

Universidad Católica de Santa María
Escuela de Postgrado
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento



**“IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM), AL SHIPLOADER DE MINERALES DEL
MUELLE “F”, DE LA EMPRESA TERMINAL INTERNACIONAL DEL
SUR (TERMINAL PORTUARIO DE MATARANI)”**

Tesis presentada por el Bachiller:

Paredes Torres, Paul Fernando

Para optar el Grado Académico de:

Maestro en Ingeniería de Mantenimiento

Asesor:

Dr. Ticse Villanueva, Edwing

Arequipa – Perú

2018

INFORME

A : Dr. Hugo Tejada Pradell
Director de Posgrado de la UCSM

De : Dr. Marco Antonio LLaza Loayza
Jurado Dictaminador

Asunto : Dictamen Proyecto de tesis para el grado de Maestro
Sr. Paredes Torres, Paul Fernando.

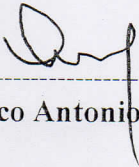
Fecha : 27 de junio de 2018

Es grato dirigirme a usted con la finalidad de hacerle llegar el dictamen favorable de la tesis "Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) al Shiploader de minerales del muelle "F", de la empresa terminal internacional del Sur (Terminal Portuario de Matarani)". Presentado por el Sr. Paredes Torres, Paul Fernando.

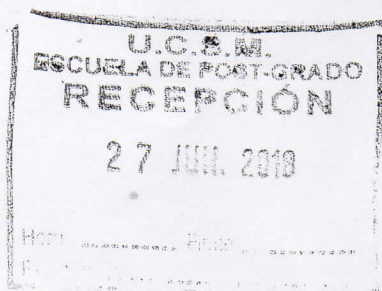
Por lo que considero que se encuentra apto para sustentación.

Es todo cuanto informo, para los fines pertinentes.

Atte.



Dr. Marco Antonio Llaza Loayza



Informe 016-2018

De: Ing. Edwing Ticse Villanueva
A: Dr. Hugo Tejada Pradell
Director de la Escuela de Post Grado de la UCSM
Asunto: Borrador de tesis del Bachiller Paul Fernando Paredes Torres
Fecha: 13-06-2018


Mediante la presente manifiesto que se ha revisado el Borrador de Tesis del Sr. **Paul Fernando Paredes Torres** titulado:

Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), al shiploader de minerales del muelle F de la Empresa Terminal Internacional del Sur (Terminal portuario de Matarani)

Luego de analizarlo se dá por **APROBADO** dicho borrador de Tesis

Agradeciendo la atención prestada a la presente, le expreso a usted mis sentimientos de estima personal.

Atentamente



Ing. Edwing Ticse V.
Código 1341

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 02 de julio de 2018

Señor Doctor
Hugo Tejada Pradell
Director de la Escuela de Postgrado de la Universidad Católica de Santa María
Ciudad.-

De mi consideración:

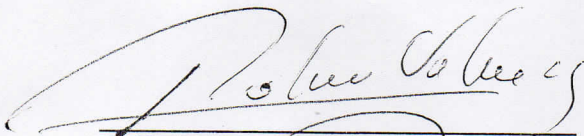
Dictamen sobre el Borrador de Tesis de Maestría titulado "IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM), AL SHIPLOADER DE MINERALES DEL MUELLE "F", DE LA EMPRESA TERMINAL INTERNACIONAL DEL SUR (TERMINAL PORTUARIO DE MATARANI)", presentado por el Bachiller PAREDES TORRES, Paul Fernando, con el que pretende optar el grado académico de MAESTRO EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO.

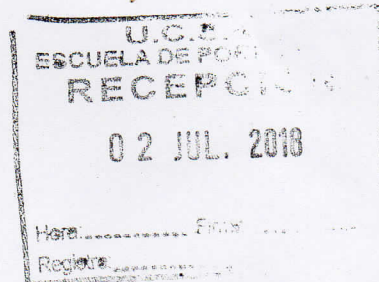
Al respecto el dictamen es:

APROBADO SIN OBSERVACIONES

Siendo todo lo que tengo que informar.

Atentamente,


Dr. Ing. Rolandi M. Valencia Becerra
COD. 1780





Dedicado a las personas más importantes de mi vida, mi familia, haciendo mención especial a mis padres (Inés y Benito) y a mi pequeña Macarena, a los cuales les debo todo lo que he podido alcanzar hasta este momento de mi vida profesional. Que este trabajo de investigación, sirva para el desarrollo del interés de estudio de los que nos siguen.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo el presentar una metodología eficiente de mantenimiento, para el sistema de embarcador de mineral para barcos o denominado de ahora en adelante como Shiploader, enfocado en evitar la ocurrencia de fallas, que afecten al medio ambiente, seguridad de las personas y entorno, costos y operatividad del sistema de transporte de minerales del Muelle “F” del Terminal Portuario de Matarani.

La metodología propuesta es la del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), la cual busca lograr de la compañía, los activos y del personal; mayor seguridad e integridad ambiental, mejor funcionamiento operacional, mayor costo-eficacia, mayor vida útil de los activos y un mejor trabajo en equipo. La metodología del RCM formula siete preguntas sobre el activo o el sistema, las cuales son desarrolladas minuciosamente en el transcurso de los posteriores capítulos, las cuales al ser respondidas irán formulando el plan de mantenimiento preventivo ideal para el Shiploader, con el único objetivo de que no se susciten fallas inesperadas al sistema.

Finalmente los logros obtenidos con la aplicación del RCM, son cuantificados y ejemplificados en los planes de mantenimiento (PM's) que se aplicarán en el Shiploader.

Palabras clave: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Shiploader, alta disponibilidad

ABSTRACT

The objective of this work is to present an efficient methodology of maintenance, for the shipper mineral system (called as Shiploader), focus in avoid failures, that makes damage in the environment, people's safety, costs and the operativity of the system of mineral of the Dock "F" from the Port Terminal of Matarani (TPM).

The Maintenance Centered in the Reliability (RCM) is the proposed methodology, which looks for the benefits of the company, asset and the human resource, safer and the environmental integrity, better operational performance, a better ratio of cost-effectiveness, longer asset's useful life and a better work team. The methodology of the RCM makes seven questions about the asset or the system, which are developed minutely in the course of the next chapters, which upon being answered will be making the ideal preventive maintenance for the Shiploader, with the only objective to not have unexpected failures at the system.

Finally the done achievements with the application of RCM, are quantified and showed in the maintenance preventive plan (PM's) that will be applied in the Shiploader.

Keywords: Maintenance Centered in the Reliability, Shiploader, high availability.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I: PLANEAMIENTO OPERACIONAL	1
1.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 IDENTIFICACIÓN (PROBLEMA, OPORTUNIDAD)	1
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.4 OBJETIVO DEL ESTUDIO	2
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.4.2 OBJETIVO SECUNDARIO	2
1.5 OBJETIVO DEL PROYECTO	3
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.6 HIPÓTESIS	3
1.7 TIPO DE INVESTIGACIÓN	4
1.8 JUSTIFICACIÓN	4
1.8.1 ASPECTO GENERAL	4
1.8.2 ASPECTO TECNOLÓGICO	4
1.8.3 ASPECTO SOCIAL	5
1.8.4 ASPECTO ECONÓMICO	5
1.9 VARIABLES DEL PROYECTO	5
1.9.1 VARIABLE INDEPENDIENTE	5
1.9.2 VARIABLE DEPENDIENTE	5
1.10 CUADRO DE VARIABLES	6
1.11 MÉTODO A APLICAR	7
 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	 8
2.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	8

2.1.1 PRIMERA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO	9
2.1.2 SEGUNDA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO	9
2.1.3 TERCERA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO	10
2.1.4 CUARTA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO.....	11
2.2 MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL Y LA GESTIÓN DE ACTIVOS	12
2.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)	14
2.3.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL RCM.....	15
2.3.2 METODOLOGÍA DEL RCM.....	16
2.3.3 CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO	17
2.3.4 CONTEXTO OPERACIONAL	18
2.3.5 DEFINICIÓN DE FUNCIONES	19
2.3.6 JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS	21
CAPITULO III: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS ACTUAL.....	26
3.1 DESCRIPCIÓN DEL TERMINAL PORTUARIO DE MATARANI	26
3.2 DESCRIPCIÓN DEL MUELLE “F”	27
3.3 IDENTIFICACIÓN DEL ACTIVO A ANALIZAR	29
3.3.1 APLICACIÓN DEL MODELO DE CRITICIDAD AHP.....	30
3.3.2 ENTENDIMIENTO DEL SHIPLOADER	43
3.3.3 TAXONOMÍA DEL ACTIVO	44
3.3.3.1 TRAVEL (SISTEMA DE RECORRIDO)	44
3.3.3.1.1 REMOLQUES DE DOS RUEDAS	45
3.3.3.1.2 MOTOREDUCTORES	45
3.3.3.1.3 BLOQUEOS DE SEGURIDAD.....	46
3.3.3.1.4 AMORTIGUADORES HIDRÁULICOS	46
3.3.3.1.4 ABRAZADERAS DE SUJCECIÓN AL CARRIL.....	46
3.3.3.2 SISTEMA DE LEVANTE.....	47
3.3.3.2.1 WINCHE.....	47
3.3.3.2.2 ELECTROFRENO HIDRÁULICO	48
3.3.3.2.3 CABLE DE ACERO GALVANIZADO.....	49
3.3.3.3 FAJA TRANSPORTADORA (BOOM).....	49

3.3.3.3.1 UNIDAD DE ACCIONAMIENTO	49
3.3.3.3.2 POLEAS.....	50
3.3.3.3.3 BANDA TRANSPORTADORA.....	51
3.3.3.3.4 RASPADOR DE BANDA (LIMPIADOR)	51
3.3.3.3.5 RODILLOS	52
3.3.3.3.6 CAMA DE IMPACTO.....	53
3.3.3.4 CARRO DE SHUTTLE.....	53
3.3.3.4.1 MOTOREDUCTOR.....	54
3.3.3.4.2 CADENAS & SPROCKETS	54
3.3.3.4.3 RUEDAS	55
3.3.3.4.4 RAIL CLAMP O ABRAZADERAS DE SUJECCIÓN AL CARRIL	55
3.3.3.5 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	56
3.3.3.5.1 BOMBA P250.....	56
3.3.3.5.2 SISTEMA DE MANGUERAS.....	57
3.3.3.6 TUBO DE DESCARGA.....	57
3.3.3.6.1 CHUTE DE DESCARGA.....	58
3.3.3.6.2 PÉNDULO	58
3.3.3.6.3 SISTEMA DE GIRO	59
3.3.3.7 SISTEMA ELÉCTRICO & INSTRUMENTAL.....	60
3.3.3.7.1 SENSORES & SWITCHES.....	61
3.3.3.7.2 SISTEMA DE BLOQUEO	62
3.3.3.7.3 ALARMAS DE EMERGENCIA	62
3.3.3.7.4 SISTEMA DE CONTROL	62
CAPITULO IV: PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DEL RCM.....	64
4.1 CONTEXTO OPERACIONAL DEL SHIPLOADER	64
4.2 DEFINICIÓN DE FUNCIONES DEL SHIPLOADER	66
4.3 IMPLEMENTADORES DEL RCM	67
4.4 ANÁLISIS DEL RCM.....	68
4.4.1 ANÁLISIS MODO EFECTO DE FALLA (AMEF).....	68
4.4.2 DIAGRAMA Y HOJA DE DECISIÓN DEL RCM.....	69

4.4.3 DESARROLLO DEL MODELO RCM	72
4.4.4 VENTAJAS COMPLEMENTARIAS DEL RCM	81
 CAPITULO V: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	 84
5.1 INDICADORES DE MANTENIMIENTO ACTUALES	84
5.2 BENCHMARKING EN MANTENIMIENTO	87
5.3 ANÁLISIS ECONÓMICO	88
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 92
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	93
 ANEXOS	
I PLAN DE LUBRICACIÓN DEL SHIPLOADER	94
II HISTORIAL DE FALLAS DEL MUELLE F	98
III PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SHIPLOADER	101
IV RESUMEN GENERAL DE DATOS TÉCNICOS DEL SHIPLOADER	104
 GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES	 109
 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	 110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Evolución de las Técnicas de Mantenimiento	9
Figura 2.2. Evolución de los Modos de Falla	11
Figura 2.3. Enfoque y Contexto del Negocio en relación a las Categorías de Activos	14
Figura 2.4. Típico grupo de revisión RCM	18
Figura 2.5. Margen de Deterioro	20
Figura 2.6. Modelo AHP para Jerarquizar Sistemas	23
Figura 3.1. Disposición General Bahía Matarani	27
Figura 3.2. Sistemas de Recepción, Almacenamiento y Embarque de Minerales	28
Figura 3.3. Taxonomía del Shiploader – Muelle “F”	44
Figura 3.4. Ubicación del Winche	48
Figura 3.5. Faja Transportadora Shiploader	49
Figura 3.6. Reductor Sew Eurodrive X3KH140	50
Figura 3.7. Distribución de poleas en Faja Boom	50
Figura 3.8. Raspador Primario y Secundario	51
Figura 3.9. Configuraciones de rodillos en Faja Boom SL	52
Figura 3.10. Cama de Impacto Faja Boom	53
Figura 3.11. Bloque de Ruedas del Shuttle	55
Figura 3.12. Rail Clamp del Shuttle	55
Figura 3.13. Arreglo de mangueras del Sistema de Lubricación	57
Figura 3.14. Péndulo de Descarga	59
Figura 4.1. Diagrama de Decisiones del RCM	70
Figura 4.2. Hoja de Decisión del RCM	71
Figura 4.3. Cadena de Valor de Mantenimiento actual	82
Figura 4.4. Cadena de Valor de Mantenimiento propuesta	83

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍA

Fotografía 3.1. Shiploader – Muelle “F”	43
Fotografía 3.2.. Sistema de Recorrido del Shiploader	45
Fotografía 3.3. Motoreductores del Travel	46
Fotografía 3.4. Sistema de Levante del Shiploader.....	47
Fotografía 3.5. Configuración de Cadenas & Sprockets del Shuttle	54
Fotografía 3.6. Bomba de Lubricación P250.....	56
Fotografía 3.7. Chute de Descarga	58
Fotografía 3.8. Funcionamiento del Sistema de Giro	60



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Cuadro de Variables.....	6
Tabla 2.1. Escala de Importancia Relativa	24
Tabla 2.2. Valores de RI para Matrices.....	25
Tabla 3.1. Lista de Equipos – Muelle F	30
Tabla 3.2. Criterios de Frecuencia de Fallos FF	32
Tabla 3.3. Criterios de Detección de Fallos DF.....	32
Tabla 3.4. Criterios de Severidad de Fallos SF.....	33
Tabla 3.5. Criterios de Costes de Fallos CF.....	33
Tabla 3.6. Comparación Apareada de los Criterios de Jerarquización.....	34
Tabla 3.7. Jerarquización por Criterio de Frecuencia de Fallos	35
Tabla 3.8. Jerarquización por Criterio de Detección de Fallos	36
Tabla 3.9. Jerarquización por Criterio de Severidad de Fallos	37
Tabla 3.10. Jerarquización por Criterio de Costes de Fallos	38
Tabla 3.11. Cálculo de pesos por criterio	39
Tabla 3.12. Cálculo de n max	40
Tabla 3.13. Jerarquización Final	41
Tabla 3.14. Criticidad de Activos – Muelle F.....	42
Tabla 3.15. Desarrollo de Taxonomía del Shiploader – Muelle “F”	44
Tabla 3.16. Taxonomía del Sistema de Recorrido.....	45
Tabla 3.17. Taxonomía del Sistema de Levante	47
Tabla 3.18. Taxonomía de la Faja Transportadora Shiploader	49
Tabla 3.19. Taxonomía del Carro Shuttle	53
Tabla 3.20. Taxonomía del Sistema de Lubricación	56
Tabla 3.21. Taxonomía del Tubo de Descarga	57
Tabla 3.22. Taxonomía del Sistema Eléctrico & Instrumental	60
Tabla 4.1. Factores del Contexto Operacional	65
Tabla 4.2. Elaboración del AMEF para el Shiploader.....	76
Tabla 4.3. Elaboración de la Hoja de Decisión para el Shiploader	80
Tabla 5.1. Indicadores de Mantenimiento – Mantenimiento Minerales 2018	84

Tabla 5.2. Indicadores obtenidos en el período 2017	85
Tabla 5.3. Histórico de Fallas 2017 – Sistema de Embarque	86
Tabla 5.4. Benchmarking de Indicadores.....	87
Tabla 5.5. Análisis de Flujo de Caja.....	90



LISTA DE ABREVIATURAS

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)
Terminal Portuario de Matarani (TPM)
Análisis Modo Efecto de Falla (FMEA)
Mantenimiento Preventivo (PM)
Mantenimiento Predictivo (PMd)
Indicadores de Gestión (KPI's)
Tiempo Promedio Entre Fallas (MTBF)
Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR)
Horas Hombre (HH)
Indicador de Confiabilidad (Rt)
Indicador de Disponibilidad (D %)
Organización Internacional de Normalización (ISO)
Agencia Federal de Aviación (AFA)
Análisis de Criticidad de Procesos (AHP)
Índice de Consistencia (CI)
Valor aleatorio promedio para una matriz $n \times n$ (RI)
Inversiones en Bienes Captales (CAPEX)
Frecuencia de Fallos (FF)
Detección de Fallos (DF)
Severidad de los Fallos (SF)
Costos de los Fallos (CF)
Aceite Sintético 220 (CLP220)
Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (OHSAS)
Sistemas de Aplicaciones y Procesos (SAP)
Valor Actual Neto (VAN)

CAPÍTULO 1 PLANEAMIENTO OPERACIONAL

1.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM), AL SHIPLOADER DE MINERALES DEL MUELLE “F”, DE LA EMPRESA TERMINAL INTERNACIONAL DEL SUR (TERMINAL PORTUARIO DE MATARANI).

1.2 IDENTIFICACIÓN (PROBLEMA, OPORTUNIDAD).

El presente estudio constituye un proyecto de implementación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el cual da a conocer el valor agregado que se tiene con la aplicación de esta metodología en la gestión de mantenimiento de Tisur (Terminal Internacional del Sur), la misma que busca principalmente garantizar la disponibilidad y confiabilidad del sistema, erradicando las fallas no programadas. La aplicación se da en el Shiploader de minerales del Muelle “F” del Terminal Portuario de Matarani (TPM), el RCM es aplicado en este activo, pues se trata del activo más crítico que se tiene en la cadena de transporte del mineral del Muelle “F”, esta afirmación de criticidad es desarrollada con detalle en los capítulos posteriores.

Con el desarrollo exitoso de las actividades mineras en nuestro país, implica que cada vez los procesos colaterales de las mineras sean igual de fiables y eficientes tal como son ellas mismas; para este caso el embarque de mineral específicamente hablando el concentrado de cobre, es una actividad que debe desarrollarse en las circunstancias establecidas sin ningún inconveniente que signifique un atraso para el titular minero.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Para efectos de obtener un desarrollo de las operaciones de embarque con un nivel altamente disponible y confiable, se plantea modificar la estrategia actual de mantenimiento por un plan de mantenimiento RCM, obteniendo así sistemas perfectamente confiables que garanticen la confianza de las operaciones. En el Perú existen empresas del sector minero, petróleo, gas, marítimo y otras del rubro industrial que han implementado satisfactoriamente el RCM dentro de su metodología de mantenimiento en sus equipos críticos, obteniendo los siguientes logros:

- Mayor seguridad e integridad ambiental.
- Mejor funcionamiento operacional.

- Mayor costo-eficacia del mantenimiento.
- Mayor vida útil de los activos.
- Una base de datos global.
- Mayor motivación del personal.
- Un mejor trabajo en equipo.

Con este precedente resulta conveniente tomar como benchmarking la aplicación del RCM para Tisur, con el fin de ofrecer a sus 03 clientes mineros (Cerro Verde, Las Bambas y Antapaccay) el servicio de embarque de mineral confiable y seguro que esperan.

El Muelle “F” de Tisur, es un muelle netamente direccionado a embarcar concentrado de cobre de los 03 clientes mineros citados en el párrafo anterior, lo cual genera que por año se tenga una expectativa en promedio de embarque de 9, 000,000 TM de cobre. Cifra que compromete más aún a que el sistema de embarque se presente sin eventos no deseados durante su operación.

Con el reto de transportar millones de toneladas de cobre, se dispone a cambiar el concepto del mantenimiento tradicional por el del centrado en la confiabilidad.

Mantenimiento: Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan.

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: 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.

1.4 OBJETIVO DEL ESTUDIO.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

Aplicar la metodología de mantenimiento RCM, utilizada en el Shiploader del Muelle “F” de la empresa Terminal Internacional del Sur (Tisur).

1.4.2 OBJETIVO SECUNDARIO.

Lograr analizar a detalle las bondades que se pueden obtener con la aplicación del RCM en el Shiploader del Muelle F de la empresa Tisur, obteniéndose como estudio la identificación de las mejoras en disponibilidad y confiabilidad, colateralmente también se identifican las mayores precauciones en el cuidado de las personas, contaminación del medio ambiente, y ahorro tangible de los costos de mantenimiento.

1.5 OBJETIVO DEL PROYECTO.

1.5.1 OBJETIVO GENERAL.

1. Implementar el Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en el Shiploader del Muelle “F” de la empresa Terminal Internacional del Sur (Tisur).

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Identificar los equipos más críticos que conforman el Muelle “F”, de tal manera que se puedan centralizar los esfuerzos de las acciones de mantenimiento en los equipos más críticos.
2. Desarrollar taxonomía del activo más crítico, sirviendo como fuente de información técnica para supervisores y técnicos de mantenimiento.
3. Elaborar el análisis de modo efecto de falla (FMEA – Failure Mode Effects Analysis), con el fin de definir los modos de falla que puedan afectar al activo, logrando el mapeo de las posibles causas que puedan generar paradas no programadas en el Shiploader.
4. Plantear cuales serían las nuevas actividades PM o PMd a ser consideradas en el nuevo plan de mantenimiento, que surgen a raíz de las recomendaciones obtenidas del RCM.
5. Cuantificar los valores mejorados de MTBF y MTTR con la aplicación del RCM en el Shiploader.
6. Establecer las mejores conexas en el proceso interno de mantenimiento de Tisur con la aplicación del RCM, pues se deben definir los input adicionales dentro de la Cadena de Valor de Mantenimiento.
7. Definir bajo un enfoque financiero cuál sería el ahorro en US\$, con la aplicación de la metodología RCM en el Shiploader.

1.6 HIPÓTESIS.

Es factible técnica y económicamente la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM en el Shiploader del Muelle “F” de la empresa Terminal Internacional del Sur (Tisur), puesto que el informe concluye en que la disponibilidad y confiabilidad del sistema se ven incrementadas, esto termina sopesando la inversión inicial que se pueda hacer.

1.7 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación es descriptiva, la cual reseña las características y la situación del objeto de estudio, se aplican métodos cualitativos y cuantitativos, pues se analiza el histórico de la información obtenida.

Además cabe decir que también es de tipo experimental, debido a que persigue una utilización inmediata de los conocimientos obtenidos, logrando resultados tangibles y sostenibles para la empresa.

1.8 JUSTIFICACIÓN.

El proyecto se propone implementar el Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM, para asegurar la disponibilidad y confiabilidad del Shiploader en las operaciones de embarque de minerales, reafirmando esta necesidad ante las exigencias establecidas por las compañías mineras para el transporte del mineral.

1.8.1 ASPECTO GENERAL.

Mejorar las estrategias de mantenimiento actuales, las cuales no resultan ser las más eficientes y eficaces para el activo; sobre esto se tienen los siguientes puntos:

- Falta de definición de las actividades de mantenimiento más idóneas a ser ejecutadas, en los tiempos programados para PM's.
- Carencia en el manejo de una fuente de información confiable, en la cual se tengan mapeados los modos de falla que puedan simbolizar riesgo la operatividad del activo.
- No se cuenta con estrategias de mantenimiento que aporten a un mayor tiempo de vida útil de los componentes principales del activo.
- Ausencia de una metodología de mantenimiento eficaz que permita lograr mejores resultados en disponibilidad y confiabilidad del activo.
- Necesidades operativas cada vez más exigentes, que obligan a contar con sistemas que ofrezcan cada vez mejores niveles de confiabilidad, optando así por la aplicación de estrategias de mantenimiento más sofisticadas y eficaces.

1.8.2 ASPECTO TECNOLÓGICO.

Renovar las estrategias de mantenimiento, las cuales actualmente solo están definidas por actividades básicas preventivas, utilizando los recursos propuestos en la segunda generación del mantenimiento (1960 – 1980); debiendo reemplazar las estrategias por las establecidas en la tercera y cuarta generación del mantenimiento (1990 y 2000-2004 respectivamente), utilizando el análisis de modo-efecto de fallas, mantenimiento predictivo y gestión de activos. Logrando que el área de mantenimiento de Tisur sea un área más eficiente y competitiva que pueda ofrecer soluciones de ingeniería de mantenimiento, aplicables al contexto operacional.

1.8.3 ASPECTO SOCIAL.

El RCM plantea el desarrollo de un plan de mantenimiento en el cual se asegure, que cuando el activo cumpla con sus funciones se garantice la seguridad de las personas ya sea personal de mantenimiento, así como también personal encargado de la operación de activo; por otro lado también garantiza que no se presente eventos que afecten el medio ambiente en el cual se desarrolla el activo.

Con estos logros obtenidos se obtiene un mejor clima laboral entre el área operativa y mantenimiento (trabajo en equipo), puesto que se tienen metas en común en aras de lograr el desarrollo pleno del activo.

1.8.4 ASPECTO ECONÓMICO.

Lo que se propone con la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM, es obtener mayor rentabilidad y mayor margen de ganancias, minimizando los costos que causan las paradas no programadas del activo.

Con un manejo de altos estándares de disponibilidad y confiabilidad por parte del Shiploader, se estima una rentabilidad muy beneficiosa para el accionista, el detalle del cálculo de los beneficios económicos se cuantifican en el punto 5.3.

1.9 VARIABLES DEL PROYECTO.

Se presentan las siguientes variables independientes y dependientes:

1.9.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.

- Implementación del RCM.

1.9.2 VARIABLE DEPENDIENTE.

- Disponibilidad.
- Confiabilidad.

1.10 CUADRO DE VARIABLES.

Considerando las variables expuestas en el punto 1.9, procedemos a establecer el cuadro de variables que se muestra en la siguiente Tabla 1.1.

Variable	Tipo de Variable	Und.	KPI	Herramientas	Descripción Conceptual	Descripción Operativa
Mantto Centrado en la Confiabilidad (RCM)	Independiente	T / US\$	Tiempo y Costo	Listado de equipos, equipos críticos, personal y tiempo para implementar, base de datos de planes mantto, manuales de activos.	Es la acción y el efecto en costos que involucra en invertir la implementación del RCM.	Dicho en otras palabras refiere a todos los recursos necesarios que se utilizarán en la implementación del RCM, para este caso se utilizarán recursos de HH disponibles, personal que realizará la revisión de la información (históricos de data y planes de mantenimiento).
Disponibilidad (D %)	Dependiente	%	Disp (%)	Histórico de disponibilidad.	Indicador que asegura la disponibilidad del activo	Indicador que nos menciona en términos porcentuales, que tan "disponible" se encuentra el activo para la operación, vale decir que para obtener este resultado, se consideran los tiempos de mantenimiento y reparación.

Tabla 1.1: Cuadro de Variables

(Fuente: Elaboración Propia)

1.11 MÉTODO A APLICAR.

- Realizar un análisis de criticidad, desarrollando taxonomía real del activo.
- Identificar los modos de falla que pueden evidenciarse en el activo, desarrollando el efecto de los modos de falla en cada caso.
- Identificar los riesgos que afecten la operatividad, seguridad y perseverancia del medio ambiente que rodean al activo.
- Lograr a obtener las nuevas actividades de mantenimiento a ser ejecutadas en aras de asegurar la disponibilidad, identificando responsable y frecuencia de ejecución.
- Implementar el RCM en los PM's del Shiploader.
- Comparar los resultados obtenidos con la nueva estrategia de mantenimiento, con los anteriores valores.



CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.

Durante los últimos 20 años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al importante aumento en número y variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos y nuevos métodos de mantenimiento, y además de una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento responde a las expectativas de cambio, que incluyen una toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; relación entre mantenimiento y la calidad del producto y de poder alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener costos bajos. Estos cambios están llevando a un cambio de aptitudes y habilidades en todas las ramas de la industria, ya que el personal de mantenimiento se ve obligado a pensar de una manera completamente nueva, pues deben actuar como ingenieros y como gerentes. (Moubray, 2004)

Preliminarmente se tenía identificado el rastro de los inicios del mantenimiento desde la década del '30, planteando su evolución en tres generaciones, Primera Generación (1940 – 1950), Segunda Generación (1960 – 1980) y Tercera Generación (1990). Este concepto ha sido modificado desde el año 2000 con la implantación de la Cuarta Generación de Mantenimiento o Mantenimiento de Clase Mundial (1995 – 2008), el cual termina por definir el concepto de gestión de activos.

Con la aparición de la gestión de activos, la gestión de mantenimiento pasa de un estado unilateral, a ser un área integrada en aras de la producción y maximización de la rentabilidad de la compañía, esto se debe a que con la evolución de los años las empresas van tornando su enfoque de dirección, las empresas cada vez buscan maximizar sus utilidades acosta de la reducción de los costos operativos (costos incurridos en la operación del negocio y costos de mantenimiento). Con este antecedente se torna necesario entonces cambiar el sentido del mantenimiento, y pasar de un estado en solamente estar enfocados en ,mantener e incrementar la disponibilidad, a un estado donde se quiere mantener para hacer más rentable el negocio, de ahí que nace el concepto mantenimiento centrado en el negocio.

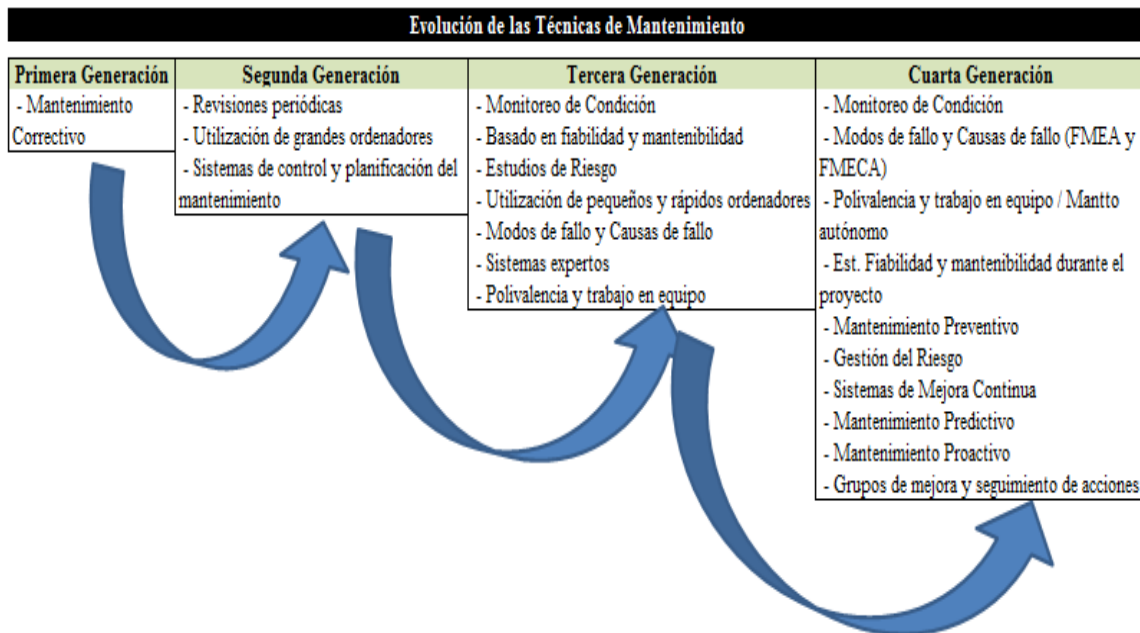


Figura 2.1: Evolución de las Técnicas de Mantenimiento

(Fuente: Revista Mantenimiento Mundial)

2.1.1 PRIMERA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO.

La Primera Generación de Mantenimiento, se desarrolla hasta la Segunda Guerra Mundial, con una industria que no era totalmente mecanizada y en la cual no se tenía mayor consideración de los tiempos de parada de planta por fallas. En esta década se fabricaban equipos sobredimensionados y bastante robustos, lo cual los convertía en confiables y fáciles de reparar; por ende las actividades de mantenimiento no eran planificadas y básicamente eran actividades simples como limpieza y ajustes. La estrategia de mantenimiento desarrollada era la de mantenimiento correctivo.

2.1.2 SEGUNDA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO.

El desarrollo de la Segunda Generación de Mantenimiento se da en el período de las décadas de los '60 hasta los '80, la cual empezó a revolucionar el concepto de mantenimiento por iniciar ya a considerar sistemas de control y planificación de mantenimiento. Estos conceptos iniciaron a aparecer debido a que durante la Segunda Guerra Mundial, cambió drásticamente todo ya que la presión de los tiempos de la guerra aumentó la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que caía abruptamente el número de trabajadores en la industria, lo que conllevó que las plantas sean cada vez más mecanizadas obteniendo equipos más sofisticados.

Con estas nuevas condiciones, se empezó a dar mayor importancia al tiempo de paradas por fallas de mantenimiento, lo que llevó a la idea de que las fallas en los equipos debían ser prevenidas, dando inicio al concepto de mantenimiento preventivo. Por otro lado los

costos de mantenimiento empezaron a incrementarse en las plantas industriales, lo que terminó por definir la implantación de sistemas de control y planificación de mantenimiento.

2.1.3 TERCERA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO.

La Tercera Generación de Mantenimiento se inicia desde la década de los '80, la cual toma con mayor relevancia evitar las paradas de las máquinas, porque ya se manejan preocupaciones por la reducción de la producción, el aumento de los costos operacionales y la calidad del servicio al cliente. Se da un crecimiento en la mecanización y automatización de las plantas, lo que significa también que hay más fallas que afectan la operatividad de los sistemas, lo cual involucra que los activos sean más confiables, ya que los inversionistas buscan tener de los activos el máximo retorno de la inversión que representa tenerlos .

También se presentan nuevas investigaciones sobre el estudio de las fallas, ya que se descartan las creencias más profundas referidas a la edad y las fallas. Lo cual se termina por comprobar que hay menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos y la probabilidad de que estos fallen.

La tendencia de los modos de falla fue cambiando con las generaciones previas, en la Primera Generación se creía que solamente las fallas en los activos se propiciaban en medida que estos iban envejeciendo. En la Segunda Generación se replanteó la tendencia de las fallas, tomando en cuenta las fallas que se presentan a temprana edad o llamadas también “mortalidad infantil”, las cuales al ser representadas gráficamente se tenía la representativa “curva de la bañera”. En la Tercera Generación de Mantenimiento se revelan que las fallas presentan 06 distintos patrones.

