

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUÉL CARRERA

MODIFICACIÓN PLAN DE MANTENIMIENTO
EN PUENTE GRÚA

Trabajo de titulación para optar al título
Profesional de Ingeniero en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Francisca Andrea Salas Riquelme

Profesor Guía:

Luis Gutiérrez Meneses

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Modificación Plan de Mantenimiento para puente grúa kane

Nombre del candidato(a): Francisco Andres Solas Riquelme

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

Campus: Vina del Mar Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Luis Augusto Gutiérrez Meneses, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a)

del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

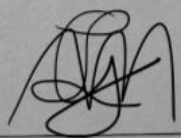
☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

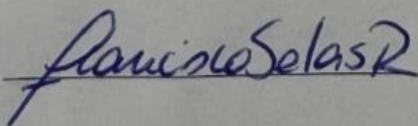
Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 21-10-2025

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 21/10/2025

Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN EJECUTIVO

Palabras clave: Mantenimiento - Criticidad – Costos

El presente trabajo aborda la optimización del mantenimiento del puente grúa Kone en la Fundición Chagres de AngloAmerican, equipo crítico para las operaciones de fundición de cobre.

Actualmente, el sistema enfrenta fallas recurrentes, particularmente en el subsistema de elevación, lo que genera altos costos correctivos, riesgos de seguridad y pérdida de confiabilidad operativa.

Se propone implementar un plan de mantenimiento basado en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), que incluye actividades preventivas como inspecciones regulares y sustituciones programadas, además de mantenimiento correctivo optimizado. Estas acciones están soportadas por el uso de software especializado para planificar y gestionar las actividades de mantenimiento.

Los resultados proyectados demuestran una reducción de costos anuales del 22.56% (USD 5,650) respecto a un escenario sin prevención, además de mejoras en la disponibilidad, confiabilidad y seguridad operativa. Este enfoque evidencia la importancia de una gestión proactiva en el mantenimiento de equipos críticos, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia operativa de la industria.

ABSTRACT

Keywords: Maintenance - Criticality – Costs

This work addresses the optimization of maintenance of the Kone overhead crane at AngloAmerican's Chagres Smelter, critical equipment for copper smelting operations.

Currently, the system faces recurring failures, particularly in the lifting subsystem, resulting in high corrective costs, safety risks and loss of operational reliability.

It is proposed to implement a maintenance plan based on Reliability Centered Maintenance (RCM), which includes preventive activities such as regular inspections and scheduled replacements, as well as optimized corrective maintenance. These actions are supported by the use of specialized software to plan and manage maintenance activities.

The projected results demonstrate an annual cost reduction of 22.56% (USD 5,650) compared to a scenario without prevention, in addition to improvements in availability, reliability and operational security. This approach demonstrates the importance of proactive management in the maintenance of critical equipment, contributing to the sustainability and operational efficiency of the industry.

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO	
INDICE	
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS	2
OBJETIVO GENERAL	
¡Error! Marcador no definido.	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
¡Error! Marcador no definido.	
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN DE PUENTE GRÚA KONE.	3
1. ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DESCRIPCIÓN DE PUENTE GRÚA KONE.	4
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2. FUNDICIÓN CHAGRES	5
1.3. DESCRIPCIÓN PUENTE GRÚA	6
1.3.1. Puente Grúa Kone	7
1.3.2. Descripción Funcional	9
1.3.2.1. Sistema de Alimentación	10
1.3.2.2 Sistema de Traslación	11
1.3.2.3. Sistema de Elevación	12
1.4. FLOW SHEET	13
1.4.1. Fundición Chagres	14
1.4.2. Nave Fundición	15
1.5. FALLAS OPERACIONALES 2022	16
CAPÍTULO 2: JUSTIFICACION DE SISTEMAS/ELEMENTOS CRÍTICOS DE PUENTE GRÚA KONE	17
2. RECOPIACIÓN DE DATOS Y JUSTIFICACIÓN DE SISTEMA/ ELEMENTOS CRÍTICOS DEL EQUIPO	18
2.1. MANTENIMIENTO DE PUENTE GRUA KONE	18
2.2. CRITICIDAD EN EL MANTENIMIENTO	18
2.2.1.1. Diagrama de Flujo de Decisión	19
2.3. TEORÍA DEL RIESGO	22

2.3.1. Medición de Criticidad en el Mantenimiento	23
2.4. DIAGRAMA DE PARETO	24
2.4.1. Matriz de Criticidad	24
2.5. PROCESO DE RCM PARA EL SISTEMA DE ELEVACIÓN	25
2.5.1. Identificación de Funciones del Sistema	25
2.5.2. Identificación de Fallos Funcionales	25
2.5.3. Identificación de Modos de Falla	25
2.5.4. Efectos de Falla	26
2.5.5. Prioridad de los Modos de Falla	26
2.5.6. Tareas de Mantenimiento Preventivo	26
2.6. DIAGRAMA DE PARETO	26
2.7. DIAGRAMA DE JACK KNIFE	27
2.8. SISTEMAS PUENTE GRÚA KONE	27
2.7. FUNDAMENTO DE SELECCIÓN DEL SISTEMA CRÍTICO	28
CAPITULO 3: DEFINICION DE PLANES DE MANTENIMIENTO, CALCULO DE LOS INDICADORES Y COSTOS ASOCIADOS	33
Y TRASLACIÓN EN PUENTE GRÚA KONE	
3.DEFINICIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO	34
3.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO (POR CONDICIÓN Y SUSTITUCIÓN)	34
3.1.1. Mantenimiento Preventivo por Condición (HPC)	34
3.1.2. Mantenimiento Preventivo por Sustitución (HPS)	35
3.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO (RUN TO FAILURE)	35
3.3 PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	35
3.3.1. Herramientas Utilizadas	36
3.3.2. Crear un calendario de Mantenimiento	36
3.3.3. Asignación de recursos	36
3.3.4. Programación Detallada	37
3.3.5. Monitoreo y Ajuste	37
3.3.6. Implementación de Mantenimiento Correctivo	37
3.4. CÁLCULOS DE LOS INDICADORES BÁSICOS DE PLANIFICACIÓN PARA LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS A PARTIR DEL RCM (BASE DE PLANIFICACIÓN 1 AÑO	38
3.4.1. Total de Horas-Hombre al año de los trabajos de mantenimiento (preventivo (por condición + por sustitución) + correctivo (run to failure))	38
3.4.1.1. Mntenimiento Preventivo por Condición (HPC)	38
3.4.1.2. Mantenimiento Preventivo por Sustitución (HPS)	39
3.4.1.3. Mantenimiento Correctivo (HHC)	39

3.4.2. Total de Horas – Hombre al año de los trabajos de mantenimiento	39
3.4.2.1. Horas-hombre totales al año de los trabajos de mantenimiento preventivo (por condición + por sustitución)	39
3.4.2.2. Horas-hombres al año de los trabajos de mantenimiento preventivo condición.	39
3.4.2.3. Horas-Hombre al año de los trabajos de mantenimiento preventivo por sustitución cíclica	40
3.4.3. Horas-hombre totales al año de los trabajos correctivo run to failure)	41
3.4.3.1 Mantenimiento Correctivo (Run to Failure)	41
3.5. TOTAL DE COSTOS POR AÑO POR MANTENIMIENTO (PREVENTIVO + CORRECTIVO)	43
3.5.1. Costos de mantenimiento por condición (HPC)	44
3.5.2. Costos de mantenimiento por sustición (HPS)	44
3.5.3 Costos de mantenimiento correctivo (HHC)	44
3.5.4. Total de costos por año de mantenimiento (Preventivo + Correctivo	44
3.6. TOTAL DE COSTOS POR AÑO POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO (POR CONDICIÓN + POR SUSTITUCIÓN)	45
3.6.1. Total de costos por año por mantenimiento por condición (HPC)	45
3.6.2. Total de costos por año por mantenimiento por sustición (HPS)	45
3.7. TOTAL DE COSTOS POR AÑO POR TRABAJOS CORRECTIVOS (RUN TO FAILURE)	46
3.8. PORCENTAJES DE MANTENIMIENTO	47
3.8.1. % Mantenimiento Preventivo	47
3.8.1.1. % Mantenimiento preventivo total	47
3.8.1.2. % Mantenimiento preventivo por condición	47
3.8.1.3. % Mantenimiento preventivo por sustitución	47
3.8.2. % Mantenimiento Correctivo	48
3.9. % COSTOS ASOCIADOS	48
3.9.1. % Costos Mantenimiento Preventivo	48
3.9.2. % Costos Mantenimiento Preventivo por Condición	49
3.9.3. % Costos Mantenimiento Preventivo por Sustitución	49
3.9.4. % Costos de Mantenimiento Correctivo (Run To Failure)	49
3.9.4.1. % Costos Mantenimiento Correctivo	49
3.10. TOTAL DE COSTOS POR AÑO DE LOS MODOS DE FALLAS (RIESGO ANUAL EQUIVALENTE DE LOS MODOS DE FALLAS)	50
3.10.1. Comparación Entre El Total De Costos Por Año De Mantenimiento Preventivo Y El Indicador De Costos Por Año De Los Modos De Fallas.	51
4. PROYECCIONES, RESUMENES Y CONCLUSIONES	52

4.1. PROYECCIÓN DEL AHORRO POTENCIAL POR AÑO POR LA APLICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO A PLANIFICAR - PROGRAMAR Y EJECUTAR EN UN AÑO.	53
4.2. RESUMEN RCM	54
4.2.1. Tabla Resumen	54
4.2.2 Planificación y Programación del Mantenimiento	54
4.2.3. Tabla Resumen Indicadores	55
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
4.4. ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO	57
4.4.1. Resistencia al cambio	57
4.4.2. Necesidad de capacitación técnica	57
4.4.3. Periodo de ajuste operativo	58
4.4.4. Limitaciones presupuestarias iniciales	58
4.4.5. Dependencia del software de gestión	58
4.5.CONCLUSIONES	58
REFERENCIAS	60
ANEXOS	61
ANEXO A: PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	61
ANEXO B: CHECK LIST	70
ANEXO C: HISTORIAL DE FALLAS 2022 PUENTE GRÚA KONE	73
ANEXO D: FMECA PUENTE GRÚA KONE	74
ANEXO E: TABLAS DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN NPR (SEVERIDAD, OCURRENCIA, DETECCIÓN)	75
ANEXO F: FORMATO DE ANÁLISIS SEGURO DE TRABAJO (AST) Y REGLAS DE ORO ANGLOAMERICAN	77
ANEXO G: PROCEDIMIENTO INTERVENCIÓN EN PUENTES GRUAS, MONORRIELES Y TECLES	79
ANEXO H: PROCEDIMIENTO DE TRABAJO EN ALTURA	8587

