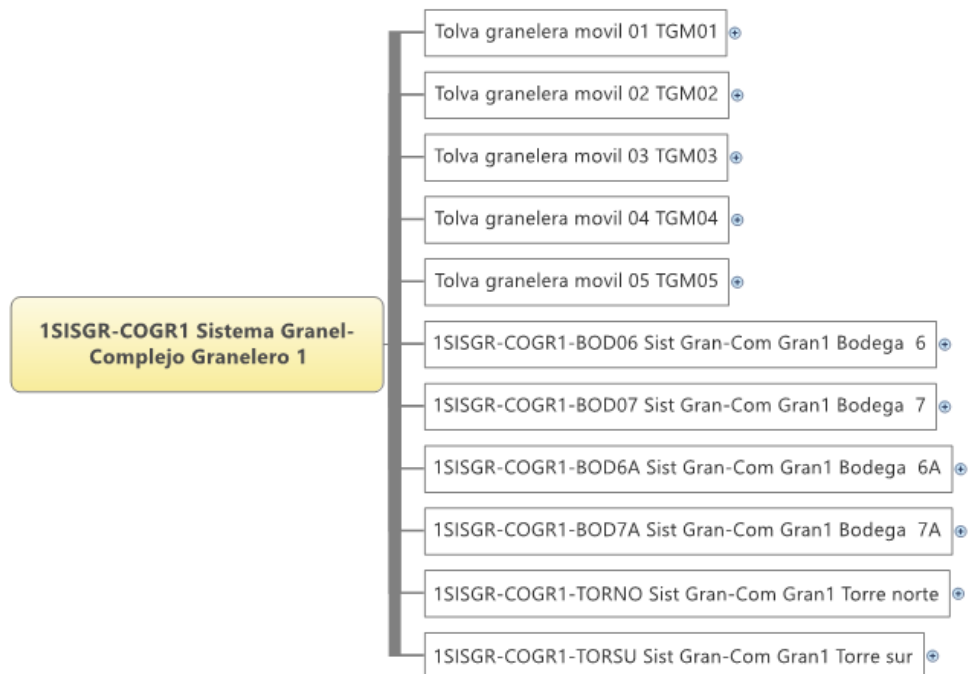


Ilustración 22. Diagrama Jerárquico general.

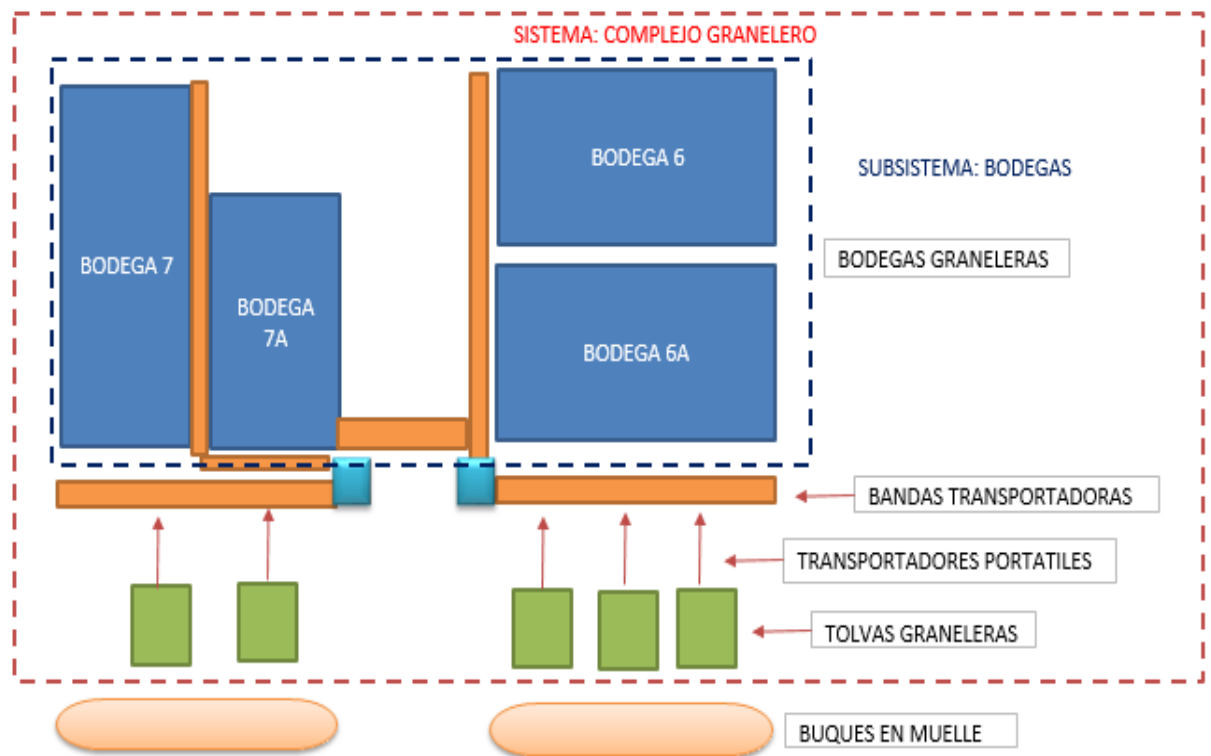


En el diagrama se explica cuáles son los sistemas, subsistemas, equipos y componentes que funcionan conjuntamente para suministrar cumplir la función de almacenar un producto, en las diferentes ubicaciones técnicas. El sistema granelero está compuesto por cuatro bodegas mecanizadas, que son los lugares

donde finalmente se almacena cada uno de los productos descargados. Para que el grano llegue hasta ahí, el complejo granelero tiene 8 diferentes rutas compuestas por tolvas graneleras, bandas transportadoras, elevadores de cangilones, transportadores de arrastre por paletas, los cuales transportan el producto desde el buque hasta la bodega estipulada.

En la siguiente grafica se define cuál va a ser la frontera de estudio, al cual se le piensa aplicar la metodología RCM. Se conoce que a través de la frontera lo que fluye es el producto que se descargue (maíz, trigo, frijol, sorgo, destilado, etc...), y que esta delimita el buque del proceso de almacenaje, es decir, que el grano es considerado una entrada cuando se descarga a la tolva granelera, razón por la cual, las cucharas quedan excluidas de la frontera, dado que, estos son los equipos por los que se traslada el producto del buque a las tolvas.

Ilustración 23. Fronteras del complejo granelero.



6.2 HISTORIAL DE FALLAS

Con ayuda de SAP, se pudo obtener el historial de todas las órdenes de mantenimiento que se le han creado al sistema granelero desde la fecha en que fue montado y puesto en operación. Puesto que muchas de las órdenes no tenían las causas ni un catálogo bien elaborado de síntomas, se hizo la tarea de digitar cual era la causa, el síntoma y el sistema que había sido afectado por la falla que había ocurrido en su momento. Esto se hace con el fin de obtener cual ha sido la falla con mayor repetitividad, cuál ha sido el equipo que más fallas ha tenido y cuáles son los sistemas que más problemas presentan.

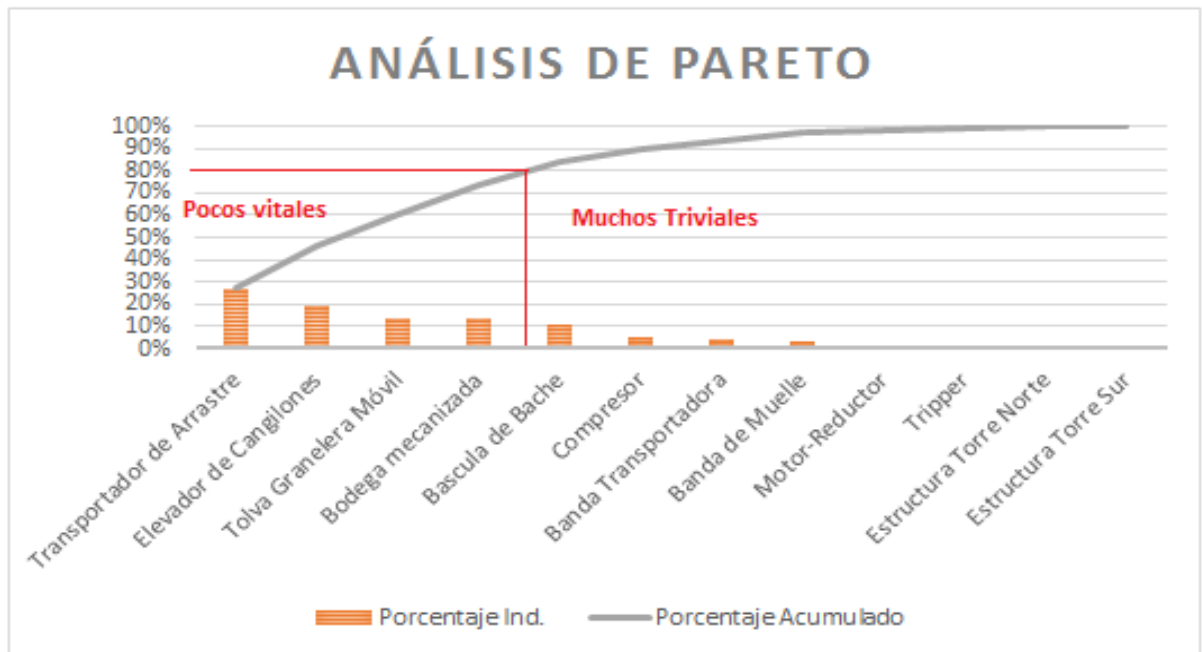
Tabla 7. Base de datos de órdenes descargadas de SAP. Anexo 1.