Dando a relucir las distintas maneras que un activo pueda fallar, pues el pasar de los años hizo que la mentalidad y conceptualización de las fallas de mantenimiento vaya evolucionando, entendiendo así que los patrones de falla deben ser estudiados y monitoreados para evitar su ocurrencia nuevamente.

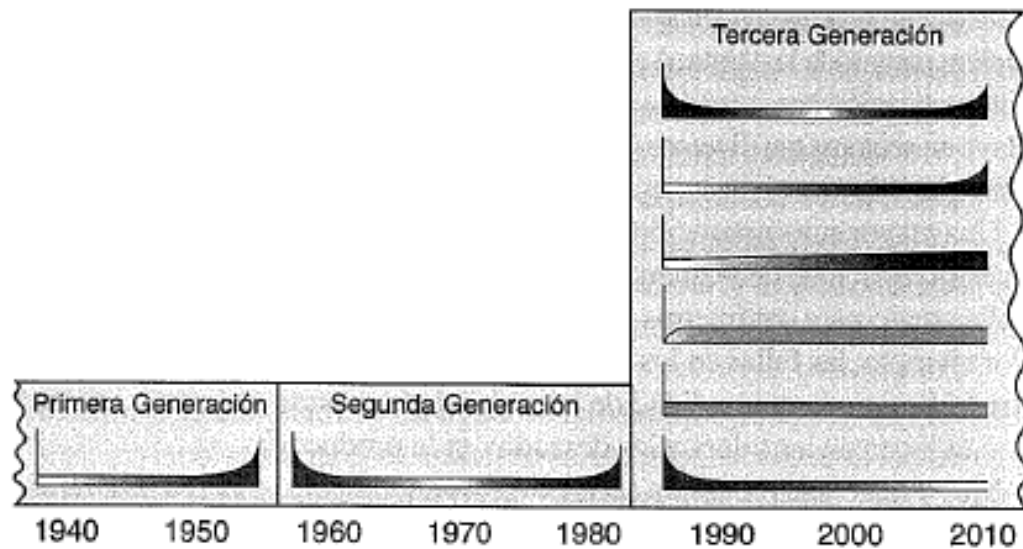


Figura 2.2: Evolución de los Modos de Falla

(Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM II, John Moubray)

Por otro lado en la Tercera Generación, se han desarrollado nuevas técnicas que han desplazado los clásicos sistemas administrativos y de control, para ser controlado por estudios de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos, monitoreo de condición, diseño de equipos considerando la confiabilidad, y en general un cambio en la manera de pensar en la organización respecto al mantenimiento.

2.1.4 CUARTA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO.

La Cuarta Generación de Mantenimiento, es ya la etapa actual y vigente en la que se encuentra las gestiones modernas del mantenimiento, desde el año 1995 se dan los inicios de la Cuarta Generación de Mantenimiento, enfocada en la aplicación de metodologías y procedimientos rigurosos para analizar cada modo de falla, y se hace del cumplimiento de las legislaciones de seguridad y medio ambiente que rigen en cada país. El mantenimiento moderno busca como primer punto cubrir siempre la seguridad, luego la operación. La normativa aplicable, sin importar el autor en los análisis de los modos de falla, siempre debe considerar en primer término si el procedimiento afecta la seguridad o el entorno.

En esta etapa el mantenimiento desarrolla metodologías y tecnologías que las utiliza para brindar otra perspectiva a las compañías, teniendo como resultados los siguientes puntos:

- Toma de decisiones en base a estudios de Costo – Riesgo & Incertidumbre.
- Optimización de las paradas, considerando el Costo – Riesgo.
- Optimización de los intervalos Preventivos y Predictivos por Costo – Riesgo.

- Cálculos de la confiabilidad de los activos.
- Análisis Causa Raíz de las fallas.
- Análisis del Ciclo de Vida Útil del activo.
- Gestión alineada a la Gestión de Activos ISO 55000.

2.2 MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL Y LA GESTIÓN DE ACTIVOS.

La Gestión de Activos de Clase Mundial es el conjunto de mejores prácticas que reúne elementos de distintos enfoques organizacionales, para crear un todo de alto valor práctico, las cuales aplicadas en forma coherente generan ahorros sustanciales a las empresas.

Sus principales características son:

- Establece criterios para el cumplimiento de las funciones por parte de la gente, los procesos y tecnología.
- Promueve constantemente, la revisión, y/o actualización de las mejores prácticas en el ámbito mundial.
- Enfatiza en el desarrollo de estrategias orientadas a la integración de los diferentes entes que participan en la cadena de valor de los procesos.
- Considera fundamental la tecnología de información como habilitador esencial para la integración de los procesos.
- Asigna un peso específico a la planificación disciplinada, como función del proceso gerencial.
- Fomenta la identificación de oportunidades de mejora, generando cambios de paradigmas en el negocio.
- Orienta y gerencia el cambio planificado, como objetivo estratégico a través de desarrollo y educación permanente de la gente.

De acuerdo con la norma ISO 55000 (Asset Management), “Un activo es un elemento, cosa o entidad que tiene un valor potencial o real para la organización. El periodo desde la creación de un activo hasta el final de su vida útil, es lo que se conoce como ciclo de vida del activo” (Noria, 2017).

Entendiendo de esta manera que la Gestión de Activos puede definirse como “las actividades coordinadas de una organización para obtener valor de los activos”. Involucra el balance entre acciones, costos, oportunidades y riesgos relacionados con el desempeño esperado del activo para lograr los objetivos de la organización. Entre otras palabras, la gestión de activos

está relacionada con todas las acciones involucradas en una planta para tener sistemas, tecnologías y máquinas productivas.

El sistema de Gestión de Activos es vital para las organizaciones que dependen fuertemente de los activos físicos para crear o suministrar sus servicios o productos, la importancia se ve aún más acentuada cuando se trata de compañías con un gran número de activos que buscan constantemente incrementar la utilidad de dichos activos.

En la figura 3.0 se muestra un esbozo sobre la interrelación de los otros tipos de activos que tiene una compañía, centrando en medio del negocio los activos físicos de ésta. Estas interdependencias son extremadamente importantes en la implementación holística de los objetivos de la gestión de activos y finalmente en el plan estratégico organizacional.

Las organizaciones dependientes de los activos físicos, deberían reconocer que las deficiencias en la gestión de otros tipos de activos podría tener un profundo impacto sobre el desempeño global o a largo plazo de sus activos físicos y sobre su desempeño organizacional, puesto que hoy en día el desarrollo normal de las compañías se da en ámbitos con activos tangibles e intangibles muy fuertemente relacionados entre sí; por ejemplo nos ponemos en el caso de un activo intangible como es la marca del producto, éste al ser altamente insertado en el mercado por la diversificación de su marketing empresarial, generará un alto impacto en la productividad de la misma, consecuentemente demandará alta eficiencia en cuanto a disponibilidad y confiabilidad de los activos físicos se refiere, ya que tendrán que estar a la altura de los altos índices de utilización que demandarán a raíz del impulso de la marca.

Algunas organizaciones identifican a los activos como unidades de equipo, otras los utilizan para describir sistemas funcionales o unidades integradas del negocio, sea cual sea la forma lo importante es que el activo obedezca lo siguiente:

- Las metas de la organización y las prioridades estratégicas estén reflejadas en los planes de gestión de activos.
- Los costos, riesgos y desempeño del ciclo de vida sean enfocados en ser optimizados.
- Las agregaciones de activos y las contribuciones de valor son gestionados en una manera consistente y coordinada.
- Las diferentes partes de la organización deben entender y utilizar la misma terminología en relación a los activos.

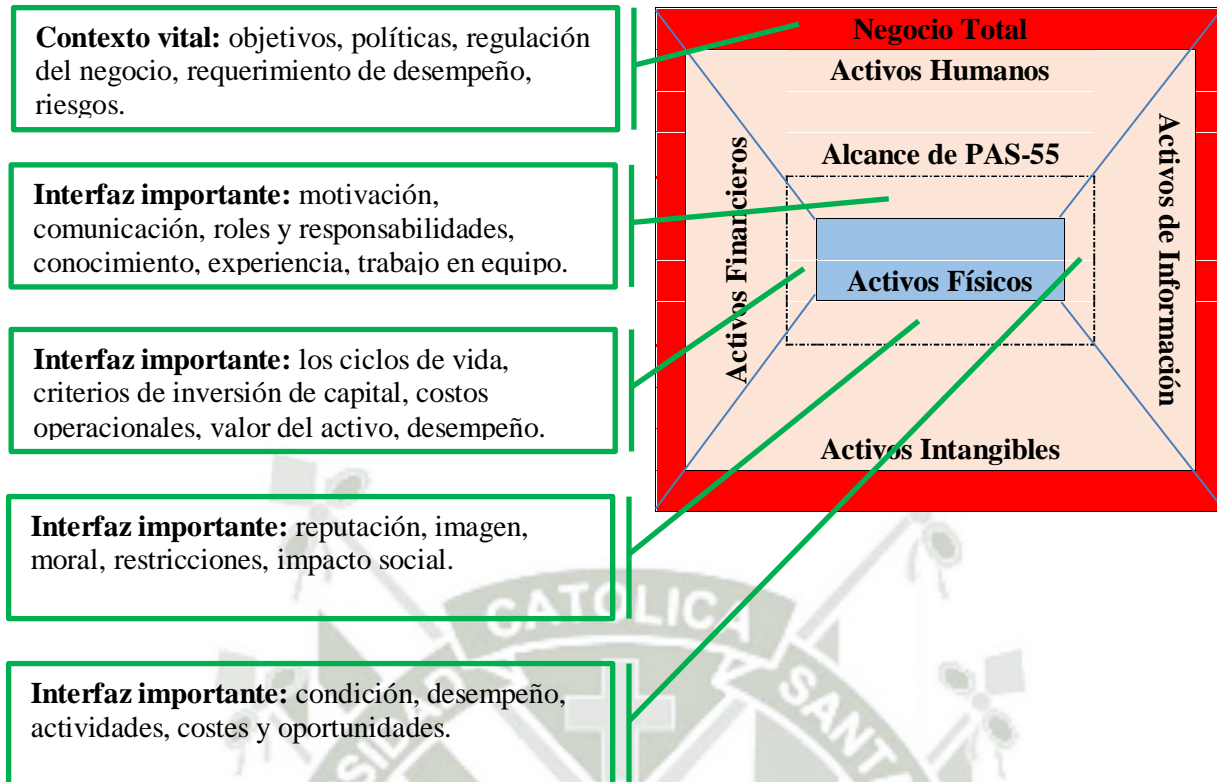


Figura 2.3: Enfoque y Contexto del Negocio en relación a las Categorías de Activos

(Fuente: PAS 55-2:2008, The Institute of Asset Management)

2.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM).

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM es la metodología escogida para la optimización de los planes de mantenimiento del presente proyecto, la cual identifica las acciones que reducen la probabilidad de falla y por consiguiente el mejor efecto de costo. El RCM es un proceso que utiliza información del rendimiento de operación de los sistemas y usa esta información para mejorar el diseño y futuros trabajos de mantenimiento.

Analizando desde el punto de vista de ingeniería la perspectiva del mantenimiento y del RCM, hay dos elementos que hacen el manejo de cualquier activo físico, los cuales son el de ser mantenidos y el de ser modificados (siempre y cuando haya la necesidad). Referente al primer punto (mantener), nos centramos en el hecho de que todo activo físico es puesto en funcionamiento porque alguien quiere que haga algo, entendiendo que se tiene una expectativa del cumplimiento de una función o funciones específicas. Por lo cual la definición que manejaremos de “mantener un activo”, es el llevar éste al estado en el cual continúe haciendo aquello que los usuarios quieran que haga.

En este punto se citan las siguientes definiciones (Moubray, 2004):

Mantenimiento: *Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan.*

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: *Un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico, continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan en su contexto operacional actual.*

2.3.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL RCM.

En el año 1974 el Departamento de Defensa de los Estados Unidos por intermedio de la empresa United Airlines, desarrolla un informe sobre los programas de mantenimiento de los aviones titulado como “*Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*”. En el desarrollo del informe se menciona la disconformidad de la Agencia Federal de Aviación (AFA), quien era responsable de regular las prácticas de mantenimiento de las aerolíneas, la cual estaba decepcionada por los resultados que se tenían, ya que no era posible controlar la tasa de fallas de las máquinas que resultaban ser no confiables.

Por ende se empezó a cambiar el concepto tradicional de que el tiempo transcurrido entre reemplazos sucesivos de un ítem era un factor importante para controlar su tasa de fallas; llevando a establecer dos descubrimientos muy importantes:

- El reemplazo programado tiene poco efecto en la confiabilidad total de un ítem complejo a menos que el mismo tenga un modo de falla dominante.
- Hay muchos ítems para los cuales no existe una forma efectiva de mantenimiento programado.

El análisis del RCM continuó desarrollándose, llegando al año 1965 donde se ideó una técnica rudimentaria del diagrama de decisión y en el año 1967 se presentó un informe sobre su aplicación. Posterior a ello se fueron puliendo varios detalles, para tener como entregable un manual de desarrollo y evaluación de programas de mantenimiento (MSG-1) del nuevo avión Boeing 747, el que finalmente resultó ser un éxito. Mejoras posteriores de este plan de mantenimiento llevó a tener la versión dos denominado como MSG-2, el cual fue utilizado para desarrollar los planes de mantenimiento de los aviones Lockheed 1011 y Douglas DC 10. m

El objetivo de estos planes de mantenimiento era el de desarrollar un programa de mantenimiento cíclico que asegurará la máxima seguridad y confiabilidad de la que fuera capaz el equipo y con el menor costo; no obstante fuera de ser considerados como éxitos estas nuevas estrategias de mantenimiento, aún se mantenían problemas a mejorar, tales como determinar los intervalos de tiempo, identificación de fallas ocultas, y el tratamiento del mantenimiento estructural era inadecuado. Estas imperfecciones condujeron a procedimientos analíticos de visión más amplia que fue denominado como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), cuyos autores fueron Nowlan y Heap.

El RCM comenzó su aplicación en los sectores de minería y manufacturas a comienzos de 1980, posteriormente entre el periodo de los años 1983 y 1990 se continuaba con la mejora de las versiones, haciendo inclusiva las actividades que cuidaban el medio ambiente y la seguridad. Siendo establecido en el año 1990, en el diagrama de decisión la pregunta E la cual habla del medio ambiente. Con este cambio se decidió por parte de los autores, que la metodología deba tener el nombre de RCM2.

Desde esta publicación el RCM ha sido implementado en miles de plantas alrededor del mundo, abarcando compañías del rubro de minería, manufacturas, petroquímicas, servicios (electricidad, gas y agua), transporte masivo y empresas militares.

2.3.2 METODOLOGÍA DEL RCM.

La metodología del RCM se desarrolla con la formulación de siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre una falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir una falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

El éxito del proceso de implantación del RCM en la industria dependerá básicamente del trabajo del equipo de RCM, el cual se encargará de responder las siete preguntas básicas.

La filosofía del RCM emplea técnicas del Mantenimiento Preventivo (PM), Mantenimiento Predictivo, Inspecciones y Mantenimiento Proactivo, de una manera

integrada con la finalidad de incrementar la probabilidad de que el equipo funcione de una manera requerida sobre su vida de diseño con el mínimo mantenimiento realizado. El análisis del RCM está basado en un detallado Análisis de Modo y Efectos de Falla (FMEA) e incluye las probabilidades de falla y cálculos de la confiabilidad del sistema. Éste análisis es usado para determinar las apropiadas tareas de mantenimiento y direccionarlas a cada uno de los modos de falla identificados y a sus consecuencias.

Finalmente podemos concluir que el RCM tiene los siguientes principios:

- Está orientado a preservar la función del activo o sistema.
- Está orientado en la confiabilidad, maneja estadísticas de falla.
- Está orientado en preservar la seguridad, medio ambiente y la economía, la seguridad debe ser cubierta a cualquier costo.
- Usa un árbol lógico para decisión de tareas de mantenimiento, esto provee un alcance consistente al mantenimiento de todos los activos.
- Las tareas deben ser efectivas, aplicables y dirigidas a los modos de falla, considerando también sus características.
- Es un sistema que trabaja en base a la mejora continua, obtiene información de los resultados y se retroalimenta para mejorar los futuros mantenimientos. Esta retroalimentación es parte importante del mantenimiento proactivo.

2.3.3 CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO.

Para poder desarrollar las siete preguntas básicas del RCM, no sólo basta contar con el personal de mantenimiento, si no también es necesario incluir al personal de operaciones en las participaciones del grupo RCM, deseando saber su opinión relacionada a las funciones del activo, efectos de falla, funcionamiento deseado y consecuencias de falla. El personal que estará integrando el grupo RCM, debe ser personal con un amplio conocimiento del activo físico. La conformación típica de los grupos RCM es como se muestra en la figura 2.4, en la misma que se expone primeramente la presencia del Facilitador (encargado de liderar las actividades RCM), Supervisor de Ingeniería (que para nuestro caso refieren a los ingenieros mecánicos y eléctricos de mantenimiento), Técnico de mantenimiento (personal que interactúa diariamente con los activos), Operador (ídem al anterior punto, pero esta vez enfocado desde el punto de vista operativo) y Supervisor de Producción (que para nuestro caso refiere a los supervisores de operaciones minerales):



Figura 2.4: Típico grupo de revisión RCM

(Fuente: Elaboración Propia)

Dentro de cualquier grupo RCM, uno de los papeles más importantes es el que cumple el facilitador, el o los facilitadores cumplen como roles los siguientes:

- Correcto análisis del RCM, asegurándose que los resultados sean registrados.
- Que el RCM sea claramente comprendido y aplicado por parte de los miembros del grupo.
- El grupo llegue al consenso en forma rápida y ordenada.
- El análisis progrese razonablemente rápido y que termine a tiempo.

2.3.4 CONTEXTO OPERACIONAL.

El contexto operacional resulta ser determinante para la formulación de estrategias de mantenimiento del activo físico, ya que ayuda a la definición de sus funciones primarias y secundarias, así como también la de los estándares de funcionamiento asociados al activo. El contexto operacional también influye en la naturaleza de los modos de falla que pueden presentarse, sus efectos y consecuencias, la frecuencia con las que pueden ocurrir y que debe hacerse para controlarlos. Con este precedente, se debe tener en consideración que antes de iniciar con el RCM se debe tener claro el entendimiento del contexto operacional antes de comenzar; existen algunos factores que ayudan a definir el contexto operacional:

- **Procesos por lotes y continuos:** Cuando se tiene una planta con procesos continuos (equipos interconectados), se tiene que ante el caso que se dé una falla se puede parar

o reducir drásticamente la producción, motivo por el cual el contexto operacional es determinante para este tipo de industrias.

- **Redundancia:** La presencia de redundancias es una característica del contexto operacional, que deben ser consideradas en detalle, cuando se define las funciones de cualquier activo.
- **Estándares de Calidad:** Los estándares de calidad definen también el contexto operacional, debido a que el cliente define y establece sus necesidades y sus expectativas.
- **Estándares de Medio Ambiente:** El impacto que tiene un activo con el medio ambiente es determinante para la definición del contexto operacional, puesto que se tienen exigencias y estándares que cumplir con entidades internacionales, nacionales, regionales, municipales, entre otros, que ante un eventual incumplimiento se tienen cuantiosas penalidades. Para el cumplimiento de estos estándares se debe asegurar que el activo cumpla con lo establecido durante toda su vida útil.
- **Riesgos para la Seguridad:** El desenvolvimiento normal del activo, debe darse en escenarios que no comprometan con la seguridad de las personas que se encuentren directa e indirectamente relacionados con dicho activo.
- **Turnos de Trabajo:** Los turnos de trabajo afectan al contexto operacional del activo, puesto que a una mayor utilización del activo, se tiene mayor desgaste por vida útil, así como también mayor riesgo de causalidad de falla.
- **Tiempo de Reparación:** El tiempo de reparación refiere a la disponibilidad del personal y la velocidad de reparación que se tenga, ligado directamente con la disponibilidad de repuestos, estado de herramientas y habilidad de personas.
- **Repuestos:** El abastecimiento de repuestos críticos ayuda a minimizar o eliminar las consecuencias de la falla, esto considerando que adquirir repuestos toma un tiempo (lead time) que pueda agravar aún más las consecuencias de la falla.

2.3.5 DEFINICIÓN DE FUNCIONES.

Para definir los objetivos del mantenimiento debemos obtener un claro entendimiento de las funciones de cada activo físico interrelacionado también con los parámetros de funcionamiento asociados. Es por ello que al desarrollar el RCM nace la siguiente pregunta:

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento del activo físico en su contexto operacional?

Para definir la función del activo, esta debe ser definida por un verbo (preferentemente en infinitivo) y un objeto, sin embargo a la necesidad de los usuarios que esperan que los activos hagan lo que se desea, también se espera que cumplan con ello en un nivel de funcionamiento aceptable.

En conclusión para definir la función de activo se tiene la siguiente afirmación (Moubray, 2004):

La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.

Los activos al entrar en funcionamiento quedan expuestos y propensos a un inevitable deterioro, el mismo que debe ser tolerable a fin de no comprometer el cumplimiento de su funcionamiento deseado. Lo que significa que los activos físicos puestos en funcionamiento deben ser capaces de rendir más que el estándar mínimo de funcionamiento deseado por el usuario, denominando también a esta capacidad inicial como confiabilidad inherente. La ejemplificación del margen de deterioro de un activo se muestra en la imagen 2.5:

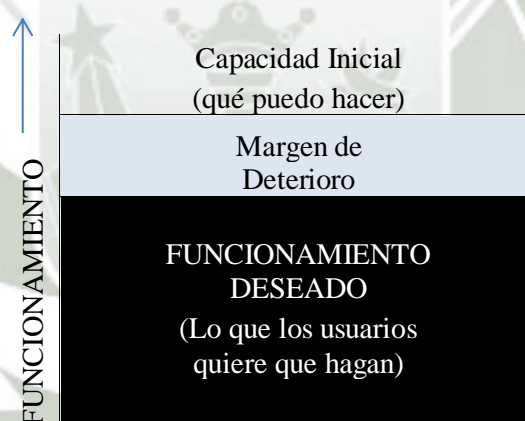


Figura 2.5: Margen de Deterioro

(Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM II, John Moubray)

Para lograr el objetivo de asegurarse que los activos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan, deben todas las funciones de estos deben ser identificadas, estas funciones pueden ser clasificadas en dos categorías funciones primarias y secundarias.

Entendiendo como funciones primarias aquellas que definen el funcionamiento innato del activo, considerando también que un activo puede tener más de una función primaria.

Por otro lado las funciones secundarias refieren a las funciones adicionales a la primaria que tienen los activos, estas funciones son usualmente menos obvias que las primarias, pero no significando que dejen de ser importantes, llegando a ser dependiendo el caso igual o más importantes que las primarias. Para la correcta identificación de las funciones secundarias se tiene la siguiente clasificación:

- **Ecología – Integridad ambiental:** Refiere a las expectativas medioambientales que se tiene del activo, considerando que ahora más que antes se toma como un factor crítico la preservación del medio ambiente.
- **Seguridad – Integridad estructural:** Estas funciones están orientadas en asegurar que los activos se desarrollen, teniendo controlados los riesgos a la seguridad que esto implique, garantizando seguridad a las personas y el entorno del activo.
- **Control:** El desarrollo de las funciones de los activos deben ser controladas por los usuarios, brindando información en tiempo real a los operadores.
- **Confort:** Los usuarios esperan que los activos no causen ansiedad, molestia o incomodidad, brindando de esta manera la motivación necesaria para los usuarios.
- **Apariencia:** Es una función complementaria, que habla sobre el acabado superficial que se le pueda dar a los activos, que también pueda servir de protección en algunos casos, como es el del pintado que protege de corrosión por ejemplo.
- **Protección:** Se trata de dispositivos de protección automática que brindan protección a los activos, estos dispositivos pueden trabajar alertando al operador, apagando el equipo, eliminando o minimizando las condiciones anormales que siguen a la falla, reemplazando a la función que ha fallado y previniendo la aparición de situaciones peligrosas.
- **Eficiencia – Economía:** Refiere de los límites dispuestos a gastar en operación y mantenimiento del activo.

2.3.6 JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS.

Es primordial preliminarmente realizar un análisis de criticidad de los activos existentes, ya que es una herramienta que nos permitirá direccionar correctamente la atención de nuestros recursos, para nuestro caso la aplicación del RCM se focalizará en los equipos críticos dentro del proceso, para lo cual es necesario entender que existe una gran diversidad de posibles criterios que permiten evaluar la criticidad de un activo. A continuación se enlistan algunos criterios que pueden ayudar a determinar la criticidad de los equipos (Parra, 2012):

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo).

- Efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción.
- Efecto en la calidad del producto.
- Efecto en la seguridad, medio ambiente e higiene.
- Costos de paradas de mantenimiento.
- Frecuencia de fallas / confiabilidad.
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección & mantenimiento.
- Requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento.

Los resultados que se obtengan de la aplicación del análisis de criticidad, representará la materia prima para dar inicio con la aplicación del RCM.

Para nuestra aplicación utilizaremos el Modelo de Criticidad Cuantitativo AHP (Analytic Hierarchy Process – Proceso de Análisis Jerárquico), la cual es una metodología de jerarquización analítica que fue desarrollada por el Dr. Thomas Saaty, la cual busca ofrecer una herramienta que sirva para la evaluación y selección de alternativas, para que finalmente se obtengan las decisiones más acertadas para nuestro beneficio.

La metodología de Saaty plantea realizar el análisis en los siguientes 05 pasos:

1. Definir criterios de decisión en forma de objetivos jerárquicos, partiendo del nivel superior que es la definición del objetivo principal del proceso, para luego continuar con el nivel intermedio que refiere a los criterios a evaluar, para que finalmente se llegue al nivel más bajo que son las alternativas a ser comparadas.
2. Evaluar los criterios y alternativas en función de su importancia correspondiente en cada nivel, en esta parte la técnica AHP utiliza simples comparaciones (apareadas – pairwise) para determinar los pesos y evaluarlos, los criterios son evaluados de a dos haciendo la evaluación si es que uno es más importante que el otro. En este punto Saaty propuso una Escala de Importancia Relativa con la cual se designan las calificaciones.
3. Definir criterios de decisión en forma de objetivos jerárquicos, partiendo del nivel superior que es la definición del objetivo principal del proceso, para luego continuar con el nivel intermedio que refiere a los criterios a evaluar, para que finalmente se llegue al nivel más bajo que son las alternativas a ser comparadas

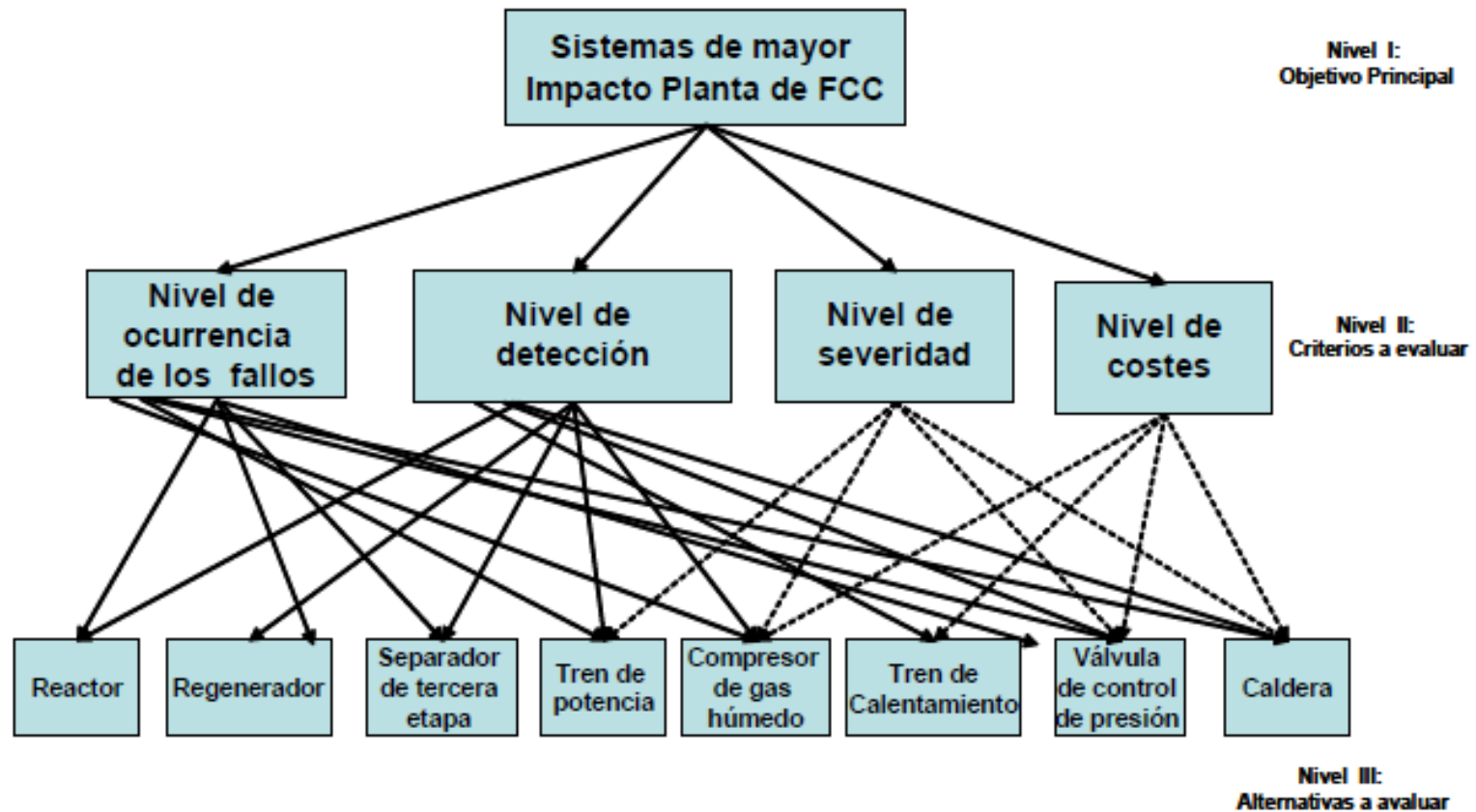


Figura 2.6: Modelo AHP para Jerarquizar Sistemas

(Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos, Carlos Parra)

Intensidad de la Importancia	Definición	Explicación
1	Igual de importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio están moderadamente a favor de una actividad sobre la otra
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio están fuertemente a favor de una actividad sobre la otra
7	Importancia muy fuerte	Una actividad está muy fuertemente favorecida y su dominio ha sido demostrado en la práctica
9	Importancia extrema	Es la máxima la importancia de una actividad sobre la otra
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre los dos juicios contiguos	Cuando un término medio es necesario
Recíproco de los números de arriba	Si al elemento i le fue asignado alguno de los números de arriba al compararse con el elemento j, entonces j tiene el valor recíproco cuando se compara con el elemento i	

Tabla 2.1: Escala de Importancia Relativa

(Fuente: Técnicas Participativas para la Planeación, Sánchez)

- La técnica AHP permite aprobar la congruencia de los juicios considerados en la matriz de evaluación mediante el Ratio de Inconsistencia (IR), el cual es un valor numérico que se calcula mediante ejercicios matriciales y que ayuda a evaluar si las estimaciones fueron las correctas, para darse ese escenario se tiene que tener un valor de IR menor al 10%. Para el cálculo del IR se tiene la siguiente fórmula:

$$I_R = \frac{CI}{RI}$$

Donde: CI = Índice de Consistencia

RI = Valor aleatorio promedio de CI para una matriz n x n

Los valores de RI son calculados en base a la siguiente matriz:

VALORES DE RI							
N	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35

Tabla 2.2: Valores de RI para Matrices

(Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos, Carlos Parra)

5. Jerarquizar las alternativas y tomar decisiones, para cada alternativa disponible en una escala de jerarquización de 0 a 1 se le asigna un valor, en base a cálculos matriciales que se proponen según la metodología AHP.

Al realizar la aplicación de esta metodología AHP, podemos determinar de una manera más objetiva (cualitativa y cuantitativa) la criticidad de los activos, pues está claro que el punto inicial de cualquier gestión de mantenimiento debe partir de “atacar” los activos críticos que componen el ciclo operativo de cualquier planta, la mayoría de los esfuerzos debe estar abocado en cumplir con los críticos, entendiéndose para este caso mano de obra, servicios, equipos, presupuesto CAPEX, otros.

CAPÍTULO 3 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS ACTUAL

3.1 DESCRIPCIÓN DEL TERMINAL PORTUARIO DE MATARANI.

El Terminal Portuario de Matarani es actualmente administrado por la empresa Tisur, empresa socialmente responsable que pertenece al Grupo Romero; Tisur como resultado que obtiene por la administración del puerto, logra el desarrollo económico en la región sur, a través de la eficiente actividad portuaria de la provincia de Islay.

Para el desarrollo de sus actividades portuarias, en Tisur se tienen definidos 04 muelles disponibles para el atraque de las naves que por motivos de importación o exportación (según sea el caso) lleguen al TPM.

Los 04 muelles que se mencionan, están definidos con los nombres de Muelle A, B, C y F; los cuales por la naturaleza de su infraestructura manejan las siguientes cargas.

- **Muelle A:** En el Muelle A se manejan principalmente las cargas de contenedores, los cuales son almacenados en el Terminal de Contenedores (TTC), el mismo que cuenta con una capacidad para 300,000 contenedores anuales, que son transportados principalmente por las líneas navieras Evergreen y Hapag Lloyd.
- **Muelle B:** El Muelle B está destinado para la recepción de la carga granelera, para lo cual se cuenta con equipos especializados, maquinaria, infraestructura y sistemas completamente automatizados que permiten manejar diferentes tipos de graneles. Los graneles sólidos se descargan a través de torres neumáticas absorbentes, silos con capacidad estática y por un sistema de transporte subterráneo; mientras que los graneles líquidos como el aceite vegetal y el alcohol, se manipulan gracias a un sistema de embarque y tanques para el servicio de almacenamiento.
- **Muelles C y F:** Tisur cuenta con dos sistemas de recepción, almacenamiento y embarque de minerales, el que se tiene en el Muelle C y F. Este procedimiento se realiza con almacenes cerrados de un total de 420,000 Tm estáticas y sistemas de fajas transportadoras que trasladan el concentrado de mineral hacia la nave con una capacidad nominal de 1,500 y 2,000 Tm/hr respectivamente. Actualmente por el sistema de minerales del Muelle C, se mueve en menor proporción la carga de mineral con referencia al sistema del Muelle F, puesto que en éste último se tienen definidos sistemas de recepción y almacenamiento para los principales clientes de gran minería del sur del Perú (Cerro Verde, Las Bambas y Antapaccay).