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2-1. Ejemplo diagrama flujo de decisiones	19
Diagrama 2-2. Diagrama toma de decisiones falla general	20
Diagrama 2-3. Diagrama toma de decisiones falla sistema traslación	21
Diagrama 2-4. Diagrama toma de decisiones falla sistema elevación	21
Diagrama 2-5. Diagrama de Pareto	28
Diagrama 2-6 Gráfico Jack Knife Sistema de Traslación y Elevación	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Puente Grúa	7
Figura 1-2. Puente Grúa Kone	9
Figura 1-3. Puente Grúa Kone #2	9
Figura 1-4. Ángulos colectores	10
Figura 1-5. Zapatas	10
Figura 1-6. Motor gancho principal	11
Figura 1-7. Reductor gancho principal	11
Figura 1-8. Gancho principal	12
Figura 1-9. Tambor principal de izamiento	12
Figura 1-10. Esquema general puente grúa	13
Figura 1-11. Flow sheet operacional Fundición Chagres	13
Figura 1-12. Puente grúa haciendo movimiento cambio de olla	14
Figura 1-13. Flow sheet Nave fundición	15
Figura 2-1. Matriz de Criticidad	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Perdidas debido a fallas de Fundición Chagres	4
Tabla 1-2 Datos Técnicos Puente Grúa Kone	8
Tabla 1-3. Anexo Fallas operacionales 2022	16
Tabla 2-1. Criterios para determinar la criticidad de un sistema	23
Tabla 2-2. Matriz de criticidad para componentes puente grúa Kone	25
Tabla 2-3. Distribucion de fallas por frecuencia	
¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 2-4. Distribución de fallas Sistema de Traslación	29
Tabla 2-5. Distribución de fallas Sistema de Elevación	30
Tabla 2-6. Tabla resumen Jack Knife	32
Tabla 3-1. Mantenimiento Preventivo por Condición (HPC)	35
Tabla 3-2. Mantenimiento Preventivo por Sustitución (HPS)	36
Tabla 3-3: Mantenimiento Correctivo	37
Tabla 3-4. Planificación de mantenimiento	38
Tabla 3-5. HPC/HH	40
Tabla 3-6. HPS/HH	41
Tabla 3-7. HHC/HH	42
Tabla 3-8. Costos	45
Tabla 3-9. Costos por condición	46
Tabla 3-10. Costos por sustitución	46
Tabla 3.11. Costos de mantenimiento correctivo	47
Tabla 3-12. Costos por año por mantenimiento por condición	48
Tabla 3-13. Costos por año por mantenimiento por sustitución	48
Tabla 3-14. Total, costos por año por trabajos	49
Tabla 3-15. Frecuencia de fallas, costos de mano de obra, costos totales de reparación y costos anuales totales	53
Tabla 4-1. Tabla resumen	55
Tabla 4.2. Tabla Planificación	55
Tabla 4-3. Resumen Indicadores	56
Tabla A-1. Pauta de mantención semanal Puente Grúa Kone (1)	62
Tabla A-2. Pauta de mantención semanal Puente Grúa Kone (2)	63
Tabla A-3. Pauta de mantención semanal Puente Grúa Kone (3)	64
Tabla A-4. Pauta de mantención semanal Puente Grúa Kone (4)	65
Tabla A-5. Pauta de lubricantes	66
Tabla B-1. Pauta de Check List Puente Grúa Kone (1)	70

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

HLE	: Hornos de limpieza de escoria.
CPS	: Convertidor Pierce Smith.
HR	: Hornos de refino.
Tph	: Toneladas por hora.
Ton	: Toneladas.
m	: Metros.
m/min	: Metros/minutos
Kw	: Kilo Watt.
FREQ.	: Frecuencia.
V	: Volt.
Hz	: Hertz.
CMAA F	: Asociación americana de fabricantes de grúas, Clase Fundición
ASME	: Sociedad americana de ingenieros mecánicos.
RCM	: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
ACR	: Análisis de causa raíz.
FMEA	: Análisis de modos de fallas y efectos.
FMECA	: Análisis de modos de fallas, efectos y criticidad.
TPM	: Mantenimiento productivo total.
C	: Consecuencia.
IO	: Impacto operacional.
FL	: Flexibilidad.
CO	: Costo Operacional.
SAH	: Seguridad Ambiente e higiene.
NPR	: Número de riesgo.
MTTR	: Tiempo medio de reparación.
F	: Función.
FF	: Falla funcional.
MF	: Modo de falla.
#	: Número.

INTRODUCCIÓN

En el entorno industrial, la gestión del mantenimiento de equipos críticos es fundamental para garantizar la continuidad operativa, la seguridad y la eficiencia productiva. A continuación, nos enfocaremos en la optimización del mantenimiento del puente grúa Kone de la Fundición Chagres de AngloAmerican Sur S.A., una pieza clave para el manejo de materiales líquidos en el proceso de fundición de cobre. Este equipo, cuya operación es vital para el transporte y posicionamiento de cargas pesadas, enfrenta recurrentes problemas de fallas operativas, con impactos significativos en la producción, los costos de mantenimiento y la seguridad de los trabajadores.

El análisis propuesto se basa en la aplicación de metodologías avanzadas como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el análisis de criticidad, herramientas que han demostrado ser efectivas en la mejora de la disponibilidad y la reducción de tiempos de inactividad en equipos similares. Estas estrategias permiten identificar y priorizar los modos de falla críticos, implementar actividades preventivas y correctivas adecuadas y reducir la dependencia del mantenimiento reactivo.

Lo más importante es desarrollar un plan de mantenimiento optimizado que no solo disminuya las fallas inesperadas, sino que también reduzca los costos asociados, prolongue la vida útil del equipo y mejore la seguridad operativa. Este enfoque no solo busca resolver problemas inmediatos, sino también establecer un estándar de mejora continua en la gestión de activos críticos dentro de la industria de fundición, alineándose con las mejores prácticas internacionales.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

OBJETIVO GENERAL

- Modificar el plan de mantenimiento basado en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), evidenciando su impacto en la optimización de la disponibilidad y confiabilidad del puente grúa Kone en la Fundición Chagres, mediante indicadores de desempeño que mejoren la eficiencia operativa y reduzcan el tiempo de inactividad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las fallas críticas en el sistema de elevación y traslación del puente grúa Kone, según análisis de criticidad para priorizar el mantenimiento.
- Establecer criterios de priorización según la criticidad de los subsistemas del puente grúa Kone, para tener más recursos y disponibilidad operativa.
- Implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para el puente grúa Kone, mediante la aplicación del enfoque RCM y análisis de fallas, con el fin de extender la vida útil del equipo, mejorar la seguridad operativa y aumentar los beneficios económicos y productivos.

CAPÍTULO 1:

**ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DE
PUENTE GRÚA KONE.**

1. **ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DE
PUENTE GRÚA KONE.**

1.1. **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Este estudio surge debido a las fallas recurrentes en estos equipos, las cuales generan situaciones de alta complejidad en términos de seguridad, operación y mantenimiento.

El equipo en análisis presenta averías constantes, lo que implica un uso frecuente de recursos y un elevado gasto en materiales, repuestos y mano de obra. Además, la incertidumbre ante una posible falla compromete su confiabilidad.

En la Fundición Chagres operan dos puentes grúa Kone, responsables de los movimientos dentro de la nave, especialmente del cobre en sus diferentes etapas líquidas.

La nave cuenta con un diseño lineal de 150 metros de longitud, donde el puente grúa #1 cubre aproximadamente el 70% del tramo operativo de sur a norte, mientras que el puente grúa #2 abarca el 70% total de la nave en dirección norte-sur.

Si alguno de estos puentes grúa presenta una falla que lo deje fuera de operación, la producción se verá directamente afectada, reduciendo la tasa de producción y ocasionando pérdidas económicas.

Además, los puentes grúa Kone son fundamentales para realizar el mantenimiento preventivo de los hornos de limpieza de escoria (HLE), los convertidores Pierce Smith (CPS) y los hornos de refino (HR).

Estos equipos requieren un mantenimiento correctivo costoso y, en general, representan un alto costo en términos de mantenimiento global.

	2018	2017
Producción esperada [Ton]	135789	115652
Producción real [Ton]	129829	109100
% perdida produccion real debido a fallas	6,2	7,6
[US\$] Perdidas	69151	88665

Fuente: Elaboración propia, basado en datos reporte anual Fundición Chagres

Tabla 1-1. Perdidas debido a fallas de Fundición Chagres

1.2. **FUNDICIÓN CHAGRES**

La Fundición de Chagres inicia sus operaciones en el año 1917, tomándose un receso a partir de la década de los 40' debido a la depresión de la II guerra mundial, posterior a esto en el año 1960 reinicia sus operaciones en una nueva locación, la cual mantiene hasta el día de hoy.

La Fundición de Chagres cuenta en la actualidad con un horno de tipo Flash con una capacidad de procesamiento de 80 toneladas por hora, con una caldera recuperadora de calor marca Mitsubishi que trabaja con una presión de 60 Bar con dos plantas de ácido sulfúrico, la primera de doble absorción y la segunda para el ácido débil inaugurada el año 2014, con 2 plantas de oxígeno con una capacidad de producción: criogénica 320 Ton/día y Linde de 180 Ton /día.

Además, cuenta con 2 hornos de tipo basculante para la limpieza de las escorias (HLE), en operación, 4 convertidores Pierce Smith (CPS), en donde dos están en operación, uno en calentamiento y uno en mantención, 2 hornos basculantes de refino, operativos, una rueda de Moldeo marca Outokumpu de 16 moldes, 2 camiones de transporte de escoria, más una serie de equipos para realizar el proceso de fusión de concentrados.

Chagres diariamente procesa 450 Ton de Cobre Anódico y 1500 Ton de Ácido sulfúrico.

La fusión se logra con la unión de concentrado de cobre (con un 0,02% de humedad) más oxígeno gaseoso, con esto la reacción del azufre contenido en el concentrado junto con el oxígeno generan una temperatura de 1350 °C logrando separar el eje de la escoria en el interior del Horno flash, posterior a esto el Eje (materia prima para la obtención de cobre) es extraído por medio de canales denominadas sangrías que alimentan una olla de 4 mt^3 y estas son trasladadas por medio del puente grúa Kone hasta los hornos convertidores Pierce Smith en donde se da inicio al proceso de soplado, por medio de la agitación con aire enriquecido con oxígeno donde se logra separar las impurezas obteniendo cobre de tipo Blíster con un 99,3% de pureza.