AVISO	Texto	Ubicac.técnica	Equip	Parad	Inicio aver	Fin de aver	Hora in. aver	Hora fin aver	Duración para	Clase de avis	Descripción	Cr	Creado e	Cr
10007939		1SISGR-COGR1	1003136	X	14/05/2010	14/05/2010	12:05:14	14:05:29	2:00	SP	CAMBIO DE LLANTA TOLVA GRANELE	FLARI	14/05/2010	12
10008842	elevador no se mueve	1SISGR-COGR1-TORNC	1003173		15/07/2010		10:46:49	00:00:00	0:00	SP	Cambio de correas ELEN-01	FLARI	15/07/2010	10
10008970	elevador no se mueve	1SISGR-COGR1-TORSU	1003181	X	27/07/2010		06:20:40	00:00:00	0:00	SP	Cambio de correas eles-03	FLARI	27/07/2010	06
10009408	No arranca el motor	1SISGR-COGR1-TORSU	1003152	X	23/08/2010		10:05:17	00:00:00	0:00	SP	Cambio de correas mot.trans.ban.r	FLARI	23/08/2010	10
10009835	fuga de material por los ductos		1000003		17/09/2010		09:22:49	00:00:00	0:00	SP	Reparacion ductos Bod 3	FLARI	17/09/2010	09
10009882	atacamiento en el transportador		1001685	X	21/09/2010		07:25:46	00:00:00	0:00	SP	Cambio retenedor reduc.trans des	FLARI	21/09/2010	07
10010096	No se desliza	1SISGR-COGR1	1003136	X	08/10/2010		12:34:41	00:00:00	0:00	SP	Reparacion tolva TGM 01	FLARI	08/10/2010	12
10010097	atacamiento en el transportador		1001682		08/10/2010		13:00:42	00:00:00	0:00	SP	REPARACION DE BANDA ELE DES BOI	FLARI	08/10/2010	13
10010242	Vibracion en la banda		1001684	X	15/10/2010		13:44:58	00:00:00	0:00	SP	Reparacion banda transportadora	FLARI	15/10/2010	14
10010286	Calibracion basculas por mitto		1001698		19/10/2010		14:29:09	00:00:00	0:00	SP	Calibracion bascula 2 sist gra	FLARI	19/10/2010	14
10010288	Calibracion basculas por mitto	1SISGR-COGR1-TORNC	1003174		19/10/2010		15:04:41	00:00:00	0:00	SP	Calibracion bascula 3 sist gra	FLARI	19/10/2010	15
10010289	Calibracion basculas por mitto	1SISGR-COGR1-TORSU	1003179		19/10/2010		15:18:44	00:00:00	0:00	SP	Calibracion bascula 4 sist gra	FLARI	19/10/2010	15
10010317	Vibracion en la banda		1001692	X	22/10/2010		14:05:00	00:00:00	0:00	SP	Cambio rodillo transp.banda bod 6	FLARI	22/10/2010	14
10010319	Vibracion en la banda		1001688	X	22/10/2010		14:21:05	00:00:00	0:00	SP	Cambio rodillo retorno Bod 3	FLARI	22/10/2010	14
10011608	contenedores no abren	1SISGR-COGR1-TORSU	1003179	X	07/01/2011		09:36:43	00:00:00	0:00	SP	cambio de tubos flexibles BBAS 04	FLARI	07/01/2011	09
10011611	cuchilla no abre	1SISGR-COGR1-BOD6A	1003153	X	07/01/2011		09:45:00	00:00:00	0:00	SP	Cambio de elect.val y sensor cuhili	FLARI	07/01/2011	09
10012002	fugas de aire		1001698	X	29/01/2011		08:51:32	00:00:00	0:00	SP	Daño en mangueras bascula torre	FLARI	29/01/2011	09
10012753	problemas de izado del trans. retráctil	1SISGR-COGR1	1003142	X	14/03/2011		18:09:25	00:00:00	0:00	SP	cambio de guaya TGM 03	FLARI	14/03/2011	18
10012754	problemas de izado del trans. retráctil	1SISGR-COGR1	1003145	X	14/03/2011		18:14:49	00:00:00	0:00	SP	cambio de guaya TGM 04	FLARI	14/03/2011	18
10013005	El tripper no se mueve		1001693	X	02/04/2011		09:52:15	00:00:00	0:00	SP	Reparaciones al tripper bodega 6	FLARI	02/04/2011	10
10013074	el compresor no arranca	1SISGR-COGR1-TORSU	1003180	X	07/04/2011		15:37:21	00:00:00	0:00	SP	Cambio repuestos compresor stmi	FLARI	07/04/2011	15
10013077	transportador sin fuerza	1SISGR-COGR1-BOD6A	1003153	X	07/04/2011		18:08:07	00:00:00	0:00	SP	Cambio de correas TAE 6 A	FLARI	07/04/2011	18
10013666	Golpe en la parte interna del elevador	1SISGR-COGR1-TORSU	1003178	X	21/05/2011	21/05/2011	08:26:26	20:00:00	11:56	SP	Cambio de cangilones ELES04	FLARI	21/05/2011	08
10013668	desarogue de material intermitente	1SISGR-COGR1-BOD07	1003168	X	21/05/2011		08:49:51	00:00:00	0:00	SP	Cambio de paletas TAR BOD 7.3.1	FLARI	21/05/2011	08
10013752	Plug fuera de servicio	1SISGR-COGR1	1003146	X	27/05/2011		15:03:41	00:00:00	0:00	SP	Cambio de clavija trans. retráctil 4	FLARI	27/05/2011	15
10013753	Plug fuera de servicio	1SISGR-COGR1	1003141	X	27/05/2011		15:07:05	00:00:00	0:00	SP	Cambio de clavija trans. portatil 2	FLARI	27/05/2011	15
10013756	la banda no se mueve		1001684	X	28/05/2011		09:45:25	00:00:00	120:00	SP	Cambio de piñones banda transp f	FLARI	28/05/2011	10
10013758	Banda desalineada		1001686	X	28/05/2011		10:26:44	00:00:00	0:00	SP	Cambio de tambor del tripper bod	FLARI	28/05/2011	10
10013801	Cangilones partidos	1SISGR-COGR1-TORSU	1003178	X	11/06/2011		09:05:11	00:00:00	0:00	SP	Cambio cangilones elevador A cist	FLARI	11/06/2011	09

6.2.1 Análisis de Pareto. El análisis de Pareto es una herramienta que se usa para identificar, jerarquizar, y comparar datos, con el fin mostrar que elementos componen el tema que se está analizando. Este permite mediante una representación gráfica o tabular, identificar en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia, o que tienen una ponderación o incidencia mayor.

Con la base de datos, que se muestra en la ilustración anterior, se pudo realizar los siguientes análisis de fallas.

Ilustración 24. Análisis de Pareto según tipo de equipos



Con este análisis se puede identificar, en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o que tienen una ponderación o incidencia mayor. Según el análisis 80/20 donde se pueden determinar cuáles son los equipos que mayores problemas o fallas presentan, se puede observar que los transportadores de arrastre, los elevadores de cangilones y las tolvas graneleras son las que más sufren durante las operaciones. Este análisis nos indica cuales deben ser los equipos a los que se les debe dar mayor atención y cuales se le debe restar importancia, dividiendo la gráfica en pocos pero vitales para la operación o muchos pero triviales.

Este análisis es acompañado con la siguiente información, la cual se obtuvo por medio de una tabla dinámica de Excel, de la base de datos.

Tabla 8. Conteo de causas que generaron fallas.

Etiquetas de fila	↓	Cuenta de Causa	Suma de Duración parada
Sobrecarga		29	4107,56
Daño a Troque por traslado		14	401,17
Fuga de aire		13	20,5
Lámina desgastada		10	3920
Cinta rota		10	3393,99
Obstruccion en ductos		9	249,07
Problemas en el reductor		9	640,67
Eje Partido		8	0
Elevador obstruido		8	60,71
Sensor no funciona		8	4
Problemas compresor		7	48
Cangilones partidos		7	12
Ductos corroidos		7	0
Sistema no trabaja automatico		7	13,8
desgaste		6	452,06
Patas en mal estado		6	105,08
Paletas partidas		6	103,01
Sensor de Rotación no funciona		5	4,73
electrovalvula deteriorada		5	6,52
Malacate en mal estado		5	0
Chumacera partida		5	33
Motor en mal estado		4	0
Sellos en mal estado		4	4,01
Tornillos faltantes		4	2,5
Correas desgastadas		4	0

Se observa que la falla que mas veces aparece es la de sobrecarga, la cual se tiene señalada en diagrama de decision que se realizó en el RCM, el cual se muestra mas adelante, como una causa que requiere de un rediseño para poder controlarlo o aminorarlo.

Con ayuda de la tabla dinamica, también se analizaron las fallas por sistemas, las cuales se presentan en las siguientes tablas, estos sistemas son generales para todos lo equipos que componen el sistema granelero.

Tabla 9. Fallas frecuentes por sistemas

Etiquetas de fila	Cuenta de Causa
⊗ Sistema Mecánico	48
⊗ Sistema Neumático	39
⊗ Sistema Estructural	112
⊗ Sistema transmisión de potencia	32
⊗ Sistema transporte producto	50
⊗ Sistema de Basculas	9
⊗ Sistema Eléctrico/Electrónico	56
Total general	346

Se aprecia que el sistema estructural es el más afectado con 112 fallas, y se encuentra que la mayoría de estas fallas son originadas por daños durante los traslados, lo cual afecta la estructura de los equipos, por golpes, desniveles en el terreno o por mala operación.

Tabla 10. Fallas recurrentes en el sistema estructural de los equipos.

⊗ Sistema Estructural	
Daño a Troque por traslado	14
Lámina desgastada	7
Patas en mal estado	6
Sobrecarga	5
desgaste	5
Ductos corroidos	4
Daño en Tiro por traslado	3
Cangilones partidos	3
Tornillos faltantes	3
Golpe a la estructura	3
Guaya partida	3
Por deteriorado	2
Fisura lamina	2
Problemas en el reductor	2
Troque con eje partido	2
Pines deformes o partidos	2
Obstruccion en ductos	2
Problemas compresor	2

Se organiza la información, y se presentan en las siguientes tablas cuáles son las fallas que más afectan los diferentes sistemas.

Tabla 11. Fallas recurrentes en el sistema mecánico.

Sistema Mecánico	
Malacate en mal estado	5
Eje Partido	4
Correas desgastadas	4
Chumacera partida	3
Problemas en el reductor	3
Sobrecarga	3
Tambor sin recubrimiento	2
Cadena partida	2
Sensor no funciona	2
Cinta rota	2
Baja presión de aire	2
Elevador obstruido	2
Fuga de aceite	2
Rodillo en mal estado	1
Llanta pinchada	1

Tabla 12. Fallas recurrentes en el sistema neumático.

Sistema Neumático	
Fuga de aire	10
Problemas compresor	5
Sellos en mal estado	4
electrovalvula deteriorada	4
Cilindro neumatico en mal estado	3
Compresor con bajo nivel de aceite	2
Falla sistema neumatico	1
Por deteriorado	1
Compuerta no funciona	1
Manometro en mal estado	1
Contactor deteriorado	1
DAÑO BORUCTURACMPRCABEZOTE COMPRESOR EECANO EN	1
Tornillos faltantes	1
Racor en mal estado	1

Con esta tabla se puede concluir, que se deben, mejorar las tareas de inspección en mangueras, racores y electrovalvulas de aire, para disminuir la incidencia de las fallas mecanicas en la operación de descargue.

Tabla 13. Fallas recurrentes en el sistema transmisión de potencia.

Sistema transmisión de potencia	
Sobrecarga	14
Rodamientos en mal estado	2
Transportador no funciona	2
Pines deformes o partidos	1
rodillos caidos	1
Retenedor en mal estado	1
Correas en mal estado	1
Motor en mal estado	1
De deteriorado	1
Piñon desgastado	1
Del deteriorado	1
Chumacera averiada	1
Cadenas transmisión deteriorada	1
Chumacera ce umt crcer	1
Cadena deteriorada	1

En esta tabla se aprecia como el sistema de transmisión de potencia es el que mas sufre por las sobrecargas, dado que en este sistema se encuentran componentes como, ejes, chumaceras, piñones, poleas, cadenas, correas, rodamientos, motor, reductor, retenedores y tensores. Los cuales son sensibles a cualquier exceso de carga, puesto que son los elementos que participan directamente en el transporte de carga.

Tabla 14. Fallas recurrentes en el sistema de transporte de producto.

Sistema trasporte producto	
Sobrecarga	7
Obstruccion en ductos	6
Elevador obstruido	5
Cinta rota	5
Cangilones partidos	4
Ductos corroidos	3
Lámina desgastada	2
Paletas partidas	2
Problemas en el reductor	2
Eje Partido	2
Fuga de aire	2
Reductor con piñon desgastado	1
Cadena partida	1
Guia cadena partida	1
Banda destensionada	1
Banda desgastada	1

El sistema de transporte de producto al igual que el de transmisión de potencia, cuenta con componentes que están en contacto directo con la carga, tales como la cadena de arrastre, paletas, puntas guías, cangilones, banda, rodillos entre otros, y también sufren durante la operación por malas programaciones de descarga y excesos en la carga, convirtiendo la sobrecarga la causa más repetitiva que deja estos sistemas fuera de servicio.

Las básculas de bache, a pesar de no ser el equipo que más falla presentan, si son críticos para la operación, dado que pueden frenar todo el sistema, dado que este equipo es el que confirma la cantidad de producto que se está descargando, dato que después solicita el cliente para confirmar si su carga vino completa. En la siguiente tabla se muestran sus fallas más repetitivas.

Tabla 15. Fallas recurrentes en el sistema de Básculas.