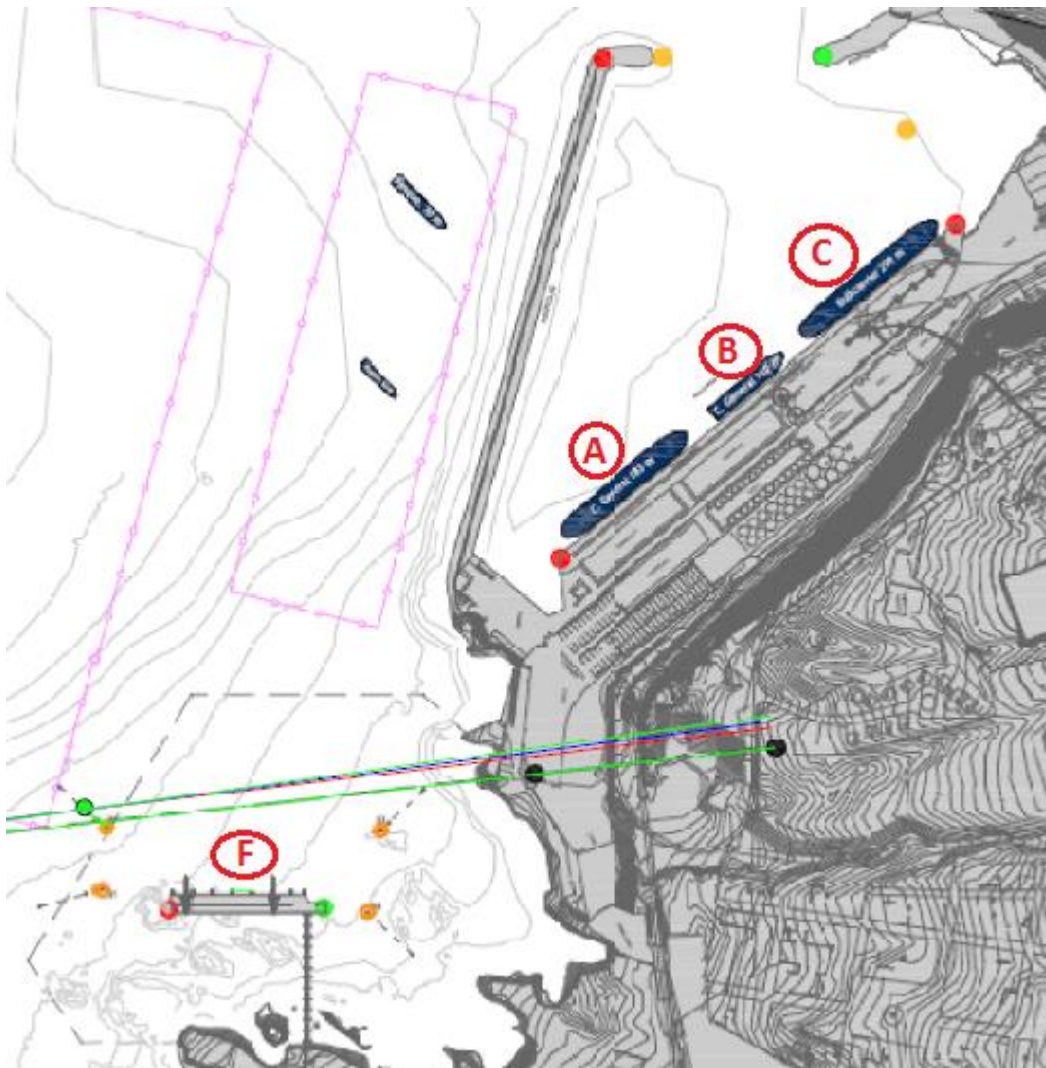


Figura 3.1: Disposición General Bahía Matarani

(Fuente: Departamento de Proyectos, Tisur - Ingeniería)

3.2 DESCRIPCIÓN DEL MUELLE “F”.

El Terminal Portuario de Matarani es actualmente administrado por la empresa Tisur, empresa socialmente responsable que pertenece al Grupo Romero; Tisur como resultado que obtiene por la concesión del TPM, toma por iniciativa el desarrollo del Muelle “F”, el cual es una obra de ingeniería que consiste en la recepción, almacenamiento y embarque de concentrado de cobre. La infraestructura está diseñada para que el mineral sea transportado por un sistema de bandas transportadoras, los cuales se encuentran diferenciados por 03 circuitos distintos. Como referencia para un mejor entendimiento se tiene la imagen 3.2:

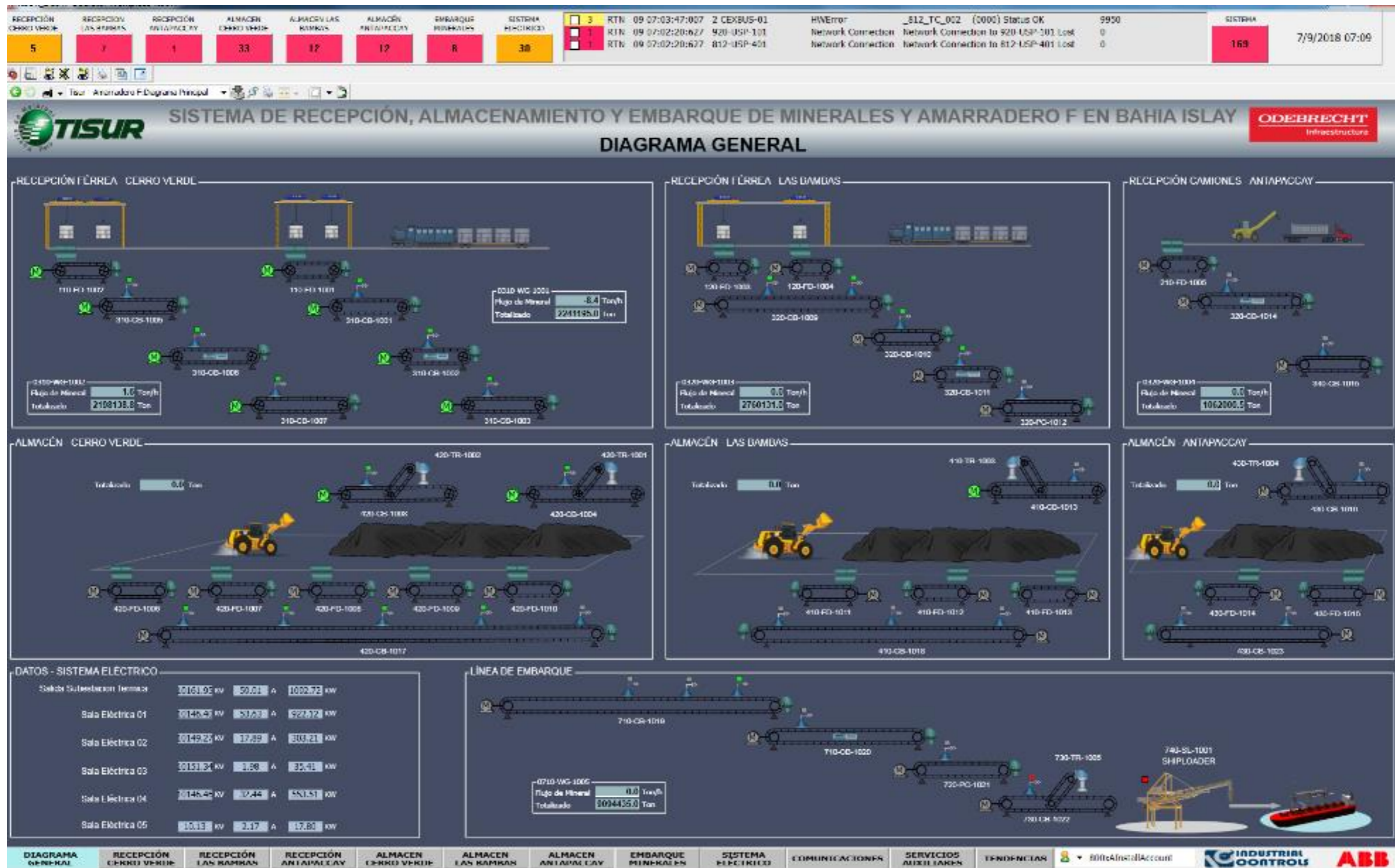


Figura 3.2: Sistema de Recepción, Almacenamiento y Embarque de Minerales

(Fuente: Departamento de Proyectos, Tisur - Ingeniería)

El sistema de minerales del Muelle “F” en conjunto, está distribuido de la siguiente manera:

- Recepción de minerales: La recepción se tiene para tres clientes mineros Cerro Verde, Las Bambas y Antapaccay. Para el caso de Cerro Verde y Las Bambas se tiene recepción férrea, la cual contempla que el mineral llegue a Tisur en vagones de tren y estos sean recepcionados por puentes grúa, los cuales depositan el mineral en los alimentadores de faja que a su vez distribuyen el mismo por el arreglo de bandas transportadoras. Para el caso de la recepción Antapaccay esta se da por camiones que acarrear el mineral en sus tolvas y lo depositan en los alimentadores de recepción de dicha área. Para los tres casos el mineral sigue su ruta hasta llegar al sistema de almacenamiento.
- Almacenamiento de mineral: Para el almacenamiento se tienen dispuestos tres almacenes que conservan el mineral hasta el momento del despacho, para este caso se tiene que el Almacén Cerro Verde tiene una capacidad de 150,00 Tn, Almacén Las Bambas de 100,000 Tn y finalmente el Almacén Antapaccay de una capacidad de 50,000 Tn.
- Sistema de embarque: El mineral es almacenado en los almacenes, hasta el momento donde se programa el embarque del mismo, para este caso se disponen de cargadores frontales, los cuales movilizan el mineral dentro del almacén, disponiendo del mismo en los alimentadores de las fajas de embarque, los cuales continúan con el transporte de mineral por fajas, hasta unir los tres circuitos de despacho en una sola faja, la faja tubular N°21, la cual termina por transportar el mineral hacia el muelle de embarque, en el cual por unos últimos arreglos de fajas termina transportando el mineral hasta el Shiploader, el cual terminará por disponer del mineral dentro de las bodegas de los buques.

3.3 IDENTIFICACIÓN DEL ACTIVO A ANALIZAR.

Bajo el contexto descrito en el punto anterior, tenemos identificados 03 sistemas que conforman todo el circuito de transporte de mineral (recepción, almacenamiento y embarque). Ante ello se tiene en cuenta que el RCM se aplicará al activo(s) que simbolicen mayor criticidad dentro del proceso, para ello en el siguiente punto se procederá a realizar el análisis de criticidad de activos que permita esclarecer ello.

3.3.1 APLICACIÓN DEL MODELO DE CRITICIDAD AHP.

Utilizando la metodología AHP descrita en el capítulo N°02, procedemos a calcular los activos más críticos que se tienen dentro del proceso de transporte de mineral del Muelle “F”, para ello el primer paso es establecer un listado de los activos existentes actualmente:

Listado de Equipos - Muelle F		
Sistema de Recepción	Recepción Cerro Verde	Puente Grúa N° 1 al 4 Alimentador de Faja N°1 y 2 Faja Transportadora 01 al 04 Faja Transportadora 05 al 08
	Recepción Las Bambas	Puente Grúa N° 5 y 6 Alimentador de Faja N°3 y 4 Faja Transportadora N° 09 Faja Transportadora N° 10 Faja Transportadora N° 11 Faja Tubular N° 12 Faja Transportadora N° 13
	Recepción Antapaccay	Alimentador de Faja N°05 Faja Transportadora N° 14 Faja Transportadora N° 15 Faja Transportadora N° 16
Sistema de Almacenamiento	Almac.Cerro Verde	Sist. de Polvo SMCV
	Almac.Las Bambas	Sist. de Polvo Las Bambas
	Almac.Antapaccay	Sist. de Polvo Antapaccay
Sistema de Embarque	Despacho Cerro Verde	Alimentador de Faja N°06 Alimentador de Faja N°07 Alimentador de Faja N°08 Faja Transportadora N° 17
	Despacho Las Bambas	Alimentador de Faja N°11 Alimentador de Faja N°12 Alimentador de Faja N°13 Faja Transportadora N° 18
	Despacho Antapaccay	Alimentador de Faja N°14 Faja Transportadora N° 23 Faja Transportadora N° 19
	Subsistema de Embarque	Faja Transportadora N° 20 Faja tubular N° 21 Faja Transportadora N° 22 Shiploader

Tabla 3.1: Listado de Equipos – Muelle F

(Fuente: Elaboración Propia)

El término de crítico y la misma definición de la criticidad pueden entenderse desde distintos puntos de vista, lo que determinará el enfoque final de la criticidad es justamente el objetivo que se tratará de jerarquizar, con la aplicación de la metodología AHP se obtiene un instrumento que ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos. Bajo este planteamiento existen diversos criterios que permitan evaluar criticidad de activos:

- Flexibilidad operacional.
- Seguridad e higiene.
- Medio ambiente.
- Costos de paradas y de mantenimiento.
- Disponibilidad de activos.
- Fallos no programados, detención intempestiva de la operación.
- Abastecimiento de repuestos (repuestos críticos).
- Efectos en la calidad del producto.
- Condiciones operacionales.

La metodología AHP propone jerarquizar los sistemas tomando en cuenta la frecuencia de ocurrencia de las fallas de los sistemas, detección de fallos, severidad de fallos y costo de fallos; siendo estos 04 criterios los más relevantes y determinantes para poder decidir que activos son más críticos que otros.

Cada criterio es dividido en distintos niveles de criticidad (intervalos de 1 a 10) y para cada caso se tiene un valor de ponderación específico, la asignación de cada criterio se realiza en forma cuantitativa, los mismos que se muestran a continuación:

- **Frecuencia de Ocurrencia de Fallos (FF):** Este criterio es evaluado en función al número de fallos por período de tiempo.
- **Detección de Fallos (DF):** Criterio relacionado con los sistemas de protección, control y alertas, que ayudan a detectar de forma segura la ocurrencia de fallos.
- **Severidad de los Fallos (SF):** Refiere al impacto que tiene los fallos sobre la seguridad, medio ambiente y las operaciones.
- **Costos de los Fallos (CF):** Este criterio está relacionado con las consecuencias económicas de los fallos sobre la seguridad, medio ambiente y las operaciones.

CRITERIO DE FRECUENCIA DE FALLOS FF		
FF	Nivel de frecuencia de ocurrencia de fallos	Definición del Nivel de Frecuencia de ocurrencia de fallos.
10	Muy alta: Falla que es casi inevitable.	Una ocurrencia por semana
9		Una ocurrencia por mes
8	Alta: Continuamente.	Una ocurrencia cada tres meses.
7		Una ocurrencia cada seis meses.
6	Moderada: Ocasionalmente.	Una ocurrencia cada nueve meses.
5		Una ocurrencia al año.
4	Baja: Fallo ocurre muy poco.	Una ocurrencia entre dos y tres años.
3		Una ocurrencia entre cuatro y seis años.
2		Una ocurrencia entre siete y nueve años.
1	Remota: No es probable que ocurra el fallo.	Una ocurrencia en más de 10 años

Tabla 3.2: Criterios de Frecuencia de Fallos FF

(Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos, Carlos Parra)

CRITERIO DE DETECCION DE FALLOS DF		
DF	Nivel de Detección (Grado de control) de fallos.	Definición del Nivel de Detección de Fallos.
10	Absolutamente Incierto	El sistema no es controlado o inspeccionado, las anomalías por fallos no son detectados.
7	Bajo	Solo se inspecciona el sistema de forma visual durante todo el proceso (No hay ayuda de equipos modernos de control).
5	Moderado	El sistema se controla bajo técnicas estadísticas de control de fallos, y el producto es inspeccionado al final del proceso en la línea de producción (25% Automatizado).
3	Alto	El sistema se controla bajo técnicas estadísticas de control de fallos, y el producto es inspeccionado en más de dos puntos del proceso en la línea de producción (75% Automatizado).
2	Muy alto	El sistema se controla bajo técnicas estadísticas de control de fallos, y el producto es inspeccionado durante todo el proceso de la línea de producción (100%).
1	Totalmente Controlado	El sistema se controla bajo técnicas estadísticas de control de fallos, y el producto es inspeccionado durante todo el proceso de la línea de producción (100% automatización con calibración continua y preventivo de los equipos utilizados para controlar e inspeccionar el estado operacional del sistema.

Tabla 3.3: Criterios de Detección de Fallos DF

(Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos, Carlos Parra)

CRITERIO DE SEVERIDAD DE FALLOS SF		
SF	Nivel de Severidad de Fallos	Definición del Nivel de Frecuencia de ocurrencia de fallos.
10	Peligrosamente Alto	Fallos que pueden causar pérdidas humanas.
9		Fallos que pueden crear complicaciones con regulaciones federales.
8		Fallos que hacen inoperables a los equipos y provocan pérdida de función para lo que fueron diseñados
7	Alto	Fallos que causan un alto grado de insatisfacción al cliente que recibe el servicio.
6		Fallos que afectan un subsistema y originan un mal funcionamiento de los equipos disminuyendo la calidad de los servicios.
5	Bajo	Fallos que provocan la pérdida de eficiencia y causan que el cliente se queje.
4		Fallos que pueden ser mejoradas con pequeñas modificaciones y su impacto sobre la eficiencia de los equipos es pequeña.
3	Menor	Fallos que podrían crear mínimas molestias al cliente, molestias que el mismo cliente podría corregir en el proceso sin necesidad de perder eficiencia.
2		Fallos que son difíciles de reconocer por el cliente y cuyos efectos serán insignificantes para el proceso.
1	Ninguno	Fallos que no son identificables por los clientes y no afectan la eficiencia del proceso.

Tabla 3.4: Criterios de Severidad de Fallos SF

(Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos, Carlos Parra)

CRITERIO DE COSTES DE FALLOS CF		
FF	Nivel de frecuencia de ocurrencia de fallos	Definición del Nivel de Frecuencia de ocurrencia de fallos.
10	Peligrosamente Alto.	Fallos que provocan altos costes por aspectos de seguridad y ambiente (indemnizaciones).
8	Muy Alto.	Fallos que provocan altos costes por pérdida total de producción.
6	Alto.	Fallos que generan altos costes por reparaciones correctivas.
4	Moderado	Fallos que generan costes significativos de producción y/o reparación.
1	Muy bajos.	Fallos que generen costes insignificantes - no afectan el proceso de producción.

Tabla 3.5: Criterios de Costes de Fallos CF

(Fuente: Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos, Carlos Parra)

Luego de ello se procede a evaluar el nivel de importancia entre cada uno de los cuatro criterios, este análisis cualitativo entre criterios se evalúa de forma apareada (pairwise) con el conocimiento y expertiz del personal de mantenimiento y operaciones; bajo este análisis se arma la matriz que se muestra en la tabla 3.6 (comparación apareada), la cual es parte de la aplicación de la metodología AHP:

COMPARACIÓN APAREADA DE LOS CRITERIOS DE JERARQUIZACIÓN				
CRITERIOS	FF	DF	SF	CF
FF		3	1	1
DF	1/3		1/2	1/3
SF	1	2		1/2
CF	1	3	2	

Tabla 3.6: Comparación Apareada de los Criterios de Jerarquización

(Fuente: Elaboración Propia)

La siguiente etapa de la aplicación de la metodología AHP, es la etapa cualitativa donde se asignan pesos a las alternativas de cada uno de los criterios, analizando en cada caso el listado de activos de la tabla N° 3.1; estas evaluaciones se muestran en las siguientes cuatro tablas (3.7, 3.8, 3.9 y 3.10), los cuales muestran los valores ordenados de manera descendente, mostrando los máximos valores al inicio. Estas tablas elaboradas considerando los valores que se mostraron en las tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5:

- **Criterio de Frecuencia de Fallos (FF):**

Listado de equipos	FF	Jerarquización Local FF = (FF/Total)
Shiploader	9	0.021428571
Faja tubular N° 21	9	0.021428571
Faja Tubular N° 12	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 23	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 22	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 20	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 19	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 18	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 17	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 16	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 15	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 14	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 13	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 11	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 10	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 09	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 08	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 07	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 06	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 05	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 04	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 03	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 02	9	0.021428571
Faja Transportadora N° 01	9	0.021428571
Alimentador de Faja N°15 al 01	9	0.021428571
Puente Grúa N° 6 al 01	8	0.019047619
Sist. de Aspiración de Polvo CV, LB y Ant	7	0.016666667
	420	

Tabla 3.7: Jerarquización por Criterio de Frecuencia de Fallos

(Fuente: Elaboración Propia)

- **Criterio de Detección de Fallos (DF):**

Listado de equipos	DF	Jerarquización Local DF = (DF/Total)
Sist. de Aspiración de Polvo CV, LB y Ant	3	0.020833333
Shiploader	3	0.020833333
Puente Grúa N° 6 al 01	3	0.020833333
Faja tubular N° 21	3	0.020833333
Faja Tubular N° 12	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 23	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 22	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 20	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 19	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 18	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 17	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 16	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 15	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 14	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 13	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 11	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 10	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 09	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 08	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 07	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 06	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 05	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 04	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 03	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 02	3	0.020833333
Faja Transportadora N° 01	3	0.020833333
Alimentador de Faja N°15 al 01	3	0.020833333
	144	

Tabla 3.8: Jerarquización por Criterio de Detección de Fallos

(Fuente: Elaboración Propia)

- **Criterio de Severidad de Fallos (SF):**

Listado de equipos	SF	Jerarquización Local SF = (SF/Total)
Shiploader	10	0.024813896
Puente Grúa N° 6 al 01	9	0.022332506
Faja tubular N° 21	9	0.022332506
Faja Transportadora N° 23	9	0.022332506
Faja Transportadora N° 22	9	0.022332506
Faja Transportadora N° 20	9	0.022332506
Faja Transportadora N° 19	9	0.022332506
Faja Transportadora N° 18	9	0.022332506
Faja Transportadora N° 17	9	0.022332506
Alimentador de Faja N°15 al 06	9	0.022332506
Faja Tubular N° 12	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 16	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 15	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 14	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 13	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 11	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 10	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 09	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 08	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 07	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 06	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 05	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 04	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 03	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 02	8	0.019851117
Faja Transportadora N° 01	8	0.019851117
Alimentador de Faja N°05	8	0.019851117
Alimentador de Faja N°04	8	0.019851117
Alimentador de Faja N°03	8	0.019851117
Alimentador de Faja N°02	8	0.019851117
Alimentador de Faja N°01	8	0.019851117
Sist. de Aspiración de Polvo CV, LB y Ant	6	0.014888337
	403	

Tabla 3.9: Jerarquización por Criterio de Severidad de Fallos

(Fuente: Elaboración Propia)

- **Criterio de Costes de Fallos (CF):**

Listado de equipos	CF	Jerarquización Local CF = (CF/Total)
Shiploader	10	0.032154341
Puente Grúa N° 6 al 01	8	0.025723473
Faja tubular N° 21	8	0.025723473
Faja Tubular N° 12	8	0.025723473
Faja Transportadora N° 23	8	0.025723473
Faja Transportadora N° 22	8	0.025723473
Faja Transportadora N° 20	8	0.025723473
Faja Transportadora N° 19	8	0.025723473
Faja Transportadora N° 18	8	0.025723473
Faja Transportadora N° 17	8	0.025723473
Faja Transportadora N° 16	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 15	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 14	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 13	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 11	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 10	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 09	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 08	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 07	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 06	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 05	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 04	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 03	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 02	6	0.019292605
Faja Transportadora N° 01	6	0.019292605
Alimentador de Faja N°15 al 01	6	0.019292605
Sist. de Aspiración de Polvo CV, LB y Ant	3	0.009646302
	311	

Tabla 3.10: Jerarquización por Criterio de Costes de Fallos

(Fuente: Elaboración Propia)

La siguiente etapa en el proceso AHP es identificar los pesos que se tienen por cada criterio, para este caso se realiza un ejercicio matricial con los valores de la tabla 3.6. A continuación se muestra la tabla 3.11, la cual tiene como resultado los pesos de los 04 criterios, FF – 0.3, DF – 0.11, SF – 0.23 y CF – 0.36; estos pesos se calculan al realizar el promedio de cada fila de la matriz normalizada, que se obtuvo con los valores de la matriz apareada por jerarquización:

CRITERIOS	FF	DF	SF	CF	Matriz Normalizada				Pesos
FF	1	3	1	1	0.3	0.3	0.2	0.4	0.30
DF	0.3	1	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.11
SF	1	2	1	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.23
CF	1	3	2	1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.36
SUMA	3.3	9.0	4.5	2.8					

Tabla 3.11: Cálculo de pesos por criterio

(Fuente: Elaboración Propia)

Luego del cálculo de los pesos por criterio, se debe calcular el Ratio de Inconsistencia (IR), el cual nos permitirá aprobar la congruencia de los juicios considerados en la matriz apareada de jerarquización (tabla 3.6). Para el cálculo del IR nos remontamos a la teoría explicada en el Capítulo 02 (Jerarquización de Activos), en la que se indica que la fórmula del IR es la siguiente:

$$I_R = \frac{CI}{RI}$$

Sobre el valor de RI (Valor aleatorio promedio de CI para una matriz n x n), se tiene para este caso una matriz de 4 x 4, el cual cruzando valores con la tabla 2.2, se tiene que para este caso el valor de **RI es de 0.89**.

Por otro lado para el calcular el valor de CI, se tiene la siguiente fórmula:

$$CI = \frac{n \max - n}{n - 1}$$

De la cual se tiene que el valor de n es 4 (matriz 4 x 4); por otro lado el valor de n max se calcula de realizar la multiplicación matricial entre la matriz apareada con la matriz de los pesos calculados, esta multiplicación se obtiene en la matriz vectorial que se muestra en la tabla 3.12:

CRITERIOS	FF	DF	SF	CF	Pesos	Vectorial
FF	1	3	1	1	0.30	1.220
DF	0.3	1	0.5	0.3	0.11	0.445
SF	1	2	1	0.5	0.23	0.931
CF	1	3	2	1	0.36	1.450

4.05

Tabla 3.12: Cálculo de n_{max}

(Fuente: Elaboración Propia)

Finalmente el cálculo de n_{max} resulta ser la sumatoria de los valores de la matriz vectorial, que para este caso tiene un **valor de 4.05**. Con los input de RI y CI procedemos a realizar la división entre ambos valores, lo cual nos arroja como resultado final de $IR = 0.017$ o 2%. Este valor de Ratio de Inconsistencia resulta ser aceptable ya que es menor al 10%, por ende concluimos que los valores estimados en la matriz apareada son coherentes.

Posteriormente en las tablas 3.13 y 3.14 cuantificamos los sistemas evaluados con la jerarquización final en función con los valores ponderados hallados en la tabla 3.11, obteniendo que en la columna “Jerarquización Final” de la tabla 3.13, se muestran los valores finales que tendría cada equipo; posteriormente a ello en la 3.14 se identifican los activos por tres niveles (crítico – rojo, semicrítico – amarillo y no crítico – verde).

Del total de los activos que comprenden el Muelle F (48 activos), tomamos el 20% de ellos (metodología de Pareto) para identificar los más críticos, de este análisis se visualiza que son 09 en total los activos críticos, teniendo que dentro los críticos tenemos principalmente las fajas de despacho de Cerro Verde, Las Bambas y Antapaccay, y las fajas directas de embarque (para todos estos casos por no contar con sistemas de respaldo); así como también vemos que el activo que lidera la tabla de manera ascendente de criticidad es el Shiploder, por lo que podemos concluir que este último resulta ser el **más crítico**, activo en el cual se centrarán los esfuerzos de implementación del RCM que se describirán en las posteriores páginas. Finalmente con los 47 activos restantes, solamente se plantea realizar actividades PM las cuales de acuerdo a su nivel de criticidad deben ser evaluadas y monitoreadas constantemente.

Listado de equipos	FF x 1.220 (1)	DF x 0.445 (2)	SF x 0.931 (3)	CF x 1.450 (4)	Jerarquización Final (1)+(2)+(3)+(4)
Shiploader	0.026143	0.009271	0.023102	0.046624	0.105139
Faja tubular N° 21	0.026143	0.009271	0.020792	0.037299	0.093504
Faja Transportadora N° 23	0.026143	0.009271	0.020792	0.037299	0.093504
Faja Transportadora N° 22	0.026143	0.009271	0.020792	0.037299	0.093504
Faja Transportadora N° 20	0.026143	0.009271	0.020792	0.037299	0.093504
Faja Transportadora N° 19	0.026143	0.009271	0.020792	0.037299	0.093504
Faja Transportadora N° 18	0.026143	0.009271	0.020792	0.037299	0.093504
Faja Transportadora N° 17	0.026143	0.009271	0.020792	0.037299	0.093504
Faja Tubular N° 12	0.026143	0.009271	0.018481	0.037299	0.091194
Puente Grúa N° 6 al 1	0.023238	0.009271	0.020792	0.037299	0.090600
Alimentador de Faja N°15	0.026143	0.009271	0.020792	0.027974	0.084180
Alimentador de Faja N°14	0.026143	0.009271	0.020792	0.027974	0.084180
Alimentador de Faja N°13	0.026143	0.009271	0.020792	0.027974	0.084180
Alimentador de Faja N°12	0.026143	0.009271	0.020792	0.027974	0.084180
Alimentador de Faja N°11	0.026143	0.009271	0.020792	0.027974	0.084180
Alimentador de Faja N°10	0.026143	0.009271	0.020792	0.027974	0.084180
Alimentador de Faja N°09	0.026143	0.009271	0.020792	0.027974	0.084180
Alimentador de Faja N°08	0.026143	0.009271	0.020792	0.027974	0.084180
Alimentador de Faja N°07	0.026143	0.009271	0.020792	0.027974	0.084180
Alimentador de Faja N°06	0.026143	0.009271	0.020792	0.027974	0.084180
Faja Transportadora N° 16	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 15	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 14	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 13	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 11	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 10	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 09	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 08	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 07	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 06	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 05	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 04	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Faja Transportadora N° 03	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Alimentador de Faja N°05	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Alimentador de Faja N°04	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Alimentador de Faja N°03	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Alimentador de Faja N°02	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Alimentador de Faja N°01	0.026143	0.009271	0.018481	0.027974	0.081869
Sist.de Asp. Polvo CV, LB, Ant	0.020333	0.009271	0.013861	0.013987	0.057452

Tabla 3.13: Jerarquización Final

(Fuente: Elaboración Propia)

Listado de equipos	Jerarquización Final (1)+(2)+(3)+(4)
Shiploder	0.105139
Faja tubular N° 21	0.093504
Faja Transportadora N° 23	0.093504
Faja Transportadora N° 22	0.093504
Faja Transportadora N° 20	0.093504
Faja Transportadora N° 19	0.093504
Faja Transportadora N° 18	0.093504
Faja Transportadora N° 17	0.093504
Faja Tubular N° 12	0.091194
Puente Grúa N° 06 al 01	0.090600
Alimentador de Faja N°15	0.084180
Alimentador de Faja N°14	0.084180
Alimentador de Faja N°13	0.084180
Alimentador de Faja N°12	0.084180
Alimentador de Faja N°11	0.084180
Alimentador de Faja N°10	0.084180
Alimentador de Faja N°09	0.084180
Alimentador de Faja N°08	0.084180
Alimentador de Faja N°07	0.084180
Alimentador de Faja N°06	0.084180
Faja Transportadora N° 16	0.081869
Faja Transportadora N° 15	0.081869
Faja Transportadora N° 14	0.081869
Faja Transportadora N° 13	0.081869
Faja Transportadora N° 11	0.081869
Faja Transportadora N° 10	0.081869
Faja Transportadora N° 09	0.081869
Faja Transportadora N° 08	0.081869
Faja Transportadora N° 07	0.081869
Faja Transportadora N° 06	0.081869
Faja Transportadora N° 05	0.081869
Faja Transportadora N° 04	0.081869
Faja Transportadora N° 03	0.081869
Faja Transportadora N° 02	0.081869
Faja Transportadora N° 01	0.081869
Alimentador de Faja N°05 al 01	0.081869
Sist de Asp. de Polvo CV, LB y Ant	0.057452

Tabla 3.14: Criticidad de Activos – Muelle F

(Fuente: Elaboración Propia)

3.3.2 ENTENDIMIENTO DEL SHIPLoader.

En el circuito explicado en el apartado 3.3.1 Aplicación del Modelo de Criticidad AHP, muestra que en el sistema de embarque el último activo en la cadena de transporte del mineral es el Shiploader (equipo más crítico). Este Shiploader o Embarcador de Barcos (Figura 3.3), recibe el concentrado de cobre alimentado desde la Faja Transportadora N°22 (Faja Distribuidora o Galería), luego el mineral es descargado por medio del tripper sobre la faja transportadora del Shiploader (Faja Boom), considerando que éste se desplaza a lo largo de la faja transportadora en la galería. El tripper está conectado al Shiploader y se desplaza en conjunto con él.

El mineral es distribuido uniformemente en las bodegas de las naves por intermedio de una cuchara giratoria que se encuentra a un extremo del tubo colgante que se muestra en la Figura 3.3, el otro extremo está conectado al tripper del Shiploader. En todas las instalaciones portuarias del mundo que embarcan concentrado de mineral, se tienen como principales agentes del embarque a los Shiploader, pues ha quedado demostrado que esta clase de equipos son los más eficientes en producción y seguros con los usuarios y el cuidado del medio ambiente.

Las operaciones del Shiploader demandan bastante exigencia por parte de los operadores, los mismos que se encuentran ubicados desde la cabina superior del Shiploader (Oscar 09) y desde la nave (Oscar 10).



Fotografía 3.1: Shiploader – Muelle “F”

(Fuente: Departamento de Mantenimiento, Tisur - Ingeniería)

3.3.3 TAXONOMÍA DEL ACTIVO.

Para un mayor entendimiento del Shiploader, éste lo hemos dividido en 07 (sistemas según la Figura 3.4), de tal forma que podamos entender con mayor detalle los sistemas, subsistemas y componentes mantenibles/importantes que deban ser tomados en cuenta:

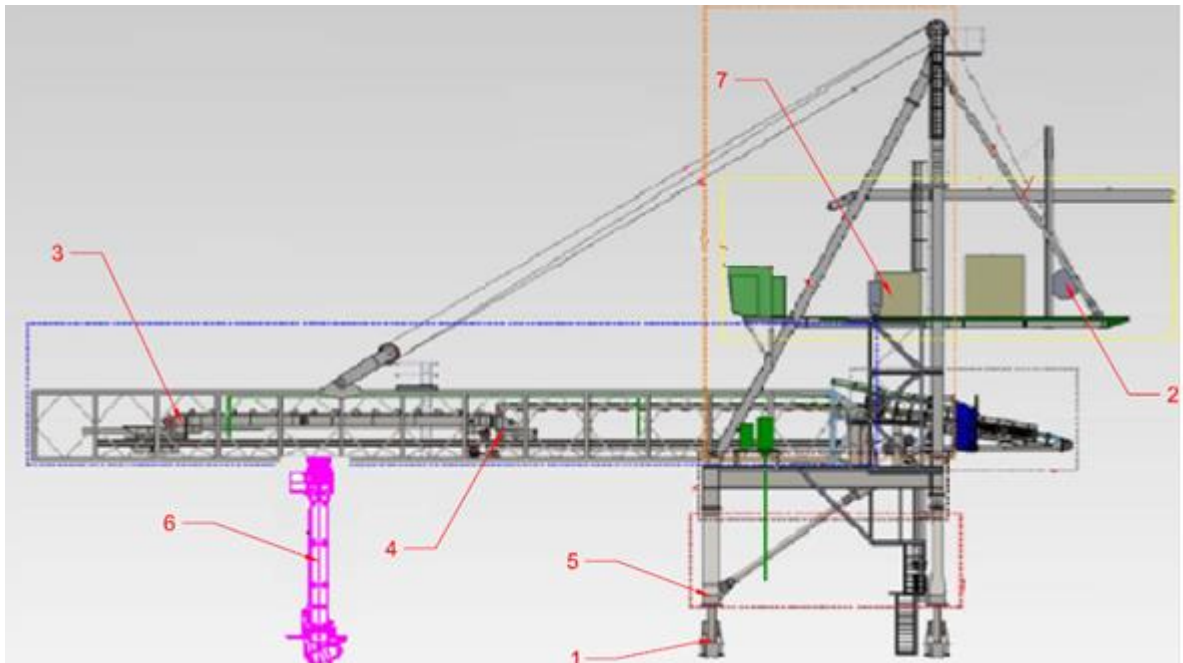


Figura 3.3: Taxonomía del Shiploader – Muelle “F”
(Fuente: Elaboración Propia)

N°	Nombre del Sistema
1	Travel (Sistema de Recorrido)
2	Sistema de Levante
3	Faja Transportadora (Boom)
4	Carro Shuttle
5	Sistema de Lubricación
6	Tubo de descarga
7	Sistema Eléctrico & Instrumental

Tabla 3.15: Desarrollo de Taxonomía del Shiploader – Muelle “F”

(Fuente: Elaboración Propia)

3.3.3.1 TRAVEL (SISTEMA DE RECORRIDO).

El Shiploader tiene un recorrido transversal a lo largo de todo el Muelle “F”, este recorrido lo realiza por medio de 24 ruedas de traslación que utilizan dos rieles fijadas en la infraestructura del muelle (Figura 3.5 y Tabla 3.16), en líneas generales ese es el funcionamiento del sistema de recorrido, el mismo que está desglosado en los siguientes subsistemas/componentes.