Posterior a este proceso se traslada este cobre por medio de puente grúa Kone a los hornos basculantes de refino, donde se inyecta nuevamente aire por medio de 2 toberas, logrando retirar el exceso de azufre, pero por este proceso se sobre oxigena el cobre, para solucionar esto se inyecta un hidrocarburo con el fin de transformar este oxígeno en vapor de agua. Este proceso logra un cobre de calidad anódica de un 99,7% de pureza, posterior a esto por medio de canales el cobre anódico pasa a la rueda de moldeo, donde se moldera

con un determinado diseño de pendiente del cliente que se abastezca, actualmente se trabaja para 5 clientes.

Por otra parte, la escoria que se obtiene en el horno flash contiene alrededor de 1.5% a 2% de cobre, esta se carga en los hornos de limpieza de escoria, donde se somete a un soplado de aire y petróleo, con este proceso el cobre decanta en el horno y la escoria que queda flotando es llevada en ollas mediante el camión de transporte de escoria a botadero.

Debido a que este proceso es causante de emisión de gases, estos son aspirados hacia la planta de ácido, para que a través de un proceso químico se logre obtener ácido sulfúrico de grado A (químico Papelero) y ácido grado C (para efluente).

1.3. DESCRIPCIÓN PUENTE GRÚA

En la Fundición Chagres, los puentes grúa juegan un papel esencial en el manejo de materiales, especialmente en el traslado del cobre en sus diferentes fases líquidas. Estos equipos están diseñados para operar en un ambiente industrial exigente, garantizando la continuidad de los procesos metalúrgicos mediante la elevación, desplazamiento y distribución de cargas pesadas.

Los puentes grúa utilizados en la fundición son de la marca Kone, conformados por una o más vigas estructurales, un carro de traslación y mecanismos de manejo que permiten su movilidad. Se instalan sobre rieles elevados, dejando libre la superficie de trabajo a nivel del suelo y optimizando el espacio dentro de la nave industrial.

Según la norma ASM21E B30.2, un puente grúa es una máquina diseñada para elevar y mover cargas suspendidas de forma horizontal, integrando su mecanismo de elevación dentro de su estructura. Asimismo, la NTP 736 lo describe como un sistema compuesto por una o dos vigas móviles, sobre las cuales se desplaza un carro con los mecanismos elevadores.

En la nave de la Fundición Chagres, la configuración de los puentes grúa permite abarcar gran parte del área de producción:

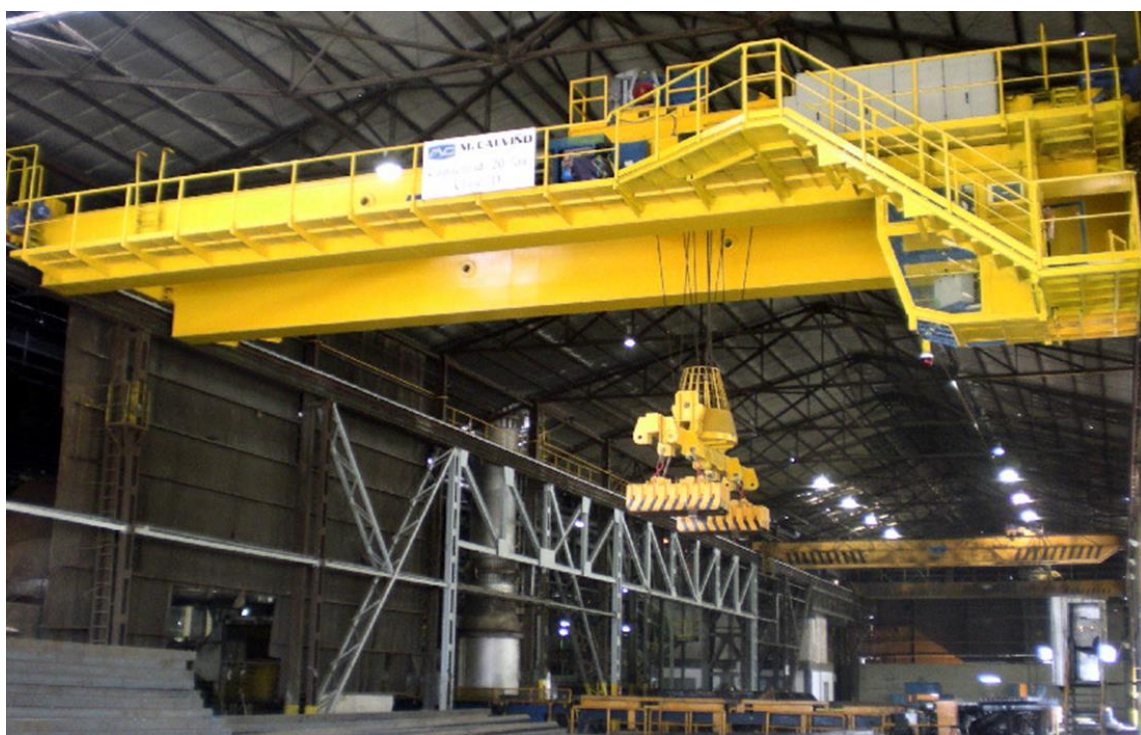
El puente grúa #1 cubre aproximadamente el 70% de la nave, operando en dirección sur a norte.

El puente grúa #2 cubre el 70% del total de la instalación, moviéndose en sentido norte a sur.

Esta distribución garantiza un amplio campo de trabajo, cuya superficie de acción idealmente coincide con la planta del galpón industrial. Además, los puentes grúa son

fundamentales para la ejecución del mantenimiento preventivo de equipos clave en la fundición, como los hornos de limpieza de escoria (HLE), convertidores Pierce Smith (CPS) y hornos de refino (HR).

Dado el ambiente de alta temperatura y la exigencia operativa dentro de la fundición, estos equipos requieren un mantenimiento constante para evitar fallas que puedan afectar la producción. Su correcto funcionamiento es clave para garantizar la eficiencia del proceso y minimizar interrupciones que podrían generar pérdidas económicas significativas.



Fuente: KoneCranes

Figura 1-1. Puente Grúa

1.3.1. Puente Grúa Kone

El Puente Grúa Kone es un equipo fundamental en el proceso de fundición dentro de la Fundición Chagres, desempeñando un papel clave en la manipulación de materiales en condiciones extremas.

Sus ganchos y cables están fabricados con materiales refractarios, lo que les permite operar de manera eficiente en entornos de alta temperatura y alta concentración de polvo, cumpliendo con los exigentes requerimientos del proceso de fundición.

La operación del puente grúa se realiza de manera directa desde la cabina de control, la cual está estratégicamente ubicada debajo de la viga principal y cuenta con un

panel aislante para proteger al operador de las condiciones extremas del ambiente. Tanto la cabina como la estructura de la máquina cumplen con altos estándares de seguridad industrial, garantizando un funcionamiento fiable dentro de la fundición.

Entre sus principales características destacan:

Ganchos giratorios, que permiten mayor flexibilidad en la manipulación de carga. Ajuste de la distancia del gancho, para adaptarse a distintos tamaños y pesos de los materiales transportados.

Sistema de monitoreo de carga, que proporciona información en tiempo real sobre el peso y las condiciones operativas, mejorando la seguridad y eficiencia del equipo. A continuación, se muestran los técnicos en la tabla 1-2.

PUENTE GRÚA KONE 45/15/15 DATOS TÉCNICOS	
Carga	40 T
Lapso	20 M
Altura de elevación	17 M
Velocidad de elevación	9 M/MIN FREQ.
Velocidad de desplazamiento	40 M/MIN FREQ.
Velocidad de viaje	100 M/MIN FREQ.
Motor de elevación	90 Kw, 60% ED
Motor de desplazamiento	2x9 Kw, 60% ED
Motor de viaje	4X22 Kw, 60% ED
Peso del carro	28 t
Peso del puente	47t
Fuente de alimentación	3 - 380 V, 50 Hz
Longitud de la pista	140 M

GRUPO DE GRÚAS	
Estructura de acero	CMAAA F
Maquinaria de elevación	CMAAA F + MOLTEN
Maquinaria de desplazamiento	CMAA F
Maquinaria de viaje	CMAA F

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1-2 Datos Técnicos Puente Grúa Kone

En las siguientes imágenes se puede apreciar el Puente Grúa Kone #2 en la nave de la fundición.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-2. Puente Grúa Kone



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-3. Puente Grúa Kone #2

1.3.2. Descripción Funcional

El puente grúa de Fundición Chagres permite levantar cargas y desplazarlas en dos ejes dentro del plano horizontal. Está compuesto por cuatro sistemas principales: alimentación eléctrica, mecánico, traslación y elevación.

Como elementos estructurales destacan las vigas maestras y el carro; los hombros, por su parte, actúan como soportes empotrados. El carro integra el mecanismo encargado del movimiento vertical de la carga.

1.3.2.1. Sistema de Alimentación

Los dos puentes grúa de Fundición Chagres reciben energía eléctrica a través de tres ángulos colectores de 460 V instalados a lo largo de la nave. Cada grúa cuenta con zapatas deslizantes que permanecen en contacto continuo con dichos ángulos, asegurando el suministro eléctrico durante todo su recorrido.



Fuente: Archivo Fundición Ilo

Figura 1-4. Ángulos colectores



Fuente: Archivo Fundición Ilo

Figura 1-5. Zapatas

1.3.2.2 Sistema de traslación

En Fundición Chagres, el puente grúa dispone de un sistema motriz instalado en el carro que le permite desplazarse a lo largo de las vigas maestras. Estas vigas, a su vez, incorporan motores que facilitan el movimiento longitudinal de toda la grúa sobre los hombros. El conjunto de traslación está impulsado por un motor de 100 HP que opera a 600 RPM.



Fuente: Archivo Fundición Ilo
Figura 1-6. Motor gancho principal



Fuente: Archivo Fundición Ilo
Figura 1-7. Reductor gancho principal

1.3.2.3. Sistema de elevación

El carro dispone de dos sistemas de elevación independientes, instalados respectivamente en los polipastos principal y auxiliar. El puente grúa modelo Kone 45/15/15 recibe su denominación de su capacidad total de carga —45 toneladas— y de sus dos ganchos (principal y auxiliar), cada uno con una capacidad de elevación de 15 toneladas.