Sistema de Basculas	
Calibración	3
Celda de carga en mal estado	2
Fallos en el PLC	1
Sistema no trabaja automatico	1
Tarjeta deteriorada	1
Falla sistema electrico	1

El sistema eléctrico de todos los equipos, es uno de los que presenta diversidad de fallas, dado que casi todos los componentes del sistema granelero, requieren la electricidad como fuente de potencia.

Tabla 16. Fallas recurrentes en el sistema eléctrico.

Sistema Eléctrico/Electrónico	
Sensor no funciona	6
Sensor de Rotación no funciona	5
Sistema no trabaja automatico	5
La lámpara no prende	4
Cable deteriorado	3
Fallos en el PLC	3
sensor magnetico en mal estado	2
Falla programacion PLC	2
Toma corriente fuera de servicio	2
Lockout no acciona	2
Problemas en el reductor	2
Fuera trans.ltdl	2
Cable deteriorado por roedores	1
Sensor de proximidad no sensa	1
Rotobin en corto	1

Las fallas de sensores de rotación son muy comunes que se presentes, dado que estos sensores son sensibles a los cortos bruscos en el fluido eléctrico, por ende se debe analizar estas fallas y tratar de controlar los bajones y fluctuaciones en la energía.

6.3 ANALISIS DE CRITICIDAD

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Es importante puntualizar que, en un programa de optimización de confiabilidad operacional, es necesario el análisis de los siguientes cuatro parámetros: Seguridad y entorno, calidad y rendimiento, status de la operación, costos de oportunidad, confiabilidad de los equipos y mantenibilidad de los equipos. La variación en conjunto o individual de cualquiera de estos parámetros, los cuales se presenta en la tabla 36, afectará el comportamiento global de la confiabilidad operacional del complejo granelero.

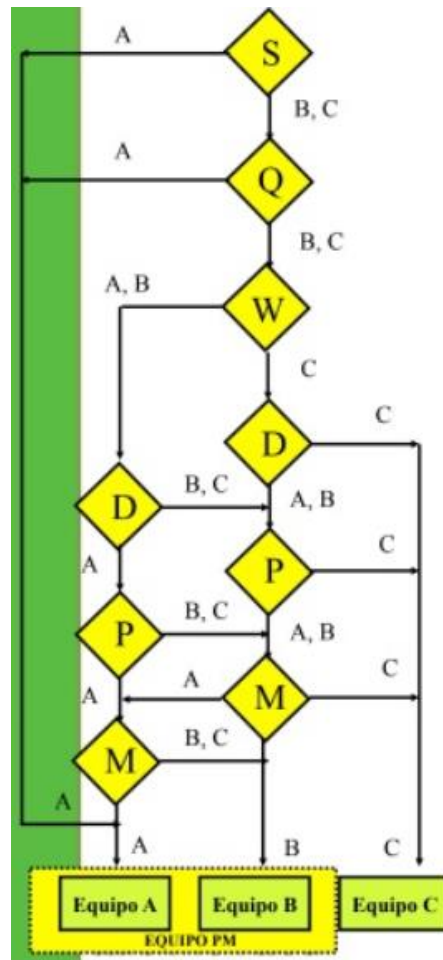
Tabla 17. Elementos de evaluación para el análisis de criticidad.

Elementos de Evaluación	Grado A	Grado B	Grado C
S			
Seguridad, Polución & Entorno	Una falla podría causar serios problemas de seguridad y entorno en el área circundante	Una falla podría causar algunos problemas de seguridad y entorno en el área circundante	Una falla no causará problemas de seguridad o entorno en áreas circundantes
Q			
Calidad y Rendimiento	Una falla podría causar productos defectuosos o afectar seriamente al rendimiento	Una falla podría causar variaciones de calidad o afectar moderadamente el rendimiento	Una falla no podría afectar ni a la calidad ni al rendimiento
W			
Status de operación	24 hs. de operación	de 7 a 14 hs. de operación	Operación intermitente
D			
Factor de retraso (costos de oportunidad)	Una falla pararía la planta entera	Una falla pararía solamente el sistema afectado	Está disponible una unidad de reserva. Es más económico esperar el fallo y repararlo.
P			
Periodo (intervalo de falla)	Paradas frecuentes (cada 6 meses o más)	Paradas ocasionales (aprox. 1 vez al año)	Difícilmente se produce una parada (menos de 1 vez al año)
M			
Mantenibilidad	Tiempo reparación: 4 hs. o más. Costo de reparación: aprox. \$ 2000	Tiempo reparación: 1-4 hs. Costo de reparación: aprox. de 400 a \$ 2000	Tiempo reparación: 1 hs. o menos Costo de reparación: menos de \$ 400

Según la criticidad del equipo, este puede ser de grado A, B o C, donde el grado A se le asigna a un equipo crítico para la operación, para la seguridad del personal, para los costos y para la producción, según los elementos de evaluación que se muestran en la tabla anterior. Un equipo de criticidad media, es el que puede fallar pero su afectación no detendrá la operación, pero si la podrá afectar, sea en temas de velocidades de producción con tiempo medianos de equipos detenidos. Y el grado C, son para los equipos que no tienen incidencia alguna en la operación, y que su costos no son representativos para la compañía.

A continuación se presenta el diagrama de decisión, para conocer qué tipo de criticidad puede tener un equipo según su contexto operacional.

Ilustración 25. Diagrama de decisión de la criticidad de un equipo.



Se evaluaron los equipos que conforman el sistema granelero, basado en su contexto operacional y se obtuvo la siguiente tabla, donde se ve su criticidad frente a la operación.

Tabla 18. Análisis de criticidad de los equipos del sistema granelero.

EQUIPOS	ELEMENTOS DE EVALUACION						CRITICIDAD		
	SEGURIDAD, POLUCION Y ENTORNO S	CALIDAD Y RENDIMIENTO Q	STATUS DE OPERACIÓN W	FACTOR DE RETRASO (COSTOS DE OPORTUNIDAD) D	PERIODO (INTERVALO DE FALLA) P	MANTENIBILIDAD M	GRADO A	GRADO B	GRADO C
BANDAS DE MUELLE	C	A	A	B	A	B	A		
BASCULAS DE BACHE	C	A	A	B	A	B	A		
COMPRESORES	B	A	A	A	B	B	A		
ELEVADOR DE CANGILONES	B	B	A	B	A	B		B	
TOLVAS GRANELERAS	C	B	A	B	B	C			C
TRANSPORTADOR DE ARRASTRE	C	B	A	B	B	C			C

Se aprecia que las bandas de muelle, las básculas de bache y los compresores son equipos críticos para la calidad y rendimiento de la operación de descargue, dado que una falla de ellos, afectaría de forma importante los objetivos comerciales de la empresa.

Esto indica que estos equipos son los que deben tener un tipo de mantenimiento proactivo, que permita anticiparse a las fallas, y así garantizar la confiabilidad de la operación.

A estos tres equipos críticos, se le realiza análisis de criticidad a sus fallas funcionales, para de esta forma conocer cuales tipos de fallas son más críticas, y que prioridad debe de haber al momento de realizar tareas por condición, y monitoreos de parámetros.

En las bandas de muelle se encontraron varias fallas funcionales, que se aprecian en la siguiente tabla, las cuales dejarían inoperante todo el sistema granelero, estas actividades serán evaluadas con la metodología de RCM, para encontrar las tareas propicias y la frecuencia necesaria, para así poder evitar los problemas que le podrían generar una de estas fallas a la operación.

Tabla 19. Análisis de criticidad de las bandas de muelle.

FALLA FUNCIONAL	BANDAS DE MUELLE						CRITICIDAD		
	ELEMENTOS DE EVALUACION								
	SEGURIDAD, POLUCION Y ENTORNO S	CALIDAD Y RENDIMIENTO Q	STATUS DE OPERACIÓN W	FACTOR DE RETRASO (COSTOS DE OPORTUNIDAD) D	PERIODO (INTERVALO DE FALLA) P	MANTENIBILIDAD M	GRADO A	GRADO B	GRADO C
Banda de transporte rota	C	B	A	A	C	A	A		
Acometida eléctrica en mal estado	A	A	A	A	C	A	A		
Chumacera partida	C	A	A	B	A	C	A		
Rodamiento dañado	C	A	A	B	A	C	A		
Motoreductor con ruido excesivo	C	B	A	B	A	A	A		
Banda detenida por sobrecarga	C	A	A	B	A	C	A		
Banda desgastada	C	C	A	C	B	A	A		
Cuerpo desalineado	B	B	A	C	B	B		B	
Lamina desprendida	B	B	A	C	B	B		B	
Lamina con fisura	C	B	A	C	B	C			C
Lámina corroida	C	B	A	C	B	C			C
Rodillo desprendido	C	B	A	C	B	C			C
Rodillos desgastados	C	C	A	C	B	C			C
Arrancador suave disparado, motor disparado	C	B	A	B	A	C			C
Fuerte vibracion en la banda	B	C	A	C	A	C			C
Banda floja	C	C	A	B	A	C			C
Desgaste en piñones de la transmision de potencia	C	C	A	C	B	C			C
Desgaste en cadenas	C	C	A	C	B	C			C
Banda contaminada	C	C	A	C	B	C			C
Motoreducior sobrecargado	C	B	A	B	A	C			C

De igual forma se le realizó el análisis de criticidad a las básculas de bache, dado que también se torna como equipo crítico para la operación del sistema. Una falla de este podría dejar la operación detenida por un tiempo relativamente largo.

Tabla 20. Análisis de criticidad de las básculas de bache.

BASCULAS DE BACHE									
	ELEMENTOS DE EVALUACION						CRITICIDAD		
	SEGURIDAD, POLUCION Y ENTORNO S	CALIDAD Y RENDIMIENTO Q	STATUS DE OPERACIÓN W	FACTOR DE RETRASO (COSTOS DE OPORTUNIDAD) D	PERIODO (INTERVALO DE FALLA) P	MANTENIBILIDAD M	GRADO A	GRADO B	GRADO C
FALLA FUNCIONAL									
Celda de carga no envía señal de peso	C	A	A	A	C	C	A		
Cableado en corto	A	A	A	A	B	A	A		
Bascula desprogramada	C	A	A	A	B	C	A		
PLC desconfigurado	C	A	A	A	C	A	A		
Caja sumadora no envía señal eléctrica	C	A	A	A	B	C	A		
Sensor de Nivel descalibrado o quemado	C	A	A	A	B	B	A		
Cilindros neumaticos no cierran compuertas	C	A	A	A	A	C	A		
No hay señal de confirmación	C	A	A	A	B	B	A		
Sobrecarga	C	A	A	A	A	B	A		
Bascula con compuerta abierta	C	A	A	A	B	B	A		
Bascula con falta ok	C	A	A	A	B	B	A		
Bascula con obstrucción interna	C	A	A	A	A	C	A		
Red de aire con agua	C	B	A	C	B	A	A		
Compuerta abierta	C	A	A	A	B	B	A		
Obstrucción en Ductos	C	B	A	A	A	C		B	
Cilndro neumatico con valvula descalibrada	C	B	A	A	C	B		B	
Celda de carga deteriorada	C	C	A	A	C	B		B	
Caja sumadora deteriorada	C	C	A	A	C	B		B	
Fuga por lamina rota	B	C	A	C	A	C			C
Cilindros neumaticos con fuga de aire	C	C	A	C	B	C			C
Manguera de aire rota	C	C	A	C	B	C			C
Racor en mal estado	C	C	A	C	B	C			C
Lamina con fisura	C	C	A	C	B	C			C
Manga rota	C	C	A	C	A	C			C
Pesas patrón fuera de rango admisible	C	C	A	C	C	B			C
Calibración periódica no realizada	C	C	A	C	C	B			C

La basculas de bache son equipos críticos para la operación, dado que ellos se encargan de pesar la carga que está bajando del buque, para ser almacenada en las bodegas, el desconocimiento de cuanta es la carga descargada en muelle genera inconformidad en el cliente. Además de esta razón, la báscula se encuentra en medio de los elevadores de cangilones, convirtiéndose en un paso obligado para la carga, convirtiendo cualquier falla que afecte su funcionalidad en crítica.