Fotografía 3.2: Sistema de Recorrido del Shiploader
(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur - Ingeniería)

N°	Sistema	Componentes
1	Travel (Sistema de Recorrido)	Remolques de dos ruedas
		Motoreductores
		Bloqueos de seguridad
		Amortiguadores hidráulicos
		Abrazaderas de sujeción al carril

Tabla 3.16: Taxonomía del Sistema de Recorrido
(Fuente: Elaboración Propia)

3.3.3.1.1 REMOLQUES DE DOS RUEDAS.

La estructura principal del Shiploader está sostenida en dos “pórticos”, los cuales tienen en sus extremos 06 remolques de dos ruedas por cada lado, teniendo un total de 24 ruedas que permiten el movimiento transversal del Shiploader. Las ruedas están sostenidas por medios de ejes soportados por dos chumaceras ubicadas en ambos extremos de la rueda. La transmisión de potencia hacia las ruedas, se realiza por medio de un sistema de engranajes cónicos, los cuales están inmersos en aceite.

3.3.3.1.2 MOTOREDUCTORES.

Los motoreductores son los componentes encargados de proporcionar el par necesario para el accionamiento de los diversos mecanismos del Shiploader,

que para este caso se tratan de motoredutores de la marca Sew Eurodrive modelo KH127/T. Para el caso del accionamiento del travel se tienen 12 motoredutores en total (06 en cada lado), los cuales independientemente cada uno entrega 7230 Nm.



Fotografía 3.3: Motoredutores de Travel

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur - Ingeniería)

3.3.3.1.3 BLOQUEOS DE SEGURIDAD.

El sistema de recorrido está provisto de 02 pasadores de bloqueo para tormento a cada lado, el bloqueo contra tormentas se activa manualmente al extremo del lado de recorrido cerca de la torre de transferencia. Las posiciones inferiores y superiores son monitoreadas por sensores inductivos para evitar cualquier desplazamiento en caso de tormenta.

3.3.3.1.4 AMORTIGUADORES HIDRÁULICOS.

El sistema de recorrido cuenta con 02 amortiguadores hidráulicos ubicados en cada extremo del Shiploader, cuya función es la de absorber la energía que se produzca en un choque, así como también la de reducir la velocidad del equipo en caso de una colisión de emergencia en el tope final.

3.3.3.1.5 ABRAZADERAS DE SUJECCIÓN AL CARRIL.

El sistema de recorrido cuenta con una abrazadera de sujeción en cada lado. Este sistema cuenta con elementos hidráulicos para la apertura y cierre operado con mecanismos tipo resorte.

3.3.3.2 SISTEMA DE LEVANTE.

El sistema de levante permite la articulación del boom del Shiploader (faja transportadora coberturada), esta articulación se realiza por medio del accionamiento de un winche ubicado en la parte superior del Shiploader.

Antes de tener atraque de nave en el Muelle F, el boom del Shiploader debe estar retraído en una posición con un ángulo máximo de 72° , y para el caso de realizar embarques el boom trabaja en un rango de 2° a 10° (normalmente trabaja entre 2° y 8°), esta variación del rango dependerá del alcance que se desee lograr con el mineral para entregarlo de manera homogénea en toda la bodega, así como también el ángulo que debe mantenerse el boom al momento de realizar cambio de bodegas en las naves es de 35° .



Fotografía 3.4: Sistema de Levante del Shiploader (Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur - Ingeniería)

N°	Sistema	Componentes
2	Sistema de Levante	Winche
		Electrofreno Hidráulico
		Cable de Acero Galvanizado

Tabla 3.17: Taxonomía del Sistema de Levante

(Fuente: Elaboración Propia)

3.3.3.2.1 WINCHE.

El winche de levante del boom de marca Zollern Electric, obedece al modelo ZHP 4.34 cuenta con dos cables de acero galvanizado de 36 mm de diámetro x 254 m de longitud; el winche para poder levantar el boom ofrece un torque suficiente de salida de 279,500 Nm, el cual es generado por un sistema

hidráulico que trabaja con 50 lt de aceite CLP 220, otro dato relevante del winche es que cuenta con sensores límites de altura, los cuales permiten regular el ascenso del boom, anteriormente con otros Shiploaders se han tenido siniestros por el no control de este límite de altura. Finalmente el winche se encuentra ubicado en la parte superior del Shiploader (Figura 3.8)

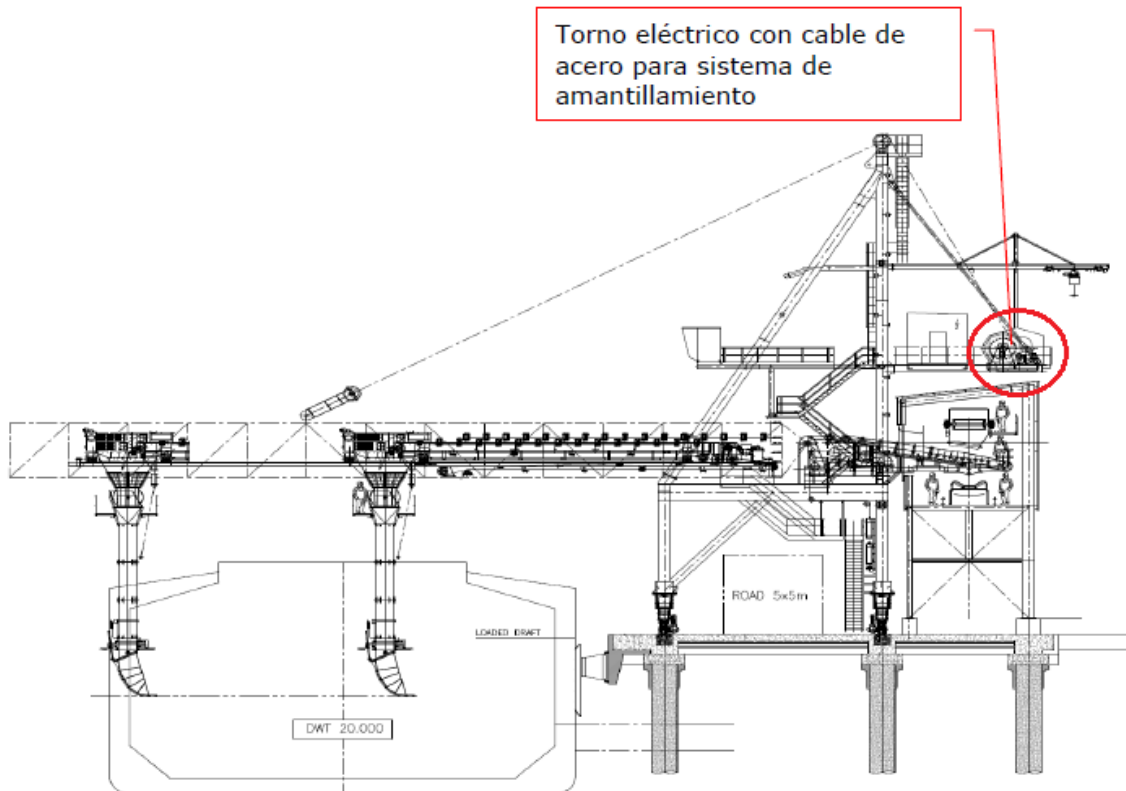


Figura 3.4: Ubicación del Winche

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur - Ingeniería)

3.3.3.2.2 ELECTROFRENO HIDRÁULICO.

El winche de levante cuenta con un freno hidráulico que sirve para detener el movimiento del cable de levante, para esta oportunidad se utilizan frenos de marca Pintsch Bubunzer (modelo SF 24S), el cual refiere a un freno de disco (pastillas de freno) que se utiliza como freno de espera y freno de emergencia, el desgaste de estas pastillas es monitoreado constantemente por personal de mantenimiento. Los frenos se liberan hidráulicamente y son calibrados por medio de los resortes de freno, finalmente el winche cuenta con dos sensores de proximidad, sensor de proximidad de liberación de control y sensor de proximidad del control de desgaste.

3.3.3.2.3 CABLE DE ACERO GALVANIZADO.

Elemento que consta de 254 m de largo, y es el responsable de transmitir los esfuerzos necesarios para el izaje del boom del SL, el cable es inspeccionado y lubricado con grasa periódicamente, evitando así la generación de corrosión a lo largo de toda su longitud

3.3.3.3 FAJA TRANSPORTADORA (BOOM).

La faja del boom del Shiploader se encuentra recubierta por coberturas tal como se muestra en las Figura 3.9, la faja se moviliza en conjunto con el carro tripper que se desliza a lo largo de la faja distribuidora, esta faja recibe el mineral del carro tripper N°05 y finalmente lo transporta por medio del tubo de descarga hacia las bodegas de la nave.

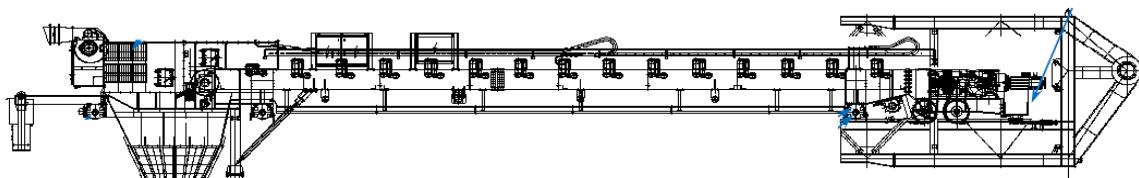


Figura 3.5: Faja Transportadora Shiploader

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur - Ingeniería)

N°	Sistema	Componentes
3	Faja Transportadora (Boom)	Unidad de accionamiento
		Poleas
		Banda transportadora
		Raspador de banda
		Rodillos
		Cama de Impacto

Tabla 3.18: Taxonomía de la Faja Transportadora Shiploader

(Fuente: Elaboración Propia)

3.3.3.3.1 UNIDAD DE ACCIONAMIENTO.

Para lograr el funcionamiento de la faja, ésta cuenta con una unidad de accionamiento compuesta por un reductor de velocidad de engranajes cónicos helicoidales, de marca Sew Eurodrive modelo X3KH140. La transmisión del torque que acciona el reductor es transmitida por medio de un eje sólido, que se conecta desde el eje de salida del motor eléctrico y el lado de alta velocidad de la caja de engranajes, utilizando el freno de disco que se utiliza con un eyector de freno tipo Eldro.

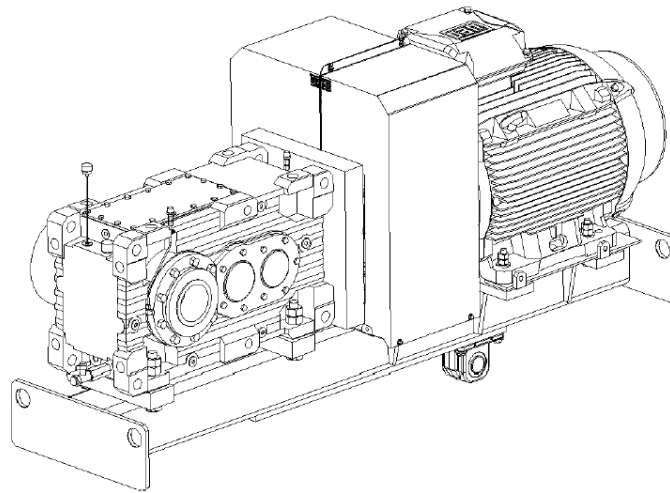


Figura 3.6: Reductor Sew Eurodrive X3KH140

(Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento Serie X, Sew Eurodrive)

3.3.3.2 POLEAS.

Para este caso el sistema de la banda transportadora cuenta con 07 poleas distribuidas de la siguiente manera:

1. Polea de accionamiento, patrón de diamante de 20 mm, 60 Shore A.
2. Polea de descarga, patrón de diamante de 13 mm, 45 Shore A.
3. Polea de retorno/cola, patrón de diamante de 13 mm, 45 Shore A.
4. Polea de curva, patrón de diamante de 13 mm, 45 Shore A.
5. Polea tensora, patrón de diamante de 13 mm, 45 Shore A.
6. Polea de contracurvado, patrón de diamante de 13 mm, 45 Shore A.
7. Polea de contrapeso, patrón de diamante de 13 mm, 45 Shore A.

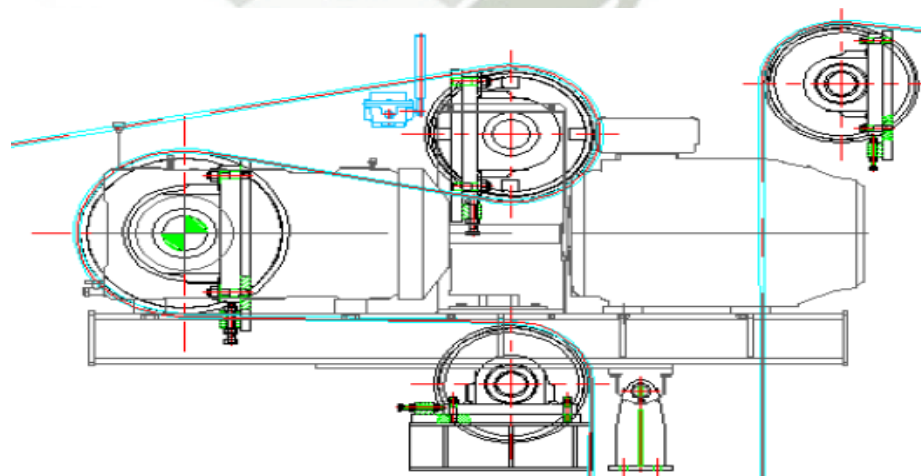


Figura 3.7: Distribución de poleas en Faja Boom

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur - Ingeniería)

3.3.3.3 BANDA TRANSPORTADORA.

La banda transportadora tiene una alta calidad de transporte y una buena resistencia contra la humedad y ácidos. Las capas superiores del lado de carga se fabrican en caucho resistente a la abrasión. La banda en total de 60” de ancho tiene un largo total de 113 m y sus características son EP800/3 X 6MM X 3MM.

3.3.3.4 RASPADOR DE BANDA (LIMPIADOR).

En la polea de descarga se cuenta con un sistema de limpiadores de banda, los cuales obedecen a las siguientes características:

- Limpiador Principal o Primario, Modelo: QC#1 – XHD, Martin.
- Limpiador Secundario, Modelo: SQC2, Martin.

El primero de ellos (primario) está compuesto por una hoja de limpiador instalada en un cuarto inferior de la polea de descarga, de manera que limpie la banda ejerciendo un mínimo de presión sobre la polea.

El limpiador secundario está compuesto por una hoja de carburo de tungsteno instalada después de la polea de descarga, inmediatamente después del limpiador primario, eliminando así el material que aún quede pendiente después de la limpieza con el limpiador primario. La presión de operación puede ajustarse con un resorte tensor para compensar el desgaste de las hojas.



Figura 3.8: Raspador Primario y Secundario de la banda transportados

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería).

Elemento que consta de 254 m de largo, y es el responsable de transmitir los esfuerzos necesarios para el izaje

3.3.3.5 RODILLOS.

Los rodillos son elementos muy fundamentales para permitir el movimiento en traslación de la banda transportadora, motivo por el cual es imperativo asegurar que estos se encuentren en perfectas condiciones, para el caso de la faja boom se tienen las siguientes configuraciones de rodillos:

Rodillos de carga, 60 unidades, de diámetro 152 x 616 mm de largo.

Rodillos de retorno de caucho, 04 unidades de tipo 64" de diámetro.

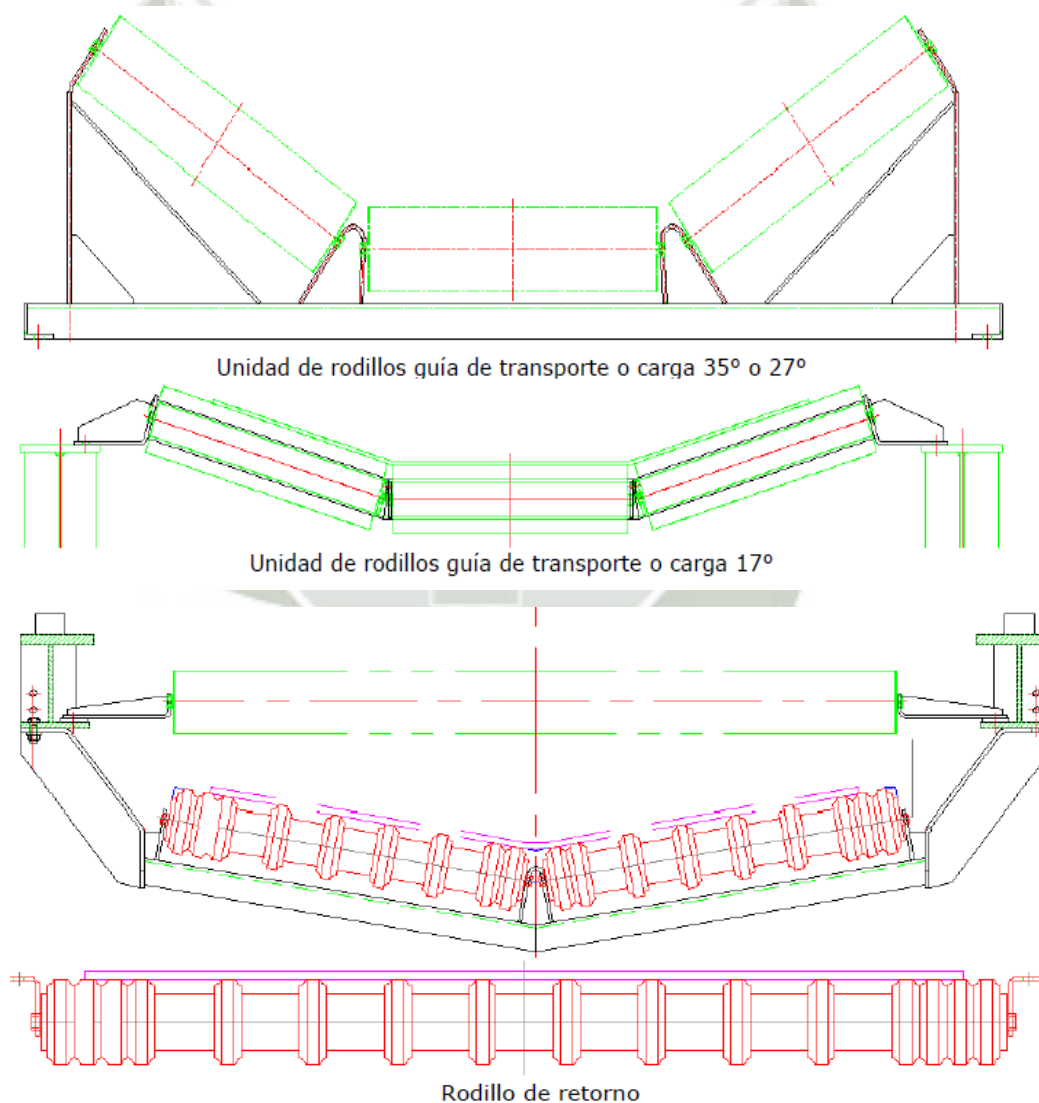


Figura 3.9: Configuraciones de rodillos en Faja Boom SL

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería).

3.3.3.3.6 CAMA DE IMPACTO.

Este sistema de transporte cuenta con una cama de impacto que ayuda como amortiguador del material de descarga, el cual va hacia la banda transportadora del boom. La cama de impacto está fabricada con perfiles de acero rígido, equipada con 08 barras de impacto las mismas que están recubiertas con UHMW (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular), el cual con su alta resistencia a la abrasión, impacto y altas temperaturas, permiten proteger de manera adecuada la banda transportadora. Para este caso la cama de impacto está compuesta en la parte inferior por un rodillo de caucho según se muestra en la Figura 3.14:

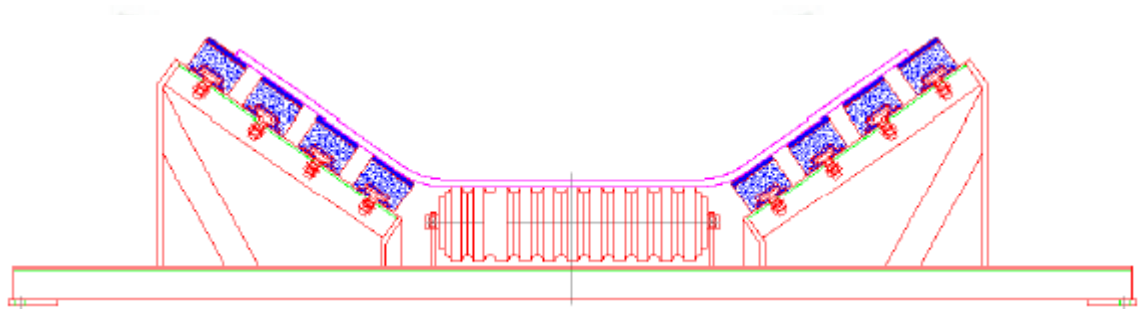


Figura 3.10: Cama de Impacto Faja Boom

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería).

3.3.3.4 CARRO SHUTTLE.

El Carro Shuttle refiere al carro tripper que se moviliza por medio de rieles de traslación a lo largo de la estructura de la Faja Boom, su movimiento permitirá retraer o contraer el tubo de descarga, lo cual permite que éste último se ubique en una posición ideal sobre la bodega de la nave para iniciar con la descarga del mineral:

N°	Sistema	Componentes
4	Carro Shuttle	Reductor de velocidad
		Cadenas & Sprockets
		Ruedas
		Rail Clamp

Tabla 3.19: Taxonomía del Carro Shuttle

(Fuente: Elaboración Propia)

3.3.3.4.1 MOTOREDUCTOR.

Para este caso contamos con un motoreductor de la marca Sew Eurodrive del tipo SH77/T R37 DR63L4/BR/HR, equipo que permite dar movimiento controlado al Shuttle, para lo cual entrega un valor de par de salida de 900 Nm, un índice de reducción de velocidad (r/min) de 1600 / 1.9 y un índice de reducción total de 837 / infinito. Por lo demás los datos son muy similares a los descritos en el punto 3.3.3.3.1.

3.3.3.4.2 CADENAS & SPROCKETS.

El Shuttle se encuentra provisto de dos cadenas y las correspondientes ruedas dentadas como se indica a continuación:

- Dos cadenas con un paso de 76,2 mm. Están conectadas a la pluma por medio de 2 sistemas tensores de resorte instalados en cada una de ellas.
- Dos ruedas dentadas de accionamiento con 15 dientes cada una.
- Cuatro ruedas dentadas de desviación con 23 dientes cada una, para volver a poner la cadena dentro de su sistema guía.
- El guiado de la cadena a lo largo de la pluma se realiza por medio de perfiles de acero.



Fotografía 3.5: Configuración de Cadenas & Sprockets del Shuttle

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería).

3.3.3.4.3 RUEDAS.

Los bloques de ruedas son de marca Karl Georg los cuales constan de dos semi-carcazas maquinadas y atornilladas una a otra de forma exacta, con este arreglo permite poder cambiar el elemento de desgaste “Rueda de rodadura”, así como también el rodamiento de rodillos a rótula de forma más rápida y sencilla. El Shuttle se desplaza sobre carriles utilizando ruedas en bloques consistentes en:

- 06 bloques equipados con ruedas con bridas ajustadas sobre rodamientos esféricos.
- 02 carriles cuadrados con perfil de 50x70 mm.

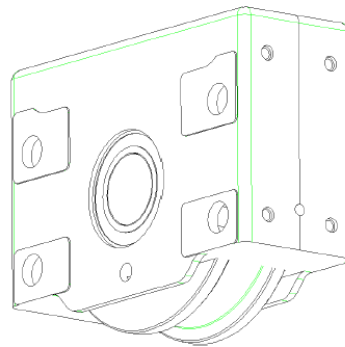


Figura 3.11: Bloque de Ruedas del Shuttle

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería)

3.3.3.4.4 RAIL CLAMP O ABRAZADERA DE SUJECIÓN AL CARRIL.

El shuttle se ajusta con un sistema de 02 abrazaderas de anclaje al carril provistas de unidades hidráulicas separadas para la apertura y cierre operados con mecanismo tipo resorte. En caso de falla eléctrica, los rails clamp se cerrarán automáticamente.

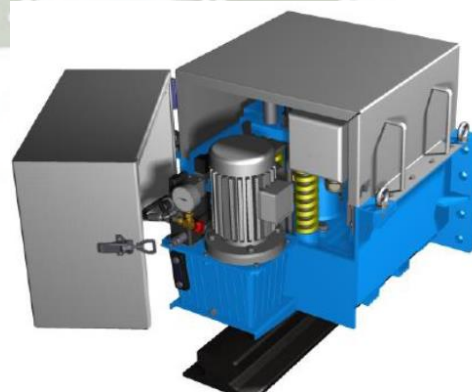


Figura 3.12: Rail Clamp del Shuttle

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería)

3.3.3.5 SISTEMA DE LUBRICACIÓN.

Este sistema del Shiploader es el encargado de llevar a cabo la lubricación centralizada en el Travel así como también en el Shuttle, el sistema de lubricación con grasa se aplica automáticamente en los rodamientos de poleas, ruedas, ruedas dentadas y cajas de engranajes. El sistema de lubricación está conformado por 01 bomba de engrase y el sistema complementario de lubricación (mangueras, tuberías, conexiones).

N°	Sistema	Componentes
5	Sistema de Lubricación	Bomba P250 Sistema de mangueras

Tabla 3.20: Taxonomía del Sistema de Lubricación

(Fuente: Elaboración Propia)

3.3.3.5.1 BOMBA P250.

La bomba de lubricación centralizada del tipo P250 propulsada eléctricamente viene con un depósito con control de nivel de 10 litros para lubricante, cada bomba tiene una válvula limitadora de presión y un manómetro pos-conectado (440 V / 60 Hz).



Fotografía 3.6: Bomba de Lubricación P250

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería)

3.3.3.5.2 SISTEMA DE MANGUERAS.

Los puntos de lubricación reciben el lubricante vía distribuidores progresivos (manifolds), si una salida está cerrada, la próxima salida inferior del mismo lado recibe la cantidad doble de lubricante. Adicionalmente los distribuidores se monitorean electrónicamente mediante detectores de pistón. En el Shuttle se encuentran disponibles 30 puntos diferentes de engrase, mientras que en el Travel también se tienen 30 puntos de engrase por cada lado (lado mar y lado tierra).

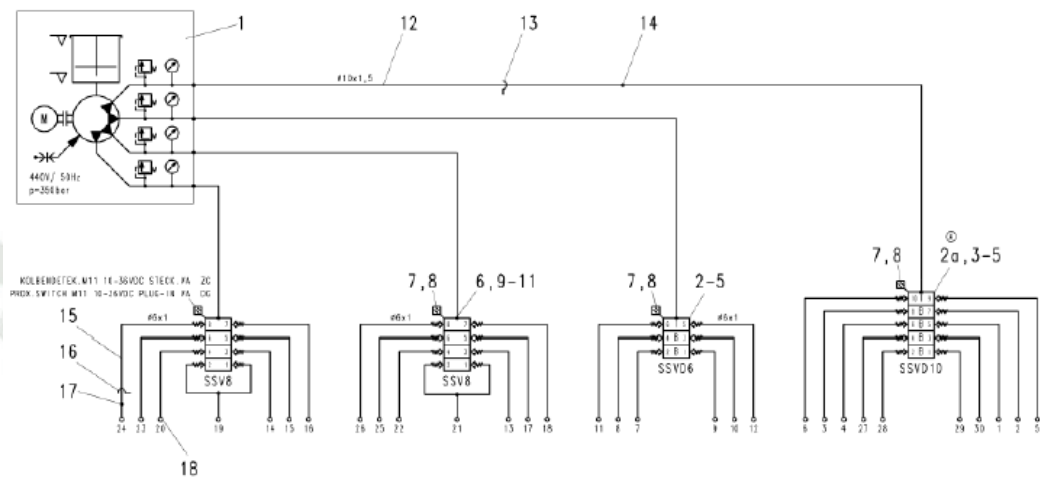


Figura 3.13: Arreglo de mangueras del Sistema de Lubricación

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería)

3.3.3.6 TUBO DE DESCARGA.

Este sistema del Shiploader es el encargado de llevar a cabo la lubricación centralizada en el Travel así como también en el Shuttle, el sistema de lubricación con grasa se aplica automáticamente en los rodamientos de poleas, ruedas, ruedas dentadas y cajas de engranajes.

N°	Sistema	Componentes
6	Tubo de descarga	Chute de descarga
		Péndulo
		Sistema de Giro

Tabla 3.21: Taxonomía del Tubo de Descarga

(Fuente: Elaboración Propia)

3.3.3.6.1 CHUTE DE DESCARGA.

El chute de descarga es el elemento mecánico por el cual se recibe el mineral proveniente de la faja boom, por intermedio del carro tripper del Shiploader (Shuttle).



Fotografía 3.7: Chute de Descarga

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería)

3.3.3.6.2 PÉNDULO.

El péndulo es compuesto por 03 tubos de transferencia, los cuales están fabricados en láminas/perfiles de acero laminado con rodillos, las bridas de acero van soldadas sobre el cuerpo con los angulares de ensamble que se requieran. Esta parte del Shiploader se encuentra revestido con material antiadherente (tivar 88 de 12 mm), debido a que se debe considerar que uno de los factores más críticos en la operación de concentrado de mineral, es el factor de humedad relativa que se tiene para el producto, un mal control de la humedad relativa, un mal control del flujo de embarque o un mal control de la limpieza del péndulo, chute y demás, puede conllevar a consecuencias directas de apelmazamiento de mineral.

Los eventos de apelmazamiento de mineral (atoros de mineral), son fallos operativos que se pueden dar con cierta frecuencia, siempre y cuando no se hayan cumplidos las actividades que se indica líneas arriba, los atoros generan paro en los embarques, daño en las estructuras (tubos, bridas, uniones soldadas, otras).

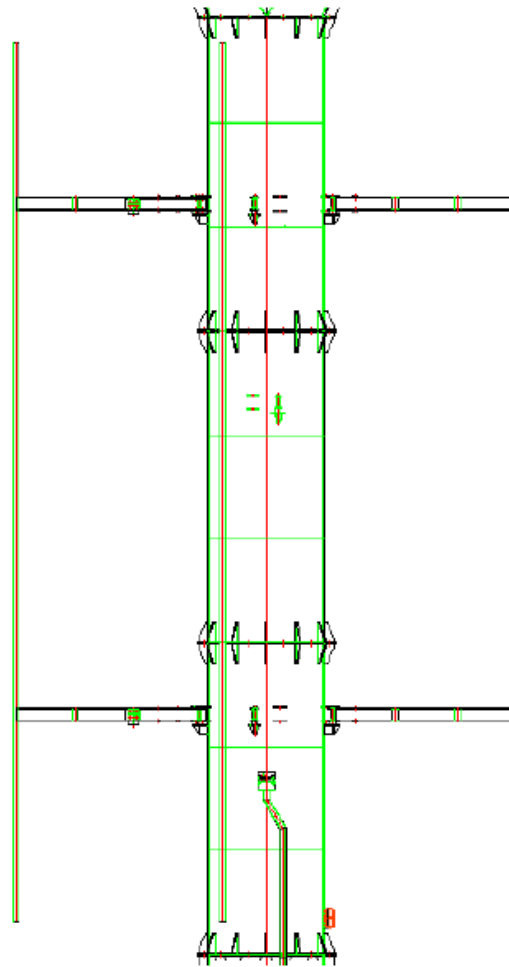
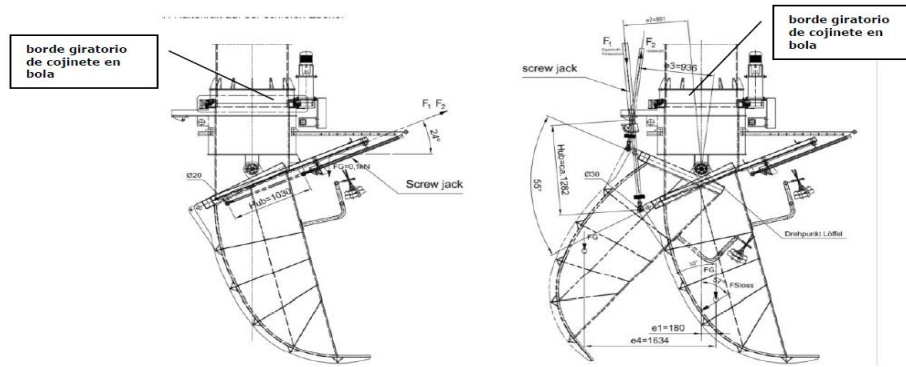


Figura 3.14: Péndulo de Descarga

(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería)

3.3.3.6.3 SISTEMA DE GIRO.

El sistema de giro permite en líneas generales el accionamiento de la cuchara, la cual se encarga de la distribución del mineral en las bodegas de las naves (Figura 3.22), la cuchara tiene un desplazamiento en 360° alrededor del eje del tubo de descarga, este movimiento es dado por medio de una cremallera dentada que se ubica alrededor de la cuchara, este movimiento de rotación es dado por medio de un motoreductor ubicado en la estructura de soporte del giro de cuchara “ring”. El giro de cuchara cuenta con sensores de anticolidión que evitan que la estructura colisione con las naves a raíz del roll de la marea, finalmente en la punta de la cuchara se tiene una compuerta que termina por hermetizar la cuchara al término de los embarques.