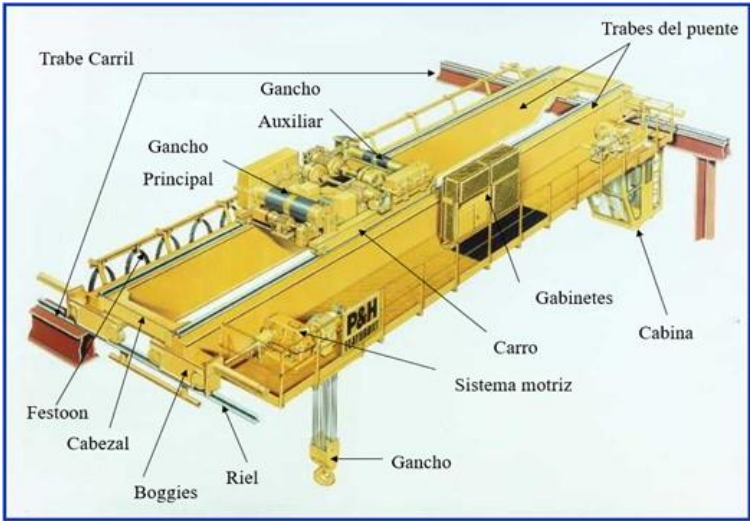


Fuente: Archivo Fundición Ilo
Figura 1-8. Gancho principal



Fuente: Archivo Fundición Ilo
Figura 1-9. Tambor principal de izamiento

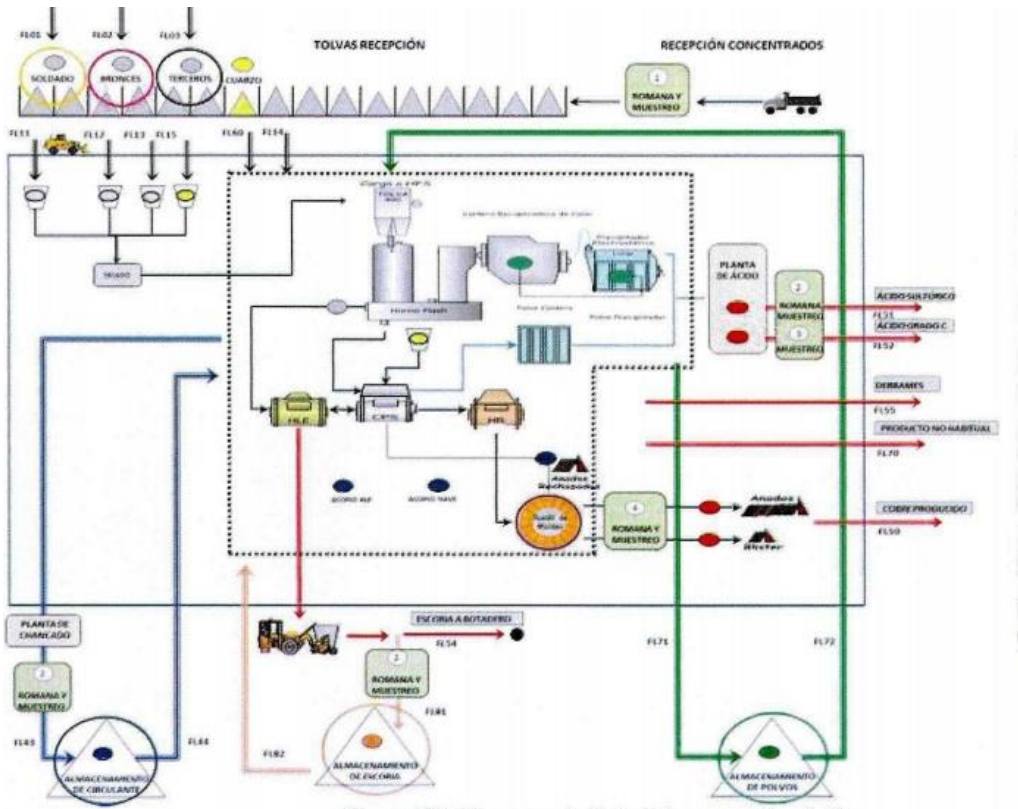
Cada uno de los sistemas de elevación independientes que posee la grúa consiste en un par de tambores que son maniobrados por un motor eléctrico a través de una reducción. Los cables pasan por sistemas de poleas a la salida de los rodillos, del mismo modo al llegar al sistema de gancho se dispone de un juego de poleas. El empleo de poleas permite la distribución de la carga en varias líneas.



Fuente: AirCranes.

Figura 1-10. Esquema general puente grúa

1.4. FLOW SHEET



Fuente: Revista Informe Anual AngloAmerican

Figura 1-11. Flow sheet operacional Fundición Chagres

1.4.1. Fundición Chagres

Fundición Chagres recibe concentrados transportados en camiones desde las minas Los Bronces y Las Tórtolas —ambas partes del grupo Anglo American—. A su llegada, se analizan principalmente sus contenidos de cobre, arsénico y magnetita para efectuar los balances metalúrgicos que optimizan la recuperación de cobre.

Una vez preparada la mezcla, ésta se alimenta al horno flash, cuya tecnología transforma instantáneamente el concentrado de polvo sólido a líquido. El líquido resultante —conocido como eje— se traslada mediante puentes grúa a dos hornos de limpieza de escoria (HLE) que operan de forma continua. Allí, mediante sedimentación y soplado de aire u oxígeno (con adición de sílice), se separa el eje o plateado (ley aproximada 56 % Cu) de la escoria (ley < 1 %). La escoria se descarga en una olla sobre un camión Kress para su envío a botadero, mientras que los gases capturados se dirigen a la planta de ácido, donde se tratan y comercializan como ácido sulfúrico grado A y C.

El plateado obtenido se vierte en una olla que la grúa Kone traslada a uno de los cuatro convertidores Pierce-Smith (CPS) —dos en operación, uno en calentamiento y otro en mantención—. Tras el proceso de conversión se obtiene cobre blíster con una ley cercana al 70 % Cu, que se descarga en otra olla y se lleva a los hornos de refinado. En estos hornos, el blíster atraviesa una etapa de sulfuración seguida de oxigenación; en aproximadamente 90 minutos se produce cobre anódico de 99,6 % Cu. Finalmente, el cobre anódico se moldea según las especificaciones del cliente, pasa por control de calidad y se apila mediante grúas horquilla para su despacho.

Los puentes grúa Kone son esenciales en cada fase del proceso productivo; cualquier interrupción en su disponibilidad impacta directamente la continuidad y eficiencia de la producción.



Fuente: Archivo Fundición Ilo

Figura 1-12. Puente grúa haciendo movimiento cambio de tapa

El puente grúa tiene un funcionamiento continuo durante todo el año realizando labores complejas.

1.4.2. Nave Fundición



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-13. Flow sheet Nave fundición

La imagen ilustra la disposición longitudinal de la nave de Fundición Chagres y la cobertura operativa de sus dos puentes grúa Kone. En el extremo norte (izquierda) se ubican los hornos de escoria #1 y #2; hacia el centro aparecen los cuatro convertidores; y en el extremo sur (derecha) se encuentran los hornos de refinación #1 y #2.

El puente grúa #02 se extiende desde el extremo norte hasta cubrir aproximadamente el 70 % de la longitud total de la nave (150 m), desplazándose de norte a sur. El puente grúa #01, en cambio, cubre el 70 % restante de la longitud operativa, desplazándose de sur a norte.

Dado que ambos equipos intervienen directamente en el traslado continuo de material entre cada etapa del proceso metalúrgico, la indisponibilidad de cualquiera de los dos puentes grúa interrumpe el flujo productivo, reduce la tasa de producción y ocasiona pérdidas económicas inmediatas.

1.5. FALLAS OPERACIONALES 2022

A continuación, se muestra el anexo de fallas de los puentes grúa Kone correspondientes al año 2022.

ANEXO FALLAS (2022)		
SISTEMA	FALLA	N° FALLAS
Elevación	Rotura de gancho	1
	Deformacion del gancho	2
	Desgaste cable	14
	Juego en poleas	11
	(G) Motor	5
	(G) Desgaste engranajes	12
Alimentación	(G) Desgaste cable reels	2
	(G) Desgaste botonera	3
	(C) Fallo parada de emergencia	2
	(C) Baliza traslación	8
	(C) Sirena traslación	3
	(C) Sirena y y baliza de izaje	4
	(C) Corte en límite de izaje de contrapeso	3
	(C) Corte en límite de izaje superior	2
	(C) Corte en límite de izaje inferior	2
	(C) Corte en límite de carrera de puente	3
	(C) Corte en límite de carrera de carro	5
	(C) Corte en límite de sobrecarga (celda)	3
Mecánico	Desgaste columnas soportes vigas carri	1
	(C) Desgaste finales de carrera	2
	(G) Desgaste finales de carrera	3
	Corte en límite de izaje	4
Traslación	Freno de carga	7
	(C) Motor	1
	(C) Desgastes engranajes	12
	Rueda trabada	7
	Caja reductorta elevador ppal	5
	Guías de tambor	3
	Tambor del elevador	7
	Caja reductorta desplazamiento carro	3
	TOTAL	140

Fuente: Elaboración propia, en base a datos sistema Ellipse Minns

Tabla 1-3. Anexo Fallas operacionales 2022

CAPÍTULO 2: JUSTIFICACION DE SISTEMAS/ELEMENTOS CRÍTICOS
DE PUENTE GRÚA KONE

2. RECOPILACIÓN DE DATOS Y JUSTIFICACIÓN DE SISTEMA/ELEMENTOS CRÍTICOS DEL EQUIPO

2.1. MANTENIMIENTO DE PUENTE GRUA KONE

Actualmente, el mantenimiento de la maquinaria móvil es responsabilidad del taller central de la Fundición Chagres, donde personal propio y capacitado ejecuta las labores asignadas. La finalidad principal de este trabajo es asegurar la mayor disponibilidad y confiabilidad de los equipos, lo que permite mantener la operación de forma continua y alcanzar los objetivos establecidos en Seguridad, Medio Ambiente, Producción y Costos.

En la División Chagres de AngloAmerican, se utiliza el sistema Ellipse Minns como herramienta de gestión para asegurar que tanto los equipos como las instalaciones se mantengan según los estándares técnicos definidos por el fabricante, aplicándose durante toda la vida útil operacional de los equipos.

Para elaborar la propuesta de modificar el plan de mantenimiento, será necesario revisar los tipos de mantenimiento que se están implementando actualmente, identificar los componentes críticos de cada equipo y evaluar la alternativa más adecuada.

2.2. CRITICIDAD EN EL MANTENIMIENTO

Definimos como criticidad al nivel de impacto y la importancia que tiene un equipo dentro de los procesos productivos.

Es importante determinar el grado de prioridad, el que será el encargado de determinar la intensidad y frecuencia con la cual deberíamos prestar mantenimiento al equipo o elemento.

El objetivo de conocer la criticidad en mantenimiento es poder planificar un plan de mantenimiento acorde con las necesidades de la empresa.

De esta manera se buscará enfocar el esfuerzo del equipo para alargar la vida útil de los activos maximizando la rentabilidad.