Tabla 21. Análisis de criticidad de los compresores.

COMPRESORES DE AIRE									
ELEMENTOS DE EVALUACION							CRITICIDAD		
FALLAS FUNCIONAL	SEGURIDAD, POLUCION Y ENTORNO S	CALIDAD Y RENDIMIENTO Q	STATUS DE OPERACIÓN W	FACTOR DE RETRASO (COSTOS DE OPORTUNIDAD) D	PERIODO (INTERVALO DE FALLA) P	MANTENIBILIDAD M	GRADO A	GRADO B	GRADO C
Desgaste en tornillos del compresor	C	A	A	A	C	A	A		
Variador de frecuencia en advertencia de sobrecarga	C	B	A	A	C	A	A		
Transmision de presion dañado	C	A	A	B	C	B	A		
Motor quemado	C	A	A	A	C	A	A		
Panel de control fuera de servicio	C	A	A	A	C	A	A		
Compresor no energizado	C	B	A	A	A	A		B	
Filtro de succion obstruidos	C	B	A	C	C	C			c
Valvula de carga obstruida	C	B	A	C	C	B			c
Filtro separador de aceite obstruido	C	B	A	C	C	C			c
Compresor vibra y no arranca	C	C	A	C	C	C			c
Variador muestra falla	C	C	A	C	B	C			c
Equipo muestra advertencia en la panel de exceso de temperatura	C	C	A	C	B	C			c
Equipo muestra el blower disparado	C	B	A	B	B	C			c
Radiador obstruido	C	C	A	C	C	B			c
Bajo nivel de aceite	C	C	A	C	C	C			c

Cualquier falla que deje el compresor fuera de servicio, se convierte en critica, dado que todas las cuchillas, compuertas neumáticas de las basculas, cambia vías, funcionan con aire comprimido, y el no tener la red de aire habilitada originaria una suspensión total del sistema, generando recargos por demoras en muelle.

7. MODELO DE RCM PARA COMPLEJO GRANELERO

El principal objetivo de la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad en una compañía donde su operación es continua las 24 horas y una parada no programada trae consigo pérdidas económicas considerables es aumentar la disponibilidad y confiabilidad de sus activos, estableciendo rutinas de inspección por condición, tareas de reacondicionamiento cíclico y unas tareas previamente establecidas de sustituciones cíclicas que van muy de la mano del fabricante del activo adaptado un poco al contexto operacional de este.

El programa de mantenimiento basado en la metodología RCM permitirá aumentar la eficiencia y los desempeños de los equipos, estandarizando tareas rutinarias que impedirán que el performance de la maquina disminuya, monitoreando constantemente sus condiciones de operación y compararlas con los números de horas trabajados del activo con el objetivo de anticiparnos a la falla realizando tareas de sustitución cíclicas y lograr mantener la operación del puerto constante.

El RCM mostrara al departamento de mantenimiento una perspectiva diferente de la criticidad de los equipos y lograra cuantificar y establecer las consecuencias que tiene cada falla, ambientales, humanas y económicas, lo cual les apoyara en la gestión diaria del ejercicio de mantenibilidad y gestión operación en el complejo granelero regional Barranquilla.

7.1 MODOS DE FALLAS DE LOS SISTEMAS

Los modos de fallas se establecieron para cada sistema que conformar la operación del complejo granelero de la siguiente manera para cada falla funcional:

Tabla 22. Descripción falla funcional y modo de falla bandas de muelle

Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód.. MF	Modo de Falla
1100	Fuga de Producto	1101	Cuerpo desalineado
		1102	Lamina desprendida
		1103	Lamina con fisura
		1104	Lámina corroída
1200	No transporta producto	1201	Rodillo desprendido
		1202	Banda de transporte rota
		1203	Acometida electrica en mal estado
		1204	Chumacera partida
		1205	Rodamiento dañado
		1206	Motoreductor con ruido excesivo
		1207	Banda detenida por sobrecarga
1300	No transporta la rata de 600 Ton/Hr	1301	Rodillos desgastados
		1302	Arrancador suave disparado, motor disparado
		1303	Fuerte vibracion en la banda
		1304	Banda floja
		1305	Desgaste en piñones de la transmision de potencia
		1306	Desgaste en cadenas
		1307	Banda desgastada
		1308	Banda contaminada
		1309	Motoreducior sobrecargado

Las bandas de muelle son unos equipos vitales dentro de la operación del puerto regional Barranquilla, su principal función es transportar el grano desde un punto inicial hasta un punto final o punta de entrega, por medio de una banda de lona industrial formado por tres capas eficientemente, se entiende eficientemente

cuando el equipo es capaz de transportar el producto a su máxima capacidad de 600 Toneladas/ hr son perdidas ni desperdicios de producto. Para este equipo se agrupan los modos de fallas en tres tipos de fallas funcionales que son: fugas de producto, no transporta y no transporta eficientemente.

Tabla 23. Descripción falla funcional y modo de falla elevadores de cangilones.

Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Código MF	Modo de Falla
2100	Fuga de Producto	2101	Cuerpo desalineado
		2102	Lamina desprendida
		2103	Lamina con fisura
		2104	Lámina corroida
		2105	Cangilon desprendido
		2106	Banda de transporte rota
2200	No transporta producto	2201	Acometida electrica en mal estado
		2202	Chumacera partida
		2203	Correa de tranmision partida
2300	No transporta la rata de 600 Ton/Hr	2301	Motoreductor con rodamientos deteriorados.
		2302	Tambor en mal estado
		2303	Cangilones en mal estado
		2304	Babero inferior en mal estado
		2305	Cangilones incompletos
		2306	Desgaste en piñones de la transmision de potencia
		2307	Correas Partidas o Salidas
		2308	Banda desgastada
		2309	Banda contaminada
		2310	Motoreductor rebobinado

La principal función de los elevadores de cangilones es transportar el grano de forma vertical y continúa desde un punto inicial hasta un punto final, por medio de cangilones de polietileno de alta densidad a un flujo máximo de 600 Toneladas/hr de forma eficientemente, actualmente cada línea o muelle cuenta con la disponibilidad de un elevador de cangilón el cual recibe producto de la banda de muelle y le entrega a una báscula de bache. Para este equipo se agrupan los modos de fallas en tres tipos de fallas funcionales que son: fugas de producto, no transporta y no transporta eficientemente.

Tabla 24. Descripción falla funcional y modo de falla tolvas graneleras.

Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Código MF	Modo de Falla
3100	Fuga de Producto	3101	Alar superior golpeado
		3102	Dosificador con fisura en lamina
		3103	Lamina con fisura
		3104	Lámina desgastada
		3105	Cadena de Arrastre Destensionada
		3106	Cadena de Arrastre partida
3200	No transporta producto	3201	Cadena de Transmisión partida
		3202	Cadena de Transmisión Salida
		3203	Correas Desgastadas
		3204	Correas se salen por elemento extraño
3300	No transporta la rata de 200 Ton/Hr	3301	Sobrecarga
		3302	Cadena de Arrastre Destensionada
		3303	Correas en mal estado
		3304	Piñon desgastado
		3305	Piñon doblado
		3306	Motor eléctrico con baja potencia
		3307	Reductor con ruido
		3308	Paletas dobladas

Las tolvas graneleras se agrupan en tres tipos de fallas funcionales que son: fuga de producto, no transportan producto, no transporta eficientemente, las tolvas graneleras reciben el grano de los buques, por medio de las cucharas y transportarlos hacia la banda de muelle, a un flujo de 200 TON/HR sin que se haya fuga de producto continuamente.

Tabla 25. Descripción falla funcional y modo de falla para Transportadores de cadena de arrastre.

Cod. FF	Descripcion falla funcional	Codigo MF	Modo de Falla
5100	Fuga de producto	5101	Cuerpo desalineado
		5102	Lamina desprendida
		5103	Lamina con fisura
		5104	Lamina corroida
5200	No transporta producto	5201	Paletas de arrastre deformadas
		5202	Cadena de transporte rota
		5203	Acometida electrica en mal estado
		5204	Chumacera partida
		5205	Rodamiento dañado
		5206	Motoreductor con ruido excesivo
		5207	Sobrecarga
5300	No transporta producto a la rata de 600 Tn/hr	5301	Cadena elongada
		5302	Arrancador suave disparado, motor disparado
		5303	Paletas de arrastre incompletas
		5304	Desgaste en piñones motriz y conducido del equipo
		5305	Desgaste en piñones de la transmision de potencia
		5306	Desgaste en cadenas de transmision de potencia
		5307	Guias de cadena dañadas
		5308	Motoreductor sobrecargado

Los transportadores de cadena de arrastre se agrupan en tres tipos de fallas funcionales que son: fugas de producto, no transporta y no transporta eficientemente.

Tabla 26. Descripción falla funcional y modo de falla para compresores de Aire de velocidad variable.

Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Código MF	Modo de Falla
6100	Pérdida de capacidad	6101	Filtro de succión obstruidos
		6102	Valvula de carga obstruida
		6103	Filtro separador de aceite obstruido
		6104	Desgaste en tornillos del compresor
		6105	Variador de frecuencia en advertencia de sobrecarga
		6106	Transmisión de presión dañado
6200	Compresor no enciende	6201	Compresor no energizado
		6202	Compresor vibra y no arranca
		6203	Motor quemado
		6204	Panel de control fuera de servicio
		6205	Variador muestra falla
6300	Sobrecalentamiento en el sistema lubricación del compresor	6301	Equipo muestra advertencia en la panel de exceso de temperatura
		6302	Equipo muestra el blower disparado
		6303	Radiador obstruido
		6304	Bajo nivel de aceite

Los compresores de aire de velocidad variable garantizan una operación continua en el complejo granelero regional Barranquilla, Suministrando a la red neumática con 80 PSIG de presión de aire a 200 CFM, brindando una operación estable y automática a las básculas de bache, cambia vías, y cuchillas de los transportadores de las bodegas graneleras. Los compresores de aire se agrupan en tres tipos de fallas funcionales que son: pérdida de capacidad, compresor fuera de servicio no enciende y sobrecalentamiento en el sistema.

Las básculas de baches reciben el grano de los elevadores de cangilones continuamente y realizan una tara por Baches o paquetes de máximo 5 toneladas cada uno con una precisión estática de 0,1% sobre el valor de cada bache. Para este equipo se analizan cinco fallas funcionales que son: bascula no pesa, bascula no almacena producto, bascula lenta al operar, bascula con fuga de producto y bascula descalibrada.

Se asume la báscula como conjunto completo, formado por sub-equipos o elementos como celdas de cargas, caja sumadora e indicador de peso.

Tabla 27. Descripción falla funcional y modo de falla para basculas de baches sección A.

Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Código MF	Modo de Falla
4100	Báscula No pesa	4101	Celda de carga no envía señal de peso
		4102	Cableado en corto
		4103	Bascula desprogramada
		4104	PLC desconfigurado
		4105	Caja sumadora no envía señal eléctrica
		4106	Sensor de Nivel descalibrado o quemado
4200	No almacena el producto	4201	Obstrucción en Ductos
		4202	Fuga por lamina rota
		4203	Cilindros neumaticos no cierran compuertas
		4204	No hay señal de confirmación

Tabla 28. Descripción falla funcional y modo de falla para basculas de baches sección B.

Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Código MF	Modo de Falla
4300	Descarga Lenta	4301	Sobrecarga
		4302	Bascula con compuerta abierta
		4303	Bascula con falta ok
		4304	Cilindro neumatico con valvula descalibrada
		4305	Bascula con obstrucción interna
		4306	Cilindros neumaticos con fuga de aire
		4307	Manguera de aire rota
		4308	Racor en mal estado
		4309	Red de aire con agua
		4310	Recalentamiento de Compresor
4400	Fuga de Producto	4401	Lamina con fisura
		4402	Compuerta abierta
		4403	Manga rota
4500	Bascula descalibrada	4501	Celda de carga deteriorada
		4502	Caja sumadora deteriorada
		4503	Pesas patrón fuera de rango admisible
		4504	Calibración periódica no realizada

Los modos de falla se agrupa para cada falla funcional, y se le asignan un código MF el cual posteriormente se cruzan en una hoja de decisión, determinando la tarea a realizar y el tipo de mantenimiento que se realiza a cada equipo, preventivo, predictivo y a condición o sustitución cíclica.

Los modos de fallas se toman de una base de datos de múltiples fallas reportadas durante el periodo de 3 años en operación continua del complejo granelero de la sociedad portuaria regional Barranquilla en descargas de buques, el historial de fallas se divide según el equipo a analizar en los siguientes sistemas, los cuales son los que se analiza bajo la metodología RCM:

- Sistema de Motor (motores eléctricos trifásicos, 440V, IE3,)

- Sistema Neumático (Cilindros doble efectos, simple efecto, electroválvulas)
- Sistema Eléctrico (Acometidas eléctricas, cables encauchetados 90°C)
- Sistema Estructural (Módulos de los cuerpos rígidos, laminas HR, ASTM-A36)
- Sistemas Electrónico (Control de pesos por baches)

8. HOJA DE DECISIONES PARA CADA EQUIPO

La Hoja de decisión de RCM (Tabla 25) permite asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el Diagrama de decisión, y en función de esas respuestas, registrar:

- Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Casos en los que se toma una decisión deliberada de dejar que ocurran las fallas.

La hoja de decisión está dividida en dieciséis columnas. Las columnas F, FF y FM identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las hojas de información y las hojas de decisión como lo muestra la figura a continuación:

Tabla 29. Hoja de decisión para la metodología RCM.

HOJA DE DECISION RCM II			ELEMENTO										N°	Realizado por:	Fecha	Hoja
			COMPONENTE												Fecha	de
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial		
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4				

Los encabezamientos de las primeras diez columnas de la Hoja de Decisión se refieren a las preguntas del diagrama de decisión de RCM.

Las columnas tituladas H, S, E, O y N, son utilizadas para registrar las respuestas a preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla.

Las tres columnas siguientes, tituladas H1, H2, H3, etc., registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de tarea.

Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas "a falta de", las columnas encabezadas con H4 y H5, o la S4, permiten registrar esas respuestas. Las columnas de la octava a la décima son utilizadas para registrar si se ha seleccionado una tarea proactiva, de la siguiente manera:

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia con la que debe hacerse y el recurso necesario para realizarla. La

columna de “Tarea Propuesta” también se utiliza para registrar los casos en los que se requiere rediseño o si ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado¹⁷.

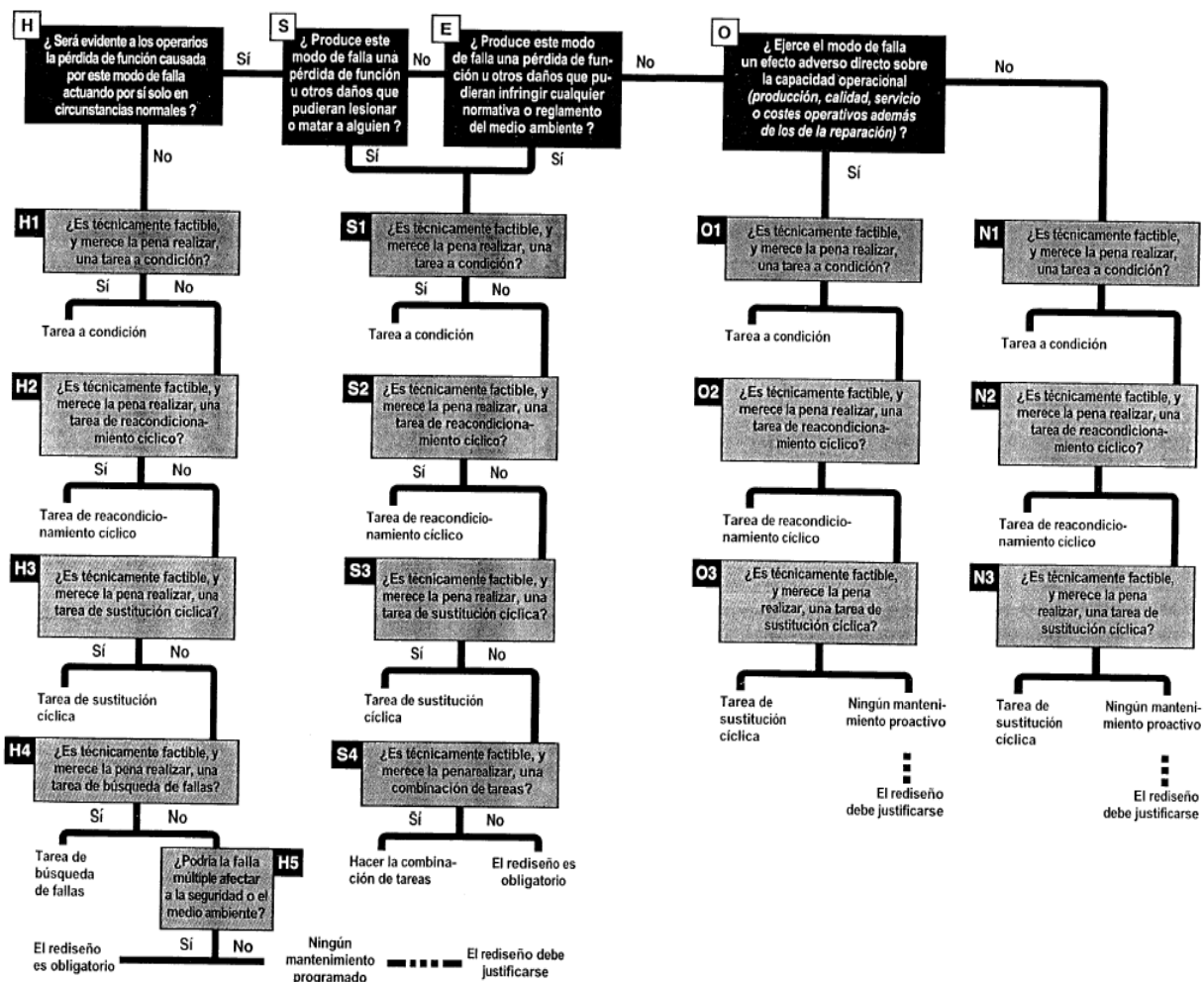
Las hojas de decisiones para la metodología RCM nos muestran no solo que acción tenemos que ejecutar para tratar cada modo de falla, sino que también nos brinda una visual de por qué se ha seleccionado, lo cual es supremamente importante si requerimos realizar un cambio en una rutina o actividad de mantenimiento ejecutada al activo o a la máquina.

La posibilidad que nos brinda esta metodología para monitorear cada tarea asociándola con cada función y parámetros deseados de la máquina, facilitándonos la actualización y control del programa de mantenimiento establecido para el sistema o línea productiva.

Mostramos a continuación el diagrama de decisión establecido por MOUBRAY:

¹⁷ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon LLC, 2004. pp. 202 - 206.

Ilustración 26. Diagrama de Decisión metodología RCM.



Las tareas propuestas o resultantes de este ejercicio están enfocadas a reducir las paradas no programadas en la operación continua del puerto, se busca aumentar la disponibilidad y la confiabilidad del sistema, para ello se establecen rutinas de mantenimiento, sustituciones cíclicas o reacondicionamientos las cuales están sujetas al tipo de equipo analizado y su criticidad en el complejo granelero. Mostramos a continuación las hojas de decisiones para cada equipo o sistema.

Tabla 30. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para fallas bandas de muelle sección A.

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	FRECUENCIA (MENSUAL)	RECURSOS (HORA HOMBRE)
COD. F	COD. FF	COD. MF	H	S	E	O	S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
1000	1100	1101	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Verificar concentricidad de la brida de empalme de los cuerpos del elevador.	1	1
		1102	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Revisar los tipos de tornillos, roscas empleadas, grado del tornillo, establecer rutinas de revisiones de desgaste de lámina.	1	1
		1103	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Se deben revisar la fijación de las laminas y el roce entre cadena-lámina.	1	1
		1104	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección del espesor de la lámina, recubrir la lamina con anticorrosivo cada vez que se perciba corrosión, y programar recambio de lamina.	1	1
	1200	1201	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Establecer rutinas de inspeccion de tornillos y de la correcta fijacion de rodillos.	1	1
		1202	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Rutinas de inspeccion visual de la banda, medición del espesor de la lona, revisión de grietas o rayaduras por elementos extraños.	1	1
		1203	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección y monitoreo por condicion de la acometida electrica, uso de camara termografica para evaluar temperatura de lineas	1	1
		1204	S	N	N	S	N	S	N	Reacond. Ciclico (Preventivo)	Realizar rutinas de lubricacion, alineacion del sistema, ajuste de prisioneros, termografías.	1	2
		1205	S	N	N	S	N	S	N	Reacond. Ciclico (Preventivo)	Realizar rutinas de lubricacion de rodamientos, limpieza, inspección de estado de rodamiento,	1	2
		1206	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Análisis de vibraciones, mejorar lubricacion, alineacion del sistema	3	1
		1207	S	N	N	S	N	N	N	Rediseño	Instalar sensores, modulos a los arrancodres suaves para hacer seguimiento a los aumentos de corriente en los motores y bascula dinamica para que el operador pueda saber que el flujo de salida de la bascula debe ser mayor al flujo entrada, y	N/A	Asignar Presupuesto.

Tabla 31. Sección B- Bandas de muelle.

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	FRECUENCIA (MENSUAL)	RECURSOS (HORA HOMBRE)
COD. F	COD. FF	COD. MF	H	S	E	O	S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
1000		1206	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Análisis de vibraciones, mejorar lubricacion, alineacion del sistema	3	1
		1207	S	N	N	S	N	N	N	Rediseño	Instalar sensores, modulos a los arrancodres suaves para hacer seguimiento a los aumentos de corriente en los motores y bascula dinamica para que el operador pueda saber que el flujo de salida de la bascula debe ser mayor al flujo entrada, y	N/A	Asignar Presupuesto.
	1300	1301	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspeccion del vulcanizado actual del rodillo motriz, en caso de encontrar desgaste excesivo programar trabajo de revulcanizado.	1	1
		1302	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección periodica a los tablero eléctricos, retorqueo de componentes, medición de	1	2
		1303	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Verificación de alineacion en el sistema y tensionamiento de banda.	1	1
		1304	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección a la elongación de la banda, para programar corte y pega en caliente, inspección de tornillos tensores y tensionamiento de banda	1	1
		1305	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Análisis de vibraciones, mejorar lubricacion, alineacion del sistema	3	1
		1306	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspecciones periodicas de correas evaluando, desgaste y tensión.	1	1
		1307	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección al vulcanizado de los tambores, a las lonas de la banda de los elevadores, monitero por	1	2
		1308	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Revisión periodica de retenedores, fugas de aceite, niveles de aceite.	1	1
		1309	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Análisis de vibraciones, mejorar lubricacion, alineacion del sistema, Megueo de motor, revisión de	3	1

Para las bandas de muelle se realiza el análisis con la hoja de decisión bajo la metodología RCM, para esto se obtiene tareas a condición, reacondicionamientos

cíclicos para cada una de las fallas funcionales establecidas. Para la falla funcional 1207 se obtiene un resultado que invita a evaluar y realizar un rediseño en el sistema.