Fotografía 3.8: Funcionamiento del Sistema de Giro
(Fuente: Área de Mantenimiento, Tisur – Ingeniería)

3.3.3.7 SISTEMA ELÉCTRICO & INSTRUMENTAL.

Por la magnitud del sistema que comprende el Shiploader, requiere tener un sistema eléctrico e instrumental que permita mantener todo el activo energizado y controlado bajo los estándares de operación que se requiere, por eso se necesita mantener una lógica en conjunto con todos sus componentes; para un entendimiento en resumen de este sistema, se tiene el siguiente cuadro resumen:

N°	Sistema	Componentes
7	Sistema Eléctrico & Instrumental	Sensores & Switches
		Sistema de bloqueo
		Alarmas de advertencia
		Sistema de control

Tabla 3.22: Taxonomía del Sistema Eléctrico & Instrumental

(Fuente: Elaboración Propia)

3.3.3.7.1 SENSORES & SWITCHES.

El Shiploader cuenta con un conjunto de sensores que permiten mantener los parámetros operacionales del equipo, en resumen se tiene el siguiente listado de componentes:

- **Sensor de posicionamiento de recorrido:** Se instala un sensor de posicionamiento en una de las ruedas no accionadas del lado mar y lado tierra, orientado en monitorear el posicionamiento del recorrido, con la inclinación de cada lado.
- **Switch de recorrido (en el tripper):** Se instala un sensor y switch límite de carrera, permitiendo controlar el desplazamiento del tripper.
- **Switch limitador de levantamiento:** El Shiploader está equipado con 02 switches limitadores de altura del izaje del boom, manteniendo como parámetro de levante dos ángulos (72° en levante y -8° en descenso).
- **Pull cord:** El pull cord o cable de parada de emergencia, se extiende a lo largo de todo el pasillo de la faja boom y se conecta al brazo de un switch eléctrico. De esta manera el equipo puede ser detenido tirando del cable en una situación de emergencia.
- **Switch de desalineamiento de la banda:** Estos switches se ubican en formación de pares a ambos lados de la banda transportadora, se instalan antes de la polea de descarga en el tripper, se instalan delante de la polea de accionamiento y después de la polea de retorno en la faja transportadora de la pluma. La función que cumplen es emitir una señal en el caso de que se produzca una desalineación de la banda sobre los rodillos guía.
- **Sensor de velocidad de la banda:** Sensor ubicado en la polea de retorno, asegura que la faja transportadora corra adecuadamente y sin dificultades.
- **Switch limitador de tensión:** Se suministran 02 sensores de proximidad en los puntos más alto y bajo de la caja del contrapeso gravitacional, los cuales sirven para detectar la sobrecarrera de la banda. Se ubica 01 switch limitador de posición inferior para detectar el alargamiento o rotura de la banda.
- **Sensor de detección de cadena suelta:** Cerca del sprocket del accionamiento del Shuttle, se instalan 04 sensores de proximidad, los cuales ayudan a identificar si la cadena está suelta.
- **Sensor de chute obstruido:** Se instala un sensor basculante dentro del chute de descarga del carro y del chute de descarga de la pluma para detectar atasco u obstrucción.

- **Sensor de colisión de pluma:** Se instalan 04 sensores (02 transmisores y 02 receptores), 02 en el extremo de la pluma y 02 en la plataforma del winche, sirven para alertar sobre la proximidad del boom hacia alguna estructura que pueda generar siniestro.
- **Sensor de protección contra colisión:** Se tienen instalados 04 sensores de proximidad instalados alrededor del tubo de descarga para detectar cualquier colisión entre la estructura del Shiploader y el barco.
- **Sensor de posicionamiento de la faja (Shuttle):** Se instala 01 sensor de posicionamiento en la rueda del Shuttle, sirve para monitorear la posición del recorrido.

3.3.3.7.2 SISTEMA DE BLOQUEO.

Se suministran 04 sensores instalados en las posiciones más altas, los cuales inhiben el funcionamiento del Shiploader en caso de detectar presencia de tormentas, o presencia de lluvias que puedan comprometer el funcionamiento del sistema, o que simbolicen riesgo alguno al personal de operación. El sistema de bloqueo se relaciona directamente con el sistema de control, permitiendo que no se tenga movimiento alguno por parte del Shiploader.

3.3.3.7.3 ALARMAS DE EMERGENCIA.

El Shiploader cuenta con 04 bocinas (115 dB) y luces intermitentes (balizas) de advertencia como se indica a continuación:

- Recorrido hacia adelante, derecha.
- Recorrido hacia atrás, izquierda.
- Estructura del tripper.
- Cerca del punto pivotal de la pluma.

3.3.3.7.4 SISTEMA DE CONTROL.

Para la operación del Shiploader se cuenta con una cabina en su interior, en la cual se cuenta con el panel del operador y se puede seleccionar uno de los 03 modos de operación:

- **Modo Manual:** En este modo se decide para que la operación de cada motor pueda arrancarse y detenerse en forma separada, utilizando el panel táctil instalado en la cabina de control.
- **Modo Automático:** En este modo de operación el proceso automático puede iniciarse y detenerse en el equipo utilizando el panel táctil instalado en la

Sala Eléctrica principal. Este es el modo normal que se utiliza en las operaciones de embarque.

- **Modo Remoto:** En este modo el Shiploader es operado con el control remoto desde una posición externa al Shiploader.

Para dar inicio a los embarques el operador del SL (Oscar 09), posiciona el boom en un ángulo de 37° ($1^\circ = 30$ cm vertical), considera también el rol de la nave mantenimiento una distancia entre la cubierta y la cuchara de 1.6 m aproximadamente. De darse estas condiciones el Oscar 09 baja el boom y lo posiciona a 35° y continua con el ingreso del boom dentro de la bodega, para dar inicio con las descargas de mineral.



CAPÍTULO 4 PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DEL RCM

4.1 CONTEXTO OPERACIONAL DEL SHIPLOADER.

Para poder tener mejor definidas las funciones primarias y secundarias, así como también para un mayor entendimiento al momento de plantear los modos del falla del Shiploader, se muestra la Tabla 4.1 la cual enlista los factores del contexto operacional, los cuales finalmente van a recaer en formular el contexto operacional del activo:

Con los valores que se indican en la Tabla 4.1, definimos al contexto operacional como se menciona a continuación:

El Shiploader o embarcador de mineral del Muelle “F” de Tisur, es el activo más crítico dentro de la cadena de transporte de mineral, perteneciente al sistema de embarque de concentrado de cobre de las empresas mineras Cerro Verde, Las Bambas y Antapaccay; es el activo encargado de la distribución uniforme del mineral dentro de las bodegas de las naves atracadas en el muelle. Dentro del flujo de transporte del concentrado de cobre se tiene que el Shiploader es el único activo con estas características, no cuenta con sistemas o equipos en redundancia, motivo por el cual lo hace irremplazable y sumamente necesario para el desarrollo de las operaciones, justamente estas operaciones de embarque deben de realizarse sin ocurrencia de falla, puesto que por cada embarque se tiene contratado un flujo de embarque de 2,000 Tn/hr, el cual al no ser respetado simboliza en pérdidas económicas para Tisur; otro aspecto importante en referencia a los turnos de operación del Shiploader, es que éste se desarrolla en turnos rotativos, puesto que la dependencia de la hora de inicio de los embarques depende directamente del arribo y condiciones de atraque de la nave. Ante una ocurrencia de falla, se tienen mapeados los repuestos críticos que podrían afectar la funcionabilidad del activo, no obstante el tiempo de reparación en algunos casos (según el modo de falla) puede ser prolongado, básicamente por la complejidad que esto involucra. Otro aspecto importante de la operación del Shiploader, es que involucra que se cumplan con los estándares establecidos en las normas internacionales ISO 140001, evitando de esta manera contaminar el medio ambiente, que para este caso principalmente refiere a la no contaminación con mineral del mar y el aire circundante en las operaciones de embarques; así como también con OHSAS 18001 (Seguridad y Salud en el Trabajo), puesto que al ser un equipo de dimensiones mayores, trabajar energizado y con equipos en movimiento simboliza un riesgo que debe ser controlado y minimizado para asegurar el resguardo de la persona.

Factores del Contexto Operacional	Descripción
Proceso por lotes y continuos	El Shiploader es un activo indispensable en la cadena de transporte del mineral, ya que en el sistema de embarque el transporte es en serie, siendo el Shiploader el encargado de depositar el mineral en las bodegas de las naves.
Redundancia	Para este caso no aplica este factor, puesto que el Shiploader no tiene sistemas o componentes en redundancia.
Estándares de Calidad	Se tiene la obligación de cumplir con el embarque de mineral de acorde a lo estipulado en el acuerdo que se tiene con cada cliente minero. Los embarques son contratados para funcionar bajo un flujo de 2,000 Tn/hr.
Estándares Medio Ambientales	Por el cumplimiento de la ISO 140001 (certificación vigente con Tisur), y por el compromiso de los acuerdos que se tiene con las comunidades aledañas, la emisión de concentrado de mineral hacia el mar debe ser cero.
Riesgos para la Seguridad	Tisur cuenta con un Sistema Integrado el cual contempla el cumplimiento de la norma internacional OHSAS 18001. Considerando que la operación del Shiploader es una actividad de riesgo, por tratarse de un activo energizado y de altas dimensiones estructuralmente, se tienen bien identificadas las medidas que minimicen el riesgo a fin de preservar la seguridad de las personas.
Turnos de Trabajo	Los turnos de trabajo de operación del Shiploader, están sujetos a los tiempos de atención de embarque de las naves. Las naves finalmente atraquen en el Muelle dependiendo su hora de arribo, condiciones de la marea y otros permisos que son aprobados preliminarmente.
Tiempo de Reparación	Se cuenta con supervisión y personal de ejecución de mantenimiento durante los 365 días del año (24 horas), no obstante hay atenciones que se tienen que realizar con personal especializado, como por ejemplo la actualización de la licencia de software.
Repuestos	Se tienen definidos repuestos críticos (mecánicos, eléctricos e instrumentales) para el Shiploader, lo cual permite tener una respuesta rápida de reparación ante una falla.

Tabla 4.1: Factores del Contexto Operacional

(Fuente: Elaboración Propia)

4.2 DEFINICIÓN DE FUNCIONES DEL SHIPLOADER.

Para definir el alcance de las funciones del Shiploader, vamos a tener en consideración el contexto operacional del activo descrito en el punto 4.1; sobre ello se define la siguiente función principal y las siguientes funciones secundarias.

Función Principal: Embarcar concentrado de cobre con una humedad relativa promedio de 8.5% de los clientes mineros Cerro Verde, Las Bambas y Antapaccay, dentro de las bodegas de los buques atracados en el Muelle “F” a razón de un régimen de 2,000 Tn/hr; efectuando la labor de embarque sin ocurrencia de falla funcional del activo.

Bajo este enfoque a función principal refiere a asegurar el embarque del mineral con el régimen contratado con el cliente minero, por otro lado el Shiploader cuenta con otras funciones conexas, las cuales las mencionamos dentro de las siguientes funciones secundarias:

Funciones Secundarias: En relación al contexto operacional y al desarrollo de la taxonomía del activo, se definen las siguientes funciones secundarias:

1. Permitir el movimiento de traslación del Shiploader a lo largo de las rieles de traslación ubicadas en el Muelle “F”, a razón de una velocidad de 0.5 m/s y emitiendo una señal sonora de 115 dB que sirva como alerta al personal cercano al Shiplaoder.
2. Desarrollar el levante del boom del Shiploader, generando un torque necesario de 279,500 Nm para ello, manejando un rango de ángulos de 72° (boom retraído) antes del atraque, y un rango promedio de 2° a 10° al momento de embarcar el mineral.
3. Permitir el giro de cuchara del tubo de descarga, pueda girar 360° sobre su eje principal, así como también permitir el penduleo de la cuchara para así dar mejores facilidades de embarque al cargo master (encargado operativo de los embarques).
4. Asegurarse que el sistema de bloqueo de tormentas y lluvias funcione al momento de darse estos eventos naturales.
5. Garantizar que el Shiploader pueda ser operado mediante cualquiera de sus 03 modos de operación (manual, automático y remoto); para ello la cabina de operación debe mantener el confort para el operador de cabina Oscar 9, así como también el mando remoto que opera el Oscar 08 debe ser confiable y amigable.

6. Embarcar concentrado de cobre sin generar contaminación de mineral en el mar y en el aire.
7. Embarcar concentrado de cobre sin generar accidentes al personal circundante a la operación del Shiploader.
8. Mantener el diseño estructural y presentación del Shiploader, puesto que resulta ser la imagen frontal del puerto ante las naves que atracan en el muelle.

4.3 IMPLEMENTADORES DEL RCM.

En el punto 2.2.2 “CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO”, se dio mayor detalle de cómo debería ser el equipo de trabajo que estará a cargo de la implementación del RCM; para nuestro caso en Tisur se conformó un equipo de trabajo con el cual se desarrolló la propuesta del nuevo plan de mantenimiento y que finalmente se terminó por presentar la propuesta a Gerencia, quien a futuro terminará por evaluar si se implementa o no el plan RCM, éste último punto no es considerado en el presente trabajo de investigación.

Bajo coordinaciones internas entre la Gerencia de Ingeniería, Gerencia de Operaciones y Gerencia del SIG, se aprobó realizar sesiones de revisión del avance de la propuesta del RCM, para este caso formaron específicamente por parte de la Gerencia de Ingeniería, la Subgerencia de Ingeniería, Jefes de Mantenimiento Mecánico y Eléctrico & Instrumental, Planificador de Mantenimiento (encargado de liderar las reuniones – facilitador RCM), Supervisores de Mantenimiento Mecánico y Eléctrico & Instrumental, y finalmente técnicos de mantenimiento más representativos, aquellos que reúnen mayores cualidades de liderazgo y entendimiento del análisis situacional del Shiploader.

Por parte de la Gerencia Operativa, participa directamente la Superintendencia de Minerales, Jefes de Minerales y Supervisores de Minerales; este grupo humano resulta ser bastante productivo al momento de ir armando las estrategias, puesto que su punto de vista resulta ser bien provechoso, más que nada por la interesante perspectiva que plantean.

Por su parte la Gerencia del Sistema Integrado de Gestión, mantuvo como participantes por el área de seguridad al Superintendente, Jefe y Supervisores; mientras que por parte del área de Medio Ambiente, estuvo involucrado directamente el Jefe de Medio Ambiente.

Las reuniones fueron sostenidas por el periodo de 05 meses, realizando en promedio sesiones cada 15 días, en la cual se venía realizando las revisiones y ajuste del caso (según se venía dando su necesidad de involucramiento de los participantes). Finalmente al momento de la

emisión del entregable final se sostuvo una reunión final en la que se mostraron los cambios a ser implementados y más que ello los logros alcanzados con la implementación del proyecto.

4.4 ANÁLISIS DEL RCM.

Para iniciar con la implementación del RCM, se inicia con desarrollar el AMEF (Análisis Modo Efecto de Falla), que luego termina por interactuar con el Diagrama de Decisión del RCM, para que finalmente se realice el Desarrollo de la Hoja de Decisión del RCM, estos tres ítems son desarrollados en los puntos 4.4.1, 4.4.2 y 4.4.3 respectivamente:

4.4.1 ANÁLISIS MODO EFECTO DE FALLA (AMEF).

En esta parte del proyecto desarrollamos el análisis de modos y efectos de falla (AMEF) del activo, entendiéndose qué modo de falla (¿Qué ocurre?) es cualquier evento que puede causar falla funcional de un activo físico o sistema; para ello se hace un listado de los modos de falla causales de fallas funcionales. La idea de tener bien mapeados los modos de falla, es básicamente para orientar la estrategia de mantenimiento a mantenimiento proactivo, puesto que al tener definidas las formas de falla nos ayudará a plantear una actividad en cada caso con el fin de evitarlas, nueva selección de actividades de mantenimiento.

Luego de ello dentro del proceso del RCM sigue en hacer una lista de lo que de hecho sucede al producirse un modo de falla, en otras palabras estamos hablando de los “efectos de falla” (¿Qué importancia tiene?); concretamente al describir los efectos de las fallas, se debe constar lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla.
- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla.

Las acciones que pueden tomarse para manejar las fallas pueden ser una de las dos categorías:

Tareas Proactivas: Son las tareas que se llevan a cabo antes de que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla, para este caso nos referimos principalmente al mantenimiento predictivo y preventivo.

Acciones a falta de: Estas tratan con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva.

Principalmente se fijan esfuerzos en realizar tareas proactivas, siempre y cuando estas logren reducir las consecuencias de las fallas lo suficiente como para justificar los costos directos e indirectos de hacer la tarea. También un juicio que determina la ejecución o no de la tarea proactiva, es la factibilidad técnica para poder ejecutarla.

4.4.2 DIAGRAMA Y HOJA DE DECISIÓN DEL RCM.

Con el Diagrama de Decisión del RCM, se integran las últimas 03 de las 07 preguntas que conforman el proceso del RCM:

¿Qué importa si falla?

¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?

¿Qué debe hacerse si no puede encontrarse una tarea proactiva apropiada?

Este diagrama es una guía que ayuda a definir las acciones a ejecutar para cada modo de falla, estos valores se irán registrando en la hoja de decisión que se irá desarrollando líneas más adelante. Vale decir que esta hoja de decisión es uno de los documentos más importantes para la aplicación final del RCM, con la hoja de decisión se puede determinar que mantenimiento de rutina se realiza (si se está ejecutando), con qué frecuencia se realiza el mismo, quien lo ejecutará, fallas serias que ameritan rediseño del sistema, entre otros temas relevantes. En las figuras 4.1 y 4.2 se muestran el Diagrama de Decisiones y la Hoja de Decisión del RCM respectivamente:

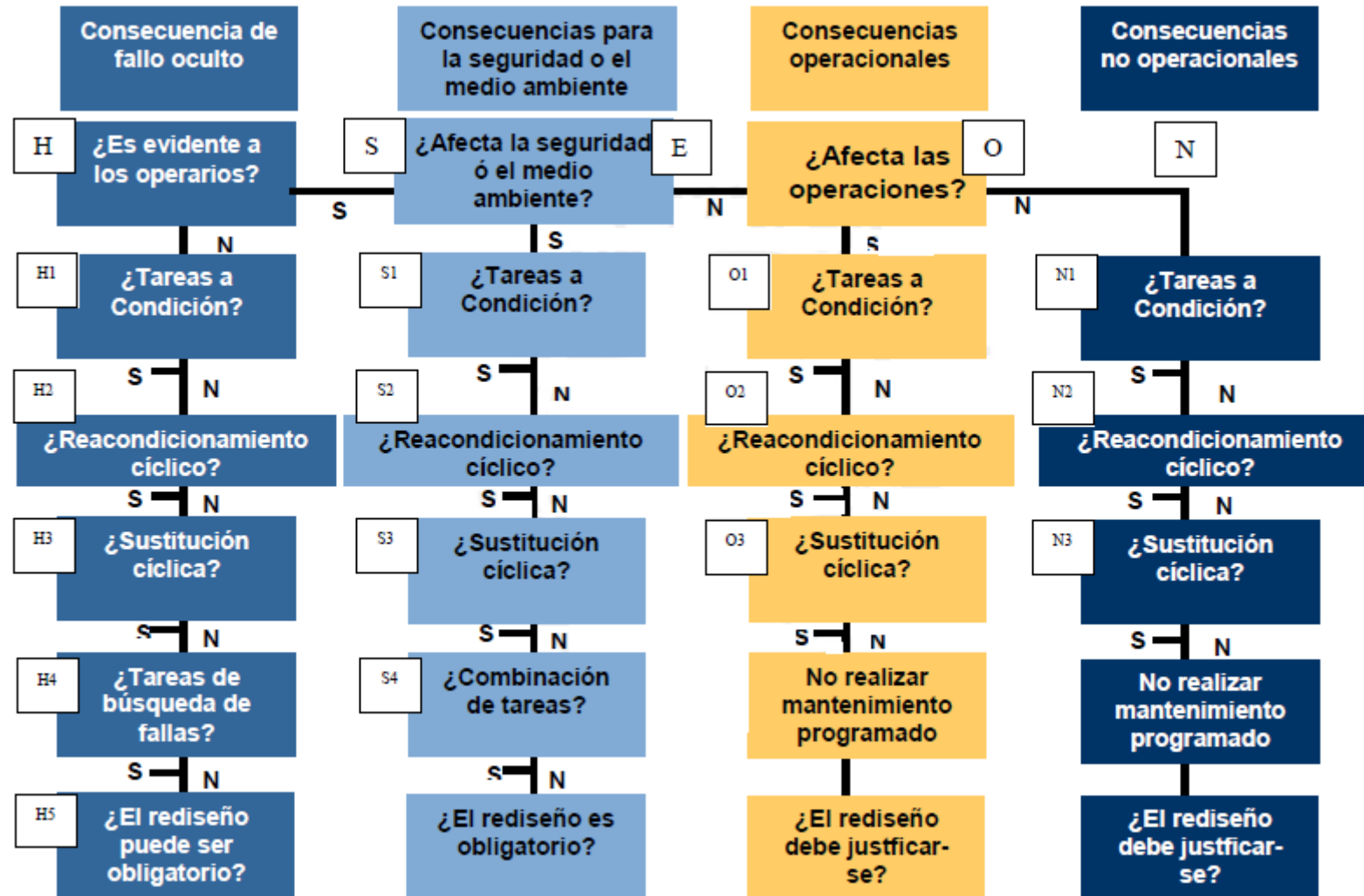


Figura 4.1: Diagrama de Decisiones del RCM

(Fuente: Elaboración Propia)


HOJA DE DECISIONES										Sistema:					Facilitador:					Fecha:	
										Subsistema:					Auditor:						
Referencia Información			Evaluación de Consecuencia s				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta					Interval o Inicial	A realizarse por		
							S1	S2	S3												
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4									
							N1	N2	N3												
																					

Figura 4.2: Hoja de Decisión del RCM

(Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM II, John Moubray)

La Hoja de Decisión del RCM está fraccionada en dieciséis columnas, las tres primeras refieren a la función F, falla funcional FF y modo de falla FM, por lo que se aduce que básicamente ayudan a tener bien identificado el modo de falla y a la información necesaria.

Las siguientes diez columnas refieren a las preguntas del Diagrama de Decisión del RCM:

- Las columnas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla.
- Las siguientes tres columnas (H1, H2 y H3, etc), registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva y de qué tipo.
- Por otro lado si es necesario responder preguntas “a falta de”, las columnas con H4, H5 o S4 son donde se registran estas respuestas.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada, la frecuencia a realizarse y finalmente el responsable a ejecutarla.

Bajo este contexto en el siguiente punto se desarrolla la Hoja de Decisión del RCM.

4.4.3 DESARROLLO DEL MODELO RCM.

Para iniciar a desarrollar el nuevo plan de mantenimiento RCM, lo primero que se realiza es el AMEF (Análisis Modo Efecto de Falla), para tal caso desde la página 78 a la página 91 se desarrolla el análisis AMEF, identificando los principales modos de falla y sus consecuentes efectos, que con una alta criticidad repercuten directamente en la operatividad del activo, éste análisis lo desarrollamos para los sistemas que pueden generar fallas funcionales en el Shiploader:

- Travel.
- Faja Boom.
- Sistema de Levante.
- Shuttle.
- Tubo de Descarga.

PROYECTO RCM : SHIPLOADER DEL MUELLE "F" - TERMINAL INTERNACIONAL DEL SUR



NOMBRE DEL SISTEMA: TRAVEL

AMEF: ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Remolques de dos ruedas	1 Facilitar el movimiento del Shiploader a lo largo de las rieles de traslación, a razón de una velocidad promedio de 0.5 m/s.	A Ruedas de traslación infuncionables para el traslado del Shiploader.	1 Desalineamiento de la rueda.	Descarrilamiento del Shiploader generando inhabilitación total del equipo.
			2 Desgaste excesivo de las ruedas.	Ruptura/fraccionamiento de las ruedas generando inhabilitación total del equipo.
		B Rieles que no permiten avanzar a las ruedas de traslación.	1 Contaminación del carril.	Carriles con exceso de corrosión a causa de las condiciones climáticas y ambientales, deterioro prematuro de los carriles.
			2 Desgaste excesivo del carril.	Descarrilamiento del Shiploader generando inhabilitación total del equipo.
Motoreductores	2 Entregar el par necesario para permitir el movimiento de traslación del Shiploader 7230 Nm.	A Incapacidad de reducir la velocidad de transmisión.	1 Rodamientos desgastados.	Dependiendo del tipo de desgaste presente se puede notar la existencia de ruido anormal. El tiempo de recambio puede ser de 03 horas.
			2 Engranajes desgastados.	Puede evidenciarse la presencia de ruido y vibraciones, e incluso en casos extremos se puede paralizar la máquina.
			3 Falta de lubricante.	Se nota un incremento de temperatura que es palpable, llegándose a que los rodamientos y engranajes se agarroten por falta lubricante.
			4 Carga excesiva.	Se puede evidenciar a través del ruido y vibración que se produce al interior del reductor debido a la sobrecarga llevada.
			5 Fuga de aceite.	Se nota un incremento de temperatura que es palpable, llegándose a que los rodamientos y engranajes se agarroten por falta lubricante.
Bloqueo de seguridad	3 Bloquear el movimiento del Shiploader ante la presencia de lluvias o tormentas.	A No realizar bloqueo de seguridad ante lluvias.	1 Eje sin poder ajustarse.	Sistema de bloqueo sin accionamiento por no tener al eje de transmisión habilitado para ello, sistema de seguridad inoperativo.
			2 No hay movimiento en el eje.	Sistema de bloqueo sin accionamiento por no tener al eje de transmisión habilitado para ello, sistema de seguridad inoperativo.
Amortiguadores	4 Absorber la energía cinética en forma mecánica y evitar daños mayores cuando todas las medidas eléctricas para detener el Shiploader han fallado.	A Amortiguador sin capacidad de absorber energía.	1 Anclaje de amortiguador suelto.	Amortiguadores sueltos sin capacidad de absorber el impacto del Shiploader.
			2 Amortiguador defectuoso.	Amortiguador en falla sin capacidad de absorber el impacto del Shiploader.
PAUL PAREDES TORRES FACILITADOR		05/01/2018 FECHA	01 REVISIÓN	

PROYECTO RCM : SHIPLOADER DEL MUELLE "F" - TERMINAL INTERNACIONAL DEL SUR



NOMBRE DEL SISTEMA: FAJA BOOM

AMEF: ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Banda transportadora	1 Es el elemento principal en el sistema de transporte, puesto que tiene como función el de absorber tensiones desarrolladas en el arranque, transportar la carga y absorber la energía de impacto en el punto de carga.	A La banda deja de girar por medio del sistema de transporte.	1 Rajaduras, cortes o desgarramientos del cover superior.	Desprendimiento del cover superior pudiendo repercutir en una falla catastrófica para la banda, generando atascamiento en rodillos y poleas.
			2 Rajaduras o quebraduras longitudinales en la cover inferior.	Desprendimiento del cover inferior pudiendo repercutir en una falla catastrófica para la banda, generando atascamiento en rodillos y poleas.
			3 Desalineamiento de la banda	Logrando desgaste prematuro en los bordes del largo de toda la banda transportadora, puede generar que la banda se gire y repercuta en una falla catastrófica para el sistema.
Raspador de banda	2 Se instala antes de la polea motriz, su función es remover todo el mineral sobre la cubierta de la banda transportadora antes de que llegue a la polea motriz, evitando así el atrapamiento de mineral contra el revestimiento de dicha polea.			
Cama de impacto	3 Las camas de impacto están conformadas por 08 barras de impacto, ayuda para amortiguar el material de descarga, lo cual permite alargar la vida útil de la banda.			
Rodillos de carga	4 Estos rodillos se encuentran disponibles en configuraciones plano, dobles o triples, con ángulos que van de los 0° a 45°	A Desgaste irregular de los rodillos de goma.	1 Contaminación del carril.	Carriles con exceso de corrosión a causa de las condiciones climáticas y ambientales, deterioro prematuro de los carriles.
Rodillos de retorno	5 Estos rodillos soportan el lado sin carga de la banda en retorno, poseen una configuración dobe con ángulo de 7°, 8° y 10°.		2 Desgaste excesivo del carril.	Descarrilamiento del Shiploader generando inhabilitación total del equipo.
Rodillos de impacto	6 Rodillos que amortiguan el impacto generado por la caída libre del concentrado de cobre, protegiendo así el cover de la banda transportadora.	A Incapacidad de reducir la velocidad de transmisión.	1 Rodamientos desgastados.	Dependiendo del tipo de desgaste presente se puede notar la existencia de ruido anormal. El tiempo de recambio puede ser de 03 horas.
Polea de cabeza	7 Polea motriz o de cabeza cuya función es transmitir la fuerza tangencial a la banda transportadora.		2 Engranajes desgastados.	Puede evidenciarse la presencia de ruido y vibraciones, e incluso en casos extremos se puede paralizar la máquina.
Polea de cola	8 Es una polea que apoya al retorno de la banda transportadora, su revestimiento ayuda a evitar el apelmazamiento de mineral.		3 Falta de lubricante.	Se nota un incremento de temperatura que es palpable, llegándose a que los rodamientos y engranajes se agarroten por falta lubricante.
Polea tensora	9 La polea tensora logra el adecuado contacto entre la banda y el tambor motriz, mantiene la tensión adecuada en el ramal de retorno durante el arranque.		4 Carga excesiva.	Se puede evidenciar a través del ruido y vibración que se produce al interior del reductor debido a la sobrecarga llevada.
Motoreductores	10 Entregar el par necesario para permitir el movimiento de traslación del Shiploader 7230 Nm.	A Incapacidad de reducir la velocidad de transmisión.	1 Rodamientos desgastados.	Dependiendo del tipo de desgaste presente se puede notar la existencia de ruido anormal. El tiempo de recambio puede ser de 03 horas.
			2 Engranajes desgastados.	Puede evidenciarse la presencia de ruido y vibraciones, e incluso en casos extremos se puede paralizar la máquina.
			3 Falta de lubricante.	Se nota un incremento de temperatura que es palpable, llegándose a que los rodamientos y engranajes se agarroten por falta lubricante.
			4 Carga excesiva.	Se puede evidenciar a través del ruido y vibración que se produce al interior del reductor debido a la sobrecarga llevada.
			5 Fuga de aceite.	Se nota un incremento de temperatura que es palpable, llegándose a que los rodamientos y engranajes se agarroten por falta lubricante.
PAUL PAREDES TORRES FACILITADOR		05/01/2018 FECHA	01 REVISIÓN	

PROYECTO RCM : SHIPLOADER DEL MUELLE "F" - TERMINAL INTERNACIONAL DEL SUR



NOMBRE DEL SISTEMA: SISTEMA DE LEVANTE

AMEF: ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Winche	Dispositivo mecánico utilizado para tirar del cable acerado, enrollando el mismo en el tambor de accionamiento. Se utiliza para elevar o descender el sistema de faja transportadora de la pluma.	A El winche no arranca.	1 Falla en el suministro eléctrico	No se tiene ningún tipo de accionamiento del winche de izaje, que en condiciones de embarque es una condición bastante crítica.		
			2 Fusible eléctrico quemado	No se tiene accionamiento del motor eléctrico, por el fusible de protección del motor, se requiere cambio de este respuesto a la brevedad.		
			3 Falla en comunicación.	El sistema inteligente de mando no recibe señal, no se tiene accionamiento del winche.		
			4 Falla en la unidad de accionamiento.	Sistema hidráulico (sistema de fuerza bloqueado), no se tiene accionamiento del winche por falta de transmisión de torque.		
		B El cable de acero no se enrolla correctamente en el tambor.	1 Desalineamiento del eje	Eje sin movimiento de rotación, puede generarse ruptura de eje, altos niveles de vibración.		
			2 Exceso de fricción en el cable de acero.	Sobrecalentamiento a lo largo del cable, rotura o desgaste prematura de cable, originado por falta de lubricación.		
			3 Falla en la unidad de engranaje.	Ruptura de dientes de engranajes, genera pérdida total de la transmisión de potencia.		
		C El winche se desenrolla aunque el suministro de potencia esté apagado.	1 Falla de acoplamiento del motor.	No se genera transmisión de potencia, muy probablemente sea resultado de un exceso de vibración.		
			2 Engranajes desgastados o rotos.	Ruptura de dientes de engranajes, genera pérdida total de la transmisión de potencia.		
			3 Freno desgastado o atascado.	No genera frenado en el tambor del winche, lo que generaría que el sistema corra tiesgo de una falla catastrófica.		
		D El winche corre hacia atrás	1 Cables de motor invertidos	No se genera el movimiento de izaje		
			2 Cables de switch invertidos	No se genera el movimiento de izaje		
		E El winche no sostiene la carga.	1 Exceso de carga.	Riesgo de ruptura de cables por sobrepasar el coeficiente de seguridad de carga del sistema.		
			2 Enrollado de cable en el tambor en dirección equivocada.	Atascamiento del cable enrollado en el tambor, riesgo de que los cables sufran daños a lo largo de sus hebras y torones.		
			3 Freno desgastado o roto	No genera frenado en el tambor del winche, lo que generaría que el sistema corra tiesgo de una falla catastrófica.		
		F El motor funciona, pero el winche no gira.	1 Engranajes desgastados.	Ruptura de dientes de engranajes, genera pérdida total de la transmisión de potencia.		
		G El motor no arranca.	1 Freno defectuoso o atascado	No genera frenado en el tambor del winche, lo que generaría que el sistema corra tiesgo de una falla catastrófica.		
			2 Conexiones sueltas	No se genera el movimiento de izaje		
			3 Switch limitador de leva defectuoso	No se tiene el sistema de protección del limitador de altura del winche, este manda señal de no arrancar hasta lograr subsanar el evento.		
		Conjunto hidráulico	Conjunto de elementos que sirven para generar la presión hidráulica del sistema, incluye el accionamiento del freno hidráulico que se utiliza para detener el tambor ante una emergencia.	A Pérdida de presión o no se genera presión	1 Exceso de temperatura en la bomba.	Sobrecalentamiento de la bomba, desgaste en componentes internos.
					2 Escasa potencia del motor.	No genera accionamiento del sistema hidráulico.
3 Filtración de aceite.	Fuga de aceite del sistema hidráulico, pérdida de potencia, no genera accionamiento del sistema hidráulico.					
4 Fuga de aceite.	Fuga de aceite del sistema hidráulico, pérdida de potencia, no genera accionamiento del sistema hidráulico.					
B Filtración de aceite de servicio.	1 Cáster de aceite dañado.			Rotura de cáster de aceite, riesgo de perder aceite.		
C Demasiado poco o ningún caudal de operación.	1 Aire en el sistema hidráulico.			Pérdida de potencia, generación de cavitación.		
	2 Cavitación de la bomba.			La bomba no opera, daños en la bolita cara interna de la bomba por implosión de las partículas de aire.		
	3 Desgaste de la bomba.			No se logra obtener la presión de trabajo total, por tener recirculamiento de aceite.		
	4 Pérdida de presión			No genera accionamiento del sistema hidráulico.		
D Aumento de temperatura en el líquido.	1 Sello de bomba defectuoso			No se logra obtener la presión de trabajo total, por tener recirculamiento de aceite.		
	2 Sobrecalentamiento de la bomba.			Desgaste de componentes internos de la bomba, por altas temperaturas, riesgo de inoperatividad total de la bomba.		
	3 Nivel de líquido de servicio muy bajo.			Desgaste de componentes internos de la bomba, por altas temperaturas, riesgo de inoperatividad total de la bomba.		
E Freno inestable al abrirse	1 Desgaste de casquillos.			No genera frenado adecuado por tener las pastillas de freno desgastadas.		
F El freno no se libera o no cierra.	1 Componentes del freno dañados.			No genera frenado, manda falla al sistema de control lo cual repercute también en el sistema de control general del SL.		
	2 Conexión eléctrica inadecuada.			No genera movimiento del sistema de frenado.		
	3 Válvula de accionamiento defectuosa.	No genera movimiento del sistema de frenado.				
Cable acerado	Cable acerado con hilos metálicos trenzados, permite resistir grandes fuerzas de tensión, que son el resultado de transmitir la tensión a través de su longitud.	A Rotura de cable	1 Sobrecalentamiento por fricción	Inoperatividad del sistema de izaje por tener la sección del cable rota, falla catastrófica por caída o desprendimiento del boom.		
		B Cable dañado	1 Rotura de hebras de los torones del cable.	Desgaste por exceso de carga, o por mala operación, puede generar rotura total en la sección de cable, falla catastrófica por caída o desprendimiento del boom.		
			2 Abrasión en cable	Desgaste del cable, falla originada por las condiciones medioambientales y de operación, para ello requiere cumplir responsablemente con el programa de lubricación.		
			3 Extremos de cables rotos	La rotura se puede prolongar a lo largo de todo el cable, lo cual puede generar rotura o pérdida de torones.		
			4 Enrollador de cable suelto, las capas superiores del cable cortan las capas inferiores.	Desgaste por exceso de carga, o por mala operación, puede generar rotura total en la sección de cable, falla catastrófica por caída o desprendimiento del boom.		
		C Polea de cable dañada	1 Sobrecarga de capacidad de diseño	No genera movimiento de izaje de faja boom.		
		D Cables enroscados	1 Tensión insuficiente en el cable acerado	No genera la tensión necesaria para permitir el izaje de la faja boom.		
		E La polea no se mueve libremente	1 Deformación plástica de la polea.	El cable no circula libremente por la polea, genera atascamiento en ese punto, no permite el accionamiento del punto pivote al momento de realizar el izaje.		
			2 Lubricación inadecuada.	Desgaste en el cable y polea, por tener contacto directo entre las partes metálicas.		
3 Rodamientos desgastados.	Desalineamiento de polea, no permite movimiento libre del cable lo cual no genera movimiento de izaje.					
PAUL PAREDES TORRES FACILITADOR		05/01/2018 FECHA	01 REVISIÓN			