Se clasifica en tres zonas:

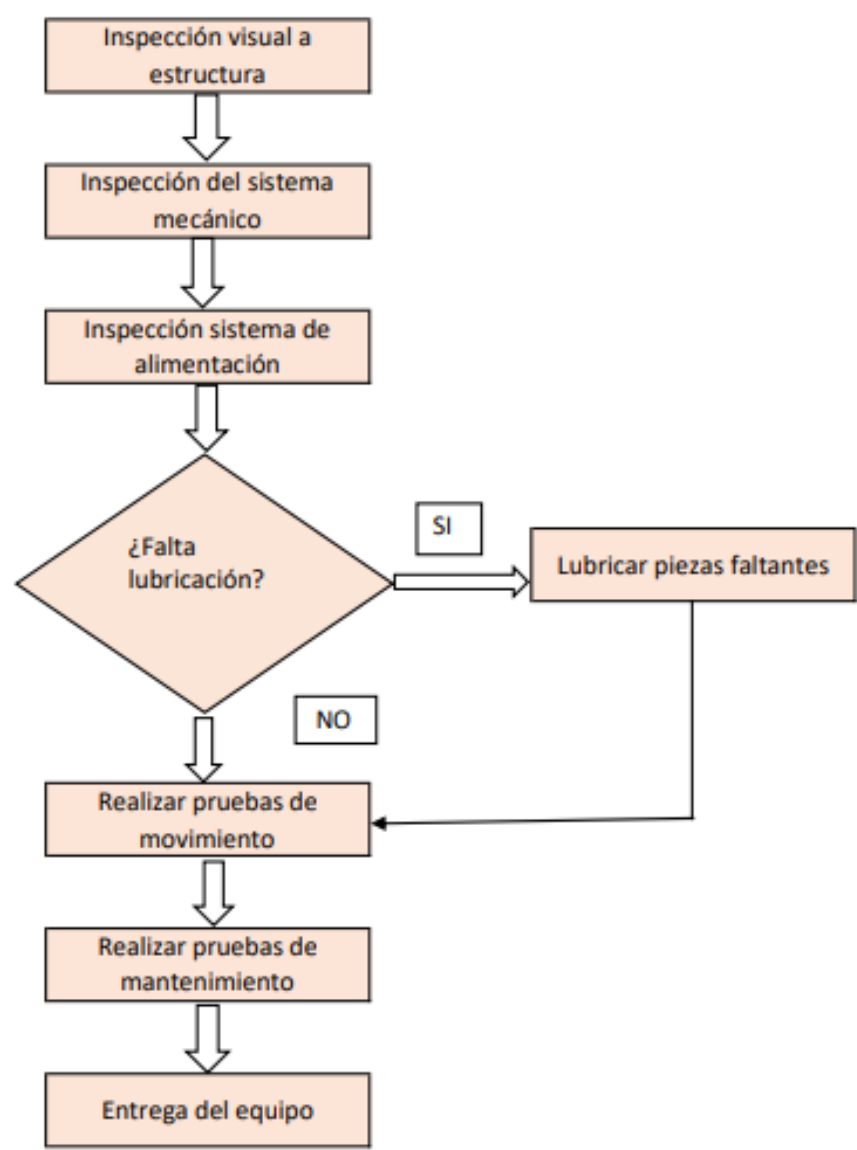
Alta criticidad

Mediana criticidad

Baja criticidad

En el diagrama anterior se refleja que, si un elemento obtiene una alta criticidad en el criterio 1 (seguridad) o 2 (calidad del producto), se ubica inmediatamente en el grupo A, mientras que, en caso de clasificarse en los rangos B o C, se continúa con el proceso.

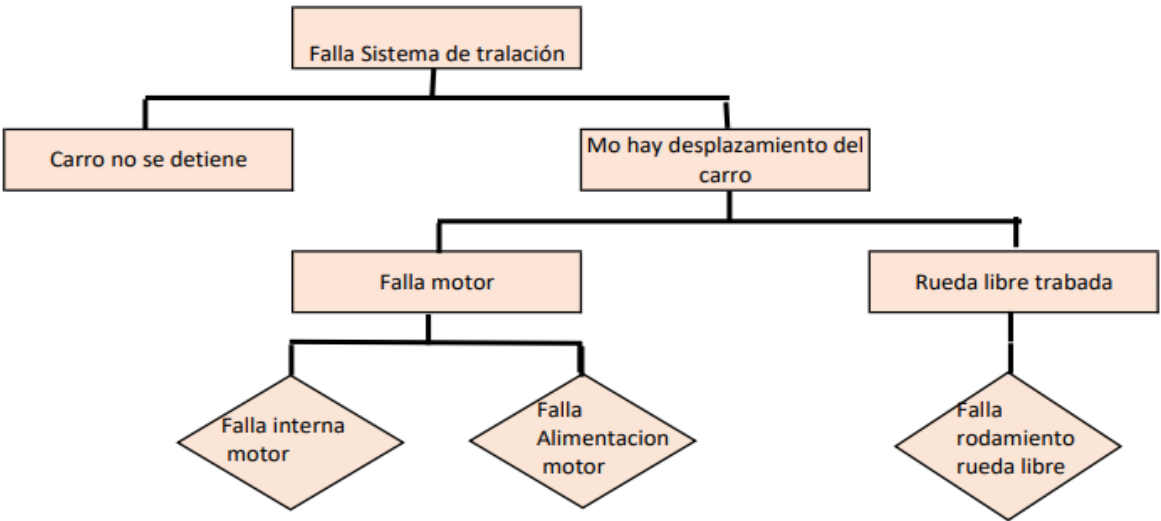
A continuación, se muestra el diagrama de flujo de decisiones para puente grúa Kone, ante la presencia de una falla desconocida.



Fuente: Elaboración propia

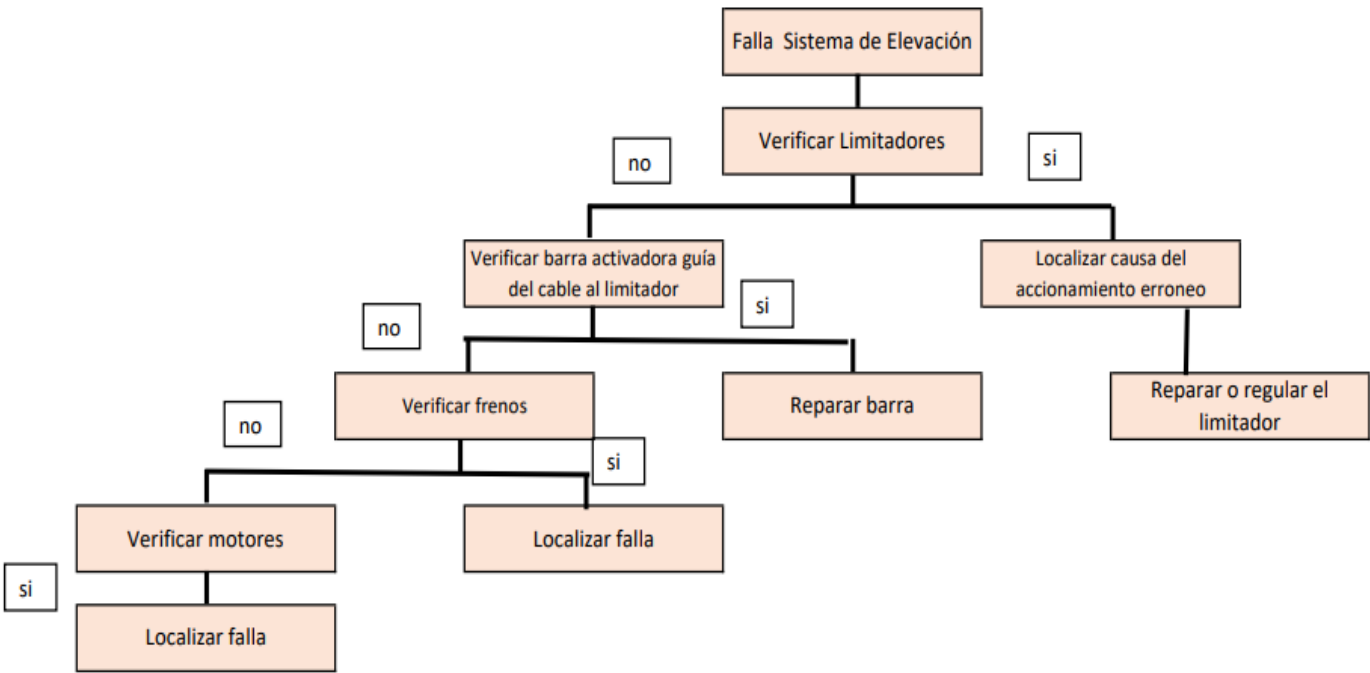
Diagrama 2-2. Diagrama toma de decisiones falla general

Luego de poder visualizar el modo de acción frente una presunta falla en el Puente Grúa Kone, se procede a realizar el mismo método de diagrama de flujo de decisiones, para el sistema de elevación y de traslación, aquellos que son la columna vertebral de este equipo.



Fuente: Elaboración propia

Diagrama 2-3. Diagrama toma de decisiones falla sistema traslación



Fuente: Elaboración propia

Diagrama 2-4. Diagrama toma de decisiones falla sistema elevación

Lo que este diagrama explica es que si falla el sistema de elevación se procede a verificar los limitadores, si estos son la falla se localizara la causa del accionamiento

erróneo y se reparara o regulara el limitador. Si por el contrario la falla no procede de los limitadores se verificará la barra activadora guía del cable limitador si es la causante del problema se reparará la barra, si no se verificaran los frenos si son el problema se localizará la falla y se repararan, si no se verificara finalmente el motor.

2.3. TEORIA DEL RIESGO

Esta metodología surge de la combinación de distintas variables que permiten determinar la relevancia de un equipo o sus subsistemas dentro de un análisis RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).

Las variables utilizadas para esta clasificación son las siguientes:

Frecuencia (F): Representa el promedio de tiempo entre fallas o el número de fallas registradas en un año.

Consecuencia (C): Evalúa el nivel de impacto que podría generar una posible falla.

Impacto Operacional (IO): Se refiere a la calificación asignada según el efecto que provoca la detención de ese equipo o sistema en el proceso productivo.

Flexibilidad (FL): Indica la facilidad con la que se puede reparar y volver a poner en funcionamiento el equipo tras la ocurrencia de una falla.

Costo Operacional (CO): Permite estimar económicamente las pérdidas que genera la falla, considerando tanto los costos directos como indirectos.

Seguridad, Medio Ambiente e Higiene (SAH): Mide el efecto que la falla podría tener en la seguridad industrial, el medio ambiente y la higiene dentro del proceso productivo.