Tabla 32. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para fallas elevadores de cangilones

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	FRECUENCIA (MENSUAL)	RECURSOS (HORA HOMBRE)
COD. F	COD. FF	COD. MF	H	S	E	O	S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
2000	2100	2101	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Verificar concentricidad de la brida de empalme de los cuerpos del elevador.	1	1
		2102	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Revisar los tipos de tornillos, rosas empleadas, grado del tornillo, establecer rutinas de revisiones de desgaste de lámina.	1	1
		2103	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Se deben revisar la fijación de las laminas, el diseño y tipo de material	1	1
		2104	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección del espesor de la lámina, recubrir la lámina con anticorrosivo cada vez que se perciba corrosión, aumentar espesor de lámina.	1	1
		2105	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Establecer rutinas de inspección de tornillos, de fijación de cangilones y reposición de soldaduras.	1	1
		2106	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Rutinas de inspección visual de la banda	1	1
	2200	2201	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección y monitoreo por condición de la acometida eléctrica, uso de cámara termográfica para evaluar temperatura de líneas	1	1
		2202	S	N	N	S	N	S	N	Reacond. Cíclico (Preventivo)	Realizar rutinas de lubricación, alineación del sistema, ajuste de prisioneros, termografías.	1	2
		2203	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Realizar inspecciones periódicas, para evaluar estado de correas, alineación del sistema y	1	1
	2300	2301	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Análisis de vibraciones, mejorar lubricación, alineación del sistema	3	1
		2302	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección del vulcanizado actual, en caso de encontrar desgaste excesivo programar trabajo	1	1
		2303	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Establecer rutinas de inspección de tornillos, de fijación de cangilones y reposición de	1	1
		2304	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Revisión por condición de soldaduras de los baberos, desgaste, y limpieza de material	1	1

Para los elevadores de cangilones se obtiene como resultado tareas a condiciones, rutinas de inspección y monitoreos visuales. En la falla 2202 reacondicionamiento cíclicos donde se propone establecer rutas predictivas, vibraciones y alineaciones de sistemas de potencia. Ver Anexo 2.

Tabla 33. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para fallas de las tolvas graneleras.

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1 S1	H2 S2	H3 S3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	FRECUENCIA (MENSUAL)	RECURSOS (HORA HOMBRE)
COD. F	COD. FF	COD. MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3				
3000	3100	3101	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspecciones al estado del alar superior de las tolvas, corregir cuando haya daño por golpe, e instruir al operador de la cuchara se debe revisar vibración en el sistema, corregir con soldadura, aplicar pintura anti-	1	1
		3102	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección del espesor de la lámina, recubrir la lamina con anticorrosivo cada vez que se perciba corrosión, aumentar espesar de	1	1
		3103	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección del espesor de la lámina, recubrir la lamina con anticorrosivo cada vez que se perciba corrosión, aumentar espesar de	1	1
		3104	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección del espesor de la lámina, realizar tensionamiento de cadena según condición, revisar estado de tornillos tensores.	1	1
		3105	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Revisión a los pines de eslabones, medir elongación de cadena frecuentemente, cambio de pines y empalme de cadena	1	1
		3106	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección de la alineación de la cadena periódicamente.	1	1
	3200	3201	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección de cadena, tensores de motoreductor, tensionamiento de cadena	1	1
		3202	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Revisar serial de correas, si el desgaste no se observan uniforme programar cambio de	1	1
		3203	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Verificar estado de guardas de seguridad, revisar que se monten cuando se bajan.	1	1
		3204	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Instalar sensores y bascula dinamica para que el operador pueda saber que el flujo de salida de la bascula debe ser mayor al flujo	N/A	Asignar Presupuesto.
		3301	S	N	N	S	N	N	N	Rediseño	Revisar tensores, tensionar cadena	1	1
		3302	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Revisar serial de correas, si el desgaste no		
		3303	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a			

Importante resaltar en la hoja de decisión de las tolvas graneleras código falla 3301 se invita a realizar un rediseño en el sistema. Como alternativa se propone la instalación e implementación de un sistema automático donde se realiza un control al flujo de alimentación y de entrega del equipo. Actualmente el equipo muestra una falla recurrente con una frecuencia alta a considerar. Esto se explica más adelante en el tema 9.

Tabla 34. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para básculas de baches.

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	FRECUENCIA (MENSUAL)	RECURSOS (HORA HOMBRE)
COD. F	COD. FF	COD. MF	H	S	E	O	S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
							N1	N2	N3				
4000	4100	4101	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspeccionar correcto funcionamiento de cada una de las 4 celdas de carga.	1	1
		4102	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspeccionar cableado eléctrico de las básculas periódicamente.	1	1
		4103	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspeccionar programación de la báscula, con ayuda de las pesas patrón	1	1
		4104	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspeccionar correcto funcionamiento de la báscula	1	1
		4105	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspeccionar correcto funcionamiento de la báscula, limpieza y reajuste de tablero eléctrico.	1	1
		4106	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspeccionar funcionamiento de sensor, realizando pruebas, realizar limpieza.	1	1
	4200	4201	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspeccionar estado de Ductos, realizar limpieza post operación.	1	1
		4202	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspeccionar estado de las láminas, realizar reparación una vez se detecte anomalía.	1	1
		4203	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Revisión de fugas de aire por mangueras o sellos.	1	1
		4204	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspeccionar funcionamiento de sensor, realizando pruebas, realizar limpieza.	1	1
		4301	S	N	N	S	N	N	N	Rediseño	Instalar sensores y báscula dinámica para que el operador pueda saber que el flujo de salida de la báscula debe ser mayor al flujo entrada.	N/A	Asignar Presupuesto.
		4302	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Revisión de fugas de aire por mangueras o sellos.	1	1
		4303	S	N	N	S	N	N	N	Rediseño	Cambiar programación en el Wincc, y pueda indicar que fallas presenta la báscula.	N/A	Asignar Presupuesto.
		4304	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspecciones periódicas de la válvula y revisión de apertura de los cilindros.	1	1

Tabla 35. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para transportadores de arrastre.

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	FRECUENCIA (MENSUAL)	RECURSOS (HORA HOMBRE)
COD. F	COD. FF	COD. MF	H	S	E	O	S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
							N1	N2	N3				
5000	5100	5101	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Verificar concentricidad de la brida de empalme de los cuerpos de los transportadores de arrastre.	1	1
		5102	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Revisar los tipos de tornillos, roscas empleadas, grado del tornillo, establecer rutinas de revisiones de desgaste de lámina.	1	1
		5103	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Se deben revisar la fijación de las láminas y el roce entre cadena-lámina.	1	1
		5104	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Inspección del espesor de la lámina, recubrir la lámina con anticorrosivo cada vez que se perciba corrosión, y programar recambio de lámina.	1	1

Para los transportadores de arrastre se obtiene como resultado tareas a condiciones, en las cuales se establecen rutinas de inspección diarias con el objetivo de visualizar componentes con desgastes excesivos que ameriten recambio, verificaciones de elongaciones de cadena de arrastre, deformaciones paletas y estado de láminas de los módulos.

Tabla 36. Hoja de decisiones y selección de tareas de mantenimiento para compresores de velocidades variables.

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	FRECUENCIA (MENSUAL)	RECURSOS (HORA HOMBRE)
COD. F	COD. FF	COD. MF	H	S	E	O	S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
6000	6100	6101	S	N	N	S				Tarea de Sustitución Cíclica	Establecer rutinas de revision y cambio de filtros (Cada 2000 horas o 1 año). Desmontar y limpiar el filtro previo de la unidad y cambiarlo si fuese necesario	Cada mes o 100 horas	1
		6102	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Establecer rutinas de revision y cambio de filtros	2	1
		6103	S	N	N	S	N	N	S	Tarea de Sustitución Cíclica	Establecer rutinas de revision y cambio de filtros (Cada 2000 horas o 1 año). Desmontar y limpiar el filtro previo de la unidad y cambiarlo si fuese necesario	Cada mes o 100 horas	1
		6104	S	N	N	S	S	N	N	Tarea a Condición	Establecer rutinas de lubricacion y analisis de vibraciones en el compresor, Cambio de tornillos según su desgaste.	2	1

Para los compresores de velocidades variables se establecerán tareas de sustitución cíclicas, las cuales van muy de la mano con las recomendaciones de fábrica, recambio en filtros, rodamientos, muestro de aceites entro otras actividades. Ver anexo 4.

9. PROPUESTA DE REDISEÑO PARA EL CONTROL DE FALLAS POR CAUSA DE LA SOBRECARGA

Después de realizar el análisis de fallas a los equipos del sistema granelero se encontró que la principal causa de fallas, es la sobrecarga.

Ilustración 27. Falla por sobrecarga en el transportador de arrastre de la bodega 6A.

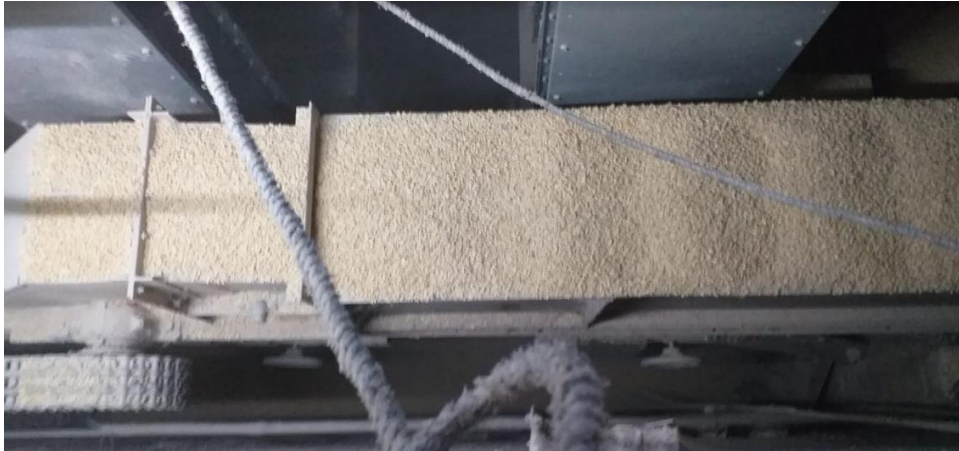


Ilustración 28. Fallas por sobrecarga en el elevador de bodega 6.



La sobrecarga en la operación de descargue, se da cuando se excede el flujo máximo que puede evacuar cada uno de los equipos del sistema granelero. Esto

puede ocurrir, como se vio en los diagrama de fallas, en equipos como transportadores de arrastre, elevadores de cangilones, bandas de muelles, ductos, y basculas. La sobrecarga se puede dar por varios motivos, los principales son:

- El operador abre los dosificadores de las tolvas de forma descontrolada.
- Existen cuerpos o elementos extraños generando obstrucción.
- El flujo de producto que ingresa a la báscula, es mayor que el flujo que ella puede evacuar.
- Los motores se encuentra con problemas de eficiencia.
- Los transportadores de arrastre no cuentan con las paletas suficientes.

Estos problemas son difícil de controlar dado, que el sistema cuenta con equipos encapsulados, los cuales no permiten constante supervisión, lo que le dificulta al operador conocer en qué punto se encuentra el nivel de llenado en los diferentes equipos.

Ilustración 29. Falla por sobrecarga en la banda externa de la bodega 7A.