PROYECTO RCM : SHIPLOADER DEL MUELLE "F" - TERMINAL INTERNACIONAL DEL SUR



NOMBRE DEL SISTEMA: SHUTTLE

AMEF: ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
Reductor de velocidad	1 La unidad de engranaje (motoreductor) refiere a una unidad de engraje cónico helicoidal, el cual se utiliza	A Cambio en el ruido de operación	1 Dientes de engranajes dañados.	No genera relación de transmisión de velocidad, lo cual repercutiría en el no accionamiento del shuttle.	
			2 Juego excesivo en el rodamiento.	Posible desalineamiento de los trenes de velocidad del reductor, esto genera falla en el eje y engranajes.	
			B Aumento de temperatura en el rodamiento.	1 Nivel de aceite insuficiente.	Incapacidad de funcionamiento del tren de engranajes por falta de aceite lubricador, se trata de roce de componentes metálicos a altas temperaturas.
				2 Rodamientos desgastados.	Posible desalineamiento de los trenes de velocidad del reductor, esto genera falla en el eje y engranajes.
			C Filtración de aceite.	1 Sellos desgastados.	Fuga de aceite, genera pérdida de aceite lubricante, pero también genera contaminación al medio ambiente.
			D Aumento de temperatura de operación	1 Aceite vencido.	El aceite pierde viscosidad lo cual genera que se pierdan sus propiedades lubricadoras (formación de película adherida).
				2 Aceite muy contaminado.	El aceite contaminado genera que las partículas físicas que ingresan al sistema, dañen los dientes de los engranajes (engranajes picados).
			E El motor no arranca.	1 Falla en el suministro eléctrico.	El shuttle no opera, lo cual no permite que inicien las operaciones de embarque.
				2 Fusible eléctrico quemado.	El shuttle no opera, lo cual no permite que inicien las operaciones de embarque.
			F El motor se calienta excesivamente.	1 Sobrecarga.	La sobrecarga del motor, puede generar que se dañen los componentes internos del motor, llegando a una funcional de éste último.
2 Enfriamiento insuficiente.	Falla funcional del motor.				
3 Falta una fase debido a un contacto suelto en el cable	No genera diferencia de potencial, el shuttle no opera.				
4 Error en conexión estrella	No genera diferencia de potencial, el shuttle no opera.				
G El motor gira en dirección equivocada.	1 Conexión defectuosa.	El shuttle no opera, lo cual no permite que inicien las operaciones de embarque.			
Reductor de velocidad	1 La unidad de engranaje (motoreductor) refiere a una unidad de engraje cónico helicoidal, el cual se utiliza para reducir la velocidad del motor de acuerdo a las necesidades de velocidad de la faja transportadora.	H El motor zumba y tiene un alto consumo de corriente.	1 El freno del motor no libera.	El shuttle no opera, lo cual no permite que inicien las operaciones de embarque.	
			2 Bobinado dañado.	El shuttle no opera, lo cual no permite que inicien las operaciones de embarque.	
			I Motor excesivamente ruidoso.	1 Rodamiento sin grasa.	Falla en el rodamiento del motor, pudiendo decantar en daños en el eje (desalineamiento), altos niveles de vibración.
				2 Rodamiento dañado.	Falla en el rodamiento del motor, pudiendo decantar en daños en el eje (desalineamiento), altos niveles de vibración.
Cadenas & Sprockets	2 Son la parte que reciben mayor tensión en la faja móvil distribuidora, utilizadas para darle movimiento en ambos sentidos la pluma de la faja boom.	A Cambio en el ruido de operación.	1 Cadena o rueda dentada dañadas.	Puede complicar la relación de velocidad del juego de sprocket, decantando en la no operación del shuttle	
			2 Demasiado o muy poco aceite	Desgaste prematuro de las partes metálicas.	
			3 Guía de cadena desgastada.	Puede complicar la relación de velocidad del juego de sprocket, decantando en la no operación del shuttle	
			4 Alojamiento de cadena o cojinete de eje suelto.	Puede complicar la relación de velocidad del juego de sprocket, decantando en la no operación del shuttle	
Cadenas & Sprockets	2 Son la parte que reciben mayor tensión en la faja móvil distribuidora, utilizadas para darle movimiento en ambos sentidos la pluma de la faja boom.	B Cadena o rueda dentadas dañadas.	1 Lubricación insuficiente.	Desgaste prematuro de las partes metálicas.	
			2 Sobrecarga	Desgaste prematuro de las partes metálicas.	
			3 Excesivo alargamiento de la cadena.	Puede complicar la relación de velocidad del juego de sprocket, decantando en la no operación del shuttle	
			C Flexión o curvatura inadecuada de la cadena.	1 Corrosión.	Desgaste prematuro de las partes metálicas.
				2 Contaminación por partículas extrañas.	Desgaste prematuro de las partes metálicas.
		D La cadena se sale de la rueda dentada.	3 Deformación de la cadena.	Puede complicar la relación de velocidad del juego de sprocket, decantando en la no operación del shuttle	
			4 Lubricación inadecuada.	Desgaste prematuro de las partes metálicas.	
			5 Exceso de la carga.	Desgaste prematuro de las partes metálicas.	
		E La cadena se atasca/se pega o se desliza.	1 Tensión inadecuada	Genera que la cadena esté suelta, o en su defecto si es lo contrario que el exceso de tensión genere ruptura de la cadena.	
			2 Excesivo alargamiento de la cadena.	La cadena está suelta y complica la relación de transmisión del juego de sprockets.	
F Desgaste excesivo de los dientes de la rueda dentada.	1 Demasiada fuerza de fricción.		Se debe a una lubricación insuficiente, lo cual genera desgaste prematuro de las partes metálicas.		
	2 Contaminación por partículas extrañas.		El ingreso de partículas contaminadas genera que los dientes de los sprockets se dañen por abrasión.		
G Fractura repentina de la cadena	1 Fuerza de tensión excesiva.		Daños en los dientes de los engranajes, ruptura de dientes.		
	2 Exceso de carga.	Puede complicar la relación de velocidad del juego de sprocket, decantando en la no operación del shuttle			
Ruedas	3 Facilitar el movimiento del Shiploader a lo largo de las rieles de traslación, a razón de una velocidad promedio de 0.5 m/s.	A Ruedas de traslación infuncionables para el traslado del Shiploader.	1 Exceso de abrasión (por partículas extrañas).	El ingreso de partículas contaminadas genera que los dientes de los sprockets se dañen por abrasión.	
			2 Exceso de carga.	No genera movimiento del shuttle.	
			3 Debilitamiento de la cadena causado por desgaste o corrosión.	Puede complicar la relación de velocidad del juego de sprocket, decantando en la no operación del shuttle	
Rail Clamp	4 Las abrazaderas de anclaje al carril generalmente se	B Rieles que no permiten avanzar a las ruedas de traslación.	1 Desalineamiento de la rueda.	Descarrilamiento del Shiploader generando inhabilitación total del equipo.	
			2 Desgaste excesivo de las ruedas.	Ruptura/fraccionamiento de las ruedas generando inhabilitación total del equipo.	
		A La abrazadera no engancha.	1 Contaminación del carril.	Carriles con exceso de corrosión a causa de las condiciones climáticas y ambientales, deterioro prematuro de los carriles.	
			2 Desgaste excesivo del carril.	Descarrilamiento del Shiploader generando inhabilitación total del equipo.	
		B No se libera.	1 Válvula defectuosa.	No genera accionamiento del rail clamp.	
			2 Modazas obstruidas.	No permite la correcta sujeción de la abrazadera, puede complicar el accionamiento del rail clamp.	
			1 El motor gira en la dirección inadecuada.	No genera accionamiento del rail clamp.	
		C La abrazadera se mantiene liberada.	2 Las válvulas no están bien posicionadas.	No genera accionamiento del rail clamp.	
3 Válvula defectuosa.	No genera accionamiento del rail clamp.				
D Actuación lenta o irregular.	1 Filtración en el sistema hidráulico.	1 Pérdida de nivel de aceite, contaminación al medio ambiente.			
		2 Presión hidráulica insuficiente.	No genera la presión de trabajo por insuficiente cantidad de aceite, se requiere regular el nivel ideal de aceite.		
	2 Aceite contaminado	1 Genera desgaste por abrasión de las partículas que ingresan y dañan los componentes internamente.			
		2 Aceite hidráulico incorrecto	No se tienen los valores de viscosidad para la operación, genera desgaste prematuro de los componentes.		
3 Nivel bajo de aceite.	No genera la presión de trabajo por insuficiente cantidad de aceite, se requiere regular el nivel ideal de aceite.				
4 Filtración en el sistema hidráulico.	Pérdida de nivel de aceite, contaminación al medio ambiente.				

PROYECTO RCM : SHIPLOADER DEL MUELLE "F" - TERMINAL INTERNACIONAL DEL SUR

NOMBRE DEL SISTEMA: TUBO DE DESCARGA

AMEF: ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
Chute de descarga	1 El chute es el componente mecánico utilizado para transportar el material hacia las secciones del tubo de descarga, manteniendo los estándares medio ambientales de no contaminación.	A Material adherido o apelmasado	1 Limpieza insuficiente.	Generación de atoros en el largo del tubo de descarga, ocasionando paradas en el embarque de concentrado.	
		B Daño en la estructura de soporte de acero.	1 Sobrecarga de la pluma de la faja excediendo su capacidad de diseño.	Fatiga y desgaste acelerado en los componentes mecánicos del Shiploader.	
		C Las aberturas para inspección no abren.	1 Aberturas dañadas.	No se puede realizar las actividades de limpieza, generando una muy probable condición de atoro de mineral.	
		D Revestimientos desprendidos.	1 Tivar desgastado.	Apelmazamiento de mineral, creando condición de atoro en el embarque.	
Péndulo	2 Secciones tubulares que reciben el concentrado de mineral desde el chute de descarga, la capacidad de transporte del mineral debe ser tal que el mineral no	A Desoldo de bridas.	1 Cordones de soldadura desgastados a raíz de la condiciones de MA:	Desgaste por corrosión en las partes metálicas del boom del Shiploader, generando una condición de riesgo de desprendimiento del tubo colgante.	
			2 Exceso de corrosión en las partes metálicas.	Desgaste por corrosión en las partes metálicas del boom del Shiploader, generando una condición de riesgo de desprendimiento del tubo colgante.	
		B Revestimientos desprendidos.	1 Tivar desgastado.	Apelmazamiento de mineral, creando condición de atoro en el embarque.	
			C Infuncionalidad de deflector.	1 Deflector suelto.	Genera atoro inminente en la cuchara, se detienen las operaciones de embarque hasta reestablecer la condición.
				2 Deflector apelmazado de mineral.	Genera atoro inminente en la cuchara, se detienen las operaciones de embarque hasta reestablecer la condición.
		3 Rotura de deflector.	Genera atoro inminente en la cuchara, se detienen las operaciones de embarque hasta reestablecer la condición.		
Péndulo	2 Secciones tubulares que reciben el concentrado de mineral desde el chute de descarga, la capacidad de transporte del mineral debe ser tal que el mineral no fuge hacia el exterior (aire, mar, suelo); muy importante no debe generar apelmazamientos de mineral, pues puede contribuir en atoros de mineral.	D Atoros en el chute del Shiploader.	1 Apelmazamiento de mineral (mineral con elevador valor de humedad relativa).	Generación de atoros en el largo del tubo de descarga, ocasionando paradas en el embarque de concentrado.	
			2 Falla en el sensor de atoro del chute de descarga.	De darse las condiciones de atoro, ésta no será alertada por los sensores que preventivamente detienen las operaciones; de darse este escenario se genera la condición de atoro.	
Sistema de Giro	3 Las abrazaderas de anclaje al carril generalmente se utilizan como dispositivos de cierre del equipo que va	A La cuchara no gira.	1 Atasco de mineral en la cremallera.	Generación de atoros en el largo del tubo de descarga, ocasionando paradas en el embarque de concentrado.	
			2 Falta de engrase en la cremallera.	Desgaste prematuro de las partes metálicas, genera que el motor eléctrico tripee por la sobrecorriente que se tiene al forzar más el accionamiento de la cremallera.	
			3 Falla en el motor eléctrico	No acciona el giro de la cremallera, el embarque se ve detenido hasta reestablecer esta condición.	
			4 Deflector apelmazado de mineral.	Genera atoro inminente en la cuchara, se detienen las operaciones de embarque hasta reestablecer la condición.	
		B La cuchara no alcanza el ángulo de embarque.	1 Deflector suelto.	Genera atoro inminente en la cuchara, se detienen las operaciones de embarque hasta reestablecer la condición.	
			2 Rotura de deflector.	Genera atoro inminente en la cuchara, se detienen las operaciones de embarque hasta reestablecer la condición.	
		C La cuchara no tiene el movimiento del penduleo.	1 Señal insuficiente a los sensores de penduleo.	No genera el movimiento de penduleo lo cual no permite embarcar el mineral, el mineral tiene que ser distribuido uniformemente por toda la bodega.	
				2 Pérdida de presión hidráulica para generar el movimiento.	No genera el movimiento de penduleo lo cual no permite embarcar el mineral, el mineral tiene que ser distribuido uniformemente por toda la bodega.
Sistema de Giro	3 Las abrazaderas de anclaje al carril generalmente se utilizan como dispositivos de cierre del equipo que va montado sobre ruedas.	C La cuchara no tiene el movimiento del penduleo.	3 Atasco en los pistones de accionamiento.	No genera el movimiento de penduleo lo cual no permite embarcar el mineral, el mineral tiene que ser distribuido uniformemente por toda la bodega.	
			D Desprendimiento de la cuchara.	1 Falla en los cordones de soldadura.	Falla catastrófica, el embarque y sus operaciones conexas también, hasta que se reponga nuevamente la cuchara en el Shiploader.
		2 Mala maniobra del Shiploader.		Falla catastrófica, el embarque y sus operaciones conexas también, hasta que se reponga nuevamente la cuchara en el Shiploader.	
		3 Condiciones de oleaje inestable.		Detienen las operaciones de embarque puesto que no se puede embarcar mineral con valores de ola superiores a 1.5m	
		4 Corte de energía intempestivo.		Genera que se detengan las operaciones de embarque, el riesgo está que no se tiene el control del Shiploader y este podría colisionar con la estructura del barco hasta generar desprendimiento del tubo de descarga o de la cuchara.	
		PAUL PAREDES TORRES		05/01/2018	01
FACILITADOR		FECHA	REVISIÓN		

Tabla 4.2: Elaboración del AMEF para el Shiploader

(Fuente: Elaboración Propia).

A continuación después de efectuar el análisis AMEF, procedemos a trabajar con la Hoja de Decisión del RCM propuesta por Moubray y que se muestra en la figura 4.2, con la ayuda de la Hoja de Decisión podremos definir las actividades que idóneamente complementarán el nuevo plan de mantenimiento, el entregable final de la Hoja de Decisión es saber la actividad a ejecutar, dándose a conocer también el responsable y frecuencia para cada caso. Con esta etapa terminamos por responder las últimas 03 preguntas del RCM:

- ¿Qué importa si falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse en caso de no encontrar una tarea proactivamente apropiada?

El uso de la Hoja de Decisión permite asentar respuestas a las preguntas formuladas en el árbol de decisiones, y en función de estas respuestas registrar lo siguiente:


- Que actividades de mantenimiento en específico se van a realizar, la frecuencia a ser realizadas, y finalmente el ejecutor que realizará las mismas
- En qué puntos debemos pensar en fallas que justifiquen el rediseño.
- O por el contrario decidir si es que es más óptimo trabajar hasta que se presente la falla.

Con la hoja de decisión lo que se busca es identificar los modos de falla y correlacionarlos con las referencias del Diagrama de Decisión y las Hoja de Decisión propiamente dicha. La idea es que a los modos de falla trabajados anteriormente en el AMEF, se les someta a las preguntas del árbol de la figura 4.1 respondiendo con los valores S o N (Sí o No según corresponda).

Como se indicó en la página 77, se va evaluando las respuestas que apliquen en las columnas H1, H2, H3, etc., hasta finalmente dar con las actividades, frecuencias y responsables correctos para cada caso.

Este análisis del RCM resulta ser la parte más importante del presente trabajo de investigación, pues se trata de identificar las actividades de mantenimiento específicas, las cuales serán el complemento de las actividades convencionales que se tiene en el plan de mantenimiento del Shiploader. En las próximas páginas (93 – 101) se tiene al detalle el desarrollo de las hojas de decisión.

HOJA DE DECISIONES				Sistema: Embarque de concentrado de Cu				Facilitador: Paul Paredes Torres				Fecha: 19/01/18				
				Subsistema: Shiploader				Auditor: José Cisneros Manchego								
Referencia de		Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Intervalo Inicial	A realizarse por		
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
							N1	N2	N3							
Travel																
1	A	1	S	N	S		N	S						Monitoreo con ultrasonido	6M	Predictivo
1	A	2	S	N	S		N	S						Monitoreo con ultrasonido	6M	Predictivo
1	B	1	S	S			S							Limpieza y cubierta con productos anticorrosivos	6M	Mecánico
1	B	2	S	N	S		S							Medición de paralelismo de los rieles.	1A	Predictivo
2	A	1	N				S							Inspección y monitoreo del estado de los rodamientos (medición de vibraciones y temperatura)	1M	Mecánico
2	A	2	N				S							Toma de muestras de aceite	3M	Predictivo
2	A	3	S	N	N	S	N	N	S					Plan de lubricación	3M	Mecánico
2	A	4	S	N	S		N	N	N	S				Controlar la carga de concentrado del Shiploader, comunicaciones O8, O9 y O10		
2	A	5	S				N	N	S					Cambio de retenes y rodamientos	1A	Mecánico
3	A	1	N				S							Inspección de los componentes de transmisión	15d	Mecánico
3	A	2	S	N	S		S							Inspección de los componentes de transmisión	15d	Mecánico
4	A	1	S	N	S		S							Inspección y ajuste de componentes de amortiguación	1M	Mecánico
4	A	2	S	N	N	S	N	N	S					Cambio de amortiguadores	1A	Mecánico
Faja Boom																
1	A	1	S				S							Inspección de espesores de la banda	2M	Predictivo
1	A	2	S				S							Inspección de espesores de la banda	2M	Predictivo
1	A	3	S				S							Limpieza de componentes polea, rodillos, inspección de soportes de pie, otros	1M	Mecánico
4	A	1	N	N	S		S							Inspección por ultrasonido de rodillos	15d	Predictivo
4	A	2	N	N	S		S							Inspección por ultrasonido de rodillos	15d	Predictivo
6	A	1	N	N	S		S							Inspección por ultrasonido de poleas	1M	Predictivo
6	A	2	N	N	S		S							Inspección por ultrasonido de poleas	1M	Predictivo
6	A	3	N	N	S		S							Inspección por ultrasonido de poleas	1M	Predictivo
6	A	4	N	N	S		S							Inspección por ultrasonido de poleas	1M	Predictivo
10	A	1	N				S							Inspección y monitoreo del estado de los rodamientos (medición de vibraciones y temperatura)	1M	Mecánico
10	A	2	N				S							Toma de muestras de aceite	3M	Mecánico
10	A	3	S	N	N	S	N	N	S					Plan de lubricación	3M	Mecánico
10	A	4	S	N	S		N	N	N	S				Controlar la carga de concentrado del Shiploader, comunicaciones O8, O9 y O10		
10	A	5	S				N	N	S					Cambio de retenes y rodamientos	1A	Mecánico
Sistema de Levante																
1	A	1	S				N	N	N	N				Mantener grupos electrógenos en stand by como contingencia		
1	A	2	S				N	N	N	N				Identificación de la sobrecorriente que genera el accionamiento del fusible		
1	A	3	S				S							Inspección del conexionado de la red de comunicación	1M	Electricista
1	A	4	S				S							Inspección y ajuste en sistema de transmisión	15d	Mecánico
1	B	1	S				S							Inspección y ajuste en sistema de transmisión	15d	Mecánico
1	B	2	N	S			N	N	S					Lubricación de cables de SL	3M	Mecánico
1	B	3	N	N	S		S							Toma de muestras de aceite	3M	Predictivo
1	C	1	N	N	S		S							Monitoreo del nivel de lubricación del acople, medición de vibración	1M	Mecánico
1	C	2	N	N	S		N	N	S					Toma de muestras de aceite	3M	Predictivo
1	C	3	N	N	S		S							Cambio de pastillas de freno	2A	Mecánico
1	D	1	N	N	S		N	S						Al momento de iniciar la operación verificación del sentido de los cables		
1	D	2	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
1	E	1	S	N	S		N	N	N	S				Controlar la carga de concentrado del Shiploader, comunicaciones O8, O9 y O10		
1	E	2	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
1	E	3	N	N	S		S							Cambio de pastillas de freno	2A	Mecánico
1	F	1	N	N	S		N	N	S					Toma de muestras de aceite	3M	Predictivo
1	G	1	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
1	G	2	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
1	G	3	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
2	A	1	N	N	S		N	N	S					Intervención de la bomba por completo	2A	Mecánico
2	A	2	N											Pruebas de funcionamiento e inspección de componentes (filtros, válvulas, solenoide, etc)	1M	Mecánico
2	A	3	S	S			N	N	S					Cambio de sellos y retenes, evaluación de cambio de mangueras	1A	Mecánico
2	A	4	S	S			N	N	S					Cambio de sellos y retenes, evaluación de cambio de mangueras	1A	Mecánico

HOJA DE DECISIONES				Sistema: Embarque de concentrado de Cu			Facilitador: Paul Paredes Torres			Fecha: 19/01/18						
				Subsistema: Shiploader			Auditor: José Cisneros Manchego									
Referencia de		Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
							N1	N2	N3							
2	B	1	N	S			S							Inspección de cárter y componentes de la línea hidráulica	1M	Mecánico
2	C	1	N	N	S		N	N	N					La condición se presenta y se realiza el purgado de aire	Condición	Mecánico
2	C	2	N	N	S		N	N	N					Evitar el ingreso de aire a la línea, así como también el aceite sobrecalentado	Condición	Mecánico
2	C	3	N	N	S		N	N	S					Intervención de la bomba por completo	2A	Mecánico
2	C	4	N											Pruebas de funcionamiento e inspección de componentes (filtros, válvulas, solenoide, etc)	1M	Mecánico
2	D	1	N	S			N	N	S					Cambio de sellos y retenes	1A	Mecánico
2	D	2	N											Pruebas de funcionamiento e inspección de componentes (filtros, válvulas, solenoide, etc)	1M	Mecánico
2	D	3	S											Revisión de niveles en general	1M	Mecánico
2	E	1	N	N	S		S							Cambio de pastillas de freno	2A	Mecánico
2	F	1	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
2	F	2	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
2	F	3	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
3	A	1	N	S			S							Inspección electromagnética de los cables	6M	Predictivo
3	B	1	S	S			S							Inspección de la longitud de los cables	1M	Mecánico
3	B	2	S	N	S		N	N	S					Plan de lubricación	1M	Mecánico
3	B	3	S	S			S							Inspección de la longitud de los cables	1M	Mecánico
3	B	4	S	S			S							Inspección de la longitud de los cables	1M	Mecánico
3	C	1	N	N	S		N	N	N	S				Controlar la carga de concentrado del Shiploader, comunicaciones O8, O9 y O10		
3	D	1	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
3	E	1	N	N	S		S							Inspección de los elementos de izaje	1M	Mecánico
3	E	2	S											Plan de lubricación	1M	Mecánico
3	E	3	N	N	S		N	N	S					Cambio de rodamientos y retenes	1A	Mecánico
Shuttle																
1	A	1	N				S							Toma de muestras de aceite	3M	Predictivo
1	A	2	N	N	S		N	N	S					Cambio de rodamientos y retenes	1A	Mecánico
1	B	1	S				S							Inspección de niveles de aceite, cumplir con el plan de lubricación	1M	Mecánico
1	B	2	N	N	S		N	N	S					Cambio de rodamientos y retenes	1A	Mecánico
1	C	1	N	N	S		N	N	S					Cambio de rodamientos y retenes	1A	Mecánico
1	D	1	N	N	S		N	N	S					Plan de lubricación, realizar cambio de aceite	6M	Mecánico
1	D	2	N				S							Toma de muestras de aceite	3M	Predictivo
1	E	1	S				N	N	N	N				Mantener grupos electrógenos en stand by como contingencia		
1	E	2	S				N	N	N	N				Identificación de la sobrecorriente que genera el accionamiento del fusible		
1	F	1	S	N	S		N	N	N	S				Controlar la carga de concentrado del Shiploader, comunicaciones O8, O9 y O10		
1	F	2	N	N	S		S							Inspección del funcionamiento del ventilador del motor	1M	Electricista
1	F	3	S											Ajuste de borneras, medición de fases	3M	Electricista
1	F	4	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
1	G	1	N	N	S		N	S						Actividad a realizarse en el checklist de preuso	Cada nave	Elec/Meca
1	H	1	N	N	S		S							Regulación de freno de motor	1M	Electricista
1	H	2	S				S							Intervención del motor por completo	2A	Electricista
1	I	1	N	N	S		N	N	S					Plan de lubricación, cambio de grasa en rodamientos	3M	Mecánico
1	I	2	N	N	S		N	N	S					Cambio de rodamientos y retenes	1A	Mecánico
1	I	3	S											Control de análisis vibracional	3M	Predictivo
1	I	4	N	N	S		N	N	S					Plan de lubricación, cambio de grasa en rodamientos	3M	Mecánico
2	A	1	N	N	S		S							Inspección de los elementos de transmisión	1M	Mecánico
2	A	2	S				S							Inspección del nivel de aceite	1M	Mecánico
2	A	3	N	N	S		S							Inspección de los elementos de transmisión	1M	Mecánico
2	A	4	N	N	S		S							Inspección de los elementos de transmisión	1M	Mecánico
2	B	1	S				N	N	S					Plan de lubricación	3M	Mecánico
2	B	2	N	N	S		N	N	N	S				Controlar la carga de concentrado del Shiploader, comunicaciones O8, O9 y O10		
2	B	3	N	N	S		S							Medición de la elongación de la cadena de transmisión	6M	Mecánico
2	C	1	S				N	N	S					Plan de lubricación	1M	Mecánico
2	C	2	S				N	N	S					Plan de lubricación	1M	Mecánico
2	C	3	N	N	S		S							Medición de la elongación de la cadena de transmisión	6M	Mecánico
2	C	4	S	N	S		N	N	S					Plan de lubricación	1M	Mecánico
2	C	5	N	N	S		N	N	N	S				Controlar la carga de concentrado del Shiploader, comunicaciones O8, O9 y O10		
2	D	1	N	N	S		S							Medir los valores de tensión en las cadenas	1M	Mecánico
2	D	2	N	N	S		S							Medición de la elongación de la cadena de transmisión	6M	Mecánico

HOJA DE DECISIONES		Sistema: Embarque de concentrado de Cu		Facilitador: Paul Paredes Torres		Fecha: 19/01/18									
		Subsistema: Shiploader		Auditor: José Cisneros Manchego											
Referencia de		Evaluación de Consecuencias		H1	H2	H3	Acción a falta de	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por					
F	FF	FM	H	S	E	O	O1				O2	O3			
							N1				N2	N3	H4	H5	S4
2	E	1	S	N	S		N	N	S				Plan de lubricación	1M	Mecánico
2	E	2	N	N	S		S						Verificar la hermeticidad del sistema de transmisión del Shuttle	1M	Mecánico
2	F	1	N	N	S		S						Medir los valores de tensión en las cadenas	1M	Mecánico
2	F	2	N	N	S		N	N	N	S			Controlar la carga de concentrado del Shiploader, comunicaciones O8, O9 y O10		
2	F	3	N	N	S		S						Verificar la hermeticidad del sistema de transmisión del Shuttle	1M	Mecánico
2	G	1	N	N	S		N	N	N	S			Controlar la carga de concentrado del Shiploader, comunicaciones O8, O9 y O10		
2	G	2	N	N	S		N	N	S				Cambio de cadenas de transmisión	2A	Mecánico
3	A	1	N	N	S		N	S					Verificar alineamiento y paralelismo de las ruedas al inicio de cada operación	Cada nave	Elec/Meca
3	A	2	N	S			S						Medición de desgaste por ultrasonido del cuerpo de las ruedas	6M	Predictivo
3	B	1	S	S			S						Limpieza y cubierta con productos anticorrosivos	6M	Mecánico
3	B	2	S	N	S		S						Medición de paralelismo de los rieles.	1A	Predictivo
4	A	1	N	N	S		N	N	S				Cambio periódico de válvulas por ser elementos sujetos a desgaste	2A	Mecánico
4	A	2	S				S						Limpieza de mordazas, la polución de mineral obstruyen su accionamiento	15d	Mecánico
4	B	1	N	N	S		N	S					Comprobar el correcto funcionamiento del rail clamp	Cada nave	Elec/Meca
4	B	2	N	N	S		N	S					Verificar el posicionamiento de las válvulas del rail clamp	Cada nave	Elec/Meca
4	B	3	N	N	S		N	N	S				Cambio periódico de válvulas por ser elementos sujetos a desgaste	2A	Mecánico
4	C	1	N	S			N	N	S				Cambio de sellos y retenes, evaluación de cambio de mangueras	1A	Mecánico
4	C	2	N										Pruebas de funcionamiento e inspección de componentes (filtros, válvulas, solenoide, etc)	1M	Mecánico
4	D	1	N	N	S		N	N	S				Plan de lubricación, realizar cambio de aceite	6M	Mecánico
4	D	2	N				S						Toma de muestras de aceite	3M	Predictivo
4	D	3	S				S						Inspección de niveles de aceite, cumplir con el plan de lubricación	1M	Mecánico
4	D	4	N	S			N	N	S				Cambio de sellos y retenes, evaluación de cambio de mangueras	1A	Mecánico
4	E	1	S				S						Inspección de niveles de aceite, cumplir con el plan de lubricación	1M	Mecánico
4	E	2	N	N	N	S	N	N	S				Plan de mantenimiento, cambio de filtro de aceite hidráulico	6M	Mecánico
4	E	3	N	N	S		N	S					Comprobar el correcto funcionamiento de la bomba	Cada nave	Elec/Meca
4	E	4	N	N	S		N	N	S				Intervención de la bomba por completo	2A	Mecánico
4	E	5	S				N	N	S				Cambio de válvulas por ser elementos sujetos a desgaste	1A	Mecánico
4	E	6	N	S			N	N	S				Cambio de sellos y retenes, evaluación de cambio de mangueras	1A	Mecánico
4	F	1	N	N	S		N	N	S				Controlar ajuste de válvulas de control de presión	2M	Mecánico
4	F	2	S				N	N	S				Control funcionamiento del presostato	2M	Mecánico
Tubo de Descarga															
1	A	1	S				S						Ejecutar la limpieza de mineral en el chute de descarga al término de cada embarque	Cada nave	Operaciones
1	B	1	N	N	S		N	N	N	S			Controlar la carga de concentrado del Shiploader, comunicaciones O8, O9 y O10		
1	C	1	S				N	N	N	S			Verificar el funcionamiento de la compuerta en los checklist de pre nave	Cada nave	Mecánico
1	D	1	S				N	N	N	S			Inspeccionar el desgaste progresivo del tivar, al momento de realizar los checklist de pre nave	Cada nave	Mecánico
2	A	1	N	S			S						Inspección por ultrasonido a las uniones soldadas	6M	Predictivo
2	A	2	N	S			S						Verificación del espesor en mils de la pintura del tubo de descarga	6M	Predictivo
2	B	1	N	S			S						Desmontaje de la cuchara y verificación del estado del tivar	6M	Mecánico
2	C	1	N	S			S						Desmontaje de la cuchara y verificación del estado del deflector	6M	Mecánico
2	C	2	N	S			S						Desmontaje de la cuchara y verificación del estado del deflector	6M	Mecánico
2	C	3	N	S			S						Desmontaje de la cuchara y verificación del estado del deflector	6M	Mecánico
2	D	1	S				N	N	N	S			Verificación de los valores de humedad relativa del mineral previo a los embarques	Cada nave	Operaciones
2	D	2	N	N	S		S						Inspección de los elementos de instrumentación del SL /Mantener como rpto crítico	3M	Electricista
3	A	1	N	S			N	N	S				Lubricación de cremallera y billas de rodadura	1M	Mecánico
3	A	2	N	S			N	N	S				Lubricación de cremallera y billas de rodadura	1M	Mecánico
3	A	3	N	N	S		S						Plan de mantenimiento de motor eléctrico	3M	Electricista
3	A	4	N	S			S						Desmontaje de la cuchara y verificación del estado del deflector	6M	Mecánico
3	B	1	N	S			S						Desmontaje de la cuchara y verificación del estado del deflector	6M	Mecánico
3	B	2	N	S			S						Desmontaje de la cuchara y verificación del estado del deflector	6M	Mecánico
3	C	1	N	N	S		S						Inspección de los elementos de instrumentación del SL /Mantener como rpto crítico	3M	Electricista
3	C	2	N	S			S						Mantenimiento de componentes hidráulicos, pues la polución genera atascos	1M	Mecánico
3	C	3	N	S			S						Mantenimiento de componentes hidráulicos, pues la polución genera atascos	1M	Mecánico
3	D	1	N	S			S						Inspección por ultrasonido a las uniones soldadas	6M	Predictivo
3	D	2	N	N	S		N	N	N	N	S		Personal altamente adiestrado para la operación del SL		
3	D	3	I				N	N	N	S			Monitoreo de la altura de las olas con el mareógrafo	Cada nave	Operaciones

Tabla 4.3: Elaboración de la Hoja de Decisión para el Shiploader

(Fuente: Elaboración Propia)

4.4.4 VENTAJAS COMPLEMENTARIAS DEL RCM.

Bajo el análisis desarrollado en el análisis del punto 4.4, actualmente ya se tiene el input de las actividades que deben ser complementadas en el plan de mantenimiento convencional del Shiploder, a la combinación de todas estas actividades se le denominará como “Nuevo Plan de Mantenimiento”, que finalmente resultará ser un nuevo plan el cual garantice altos niveles de confiabilidad por haberse estudiado los posibles causales de fallas funcionales del activo.