Para determinar el valor del número de riesgo (R), se debe multiplicar la frecuencia de falla (F) por la consecuencia (C), la cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = \{(IO * FL) + CO + SAH\}$$
$$R = F * C$$

Luego de determinar el nivel de riesgo asociado a cada componente dentro del proceso productivo en caso de una falla funcional, se procede a clasificar cada uno de acuerdo con el resultado obtenido en esta evaluación.

Los valores obtenidos deben ser analizados en base a los criterios establecidos en la tabla 2-1, la cual define los niveles de criticidad de los sistemas.

A través de este análisis de fallas es posible calcular tanto la probabilidad de que ocurran como el nivel de impacto que podrían generar. Con esta información se pueden tomar acciones preventivas para evitar su ocurrencia.

2.3.1 Medición de criticidad en el mantenimiento

La criticidad en términos matemáticos se determina multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de esta, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

FRECUENCIA DE FALLAS (F)	
0 vez al año	1
2 - 1 veces o más al año	2
4 -3 veces al año	3
6 - 5 veces al año	4
7 o más veces al año	5

IMPACTO EN SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE (SHA)	
Ecosistema se ve afectado en su totalidad (muerte y/o alto	5
Flora y fauna se ven afectados	4
Daños estructurales de gran relevancia	3
Impactos generan incidentes y accidentes	2
No se generan daños	1

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO)	
Eventos sin stock de repuestos en el país	5
Eventos sin stock de repuestos	4
Eventos con stock de repuestos en tránsito	3
Repuesto compartido	2
Repuesto disponible	1

COSTO DE MANTENIMIENTO (CM)	
Mayor a USD 10.000	5
Costos entre USD 7.000 a 10.000	4
Costos entre USD 4.000 a 6.999	3
Costos entre USD 1.000 a 3.999	2
Menor a USD 1.000	1

IMPACTO OPERACIONAL (IO)	
Detención total división	5
Detención de operaciones	4
Detención de equipo y sectores asociados	3
Detención provisoria de equipos	2
No hay detención	1

Fuente: Mantenimiento Centrado en confiabilidad John Moubray
Tabla 2-1. Criterios para determinar la criticidad de un sistema

Al aplicar la teoría del riesgo a nuestro anexo de fallas año 2022 para puente grúa Kone, se pueden apreciar las fallas que presentan mayor índice de criticidad.

Una vez cuantificada la consecuencia y la frecuencia se usa una matriz de criticidad como la que se muestra a continuación, para definir el nivel de criticidad de cada sistema.

Matriz de Criticidad					
Frecuencia					
5	M	A	MA	MA	MA
4	M	M	A	A	MA
3	M	M	M	A	MA
2	B	B	B	M	A
1	B	B	B	M	A
	1	2	3	4	5
	Consecuencias				
Legenda					
MA: Muy Alta Criticidad					
A: Alta Criticidad					
M: Media Criticidad					
B: Baja Criticidad					

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-1. Matriz de criticidad.

2.4. ANALISIS DEL SISTEMA DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad realizado para los diferentes sistemas del puente grúa de la Fundición Chagres permite identificar el sistema de elevación como el más crítico. A continuación, se presentan los principales factores que justifican esta selección:

2.4.1. Matriz de Criticidad

Teniendo en consideración el anexo de fallas del presente equipo perteneciente al año 2022, la matriz de criticidad muestra diferentes subsistemas del puente grúa, evaluados en términos de frecuencia de fallas, severidad, detectabilidad, y consecuencias. Los subsistemas dentro del sistema de elevación presentan las siguientes características críticas

Sistema	Subsistema	FRECUENCIA FALLAS	F	PO	SRA	IO	CH	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
Elevación	Rotura de gancho	1	2	5	3	5	5	5	5	Alta Criticidad
	Deformación del gancho	2	2	2	2	4	3	4	8	Media Criticidad
	Desgaste cable	5	5	1	1	2	2	5	25	Muy Alta Criticidad
	Juego en poleas	5	4	1	1	1	1	4	20	Muy Alta Criticidad
	(G) Motor	5	4	3	2	2	4	4	20	Muy Alta Criticidad
	(G) Desgaste engranajes	4	4	1	1	1	1	4	16	Alta Criticidad
Alimentación	(G) Desgaste cable reels	2	2	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
	(G) Desgaste botonera	3	3	2	1	2	1	3	9	Media Criticidad
	(C) Fallo parada de emergencia	2	2	2	3	2	1	3	6	Baja Criticidad
	(C) Baliza traslación	4	5	2	1	1	1	5	20	Muy Alta Criticidad
	(C) Sirena traslación	3	3	2	1	1	1	3	9	Media Criticidad
	(C) Sirena y y baliza de izaje	4	3	2	1	1	1	3	12	Alta Criticidad
	(C) Corte en límite de izaje de contrapeso	3	3	1	2	2	2	3	9	Media Criticidad
	(C) Corte en límite de izaje superior	2	2	1	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
	(C) Corte en límite de izaje inferior	2	2	1	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
	(C) Corte en límite de carrera de puente	3	3	1	2	2	2	3	9	Media Criticidad
	(C) Corte en límite de carrera de carro	5	4	1	2	2	2	4	20	Muy Alta Criticidad
	(C) Corte en límite de sobrecarga (celda)	3	3	1	2	2	3	3	9	Media Criticidad
Mecánico	Desgaste columnas soportes vigas carriles	1	2	5	3	5	5	5	5	Alta Criticidad
	(C) Desgaste finales de carrera	2	2	2	2	2	2	2	4	Baja Criticidad
	(G) Desgaste finales de carrera	3	3	2	2	2	2	3	9	Media Criticidad
	Corte en límite de izaje	4	3	1	2	2	2	3	12	Alta Criticidad
Traslación	Freno de carga	3	3	1	3	2	2	3	9	Media Criticidad
	(C) Motor	1	2	1	2	3	4	4	4	Media Criticidad
	(C) Desgastes engranajes	3	3	1	2	2	2	3	9	Media Criticidad
	Rueda trabada	4	3	1	2	1	2	3	12	Alta Criticidad
	Caja reductora elevador ppal	5	4	2	2	2	2	4	20	Muy Alta Criticidad
	Guías de tambor	3	3	2	2	2	2	3	9	Media Criticidad
	Tambor del elevador	4	3	2	2	2	1	3	12	Alta Criticidad
	Caja reductora desplazamiento carro	3	3	1	2	2	2	3	9	Media Criticidad

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-2. Matriz de criticidad para componentes puente grúa Kone

2.5. PROCESO DE RCM PARA EL SISTEMA DE ELEVACIÓN

De acuerdo con la Matriz de Criticidad presentada en el documento, el sistema crítico seleccionado es el Sistema de Elevación.

2.5.1. Identificación de Funciones del Sistema:

- Elevación de cargas.
- Seguridad en la operación.

2.5.2. Identificación de Fallos Funcionales:

- Incapacidad de elevar cargas.
- Fallos
- Fallos de seguridad (e.g. rotura de gancho, desgaste de cable).

2.5.3. Identificación de Modos de Falla:

- Rotura de gancho.
- Deformación del gancho.
- Desgaste de cable.
- Juego en poleas.

Fallos en el motor.

Desgaste de engranajes.

2.5.4. Efectos de las Fallas:

Pérdida de capacidad de elevación.

Peligro para los operarios.

Interrupciones en la operación.

2.5.5. Prioridad de los Modos de Falla:

Determinada por la frecuencia y criticidad.

2.5.6. Tareas de Mantenimiento Preventivo:

Inspecciones regulares.

Sustituciones periódicas.

Mantenimiento correctivo basado en condiciones.

2.6. **DIAGRAMA DE PARETO**

El diagrama de Pareto es una herramienta visual muy útil que permite distinguir de manera clara cuáles son los elementos más críticos y separarlos de aquellos de menor relevancia. Su representación en barras verticales facilita la identificación y priorización de los problemas más significativos.

Este diagrama se basa en el principio de Pareto, el cual establece que el 80% de los efectos son generados por el 20% de las causas.

Incorporar esta herramienta en el análisis de fallas resulta de gran ayuda, ya que al clasificar cada uno de los eventos ocurridos, es posible enfocar los esfuerzos en aquellos puntos clave que causan el mayor impacto. Además, su diseño visual sencillo permite una interpretación rápida y efectiva.

2.7. DIAGRAMA DE JACK KNIFE

El diagrama de Pareto descrito anteriormente refleja el tiempo total de detenciones, pero no entrega detalles sobre la cantidad de veces que estas ocurren.

Por ejemplo, es posible que un equipo haya sufrido una única falla que generó un extenso tiempo de reparación, mientras que otro equipo pudo haber presentado varias detenciones, pero con tiempos de reparación muy cortos en cada una. Ambos equipos podrían registrar un tiempo total de detención similar, aunque las situaciones sean completamente distintas.

Es en este punto donde el diagrama Jack Knife cobra relevancia, ya que permite distinguir entre estos dos escenarios.

En este gráfico, el eje vertical representa el MTTR (Tiempo Medio de Reparación) y el eje horizontal indica la cantidad de fallas. La gráfica se divide en cuatro cuadrantes:

Cuadrante Crónico-Agudo: Reúne a los equipos con alta frecuencia de fallas y un MTTR elevado. Esto refleja baja confiabilidad y dificultad para su reparación.

Cuadrante Crónico: Agrupa a los equipos que presentan muchas fallas, pero con tiempos de reparación bajos. Se asocia a baja confiabilidad.

Cuadrante Agudo: Contiene a los equipos con pocas fallas, pero con tiempos de reparación prolongados. Indica baja mantenibilidad.

Cuadrante Leve: Incluye a los equipos que presentan pocas fallas y requieren poco tiempo de reparación.

Este diagrama se elabora utilizando una escala logarítmica para facilitar la interpretación de los resultados. Además, se incorporan curvas de iso-no disponibilidad, las cuales muestran el tiempo (en minutos) que el equipo permanece fuera de servicio debido a una falla.

2.8. SISTEMAS PUENTE GRÚA KONE

En cuanto al funcionamiento particular del carro, la división en sistemas de traslación y elevación es adecuada.

El sistema de traslación tiene dos ruedas motrices, para accionar cada una se emplea un motor con una reducción. Además, se cuenta con tres pares de ruedas libres. La detención del carro se logra con un freno de disco.

El sistema de elevación primario (el secundario es análogo) incluye el motor elevador, freno de motor, una caja reductora, el tambor, las guías del cable, las poleas de polipasto, el cable. Se incluyen interruptores para detención ante límites de recorrido, accionados mecánicamente por las guías de cable. El gancho se sostiene con líneas de cable que pasan por el sistema de poleas del gancho.