Por ende se propone una idea de rediseño, el cual le permita al operador poder tomar control de los niveles en los que se encuentra los cuerpos de los equipos, abriendo o cerrando la boca de descarga de las tolvas, en el momento en que se detecte que se puedan detener los equipos por sobrecarga. Se plantea la

implementación de sensores de nivel dentro de los equipos, que le permitan conocer al operador como está el flujo, en qué nivel de saturación se encuentra, como están trabajando los motores respecto al consumo de energía, dado que existe una relación directa entre la sobrecarga, y el aumento del de la corriente, esto se debe a que el motor va a querer mover o combatir con la sobrecarga, y para hacerlo hace requerimiento de energía, presentando aumento de la corriente nominal.

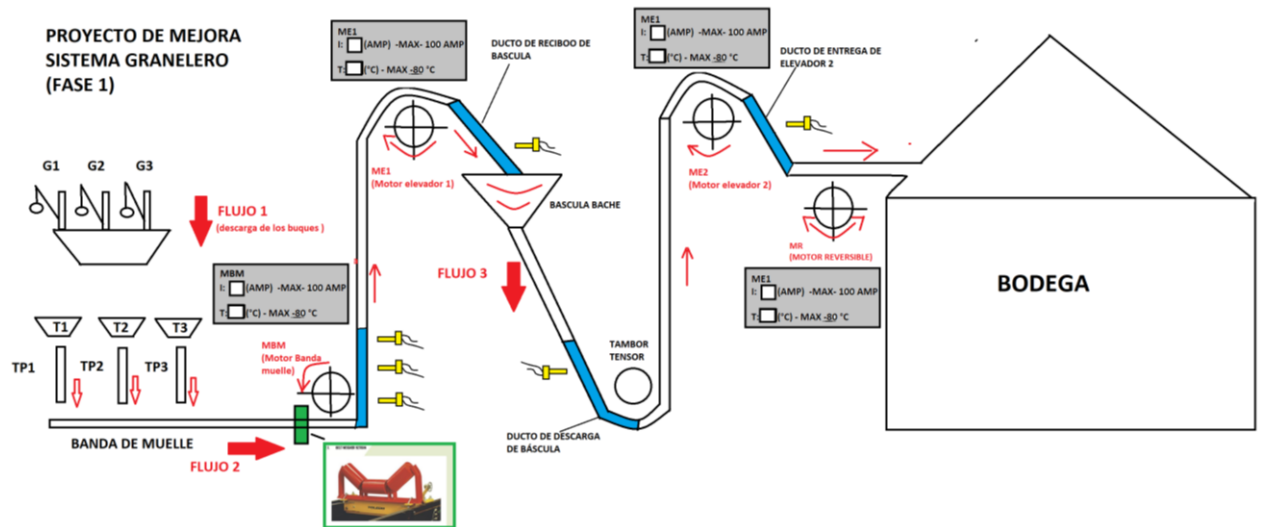
Actualmente, en ciertos momentos de la operación de descargue la báscula de bache se comporta como un cuello de botella, dado que por su diseño de descarga por bache, le resta continuidad al proceso, generando vacíos entre bache y bache, lo que ocasiona que el flujo aguas debajo de la báscula sea menor que el flujo que le entra, generando que el ducto se llene en un determinado tiempo, ocasionando que el producto comience a devolverse, hasta el punto que el elevador se llene, y el motor no sea capaz de vencer toda la carga que tiene que evacuar, permitiendo que este se dispare y se proteja por sobrecalentamiento o sobrecarga.

Las opciones de oportunidades que se tendrían con estas mejoras son:

- Control total de la operación en dos pantallas
- Monitoreo de variables de operación (rpm, corriente, presión, temperatura, posición) de los componentes principales (motores, reductor).
- Interfaz o software con alarmas de advertencia amarilla antes de llegar al límite máximo o mínimo de las variables monitoreadas, con funcionalidad de regulación de los parámetros de operación para una revisión del sistema sin detenerlo. De esta forma se evita la detención parcial o total de la línea.

En la siguiente ilustración se presenta el esquema de la propuesta de mejora, para controlar los problemas de sobrecarga.

Ilustración 30. Esquema del proyecto de mejora para el sistema granelero.



El proyecto consiste en instalar sensores de nivel a la entrada del primer elevador, ya sea de muelle 5 o muelle 6, para conocer el punto óptimo de la capacidad acumulada de producto que puede retener el elevador, antes de que se dispare. Esto enviaría la señal a la pantalla del operador, quien percibiría una alarma, y tomaría la decisión de disminuir las pulgadas de apertura de las cuchillas de las tolvas.

Además de esto, se propone la instalación de 7 módulos de comunicaciones en los arrancadores suaves de los 7 motores principales e interfaz y desarrollo Win CC, para realizar el monitoreo de las variables de los motores eléctricos, como, corriente (I-Amp) y temperatura (T-Temp). Programando alarmas de advertencias visibles en las pantallas del operador.

A continuación se muestra una tabla, donde se resume, los elementos que se necesitarían para implementar la propuesta, y un aproximado del presupuesto que se necesitaría para iniciar con el montaje del proyecto.

Ilustración 31. Proyecto de mejora sistema granelero.

ITEM	PROYECTO DE MEJORA SISTEMA GRANELERO (FASE 1)		
	Objetivo principal : Dotar de herramientas de Medición y alarmas a los operadores de sistema granelero, para que tengan el control y sincronización de la operación del sistema Granelero por medio el monitoreo y regulación de las variables principales, detectando anomalías antes de falla total , evitando detecciones y sobrecargas imprevistas en tolvas, banda, elevadores y transportadores.		
1	Instalación de 7 módulos de comunicaciones en los arrancadores suaves de los 7 motores principales e interfaz y desarrollo Win CC	Monitoreo de las variables de los motores eléctricos corriente (I-Amperaje) y temperatura (T-Temperatura). Alarmas de advertencias visibles en Winc CC	 \$20.000.000
2	Instalación de 2 básculas dinámicas en las bandas de muelle e interfaz y desarrollo de comunicación y visualización en WIN CC.	Determinar el flujo de la banda (TON/HR) flujo 2, antes de basculas y tener sincronización de los flujos y evitar sobrecargas Contar un sistema de pesaje(Back up) en caso de falla de las actuales basculas bache. Medir la rata de descarga de los buques (TON/HR) y Contar con dos mediciones comparativas de pesos acumulados para detectar error de pesajes.	 \$110.000.000
3	Instalación de sensores de Nivel en 4 ductos y elevador de cangilon e interfaz que genere alarma de advertencias en Software Wincc.	Evitar devolución de material y sobrecarga a los elevadores de cangilones cuando los flujos no estas sincronizados.	 \$15.000.000
Total			\$145.000.000

10. MANTENIMIENTO PREVENTIVO SISTEMA CARGUE A GRANEL

Al finalizar el análisis de los modos de fallas asociadas a cada falla funcional se detectan que la operación debe incluir y estandarizar sus listas de chequeos por condición, simplificar las frecuencias de los cambio cíclicos teniendo en cuenta datos históricos de fábrica adaptados a su contexto, no se tiene una claridad acerca de la criticidad de cada falla, por ende a continuación se plantea un mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad bajo la metodología RCM para el complejo granelero de la sociedad portuaria regional Barranquilla, como se explicó anteriormente el objetivo es aumentar confiabilidad y disponibilidad del puerto estandarizando tareas adaptadas al contexto operación de los equipos. Para los equipos: bandas de muelle, basculas de baches se mostraran una lista de chequeos, rutas de inspección y programas de recambios cíclicos, sin embargo se plantea en el capítulo siguiente un rediseño ya que el análisis indica que definitivamente para la falla funcional la alternativa más adecuada es mejorar los tiempos de entrega de producto, automatizando los flujos de entrada y salida para cada equipo.

10.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA BANDAS DE MUELLE

Tabla 37. Check List de la banda de muelle.

LISTA DE CHEQUEO DE MTTTO BANDAS DE MUELLE				
    		VR 01-2018		
EQUIPO:	FECHA:	TECNICO:		
ORDEN DE MANTENIMIENTO:			HOROMETRO:	
MANTENIMIENTO MENSUAL BANDAS DE MUELLE				
OPERACIONES	ESTADO			OBSERVACIONES
	BUENO	MALO	N/A	
Revisar sistema de encendido				
Revisar rigidez de la estructura				
Revisar estado de las bases concreto				
Revisar estado rodillos carga y arrastre				
Revisar niveles aceite reductor				
Revisar y Engrasar chumaceras/Rodamientos				
Revisar y Lubricar cadenas				
Revisar Estado de candado y eslabones				
Revisar estado de la banda				
Revisar estado de las pegas de la Banda				
Revisar conexiones electricas e Iluminacion				
Verificar fugas aceite en reductor visibles				
Revisar base Motor y Reductor				
Inspeccione termografia en tableros				
Revisar Guarda Cadena				
Verifique alineacion de los piñones				
Inspeccione estado del eje				
Verifique consumo nominal del motor				
Inspeccione magos de fijacion				
Verifique tensores del sistema				
Engrase rodamientos del motor				
Verifique termico				
Limpie caperuza del motor				
Inspeccione ventilador del motor				
Tome espectro del motoreductor				
MANTENIMIENTO PREVENT. CUATRIMESTRAL				
Cambio de Aceite al reductor				
Alinie rodillos de cabeza y cola				
Corte y pegue banda				
Cambio de rodamiento al motor				
BACKLOG				
FIRMA TÉCNICO		FIRMA ANALISTA QUIEN RECIBE:		

10.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA ELEVADORES DE CANGILONES

Tabla 38. Check List de elevadores de cangilones.

LISTA DE CHEQUEO DE MTTTO ELEVADORES DE CANGILONES				
    		VR 01-2018		
EQUIPO:	FECHA:	TECNICO:		
ORDEN DE MANTENIMIENTO:		HOROMETRO:		
MANTENIMIENTO MENSUAL ELEVADORES DE CANGILONES DEL SISTEMA GRANELERO				
	ESTADO			
OPERACIONES	BUENO	MALO	N/A	OBSERVACIONES
Revision sensores rotacion				
Revisar niveles aceite reductores				
Verificar fugas aceite en reductor y motor				
Revisar y Engrasar chumaceras				
Revisar y Lubricar cadenas				
Revisar Estado de candado y eslabones				
Revisar estado Cinta banda de Cangilones				
Revisar estado de las pegas de la Banda				
Revisar estado De lo Tambores del Elevador				
Revisar conexiones electricas e Iluminacion				
Revisar sistema apertura /cierre cuchillas, lubricar				
Revisar estado estructuras, Barandas y pisos				
Realizar Limpieza de los Motores electricos				
Revisar base Motores y Reductores				
Realizar Limpieza Interna de los elevadores				
Revisar estado correas elevadores(Tensionar)				
Limpieza tableros control				
Revisar estado cangilones y banda elevadores				
Realizar reposición de Cangilones				
Prueba funcionamiento Lock Out				
Prueba funcionamiento Cambia Vias				
MANTENIMIENTO PREVENT. TRIMESTRAL				
Medir aislamiento motores electricos				
Analisis Termograficos Motores y reductores				
Analisis Vibraciones motores y reductores				
BACKLOG				
FIRMA TÉCNICO		FIRMA ANALISTA QUIEN RECIBE:		

10.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TOLVAS GRANELERAS

Tabla 39. Check List de tolvas graneleras.