Pero para garantizar el éxito de la aplicación del RCM no basta con enlistar las nuevas actividades de mantenimiento, pues podría resultar vulnerable y sin efecto si es que no se proponen cambios desde otra óptica de la gestión de mantenimiento actual. Para tal caso primeramente revisaremos como es la gestión actual de mantenimiento en Tisur, para después de ello poder identificar en qué punto se deben replantear las cosas.

Actualmente la gestión de mantenimiento en Tisur está definida por los procesos internos que se muestran en la siguiente imagen “Cadena de Valor de Mantenimiento”, el proceso actual tiene como etapas las siguientes identificación de los activos, planificación de mantenimiento, programación, ejecución, evaluación y finalmente la mejora continua, que hace que de este proceso un ciclo dinámico y sostenible. En cada uno de estos procesos se tiene variantes de entrada que alimentan la ejecución de los procesos:

- **Activos mantenibles de la empresa:** Refiere al proceso donde se enlistan todos los activos que conforman el proceso operativo, estos activos son ingresados y ordenados en el sistema SAP.
- **Planificación:** Los planes de mantenimiento son planificados con un horizonte de planificación de 30 días, en este proceso se identifican los PM's a ejecutar durante el mes.
- **Programación:** Se escogen los PM's a ejecutar, se asignan recursos, y se determina el día y hora de intervención.
- **Ejecución:** Los PM's son ejecutados en campo, ingresando el input de la ejecución en campo en el sistema SAP por medio de las notificaciones.
- **Evaluación:** Conformidad de la ejecución de los PM's, se calculan los indicadores de gestión (KPI's), y se retroalimentan los resultados.
- **Mejora Continua:** Se aplican los puntos que se vieron como futuras fortalezas para empezar nuevamente así el ciclo de mantenimiento.

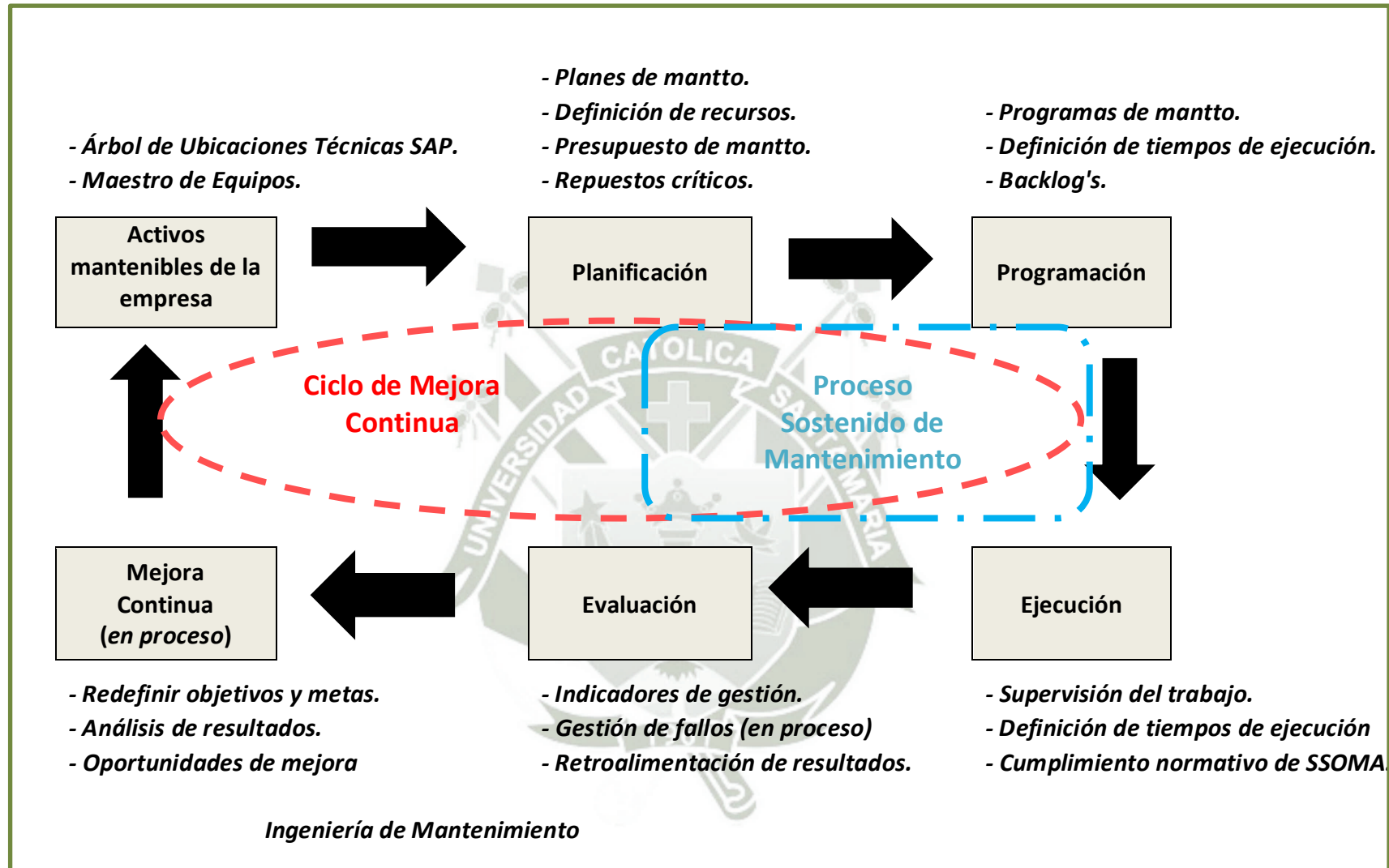


Figura 4.3: Cadena de Valor de Mantenimiento actual

(Fuente: Elaboración Propia)

Si bien es cierto el proceso actual es bueno para la mantenibilidad de los activos, la idoneidad se plantea con la implementación del RCM en el proceso, el cual conlleva principalmente fortalecer las actividades de planificación, evaluación y mejora continua.

Con la implementación del RCM las diversas etapas adquieren nuevas fortalezas, las cuales son descritas en la siguiente imagen:

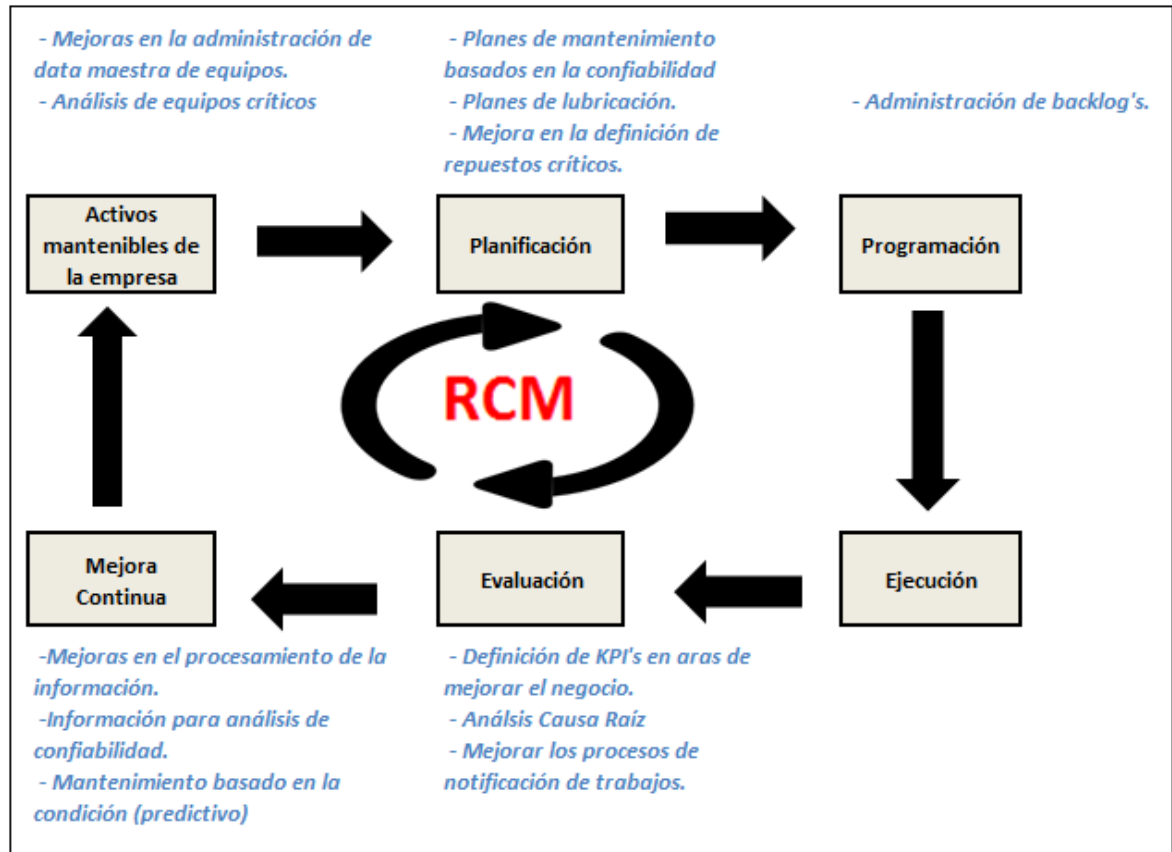


Figura 4.4: Cadena de Valor de Mantenimiento propuesta

(Fuente: Elaboración Propia)

Este comparativo de escenarios nos permite tener un panorama más promisorio, viéndolo desde el enfoque de las ventajas a obtener para cada etapa, ya que no solamente se trata de tener un nuevo listado de actividades a ejecutar, sino más bien de una nueva metodología de trabajo, la cual tendrá repercusiones positivas en todo el proceso en general.

CAPÍTULO 5 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1 INDICADORES DE MANTENIMIENTO ACTUALES.

Para medir el grado de cumplimiento de la gestión de mantenimiento se definen indicadores de mantenimiento o KPI's (Key Performance Indicators), los cuales permiten sacar conclusiones exactas del desempeño de la gestión del elemento o valor que se está midiendo. Los valores de los resultados obtenidos en los indicadores son presentados y expuestos a la alta dirección de la compañía, y en conjunto se definen y evalúan los resultados y planes de acción en aras de continuar con el proceso de mejora continua, entendiendo que es el área de mantención un área muy importante en el desarrollo del negocio.

Los KPI's definidos para el área de mantenimiento del área de minerales son los siguientes:

INDICADORES DE MANTENIMIENTO - MANTTO MINERALES		
Indicador	Meta 2018	Frecuencia de Revisión
Disponibilidad (%)	97%	Mensual
MTBF (Hrs)	120	Mensual
MTTR (Hrs)	4	Mensual
Costo p/tonelada embarcada US\$ /Tn	0.15	Mensual
Disponibilidad de Recepciones (%)	95%	Mensual
MTBF Recepciones (Hrs)	250	Mensual
MTTR Recepciones (Hrs)	12	Mensual
Cumplimiento de PM's	95%	Mensual
Cumplimiento de Avisos	95%	Mensual
Cumplimiento de Obs de Seguridad	100%	Mensual
# de Accidentes	1	Mensual

←

Indicadores que se verían mejorados con la aplicación del RCM

Tabla 5.1: Indicadores de Mantenimiento – Mantenimiento Minerales 2018

(Fuente: Elaboración Propia)

Dentro todos los indicadores dispuestos para la gestión del área de mantenimiento minerales, los que tienen relación directa con la aplicación del RCM son los 03 primeros que se muestran en la tabla 5.1 (disponibilidad, MTBF y MTTR).

Los valores de disponibilidad se ven directamente involucrados pues la ocurrencia de fallas se ve reducida directamente, misma situación ocurre con el MTBF pues es el indicador que mide aritméticamente el número de fallas en relación con las horas de operación; por otro

lado también se ve mejorado el MTTR, pues ya hemos identificado los modos de falla posibles y ya se tiene toda la planificación preliminar para atender estas en caso que se genere un evento.

Los valores de los KPI's obtenidos para el período 2017 son como se muestran en la siguiente tabla:

Embarque									
2017				MTBF		MTTR		Disp	
Mes	Hoper	n°	H Falla	Real	Meta	Real	Meta	Real	Meta
Enero	205.3	0	0.0	NF		NF		100%	
Febrero	236.5	1	23.2	236.5		23.2		91%	
Marzo	202.5	0	0.0	NF		NF		100%	
Abril	204.8	0	0.0	NF		NF		100%	
Mayo	236.0	0	0.0	NF		NF		100%	
Junio	268.0	3	37.2	89.3		12.4		88%	
Julio	179.2	2	5.5	89.6		2.8		97%	
Agosto	291.9	2	32.4	145.9		16.2		90%	
Septiembre	235.7	1	2.0	235.7		2		99%	
Octubre	201.4	2	3.4	100.7		1.7		98%	
Noviembre	249.9	0	0.0	NF		NF		100%	
Diciembre	226.0	2	3.5	113		1.7		99%	
Acumulado	2737.2	13.0	107.2	210.5	250.0	8.2	6.0	96%	98%

Tabla 5.2: Indicadores obtenidos en el período 2017

(Fuente: Elaboración Propia)

Como se puede apreciar en la tabla 5.2 los valores que se obtuvieron en el período pasado fueron negativos, para los casos de disponibilidad, MTBF y MTTR no se cumplieron las metas esperadas.

Los valores causales de la desviación de los indicadores del período 2017 fueron los siguientes registros de fallas que se muestran en la tabla 5.3.

Cabe mencionar que los modos de falla evidenciados forman parte del plan de mantenimiento, pues la teoría del RCM indica que las primeras actividades a ser consideradas dentro de las actividades preventivas son los modos de falla evidenciados.

HISTÓRICO DE FALLAS 2017				
Equipo	Sistema	TTR	Fecha	Descripción
Faja Transportadora N° 02	Recepción Cerro Verde	3.0	17/05/2017	Desalineamiento de Faja N2 RFCV
Puente Grúa N° 1	Recepción Cerro Verde	2.0	01/06/2017	Falla en puente grúa por sensor limite superior
Shiploader	Embarque	4.8	12/06/2017	Desmontaje/repación de motoreductor de compuerta Shiploader
Carro Shuttle	Embarque	1.9	22/06/2017	Falla en rele de protección de motor del shuttle
Shiploader	Embarque	30.5	26/06/2017	Cambio de tivar en giro de cuchara.
Puente Grúa N° 4	Recepción Cerro Verde	4.2	05/07/2017	Falla encoder hoist A
Faja Tubular N° 12	Recepción Las Bambas	2.5	27/07/2017	Rotura de pernos en manguito de polea
Shiploader	Embarque	2.5	14/07/2017	Atoro en tubo y chute del Shiploader
Shiploader	Embarque	3.0	24/07/2017	Falla de rele inteligente chute gate
Circuito General de PLC	Embarque	32.0	08/08/2017	Actualización de licencia de PLC SL, el UPS perdió energía en el HMI del panel de control.
Puente Grúa N° 5	Recepción Las Bambas	56.0	09/09/2017	Falla enrollador de cable PG5
Faja Tubular N° 12	Recepción Las Bambas	10.5	19/09/2017	Rotura de pernos en manguito de polea (lado izquierdo)
Colector de Polvo Centralizado N°03	Almacén Cerro Verde	0.5	16/10/2017	Fuga de aire en válvula reguladora.
Travel Drive	Embarque	2.0	27/10/2017	Verificación del funcionamiento del freno.
Chute de Descarga	Embarque	1.3	31/10/2017	Reparación de brida y ajustes de pernos (Chute de descarga del SL)
Faja Transportadora N° 06	Recepción Cerro Verde	1.2	02/12/2017	PARADA POR SENSOR DE ATORO 13:38 A 14:50
Shiploader	Embarque	1.17	09/12/2017	Falla en rodillos de faja boom
Puente Grúa N° 5	Recepción Las Bambas	2	11/12/2017	Revision falla 352 puente de Grua 5
Faja Transportadora N° 20	Embarque	2.3	11/12/2017	Pérdida de datos balanza de embarque
Carro Tripper N°03	Recepción Las Bambas	0.75	20/12/2017	Falla eléctrica (22:45 - 23:30) generó demora en mov de tripper
Colector de Polvo Centralizado N°03	Almacén Cerro Verde	4	18/12/2017	Falla en fusible de ventilador colector
Colector de Polvo Centralizado N°04	Almacén Las Bambas	4	19/12/2017	Cambiar rodamientos de colector centralizado

Tabla 5.3: Histórico de Fallas 2017 – Sistema de Embarque

(Fuente: Mantenimiento Minerales – Tisur)

5.2 BENCHMARKING EN MANTENIMIENTO.

Entendiendo la problemática de los resultados obtenidos en el período 2017, es que se plantea la aplicación de las mejoras con el RCM. Para tal caso se estiman los valores de disponibilidad, MTBF y MTTR que se tendrían con la aplicación de nuestro nuevo plan de mantenimiento.

Realizando el benchmarking entre los valores de KPI's 2017 y los valores del nuevo plan de mantenimiento con RCM, se tienen los siguientes resultados de indicadores:

BENCHMARKING DE INDICADORES				
Indicador	Resultados 2017	Meta 2017	Expectativa RCM	Diferencia
Disponibilidad (%)	96.2%	97.5%	99.4%	1.9%
MTBF (Hrs)	210.5	250.0	675.0	425.0
MTTR (Hrs)	8.2	6.0	4.0	2.0

Tabla 5.4: Benckmarking de Indicadores

(Fuente: Elaboración Propia)

Los valores de los KPI's se ven muy mejorados con respecto inclusive con las metas establecidas para la gestión de mantenimiento, las fortalezas que hacen posible estas mejoras básicamente son las siguientes:

1. Reducción de índices de fallas, considerando que en promedio por año el Shiploader tiene una utilización de 2,700 Hrs, (atención de 50 naves por embarque); se estima tener un promedio de 04 fallas al año (acciones que escapen de algo planificado/programado), y teniendo que esas 04 fallas demandarán 16 horas como máximo para reparar.
2. Las actividades del plan RCM tiene como valor fundamental la prevención de la seguridad de las personas, así como también tiene como principal objetivo de preservar el cuidado del medio ambiente, ambos factores son analizados cuando en el Diagrama de Decisiones se analiza punto por punto la columna S.
3. Uno de los puntos muy importantes es la inclusión de las actividades predictivas, las cuales logran predecir oportunamente los modos de falla. De acuerdo a las características del activo, las técnicas predictivas a utilizar son las siguientes:

- Análisis de vibraciones
 - Termografía/UT.
 - Análisis de aceites.
-
- **Análisis de vibraciones:** Técnica que se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus espectros de vibración. La utilización se realizará en los reductores de velocidad del travel drive, winche, faja boom, carro shuttle, poleas de cola y cabeza.
 - **Termografía:** Técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas, con el fin de determinar si se encuentran funcionando de manera correcta. La aplicación se realizará en los rodillos de la faja boom, poleas de cola y cabeza, PLC de mando del shiploader y tableros de control.
 - **Ultrasonido:** Análisis basado en el estudio de ondas de sonido de alta frecuencia, producidas por las máquinas cuando presentan alguna falla imperceptible para los sentidos del ser humano. La utilización es para poleas, reductores, uniones soldadas, otras.
 - **Análisis de aceites:** Análisis que determina el estado de operación de las máquinas a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas de su aceite lubricante. La utilización se realizará con el estudio del aceite de los reductores de velocidad.

5.3 ANÁLISIS ECONÓMICO.

Para comprender de mejor manera el impacto financiero que se obtiene con la implementación del RCM, a continuación se presenta el siguiente análisis financiero representado por un flujo de caja.

El flujo de caja que se muestra en la tabla 5.5 muestra en comparación los dos escenarios que se tiene, el escenario 01 muestran los gastos que se tienen con la tendencia de los planes de mantenimiento actuales, mientras que el escenario 02 muestra los gastos que se tendrían con la implementación del RCM, para ambos casos por un motivo demostrativo se corren los flujos de caja considerando como máximo el período 5, entendiéndose que la tendencia de los gastos seguirá siendo la misma hasta donde se termine los años de operación del Shiploader.

Respecto a los flujos de caja se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Consideraciones:

1. El flujo de caja se desarrolla en un período de 05 años, comparando los valores de VAN que se tienen entre ambos escenarios (Plan de mantenimiento actual vs Plan de mantenimiento RCM),
2. El valor de la tasa de descuento es de 10%.
3. Las paradas de mantenimiento no programadas tienen un costo total de **US\$ 3,000:**

- Parada por alquiler de nueve + maniobras de atraque: US\$2,000.
- Alquiler de manlift (equipo necesario para la habilitación): US\$ 500.
- Mano de obra (mecánico – eléctricos – supervisores): US\$ 500.

Se estima un costo por cada hora de falla de US\$ 3,000. Para el caso del escenario 01 se estiman 115 horas de paradas no programadas (según valores del historial).

4. Para el caso del escenario 01 se estiman 04 técnicos involucrados directamente en el Shiploader, mientras que para el escenario 02 se estiman 05 técnicos (mano de obra directa). Para todos los casos se considera **US\$ 15,000 de gasto anualizado** por técnico.

- Sueldo básico de los técnicos (mecánicos / eléctricos): US\$ 700.
- Costo empresa (beneficios sociales): US\$ 1,050.
- Otros beneficios de la empresa: US\$ 2,400.

5. Para el caso del escenario 02 se tiene un mayor gasto en servicios, pues se consideran los gastos por análisis de aceite, entre otros servicios predictivos que pueden hacer incrementar el presupuesto de gasto.
6. Para el caso del escenario 02 se considera el gasto inicial en inversiones referente a la adquisición de los equipos predictivos.

ESCENARIO 01: PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

FLUJO DE CAJA ECONÓMICO

PERÍODOS EN AÑOS	0	1	2	3	4	5
Paradas por Mantenimiento No Programadas						
- Gasto por falla (15 fallas al año /115 horas de parada)	-	-345,000	-345,000	-345,000	-345,000	-345,000
Gasto Operativos de Mantenimiento						
- Personal de Mantenimiento	-	-60,000	-60,000	-60,000	-60,000	-60,000
- Gastos de Mantenimiento (Materiales/Srv)		-30,000	-30,000	-115,000	-30,000	-30,000
Flujo de Caja Económico		-435,000	-435,000	-435,000	-435,000	-435,000
VAN		-2,260,000				

ESCENARIO 02: APLICACIÓN DEL RCM

FLUJO DE CAJA ECONÓMICO

PERÍODOS EN AÑOS	0	1	2	3	4	5
Paradas por Mantenimiento No Programadas						
- Gasto por falla (04 fallas al año /16 horas de parada)	-	-12,000	-12,000	-12,000	-12,000	-12,000
Gasto Operativos de Mantenimiento						
- Personal de Mantenimiento	-	-75,000	-75,000	-75,000	-75,000	-75,000
- Gastos de Mantenimiento (Materiales/Srv)		-35,000	-35,000	-115,000	-35,000	-35,000
Inversiones (Mantto Predictivo)						
- Equipos y herramientas	-60,000	-	-	-	-	-
Flujo de Caja Económico	-60,000	-122,000	-122,000	-122,000	-122,000	-122,000
VAN		-582,581				

Tabla 5.5: Análisis de Flujo de Caja

(Fuente: Elaboración Propia)

Después de analizar los valores de VAN que se obtienen en ambos escenarios, vemos claramente que el costo que impacta en mayor porcentaje son las paradas no programadas, y es justamente en ese punto que se pueden ver los efectos del RCM los cuales disminuyen considerablemente esa merma en costos. Por lo que podemos concluir que con una evaluación en 05 años, **se puede lograr un ahorro del 75% (US\$ 1.6M) de los egresos que se tienen al no aplicar el RCM.**

Estos valores son presentados a la gerencia, quien evalúa y mira como una alternativa bastante interesante la aplicación del RCM dentro de la gestión actual del mantenimiento, pues el sustento de implementación en primera instancia tiene como fortaleza el ahorro económico, pero también se tienen otras ventajas colaterales con la implementación del RCM, que también son muy beneficiosas para la compañía, pues se habla de la conservación del activo, se reducen las ocurrencias de falla y esto impacta directamente sobre el tiempo de vida útil que tiene el Shiploder.

La aplicación del mantenimiento predictivo, es una de las labores que conllevará mayor planificación y esfuerzo, pues se debe trabajar primeramente en conseguir el personal técnico/especializado en ejecutar estas futuras actividades predictivas, se hablan de actividades de termografía, espectrofotometría, ensayos no destructivos, otros; por otro lado se debe tener la planificación financiera para adquirir los activos necesarios (equipos predictivos), tales como cámara termográfica, equipo de ultrasonido, analizador de vibraciones, otros; finalmente con estos dos input, pues se debe empezar a realizar el plan predictivo con las frecuencias que fueron parte de las conclusiones del nuevo plan de mantenimiento que se revisó en los puntos anteriores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

1. Se realiza el Análisis de Criticidad a todos los activos del Muelle F, del cual se pueden desprender los siguientes resultados:
 - Se tienen 09 equipos altamente críticos (entre ellos el Shiploader).
 - Se tienen 16 equipos medianamente críticos.
 - Se tienen 23 equipos bajamente críticos.
2. Al desarrollar la taxonomía del activo, se obtiene mejores resultados en la identificación de los modos de falla, logrando un mejor entendimiento del funcionamiento del activo.
3. Se desarrolla el Análisis Modo Efecto de Falla (AMEF) para el Shiploader, logrando obtener todas las posibles opciones causales de falla funcional al activo, este logro permite replantear una actividad proactiva en cada caso.
4. Se obtienen las nuevas actividades preventivas y predictivas del nuevo plan de mantenimiento. La reestructuración de los nuevos planes de mantenimiento, permiten desarrollar un trabajo más objetivo, puesto que se tiene un alto nivel de seguridad que todo el equipo está siendo considerado en sus posibles modos de falla (FMEA), asegurándonos altos niveles de confiabilidad del activo.
5. Se logra una mejora en los valores de MTBF en 425 horas sin falla, mientras que se logra una reducción del MTTR de 02 horas.
6. Se logran mejoras adicionales en el proceso de la gestión de mantenimiento, pues existen puntos de la cadena de valor de mantenimiento que se ven fortalecidos (identificación de trabajos, planificación, programación e ingeniería de mantenimiento).
7. Luego de realizar un comparativo de escenarios (plan de mantenimiento actual vs plan de mantenimiento RCM), se concluye que la aplicación del RCM genera un panorama financiero bastante optimista, pues se obtiene en un período de 05 años un ahorro en gastos por paradas no programadas de US\$ 1.6M. Condición definitiva que conlleva a la implementación del RCM en la gestión.

RECOMENDACIONES.

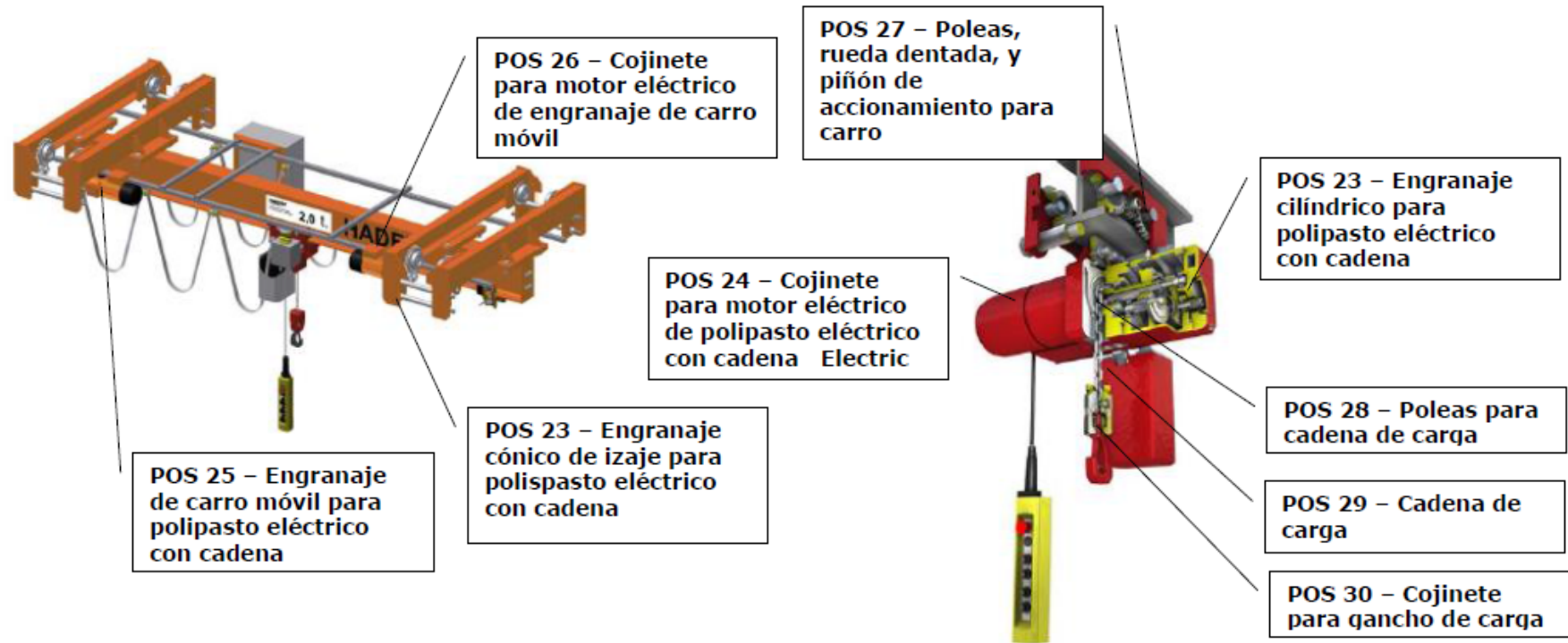
1. Se recomienda elevar a la gerencia el proyecto de implementación del RCM, a fin de que se pueda evaluar su implementación en otros sistemas o empresas pertenecientes al mismo grupo corporativo; pues al ver la cantidad de ahorro que se obtiene con la aplicación del RCM, resulta ser muy atractivo para los ojos del directorio.
2. Importante hacer una política de trabajo el manejo de información confiable, manejando correctamente los NP de los repuestos identificados en falla, así como también una correcta depuración de los modos de falla suscitados.
3. Evaluar la implementación del RCM en los otros 08 equipos críticos que se obtuvieron como resultado del Análisis de Criticidad, evaluando factibilidad operacional y financiera.
4. Mediante la aplicación de RCM se establece como prioridad la eliminación de las fallas inaceptables (las cuales nos pone en riesgo la continuidad de la operación); así mismo esta metodología propone la estrategia para lograr controlar las fallas de reducción deseable mediante un plan de mantenimiento preventivo efectivo y otras herramientas de predicción o monitoreo.
5. Implementar los nuevos planes de mantenimiento preventivo, y predictivo en base a los resultados obtenidos en el presente RCM, planificando correctamente la implementación de este último sobre todo, considerando toda la procura e inversión necesaria para su implementación.