En la tabla 1-3 se muestra la distribución de fallas.

2.7. **FUNDAMENTO DE SELECCIÓN DEL SISTEMA CRITICO**

Los datos recogidos del anexo de fallas del programa Ellipse Minns nos muestran en el diagrama 1-1 Diagrama de Pareto que los sistemas críticos corresponden al sistema de elevación y al sistema de traslación.



Fuente: Elaboración propia

Diagrama 2-5. Diagrama de Pareto

SISTEMA	FRECUENCIA	%	ACUMULADO	%	GRAFICACIÓN ABC	
					A	B
TRASLACION	45	32,4%	45	32,4%	80%	95%
ELEVACIÓN	44	31,7%	89	64,0%	80%	95%
ALIMENTACIÓN	40	28,8%	129	92,8%	80%	95%
MECANICO	10	7,2%	139	100,0%	80%	95%
TOTAL	139	100,0%				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-3. Distribución de fallas por frecuencia

A partir de este de este diagrama se puede identificar el 20% de elementos que pueden generar el 80% de las fallas más recurrentes, el cual es el sistema de elevación y el sistema de traslación. En el cual se encuentran los elementos que generan cantidades elevadas de fallas, lo cual puede generar problema en detención de equipos, parada de producción y tiempo muerto.

En vista de que en el diagrama de Pareto solo se pueden apreciar los tiempos totales de detenciones, y no entrega otro tipo de información necesaria como la frecuencia y los tiempos en los que ocurre la falla, y para poder priorizar los componentes que han influenciado en hacer del sistema de traslación y de elevación categorizándolos en los sistemas más críticos dentro del funcionamiento de Puente Grúa Kone y por consecuente los con mayores en costos de ineficiencia, se utilizará el diagrama Jack Knife, el cual ilustra gráficamente el evento (tipo de falla de un componente del equipo/sistema) que representa de forma más eficiente una oportunidad de mejora al ser eliminada la falla.

Antes de poder ilustrar gráficamente los eventos ocurridos en el lapso estudiado (1 año), es necesario construir la tabla en donde se agrupen todos los datos, la tabla 2-5, tiene la función de mostrar los datos necesarios para la construcción del diagrama Jack Knife.

N° de falla	Tipo de falla	Frecuencia de fallas	MTTR	TIEMPO TOTAL	ISO- INDISPONIBILIDAD			
					DT700	DT250	DT100	DT50
1	Caja reductora elevador ppal	4	6	24	700	250	100	50
2	Freno de carga	5	6	30	350	125	50	25
3	Guias de Tambor	2	12	24	233,33333	83,3333333	33,3333333	16,6666667
4	Tambor del elevador	6	12	72	175	62,5	25	12,5
5	Motor (c)	2	18	36	140	50	20	10
6	Caja reductora desplazamiento carro	3	12	36	116,666667	41,6666667	16,6666667	8,3333333
7	Desgaste engranajes (c)	5	6	30	100	35,7142857	14,2857143	7,14285714
PROMEDIO		3,9	10,3	/				
TOTAL		/	/	252				

1 año de operación (hrs)	8760
Disponibilidad	97,10%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-4. Distribución de fallas Sistema de Traslación

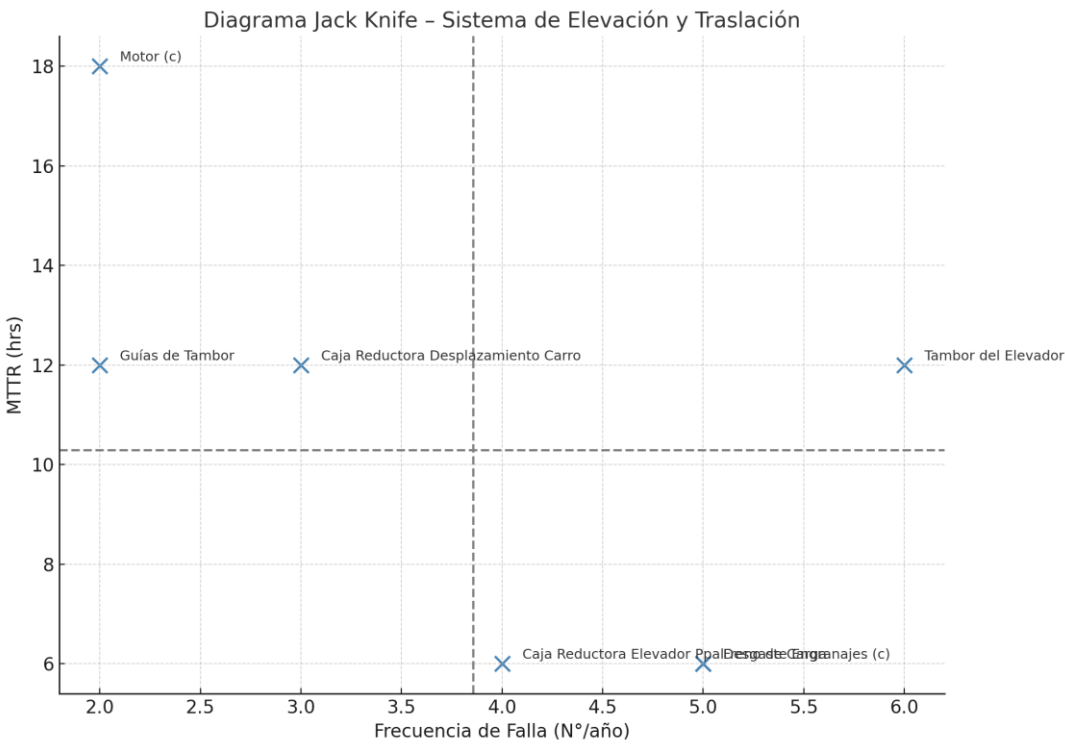
N° de falla	Tipo de falla	Frecuencia de fallas	MTTR	TIEMPO TOTAL	ISO- INDISPONIBILIDAD			
					DT700	DT250	DT100	DT50
1	Rotura de gancho	1	24	24	700	250	100	50
2	Deformacion del gancho	2	24	48	350	125	50	25
3	Desgaste cable	14	8	112	233,33333	83,333333	33,333333	16,666667
4	Juego en poleas	11	8	88	175	62,5	25	12,5
5	Desgaste engranajes (g)	12	6	72	140	50	20	10
6	Motor (g)	5	18	90	116,66667	41,666667	16,666667	8,333333
PROMEDIO		7,5	14,7	/				
TOTAL		/	/	434				

1 año de operación (hrs)	8760
Disponibilidad	95,00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-5. Distribución de fallas Sistema de Elevación

De la tabla anterior se logra graficar cada evento, identificando según su posición en los cuadrantes, de que forma ha impactado en el proceso (confiabilidad, mantenibilidad o disponibilidad) identificándose, así como un evento agudo, grave, o una combinación de ambos, siendo este último el de mayor gravedad.



Fuente: Elaboración propia

Diagrama 2-6 Gráfico Jack Knife Sistema de Traslación y Elevación

El gráfico Jack Knife permite identificar visualmente los componentes del sistema de elevación y traslación con mayor impacto en términos de disponibilidad. Se observa que el Tambor del Elevador presenta tanto alta frecuencia de falla como alto MTTR, ubicándose en el cuadrante crónico-agudo, lo que lo convierte en el principal candidato para intervención prioritaria. Por otro lado, el Motor (c) se encuentra en el cuadrante agudo, indicando alta complejidad de reparación, aunque con baja frecuencia. Estos resultados guían la focalización de recursos de mantenimiento y validan la selección del sistema crítico bajo la metodología RCM.

Según la gráfica el evento “tambor del elevador” que guarda relación con las fallas que ha sufrido, los cables y el tambor en sí, es la clara oportunidad de mejora que se obtiene de la gráfica, ocurriendo 6 fallas durante el año 2022, provocando 72 horas de indisponibilidad.

Analizar los eventos que afectaron la cinta es posible mediante la metodología RCM, estudio que en mayor medida busca los modos de falla del respectivo evento.

Al graficar se observa que no hay componentes en el cuadrante crónico agudo, pero la mayoría se encuentran en el cuadrante crónico, a las que se le aplicara un mantenimiento preventivo, debido a que son varias fallas con corto tiempo de indisponibilidad.

Una vez estando identificados los componentes críticos es posible realizar las mejoras correspondientes, entre ellas existen variadas posibilidades, que en mayor medida dependerán del modo de falla que se quiera eliminar, de forma más detallada se describen el capítulo siguiente.

COMPONENTE	FRECUENCIA	MTTR	TIEMPO TOTAL FALLAS	CUADRANTE
Rotura de gancho	1	24	24	AGUDO
Deformacion del gancho	2	24	48	AGUDO
Desgaste cable	14	8	112	CRONICO
Juego en poleas	11	8	88	CRONICO
Desgaste engranajes (g)	12	6	72	CRONICO
Motor (g)	5	18	90	AGUDO
Caja reductora elevador ppal	4	6	24	LEVE
Freno de carga	5	6	30	CRONICO
Guias de Tambor	2	12	24	AGUDO
Tambor del elevador	6	12	72	CRONICO AGUDO
Motor (c)	2	18	36	AGUDO
Caja reductora desplazamiento carro	3	12	36	AGUDO
Desgaste engranajes (c)	5	6	30	CRONICO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-6. Tabla resumen Jack Knife

CAPITULO 3: DEFINICION DE PLANES DE MANTENIMIENTO,
CALCULO DE LOS INDICADORES Y COSTOS ASOCIADOS

3. **DEFINICION DE PLANES DE MANTENIMIENTO**

Los planes de mantenimiento implementados en este trabajo están diseñados para abordar los modos de falla críticos identificados en el sistema de elevación del puente grúa en la Fundición Chagres. Se han definido dos tipos principales de mantenimiento: preventivo y correctivo. A continuación, se detallan las tareas específicas, sus frecuencias y los costos asociados para cada tipo de mantenimiento.

3.1. **MANTENIMIENTO PREVENTIVO (POR CONDICIÓN Y SUSTITUCIÓN)**

3.1.1. Mantenimiento Preventivo por Condición (HPC) Este tipo de mantenimiento se basa en la condición actual del equipo, realizándose inspecciones y revisiones periódicas para detectar y corregir posibles fallas antes de que ocurran.