LISTA DE CHEQUEO TOLVAS GRANELERAS				
    		VR 01-2018		
EQUIPO:	FECHA:	TECNICO:		
ORDEN DE MANTENIMIENTO:			HOROMETRO:	
MANTENIMIENTO PREVENTIVO BIMENSUAL TGM'S				
OPERACIONES	ESTADO			OBSERVACIONES
	BUENO	MALO	N/A	
Revisar nivel de aceite reductor				
Revisar y Engrasar chumaceras				
Revisar y Lubricar cadenas				
Revisar Estado de candado y eslabones				
Revisar estado de barandas y pisos plásticos				
Revisar estado paletas cadenas arrastre				
¿Cuántas paletas hacen falta?				
Revisar Motores electricos				
Revisar estado base de Motor y Reductor				
Revisar conexiones eléctricas del Motor				
Revisar cierre del dosificador				
Engrasar Cambio Via de Tolva a Camión				
Revisar Estado de la estructura de la tolva				
Revisar láminas superiores de la tolva				
Revisar y engrasar Troque				
Revisar y calibrar llantas				
Revisar estado del Tiro y pines de las llantas				
Revisar los malacates de levante de las bases de apoyo				
Revisar los malacates de levante del moco				
Revisar Láminas de los Pisos del Transportador				
Revisar Rieles y rodamiento del Transportador				
MANTENIMIENTO PREVENT. SEMESTRAL				
Analisis Termograficos Motores y reductores				
BACKLOG				
FIRMA TÉCNICO		FIRMA ANALISTA QUIEN RECIBE:		

10.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA BASCULAS DE BACHES

Tabla 40. Check List de las básculas de bache.

LISTA DE CHEQUEO BASCULAS DE BACHE				
    		VR 01-2018		
EQUIPO:		FECHA:	TECNICO:	
ORDEN DE MANTENIMIENTO:		HOROMETRO:		
MANTENIMIENTO MENSUAL BASCULAS BACHE DEL SISTEMA GRANELERO				
OPERACIONES	ESTADO			OBSERVACIONES
	BUENO	MALO	N/A	
Revision estado mangueras Neumaticas				
Revisar Fugas de Aire en mangueras y racores.				
Estado de las valvulas de corte				
Revisar y Engrasar chumaceras				
Revisar estado estructuras y pisos				
Revisar conexiones electricas e Iluminacion				
Revisar sistema apertura /cierre cuchillas, lubricar				
Revisar Ajuste General de Tornillería				
Revisar y ajustar el cepillo barredor según desgaste				
Verificar Posición compuerta radial para que no presente fugas de producto.				
Revisar Estructura de apoyo de las celdas de carga				
Revisar si hay humedad en Caja sumadora, realizarle limpieza				
Realizar Limpieza a las Celdas de Carga				
Revisar Conexiones electricas de las celdas de carga				
Configure la unidad de mantenimiento para dosificar una gota de aceite cada diez ciclos. Rellene periódicamente el vaso con aceite de baja densidad (SAE 10).				
Si necesita lavar las electroválvulas, desconéctelas, desmóntelas y lávelas con agua y jabón; luego lubríquelas de nuevo con aceites de baja densidad.				
Chequee la efectividad de los switches límites.				
Chequee la presión del aire comprimido en los manómetros de los reguladores del sistema neumático				
Prueba funcionamiento Lock Out				
MANTENIMIENTO PREVENT. SEMESTRAL				
Cambiar Cepillo barredor Long: 1040 mm Ref: AG1375-850				
Cambiar Empaquetaduras a los Cilindros Internos				
Cambiar Empaquetaduras a los Cilindros de las Pesas Patrón.				
BACKLOG				
FIRMA TÉCNICO		FIRMA ANALISTA QUIEN RECIBE:		

10.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TRANSPORTADORES DE ARRASTRE

Tabla 41. Check List de os transportadores de arrastre.

LISTA DE CHEQUEO DE MTTT TRANSPORTADORES DE ARRASTRE				
   		VR 01-2018		
EQUIPO:	FECHA:	TECNICO:		
ORDEN DE MANTENIMIENTO:			HOROMETRO:	
MANTENIMIENTO MENSUAL TRANSPORTADORES DE PALETA SISTEMA GRANELERO				
OPERACIONES	ESTADO			OBSERVACIONES
	BUENO	MALO	N/A	
Revisar sistema de encendido				
Revision sensores rotacion				
Revisar Funcionamiento de Motor y Reductor				
Revisar niveles aceite reductor				
Revisar y Engrasar chumaceras/Rodamientos				
Revisar y Lubricar cadenas				
Revisar Estado de candado y eslabones				
Revisar conexiones electricas e Iluminacion				
Verificar fugas aceite en reductor y motor				
Revisar Estado de Engranajes de transmisión				
Revisar Estado de la Catalina de la cadena				
Revisar de los acoples de transmisión				
Revisar estado de las guías y soporte de la cadena				
Revisar Estado de las paletas Nylon, Cantidad Faltantes				
Revisar base Motor y Reductor				
Limpieza tableros control				
Revisar estado del motor eléctrico				
Revisar estado de apertura/cierre cuchillas				
Revisar Guarda Cadena				
Revisar Cables de conexiones				
Revisar Estado de sensores de Proximidad cuchillas				
Revisar estado de los tensores de tornillo				
Revisar estado de las tapas de la banda				
Revisar Estado de las mangueras neumáticas				
Revisar Estado de las paradas de emergencia				
Revisar Estado de las Racores neumáticos				
Revisar estado de los rieles del carro				
Revisar sistema de levante del retractil				
Revisar valvulas de aire de la pasarela				
Revisar Estado de pasarelas y pisos plasticos				
MANTENIMIENTO PREVENT. TRIMESTRAL				
Medir aislamiento motores electricos				
Analisis Termograficos Motores y reductores				
Analisis Vibraciones motores y reductores				
BACKLOG				
FIRMA TÉCNICO		FIRMA ANALISTA QUIEN RECIBE:		

10.6 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA COMPRESORES DE VELOCIDAD VARIABLE

Tabla 42. Check List de los compresores del sistema.

LISTA DE CHEQUEO COMPRESORES VELOCIDAD VARIABLE				
   				
EQUIPO:		FECHA:	TECNICO:	
ORDEN DE MANTENIMIENTO:				
MANTENIMIENTO COMPRESORES DE VELOCIDAD VARIABLE				
OPERACIONES	ESTADO			OBSERVACIONES
	BUENO	MALO	N/A	
Verifique e identifique fugas visibles				
Tome espectro de vibraciones al motor				
Verifique estado del filtro previo				
Verifique indicador de filtro de aire				
Verifique nivel de refrigerante				
Inspeccione y verifique estado de las correas				
Verifique estado del blower				
Verifique estado de valvula solenoide principal				
Accione y verifique actuador de valvula termoestatica				
Inspeccione tablero de mando				
Inspecciones tanque separador y /o control				
Verifique transmisor de presion diferencial				
Verifique valvula de descarga				
Tome espectro de vibraciones al cabezote tornillo				
Inspeccione estructura y tapas del compresor				
Inspeccione corriente nominal motor				
Pulse SET y visualice la panel				
Verifique sensor de presion				
Verifique sensor de temperatura				
MANTENIMIENTO PREVENT. TRIMESTRAL				
Engrasar cojinetes del motor				
Cambiar aceite al compresor				
Cambio filtros al compresor				

11. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología de mantenimiento centrada en confiabilidad “RCM” planteada, le permite al departamento de mantenimiento del sistema granelero garantizar una disponibilidad y confiabilidad óptima para la operación, evitando paradas prolongadas y no programadas, optimizando los recursos, actividades y horas hombres en las tareas de mantenimiento, dado que se priorizaran los equipos críticos.

Con la revisión de la base de datos de fallas en los equipos del sistema granelero se encontró, que la falla más recurrente es la sobrecarga, la cual está generando el mayor número de horas de paradas en la operación.

El análisis de criticidad presentado establece las criticidades de cada uno de los activos que conforman el complejo granelero de la sociedad portuaria regional barranquilla, determinando y priorizando que tipo de tareas de mantenimiento se deben ejecutar, con qué frecuencia y en qué momento. Se encontró que los equipos más críticos son las bandas de muelle, las basculas de bache y los compresores, que son los equipos en los que hay que enfocar los esfuerzos y ser más estrictos en las tareas de monitoreo y reacondicionamiento cíclicos.

Con la metodología desarrollada en esta monografía, se definieron las funciones de los diferentes activos en su contexto operacional. Con ayuda de la base de datos extraída de SAP, se revisaron y actualizaron los catálogos de fallas de los equipos. Además se examinaron los síntomas y causas de los diferentes modos de falla que presentan los equipos críticos del sistema granelero de SPRB, Con ayuda del diagrama de decisión, se evaluaron los planes de mantenimientos preventivos actuales de todos los equipos y se realizan actualizaciones en los Check list de inspección basados en fallas más recurrentes encontradas, de esta

forma se determinaron las tareas o actividades que se deben ejecutar para prevenir las fallas.

Como valor agregado se plantea un rediseño el cual podrá mejorar enormemente la falla funcional más reiterativa presentada, la sobrecarga. Se muestra un diseño basado en la automatización del proceso de descargue, haciendo un control en el flujo de entrada y de entrega a las básculas de baches permitiendo mantener la capacidad en el sistema, mejorar tiempos de descargue y evitar retrasos que tanto golpean a los costos de operación, aumentando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR LEÓN, Mauricio. Principios de Mantenimiento, Memorias especialización gerencia de mantenimiento. Bucaramanga; UIS Pág. 1.
- ALDO GAROFOLI, JORGE GAROFOLI. Elevadores a cangilones de descarga centrífuga. pérdidas ocasionadas por problemas de diseño. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. Vol. 18, N.º 2, pp. 55-67, 2014.
- BORRAS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga; UIS Pág. 23.
- BORRAS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga; UIS Pág. 1.
- DÍAZ DELGADO, Deuel. Diseño de las cadenas de tracción del transportador de rastrillos para el acarreo de mineral laterítico reducido. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. República de Cuba. Tesis pregrado. Pág. 5: 9.
- H. PAUL BARRINGER, de Barringer & Associates. DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y CAPACIDAD. Pág. 5
- HUERTA MENDOZA R. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Ponencia recibida para ser presentada en el 2º Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, ISPJAE, Ciudad de la Habana, Septiembre 2000.
- H. PAUL BARRINGER, de Barringer & Associates. DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y CAPACIDAD. Pág. 2:3
- IDENTIFICACION PESAJE Y CONTROL. Especialistas en Básculas, Balanzas, Sistemas de pesaje e Identificación. México D.F. 5 de abril de 2019. Disponible en: <http://www.ipc.com.mx/pi-basculas-paso-y-bacheo.html>

- JACOME, Viviana- PIÑERES, Jesus, 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.
- JARAMILLO, Jorge E. & CIA. Integradores de soluciones industriales PESAPACK. Manizales, Colombia. 5 de abril de 2019. Disponible en: <http://jjycia.com/PESA-PACK>
- MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon LLC, 2004.
- PINO REYNA, Jeibel. Simulación de la descarga del elevador de cangilones del sistema de transportación de azúcar refino del ingenio “Chiquitico Fabregat”. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas Facultad de Ingeniería Mecánica. Santa Clara. Pág. 5:13.
- PÉREZ J. Carlos Mario, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM), Por John Moubray, traducido y adaptado. Pág. 1:3
- PUERTO DE BARRANQUILLA SOCIEDAD PORTUARIA, Datos del Movimiento de Carga en el terminal, Datos en línea, disponible en: <http://www.puertodebarranquilla.com/index.php/movimiento-de-carga/>
- RODRIGO A. GÓMEZ M.1 & CORREA Alexander A. Análisis de implementación de sistemas de bandas transportadoras en patios de almacenamiento en empresas de minería de carbón con simulación discreta y diseño de experimentos. Medellín; Universidad Nacional de Colombia. pág. 61.
- SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999.
- SILVA, Pedro Eliseo. Mantenimiento en 3D, Mantenimiento en Latinoamérica Volumen 3, la revista para la gestión de activos. Junio 2011