ANEXO I

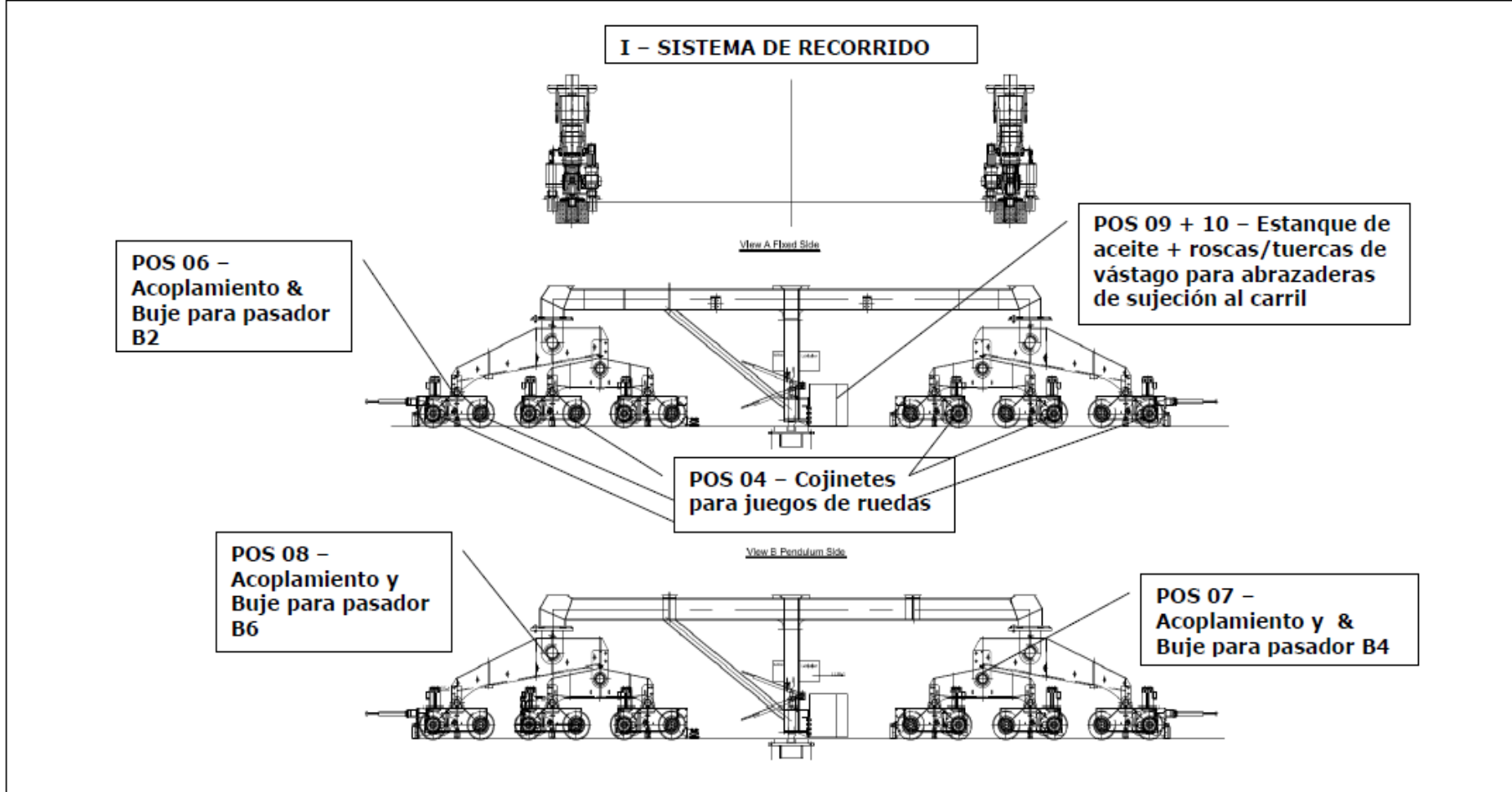
Plan de Lubricación del Shiploader

Contrato No.: 2.2135	Plan de Lubricación	Nombre: MIFU-DE	Fecha: 26-01-2015
Item No.: 0740-SL-1001	Equipo: Cargador de barco con Tripper	Cliente: TISUR Provincia de Islay, Arequipa, Perú	

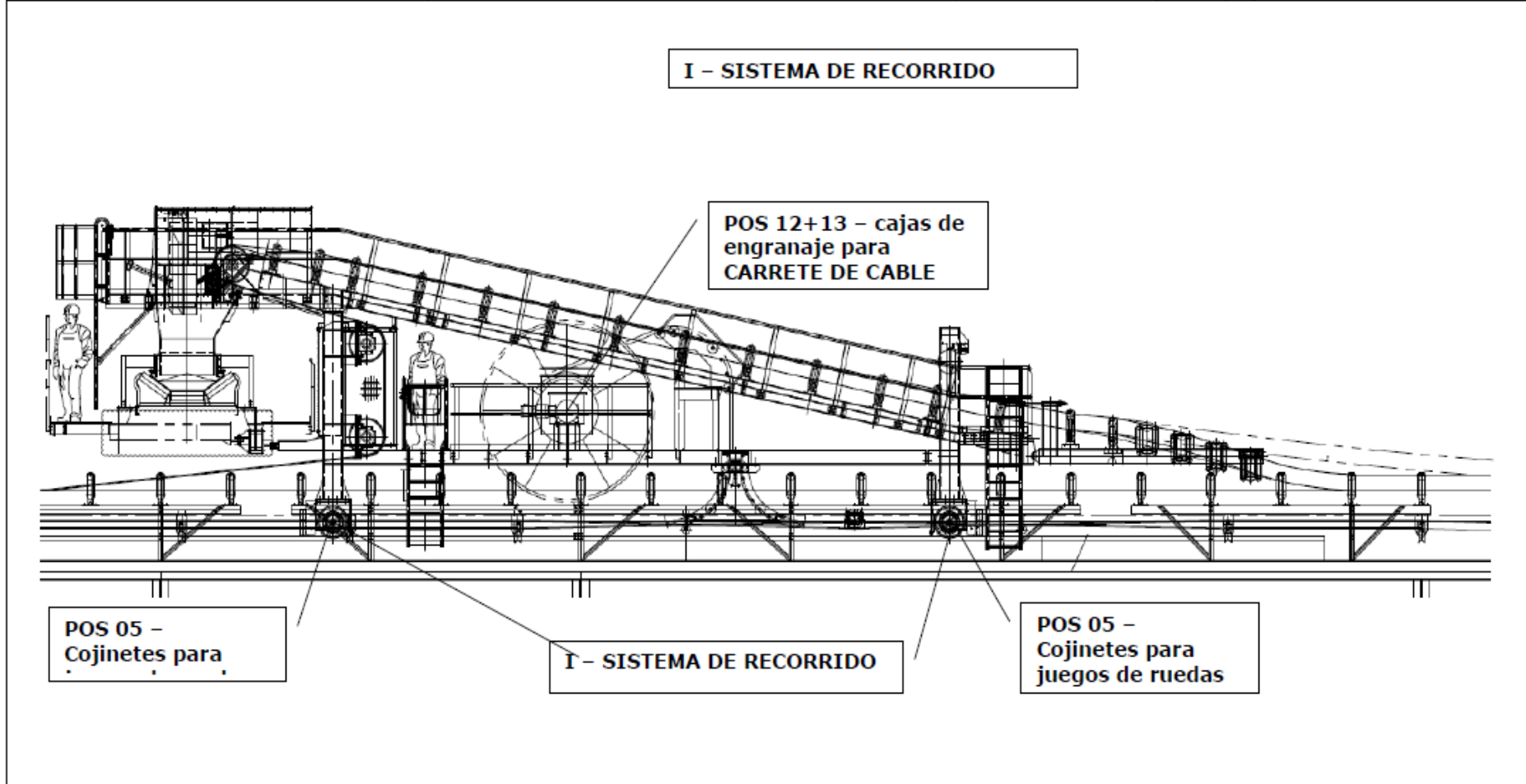
II – SISTEMA DE AMANTILLAMIENTO



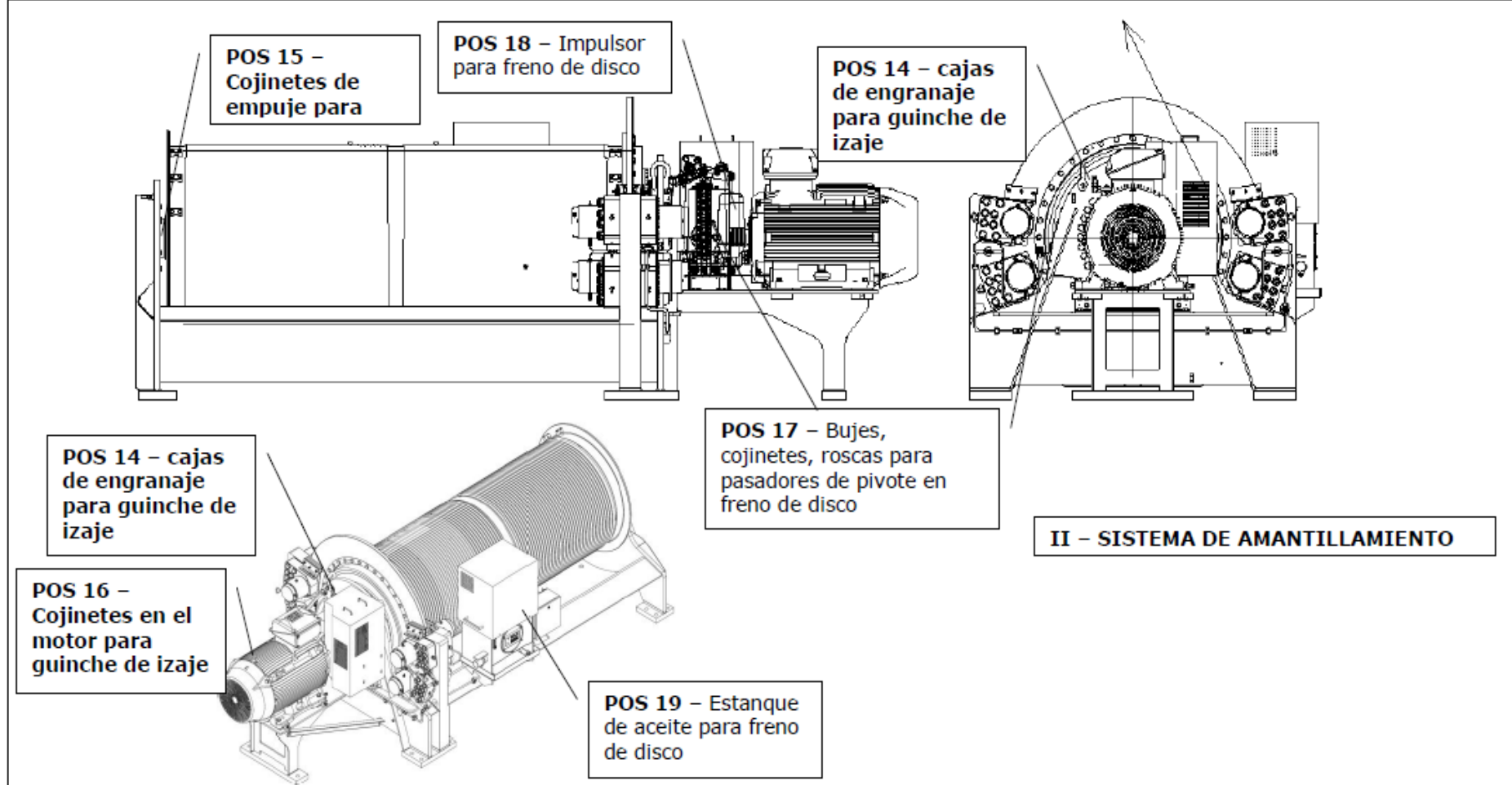
Contrato No.: 2.2135	Plan de Lubricación	Nombre: MIFU-DE	Fecha: 26-01-2015
Item No.: 0740-SL-1001	Equipo: Cargador de barco con Tripper	Cliente: TISUR Provincia de Islay, Arequipa, Perú	



Contrato No.: 2.2135	Plan de Lubricación	Nombre: MIFU-DE	Fecha: 26-01-2015
Item No.: 0740-SL-1001	Equipo: Cargador de barco con Tripper	Cliente: TISUR Provincia de Islay, Arequipa, Perú	



Contrato No.: 2.2135	Plan de Lubricación	Nombre: MIFU-DE	Fecha: 26-01-2015
Item No.: 0740-SL-1001	Equipo: Cargador de barco con Tripper	Cliente: TISUR Provincia de Islay, Arequipa, Perú	



ANEXO II

Historial de Fallas del Muelle F

HISTORIAL DE FALLAS - MUELLE "F"				
Equipo	Sistema	TTR	Fecha	Descripción
Puente Grúa N° 2	Recepción Cerro Verde	24.5	03/01/2017	Falla Puente de Grua 2 RFCV (Tablero Eléctrico)
Faja Transportadora N° 05	Recepción Cerro Verde	1.0	24/01/2017	Desalineamiento de faja
Colector de Polvo Centralizado N°01	Recepción Cerro Verde	44.4	05/02/2017	Cambio de correas de aspirador de polvo
Puente Grúa N° 1	Recepción Cerro Verde	22.4	13/02/2017	Cambiar celda de carga
Alimentador de Faja N°02	Recepción Cerro Verde	23.6	15/02/2017	Rotura de banda en el Feeder 02 por atasco de una piedra
Faja Tubular N° 12	Recepción Las Bambas	33.3	14/02/2017	Rotura en el empalme de la banda Tubular 12
Colector de Polvo Centralizado N°03	Almacén Cerro Verde	16.5	09/02/2017	Cambiar rodamiento lado móvil
Shiploader	Embarque	23.2	09/02/2017	Falla en mando inalámbrico del Shiploader
Faja Transportadora N° 19	Despacho Antapaccay	1.0	17/02/2017	Recuperación de cantos en frío, FajaN° 19.
Faja Tubular N° 12	Recepción Las Bambas	11.7	09/03/2017	Cambiar acople hidráulico
Alimentador de Faja N°10	Despacho Cerro Verde	0.7	07/04/2017	Cambiar hoja de limpiador primario, debido a que se desprendió de su ubicación
Colector de Polvo Insertable Faja N°20	Embarque	95.7	20/04/2017	Fuga de aire en válvula de inyección de aire.
Faja Transportadora N° 02	Recepción Cerro Verde	3.0	17/05/2017	Desalineamiento de Faja N2 RFCV
Faja Transportadora N° 04	Recepción Cerro Verde	3.0	17/05/2017	Desalineamiento de Faja N4 RFCV
Puente Grúa N° 1	Recepción Cerro Verde	2.0	01/06/2017	Falla en puente grúa por sensor limite superior
Shiploader	Embarque	4.8	12/06/2017	Desmontaje/reparación de motoreductor de compuerta Shiploader
Carro Shuttle	Embarque	1.9	22/06/2017	Falla en rele de protección de motor del shuttle
Shiploader	Embarque	30.5	26/06/2017	Cambio de tivar en giro de cuchara.
Puente Grúa N° 4	Recepción Cerro Verde	4.2	05/07/2017	Falla encoder hoist A
Faja Transportadora N° 07	Recepción Cerro Verde	1.0	30/07/2017	Cambio de rodillo por sonido excesivo
Puente Grúa N° 5	Recepción Las Bambas	9.0	11/07/2017	Falla puente grúa 5
Puente Grúa N° 5	Recepción Las Bambas	4.0	13/07/2017	Falla puente grúa 5
Faja Tubular N° 12	Recepción Las Bambas	2.5	27/07/2017	Rotura de pernos en manguito de polea
Shiploader	Embarque	2.5	14/07/2017	Atoro en tubo y chute del Shiploader

Shiploader	Embarque	3.0	24/07/2017	Falla de rele inteligente chute gate Actualización de licencia de PLC SL, el UPS perdió energía en el
Circuito General de PLC	Embarque	32.0	08/08/2017	HMI del panel de control.
Faja Transportadora N° 19	Despacho Antapaccay	0.4	21/08/2017	Cambio de rodillo de retorno dañado por ruido excesivo
Inyector de Aire N° 4	Recepción Cerro Verde	0.8	08/09/2017	Rotura de correas en el inyector
Puente Grúa N° 5	Recepción Las Bambas	56.0	09/09/2017	Falla enrollador de cable PG5
Faja Tubular N° 12	Recepción Las Bambas	10.5	19/09/2017	Rotura de pernos en manguito de polea (lado izquierdo)
Faja Boom Shiploader	Embarque	2.0	04/09/2017	Falla motor sujetador de banda
Carro Tripper N°02	Recepción Cerro Verde	0.8	15/10/2017	Verificación del freno de la rueda
Faja Transportadora N° 08	Recepción Cerro Verde	9.5	15/10/2017	Falla de comunicacion PLC tripper 2
Caballote de Volteo Línea N°1	N°01	0.8	20/10/2017	Atascamiento de aparejo en caballote
Faja Tubular N° 12	Recepción Las Bambas	0.5	11/10/2017	Cambio sensor de velocidad cero
Colector de Polvo Centralizado N°03	Almacén Cerro Verde	0.5	16/10/2017	Fuga de aire en válvula reguladora.
Travel Drive	Embarque	2.0	27/10/2017	Verificación del funcionamiento del freno.
Chute de Descarga	Embarque	1.3	31/10/2017	Reparación de brida y ajustes de pernos (Chute de descarga del SL)
Faja Transportadora N° 06	Recepción Cerro Verde	1.2	02/12/2017	PARADA POR SENSOR DE ATORO 13:38 A 14:50
Shiploader	Embarque	1.17	09/12/2017	Falla en rodillos de faja boom
Puente Grúa N° 5	Recepción Las Bambas	2	11/12/2017	Revision falla 352 puente de Grua 5
Faja Transportadora N° 20	Embarque	2.3	11/12/2017	Pérdida de datos balanza de embarque
Carro Tripper N°03	Recepción Las Bambas	0.75	20/12/2017	Falla eléctrica (22:45 - 23:30) generó demora en mov de tripper
Puente Grúa N° 3	Recepción Cerro Verde	2.27	29/12/2017	Puente grúa N°03 bloqueado de (08:28 - 10:44 PM) se utiliza PG N°01
Colector de Polvo Centralizado N°01	Recepción Cerro Verde	4	13/12/2017	Cambio de correas por estar resacas y con ruido excesivo
Colector de Polvo Centralizado N°03	Almacén Cerro Verde	4	18/12/2017	Falla en fusible de ventilador colector
Colector de Polvo Centralizado N°04	Almacén Las Bambas	4	19/12/2017	Cambiar rodamientos de colector centralizado
Colector de Polvo Centralizado N°05	Almacén Antapaccay	2.95	13/01/2018	Falla en ventilador de Almacén Antapaccay
Faja Transportadora N° 07	Recepción Cerro Verde	0.4	02/01/2018	Desalineamiento de Faja N°07 (Aviso: 12701824)
Carro Tripper N°03	Recepción Las Bambas	2	07/01/2018	Parada por corte de cable de control del Tripper

Iluminación Almacén Las Bambas	Almacén Las Bambas	0.17	07/01/2018	Falta de luz en todo el almacén
Puente Grúa N° 4	Recepción Cerro Verde	0.75	08/01/2018	Revisar celda de carga Puente grúa 4 (Aviso 12688151)
Faja tubular N° 21	Embarque	0.92	08/01/2018	Cambio de rodillos en Faja 21 (Aviso: 12688599)
Faja Transportadora N° 16	Recepción Antapaccay	0.43	09/01/2018	Desalineamiento en faja 16 de 20:23 a 20:49hrs (Aviso: 12702070)
Faja Transportadora N° 04	Recepción Cerro Verde	1.38	13/01/2018	Cambio de rodillos en Faja 04 (Aviso: 12692019)
Shiploader	Embarque	1	13/01/2018	Revisión de fuga de aceite hidráulico por cuchara de SL (15:00-16:00) (Aviso: 12701558)
Shiploader	Embarque	1.55	14/01/2018	Activación de sensor de ruptura de faja (21:55-22:55 / 23:05-24:00)
Shiploader	Embarque	1.08	14/01/2018	Disparo de llave termomagnética F37 Tablero de control (23:05 - 00:10) Aviso: 12692266
Puente Grúa N° 6	Recepción Las Bambas	13	16/01/2018	Cambio de cable de puente grúa PG 06, hora de término 01:50 AM (OM: 202476781)
Faja tubular N° 21	Embarque	0.5	16/01/2018	Cambio de rodillos (17:30-18:00)
Carro Tripper N°02	Recepción Cerro Verde	0.25	21/01/2018	No hubo movimiento de tripper 23:50 hasta 00:05 Aviso: 12701462
Puente Grúa N° 1	Recepción Cerro Verde	3	22/01/2018	Falla en PG 01 por sensor limit switch se reanuda operación 20:00 Hrs Aviso: 12701463
Faja Transportadora N° 04	Recepción Cerro Verde	1.25	22/01/2018	Problemas en comunicación F4 y F8 (tiempo por confirmar) Aviso: 12701465
Puente Grúa N° 1	Recepción Cerro Verde	0.47	26/01/2018	Revisar sensor de límite PG01, de la línea N°02 (22:50 - 00:18)
Carro Shuttle	Embarque	4	29/01/2018	GI-ME Revisar fallo fase motor del variador del SHUTTLE
Faja Transportadora N° 20	Embarque	0.75	07/02/2018	Parada por desalineamiento de banda (01:20 - 02:05) Aviso:

ANEXO III

Procedimiento de Operación del Shiploader

1. PROPOSITO

Establecer el procedimiento para el movimiento del shiploader durante la operación de embarque y mientras no haya embarque

2. ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación para los procesos, el personal propio, tercero y conexo involucrado en el embarque de concentrados de mineral en el TPM – Amarradero F

3. RESPONSABILIDADES

- JEFE DE MANTENIMIENTO:
Es el responsable de verificar el cumplimiento de este procedimiento
- JEFE DE MANTENIMIENTO ELECTRICO INSTRUMENTAL:
Es el responsable de hacer cumplir este procedimiento
- OSCAR 9F:
Es el responsable de supervisar la operación desde la cabina del Shiploader.

Es el responsable de tomar el mando del shiploader ante cualquier riesgo suscitado durante la operación

Es el responsable de movilizar el shiploader durante el cambio de bodega durante la operación

Es el responsable de movilizar el shiploader mientras no haya operación de embarque

Realizar el análisis de trabajo seguro (ATS) Forsur S-0574

4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

4.1 ABREVIATURAS

- ATS : Análisis de Riego Operacional.
- EPP : Equipo de Protección Personal.
- Oscar 9 F : Técnico eléctrico operador de cabina de shiploader
- Shiploader : Cargado de barcos que se utiliza para embarcar concentrado de cobre

5. PROCEDIMIENTO

Generalidades:

- a) Todo el personal involucrado en el proceso de movilizar el shiploader deberá realizar el correcto llenado del ATS FORSUR-S-0574.
- b) Se debe asegurar el orden y limpieza en todo en todo el recorrido del shiploader para garantizar el correcto desplazamiento
- c) Verificar que no exista la presencia de ningún cuerpo, persona, maquinaria o vehículo durante el desplazamiento del shiploader mientras haya o no una operación de embarque.
- d) En el caso de solicitar el movimiento del shiploader cuando no haya embarque se debe realizar con 24 horas de anticipación por vía correo y RPC la coordinación respectiva al jefe de mantenimiento eléctrico instrumental con copia al Supervisor de mantenimiento eléctrico instrumental y al Jefe de mantenimiento
- e) Adicionalmente el mismo día una hora antes se debe confirmar la maniobra al Jefe de mantenimiento eléctrico instrumental
- f) Tomar en cuenta que las personas que realizaran el presente procedimiento deberán mantener la comunicación entre las mismas, debiendo evitar contestar llamadas de otros equipos ya que esto podría ocasionar un accidente.

Procedimiento:

- El operador OSCAR 9F deberá considerar todas la generalidades antes mencionadas antes de proceder a movilizar el shiploader.
- OSCAR 9F energizara los equipos del desplazamiento del shiploader (TRAVEL)
- OSCAR 9F movilizara el shiploader en coordinación con el persona que lo solicita según sea el caso o en coordinación con otro técnico eléctrico instrumental, en el sentido que sea solicitado.
- OSCAR 9F deberá movilizar el shiploader como máximo en segunda velocidad para distancias cortas y en su máxima velocidad para distancias largas.
- OSCAR 9F estacionara el shiploader en la posición solicitada y procederá a desenergizar el TRAVEL si el caso es que no hay una operación de embarque, si fuera el caso una operación de embarque el equipo deberá permanecer energizado.


6. *RESTRICCIONES*

- No se dará inicio a la operación de embarque sin la autorización previa del Cargo Master.
- No se moverá el shiploader si se considera que exista algún desperfecto que pone en riesgo la integridad del trabajador, de sus compañeros o del equipo.
- No se comenzará el desplazamiento del shiploader de no tener claro la labor de cada uno de los involucrados.
- No se empezará ningún trabajo sin realizar el ATS.
- No se moverá el shiploader si existe la presencia de algún cuerpo, persona, maquinaria o vehículo a lo largo de su desplazamiento por el muelle



ANEXO IV


Resumen General de Datos Técnicos del Shiploader

Equipo:	Cargador de barco	Ítem:	0740-SL-1001	
Cliente:	TISUR	Proveedor	FLSmidth	
Planta:	Islay Bay Arequipa, Perú	Fecha:	28.01.2015	
Description	Unidad	Datos del Proveedor	Observ.	
ALIMENTACION (MATERIAL A SER MANEJADO)				
Material		Concentrado de Cobre		
Características del material		Refiérase al Capítulo 4.3 en la Sección B4		
GENERAL				
Capacidad - nominal	t/h	2000		
Cargador de barco, dimensión principal (aprox.)				
Longitud (aprox.)	m	56.55		
Ancho (aprox.)	m	21.35		
Altura (aprox.)	m	31.55		
Tripper, dimensión principal (aprox.)				
Longitud	m	21.6		
Ancho	m	4.53		
Altura	m	5.65		
UNIDAD DE RECORRIDO				
Distancia de ruedas – lado fijo	m	1.2		
Distancia de ruedas – lado del péndulo	m	1.2		
Vía de recorrido	m	160		
No. de ruedas accionadas		6 + 6		Fijo + péndulo
No. de ruedas no accionadas		6 + 6		Fijo + péndulo
No. de ruedas del remolque		6 + 6		Fijo + péndulo
Diámetro de la rueda	mm	630		
Tipo de carriles		A 100		
Ancho de cabeza de carriles	mm	100		
Distancia entre carriles (galga)	m	11		
Longitud de la vía del carril	m	183.75		Fijo/péndulo
Velocidad de recorrido (60 Hz)	m/min	30		
Velocidad de recorrido	m/min	5 - 15		VFD
Potencia instalada de motor	kW	12 x 11		Motor de Engranaje AC

Equipo:	Cargador de barco	Ítem:	0740-SL-1001	
Cliente:	TISUR	Proveedor:	FLSmidth	
Planta:	Islay Bay Arequipa, Perú	Fecha:	28.01.2015	
Description	Unidad	Datos del Proveedor	Observ.	
UNIDAD DE AMANTILLAMIENTO				
Ángulo de amantillamiento (Operación)	Grados	-8 a +10		
Ángulo de amantillamiento (Posición estacionaria)	Grados	+72		
Sistema de accionamiento de amantillamiento		Guinche eléctrico con freno hidráulico		
Velocidad de amantillamiento (Velocidad del cable) (60 Hz)	m/min	22.5		
Diámetro del tambor (en la primera capa de cables)	mm	1300		
Diámetro del cable	mm	36		2x
Longitud del cable	m	254		2x
Potencia instalada	kW	200		VFD
Diámetro de la polea de cable	mm	900		
FAJA TRANSPORTADORA DE LA PLUMA				
Longitud de la pluma extendida (desde el retorno a la polea de descarga)	m	43.75		
Ancho de la banda	mm	1524		
Ángulo cóncavo	Grados	35		
Velocidad de la banda (60 Hz)	m/s	1.8		
Accionamiento de la banda – potencia instalada	kW	90		
Freno de retención	Sí / No	Y		
Acoplamiento hidráulico	Sí / No	N		
Acoplamiento elástico	Sí / No	Y		Incluir en disco de freno
Freno	Sí / No	Y		
Poleas				
Revestimiento de caucho/cerámico	R / C	R		
Ø Polea de accionamiento/Ø Cojinete	mm	650/160		
Ø Polea de descarga/Ø Cojinete	mm	636/140		
Ø Polea de retorno/Ø Cojinete	mm	534/125		
Ø Polea tensora/Ø Cojinete	mm	534/125		
Ø Polea de curva/Ø Cojinete	mm	534/125		
Ø Polea de contracurvado/Ø Cojinete	mm	483/100		
Rodillos				
Diámetro rodillos de transporte	mm	152/25		Exterior/Eje
Longitud rodillos de transporte	mm	584		
Diámetro rodillos de impacto	mm	152/25		Exterior/Eje
Longitud rodillos de impacto	mm	584		
Equipo:	Cargador de barco	Ítem:	0740-SL-1001	

Cliente:	TISUR	Proveedor	FLSmidth	
Planta:	Islay Bay Arequipa, Perú	Fecha:	28.01.2015	
Description	Unidad	Datos del Proveedor		Observ.
Diámetro rodillos retorno	mm	152/25		Exterior/Eje
Longitud rodillos de retorno	mm	1676/838		Plano/en V
Tipo de banda		EP800/3-6x3		
Longitud de banda	m	528		
Fuerza de tensión (calculada)	kN	65 700		Ajustar al 80% para el comisionamiento
Peso tensor	Kg	6 700		
Alargamiento de banda para fuerza calculada	%	0.27		
Limpiador de banda				
Principal - tipo		Martin QC#1 - XHD		
Secundario - tipo		Martin SQC2		
Lado de retorno - tipo		Limpiador en V con cuchillas de caucho (FLS)		
FAJA MÓVIL DISTRIBUIDORA				
Tipo de accionamiento (dispositivo motriz)		Rodillo doble controlado con cadena		
Tensado		Ejes tensores con copa (cabeza)		
Distancia de recorrido	mm	13 000		
Velocidad de recorrido (60 Hz)	m/min	5.3		
Velocidad de recorrido	m/min	1,3 - 2,65		VFD
Galga de carril	mm	2 250		
Tipo de carril (Ancho/Altura)	mm	70/50		
Diámetro de la rueda	mm	315		
Accionamiento – potencia instalada	kW	22		
Freno de retención	Yes / No	N		
Acoplamiento hidráulico	Yes / No	N		
Acoplamiento elástico	Yes / No	Y		2 acoplamientos engranajes de salida
Freno	Yes / No	Y		Incluir en motor
Tipo de cadena		48B1		
Paso de cadena/longitud	mm	76,2/18 900		248 eslabones
Rueda dentada motriz – número de dientes		15		
Tensión de cadena		Ejes tensores con copa (cabeza)		
CHUTE DE CARGA				
Tipo (Retráctil/Inclinable/Oscilante con tubo de descarga)	R/I/S/ SP/O	I/S/SP		
Dispositivo de inclinación		Unidad hidráulica con cilindro		
Potencia hidráulica instalada	kW	4.55		

Equipo:	Cargador de barco	Ítem:	0740-SL-1001	
Cliente:	TISUR	Proveedor:	FLSmidth	
Planta:	Islay Bay Arequipa, Perú	Fecha:	28.01.2015	
Description	Unidad	Datos del Proveedor		Observ.
Presión de operación	Bar	250		
Velocidad del cilindro	mm/min	0,1 a 0,4		
Diámetro/carrera del cilindro	mm	140/2280		
Fuerza de extensión	kN	220		
Fuerza retráctil	kN	175		
Ángulo de inclinación	Grados	-15 +15		
Long x dia. interior tubo	mm	7 450 x 864		
Dispositivo oscilación		Slew bearing with pinion and gearmotor		
Ángulo de oscilación	Grados	-160 +160		
Potencia instalada de oscilación	kW	1.5		
Diámetro/altura de cojinete oscilante	mm			
Llanta dentada giratoria – número dientes/módulo		148/8		
Piñon – número de dientes		25		
Velocidad de giro (60 Hz)	rpm	2.06		
Velocidad de operación de giro	rpm	1 to 2		VFD
Tipo de carga del tubo de descarga		Inclinable con compuerta deslizante		
Método de inclinación		Gato eléctrico de rosca (con motorreductor)		
Potencia instalada de gato de tornillo de inclinación	kW	0.9		
Diámetro de tornillo x paso / carrera	mm	40x7/1282		
Velocidad de tornillo	mm/min	1182		
Potencia instalada de gato de tornillo deslizante	kW	0.55		
Diámetro de tornillo x paso / carrera	mm	30x6/1030		
Velocidad de tornillo	mm/min	1030		
TRIPPER				
Tipo : Estándar / Plegable	S / C	S		
Sistema de recorrido				
Distancia entre ruedas	m	11		
Vía de recorrido	m	160		
No. de ruedas accionadas		0		
No. de ruedas no accionadas		2 + 2		
Diámetro de la rueda	mm	500		
Tipo de carril (Ancho/Altura)	mm	50/50		

Equipo:	Cargador de barco	Ítem:	0740-SL-1001	
Cliente:	TISUR	Proveedor	FLSmidth	
Planta:	Islay Bay Arequipa, Perú	Fecha:	28.01.2015	
Description	Unidad	Datos del Proveedor		Observ.
Distancia entre carriles (galga)	mm	2 600		
Velocidad de recorrido	m/min	Misma que el cargador de barco		
Faja transportadora				
Inclinación de la banda	Grados	12		
Ancho de la banda	mm	1524		
Tipo de banda		See Part B3 Gallery conveyor		
Ángulo cóncavo	Grados	35		
Velocidad de banda de la faja transportadora de patio	m/s	Ver Parte B3 Faja transportadora en galería		
Poleas				
Revestimiento de caucho/cerámico	R / C	R		
Ø Polea de descarga/Ø Cojinete	mm	636/140		
Ø Polea de curva/Ø Cojinete	mm	636/125		
Rodillos				
Diámetro rodillos de transporte	mm	152/25		Exterior/Eje
Longitud rodillos de transporte	mm	584		
Rodillo anti-levantamiento (lateral)	mm	152/25		Exterior/Eje
Longitud rodillo anti-levantamiento (lateral)	mm	838		Tipos en V
Limpiador de banda				
Principal - tipo		Martin QC#1 - XHD		
Secundario - tipo		Martin SQC2		

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES

RCM: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, el cual 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.

ACTIVO FÍSICO: Todo objeto o Bien material que posee una persona natural o jurídica, tales como maquinarias, equipos, edificios, muebles, vehículos, materias primas, productos en proceso, herramientas, etc.

BENCHMARKING: Punto de referencia sobre el cual las empresas comparan algunas de sus áreas.

CONFIABILIDAD: Es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.

DISPONIBILIDAD: Es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

SAP: Es un ERP “Enterprise Resource Planning” el cual corresponde a un sistema integral de gestión Empresarial que está diseñado para modelar y automatizar la mayoría de procesos en la Empresa.

TAXONOMÍA: Clasificación y jerarquización de los activos, agrupándolos por sistemas, familias, grupos, subsistemas y componentes.

MODO DE FALLA: Un modo de falla es una causa de falla o una posible manera en la que un sistema puede fallar.

CURVA DE LA BAÑERA: Gráfica que representa los fallos durante el período de vida útil de un sistema o máquina.

MORTALIDAD INFANTIL: Índice alto de falla al inicio del ciclo de vida de un activo.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arata, A. (2005). Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento. Santiago de Chile: RIL Editores.
- Compañía FLSmitdh Wdgassen GmbH. (2015). Manuales de Instrucción de Montaje, Operación & Mantenimiento del Cargador de Barcos. Lima.
- International Organization for Standardization (2013). Norma ISO 14224 “Industrias de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y Mantenimiento de equipos”. Ginebra.
- Moubray, J. (2004). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Madrid: Aladon LLC. (pp 15 – 68).
- National Aeronautics and Space Administration. (2000). Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. Ottawa.
- Noria. (2017). El Ciclo de Vida del Activo. Lube tips, (pp 3-4).
- Parra, C. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos Sevilla: INGEMAN. (pp 35 – 38).
- Parra, C. (2003). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM. Bogotá.
- Pascual, R. (2002). Mantención de Maquinaria. Santiago de Chile.
- Pistarelli, A. (2010). Manual de Mantenimiento, Ingeniería, Gestión y Organización. Buenos Aires: BUENOS AIRES.
- Smith, A. (2001). Reliability-Centered Maintenance. Nueva York: Mc Graw Hill.
- Society of Automotive Engineers SAE. (1999). SAE JA1011 “Evaluation Criteria for RCM Process”. North Caroline.
- Society of Automotive Engineers SAE (2002). Norma SAE JA1012 “Guide to the RCM Standar”. North Caroline.
- The Institute of Asset Management. (2008). PAS 55-1:2008 Gestión de Activos. Reino Unido.
- Torres, L. (2005). Mantenimiento Implementación y Gestión. Córdoba.