- Inspección de Gancho:

Frecuencia: Mensual

Duración: 5 horas

Costos: \$200/inspección

- Revisión de Cables:

Frecuencia: Mensual

Duración: 3 horas

- Revisión de Poleas:

Frecuencia: Bimestral

Duración: 4 horas

Costos: \$150/inspección

- Revisión de Motor:

Frecuencia: Trimestral

Duración: 6 horas

Costos: \$500/inspección

- Revisión de Engranajes:

Frecuencia: Trimestral

Duración: 4 horas

Costos: \$300/inspección

Tipo de Mantenimiento / Características	Frecuencia	Duración (Hr)	Costo (USD\$) x Inspección
Inspección de Gancho	Mensual	5	200
Revisión de Cables	Mensual	3	0
Revisión de Poleas	Bimestral	4	150
Revisión de Motor	Trimestral	6	500
Revisión de Engranajes	Trimestral	4	300

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-1. Mantenimiento Preventivo por Condición (HPC)

3.1.2. Mantenimiento Preventivo por Sustitución (HPS)

Este tipo de mantenimiento se basa en la sustitución de componentes críticos a intervalos regulares, independientemente de su condición actual, para prevenir fallas.

- Sustitución de Gancho:
Frecuencia: Semestral
Duración: 10 horas
Costos: \$200/sustitución
- Sustitución de Cables:
Frecuencia: Anual
Duración: 8 horas
Costos: \$100/sustitución
- Sustitución de Poleas:
Frecuencia: Anual
Duración: 7 horas
Costos: \$150/sustitución
- Sustitución de Motor:
Frecuencia: Bienal
Duración: 12 horas
Costos: \$500/sustitución
- Sustitución de Engranajes:
Frecuencia: Anual
Duración: 9 horas
Costos: \$300/sustitución

Mantenimiento HPS / Características	Frecuencia	Duración (Hr)	Costo (USD\$) x Inspección
Sustitución de Gancho	Semestral	10	200
Sustitución de Cables	Anual	8	100
Sustitución de Poleas	Anual	7	150
Sustitución de Motor	Bianual	12	500
Sustitución de Engranajes	Anual	9	300

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-2. Mantenimiento Preventivo por Sustitución (HPS)

3.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO (RUN TO FAILURE)

Este tipo de mantenimiento se realiza cuando el equipo ha fallado y necesita ser reparado o sustituido. Las actividades correctivas se detallan a continuación:

- Reparación de Gancho:
Frecuencia: 1 vez/año
Duración: 15 horas
Costos: \$500 por reparación
- Reparación de Cables:
Frecuencia: 2 veces/año
Duración: 10 horas
Costos: \$300 por reparación
- Reparación de Poleas:
Frecuencia: 3 veces/año
Duración: 12 horas
Costos: \$400 por reparación
- Reparación de Motor:
Frecuencia: 1 vez/año
Duración: 18 horas
Costos: \$800 por reparación
- Reparación de Engranajes:
Frecuencia: 2 veces/año
Duración: 14 horas
Costos: \$600 por reparación

Mantenimiento HHC / Características	Frecuencia	Duración (Hr)	Costo (USD\$) x Inspección
Reparación de Gancho	1 vez / año	15	500
Reparación de Cables	2 veces / año	10	300
Reparación de Poleas	3 veces /año	12	400
Reparación de Motor	1 vez / año	18	800
Reparación de Engranajes	2 veces / año	14	600

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-3. Mantenimiento Correctivo

3.3. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

3.3.1. Herramientas Utilizadas:

- Software de Gestión de Mantenimiento: Para programar y rastrear las actividades de mantenimiento.
- Calendarios de Mantenimiento: Para planificar las inspecciones y sustituciones de acuerdo a las frecuencias establecidas.

3.3.2. Crear un Calendario de Mantenimiento:

- Mensual: Inspección de gancho, revisión de cables.
- Bimestral: Revisión de poleas.
- Trimestral: Revisión de motor y engranajes.
- Semestral: Sustitución de gancho.
- Anual: Sustitución de cables, poleas y engranajes.
- Bienal: Sustitución de motor.

3.3.3. Asignación de Recursos:

- Personal: Asignar técnicos capacitados para cada tarea.
- Materiales: Asegurar disponibilidad de componentes de reemplazo.
- Herramientas: Verificar disponibilidad y estado de herramientas necesarias.

3.3.4. Programación Detallada:

- Semana 1 de Cada Mes: Inspección de gancho y revisión de cables.
- Semana 1 del Segundo Mes de Cada Bimestre: Revisión de poleas.

- Semana 1 del Primer Mes de Cada Trimestre: Revisión de motor y engranajes.
- Semana 1 del Primer Mes de Cada Semestre: Sustitución de gancho.
- Semana 1 del Primer Mes de Cada Año: Sustitución de cables, poleas y engranajes.
- Semana 1 del Primer Mes de Cada Dos Años: Sustitución de motor.

Frecuencia	Actividad	Detalles
Mensual	Inspección de gancho	Semana 1 de cada mes
	Revisión de cables	Semana 1 de cada mes
Bimestral	Revisión de poleas	Semana 1 del segundo mes de cada bimestre
Trimestral	Revisión de motor y engranajes	Semana 1 del primer mes de cada trimestre
Semestral	Sustitución de gancho	Semana 1 del primer mes de cada semestre
Anual	Sustitución de cables	Semana 1 del primer mes de cada año
	Sustitución de poleas	Semana 1 del primer mes de cada año
	Sustitución de engranajes	Semana 1 del primer mes de cada año
Bienal	Sustitución de motor	Semana 1 del primer mes de cada dos años

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-4. Planificación de mantenimiento

3.3.5. Monitoreo y Ajuste:

- Revisión Semanal: Evaluar el progreso y realizar ajustes según sea necesario.
- Reporte Mensual: Generar informes de actividades completadas y pendientes.
- Auditoría Trimestral: Evaluar la efectividad del plan de mantenimiento y realizar ajustes necesarios.

3.3.6. Implementación de Mantenimiento Correctivo:

- Registro de Fallas: Documentar todas las fallas y reparaciones.
- Evaluación de Frecuencia: Ajustar la frecuencia de inspecciones y sustituciones según el historial de fallas.

3.4. CÁLCULOS DE LOS INDICADORES BÁSICOS DE PLANIFICACIÓN PARA LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS A PARTIR DEL RCM (BASE DE PLANIFICACIÓN 1 AÑO)

3.4.1. Total de Horas-Hombre al año de los trabajos de mantenimiento (preventivo (por condición + por sustitución) + correctivo (run to failure))

Para calcular el total de horas-hombre al año de los trabajos de mantenimiento (preventivo por condición + preventivo por sustitución + correctivo), se utilizaron los datos proporcionados en el documento y se agruparon según el tipo de mantenimiento.

3.4.1.1. Mantenimiento Preventivo por Condición (HPC)

• Inspección de Gancho:

Frecuencia: 12 veces/año

Duración: 5 hrs/inspección

Total: $12 * 5 = 60$ horas

• Revisión de Cables:

Frecuencia: 12 veces/año

Duración: 3 horas/revisión

Total: $12 * 3 = 36$ horas

• Revisión de Poleas:

Frecuencia: 6 veces/año

Duración: 4 horas/revisión

Total: $6 * 4 = 24$ horas

• Revisión de Motor:

Frecuencia: 4 veces/año

Duración: 6 horas/revisión

Total: $4 * 6 = 24$ horas

• Revisión de Engranajes:

Frecuencia: 4 veces/año

Duración: 4 horas/revisión

Total: $4 * 4 = 16$ horas

Total HPC = $60 + 36 + 24 + 24 + 16 = 160$ horas

Mantenimiento HPC / Horas-Hombre (HH)	Frecuencia	Duración (Hr)	HH x año
Inspección de Gancho	12 veces / año	5	60
Revisión de Cables	12 veces / año	3	36
Revisión de Poleas	6 veces / año	4	24
Revisión de Motor	4 veces / año	6	24
Revisión de Engranajes	4 veces / año	4	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-5. HPC/HH

3.4.1.2. Mantenimiento Preventivo por Sustitución (HPS)

- Sustitución de Gancho:
Frecuencia: 2 veces/año
Duración: 10 hrs/ sustitución
Total: 2 * 10 = 20 horas
- Sustitución de Cables:
Frecuencia: 1 vez/año
Duración: 8 hrs/sustitución
Total: 1 * 8 = 8 horas
- Sustitución de Poleas:
Frecuencia: 1 vez/año
Duración: 7 hrs/sustitución
Total: 1 * 7 = 7 horas
- Sustitución de Motor:
Frecuencia: 1 vez/2 años (0.5 veces/año)
Duración: 12 hrs/sustitución
Total: 0.5 * 12 = 6 horas
- Sustitución de Engranajes:
Frecuencia: 1 vez/año
Duración: 9 hrs/sustitución
Total: 1 * 9 = 9 horas

Total HPS = 20 + 8 + 7 + 6 + 9 = 50 horas

Mantenimiento HPS / Horas-Hombre (HH)	Frecuencia	Duración (Hr)	HH x año
Sustitución de Gancho	2 veces / año	10	20
Sustitución de Cables	1 vez / año	8	8
Sustitución de Poleas	1 vez / año	7	7
Sustitución de Motor	1 vez cada 2 años	12	6
Sustitución de Engranajes	1 vez / año	9	9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-6. HPS/HH

3.4.1.3. Mantenimiento Correctivo (HHC)

- Reparación de Gancho:

Frecuencia: 1 vez/año

Duración: 15 hrs/reparación

Total: $1 * 15 = 15$ horas

- Reparación de Cables:

Frecuencia: 2 veces/año

Duración: 10 hrs/reparación

Total: $2 * 10 = 20$ horas

- Reparación de Poleas:

Frecuencia: 3 veces/año

Duración: 12 hrs/reparación

Total: $3 * 12 = 36$ horas

- Reparación de Motor:

Frecuencia: 1 vez/año

Duración: 18 hrs/reparación

Total: $1 * 18 = 18$ horas

- Reparación de Engranajes:

Frecuencia: 2 veces/año

Duración: 14 hrs/reparación

Total: $2 * 14 = 28$ horas

Total HHC = $15 + 20 + 36 + 18 + 28 = 117$ horas

Mantenimiento HHC / Horas-Hombre (HH)	Frecuencia	Duración (Hr)	HH x año
Reparación de Gancho	1 vez / año	15	15
Reparación de Cables	2 veces / año	10	20
Reparación de Poleas	3 veces /año	12	36
Reparación de Motor	1 vez / año	18	18
Reparación de Engranajes	2 veces / año	14	28

Fuente: Elaboración propia
Tabla 3-7. HHC/HH

3.4.2. Total de Horas-Hombre al Año de los Trabajos de Mantenimiento

Total de Horas-Hombre = HPC + HPS + HHC

HPC: 160 horas

HPS: 50 horas

HHC: 117 horas

Total: 160 + 50 + 117 = 327 horas

El total de horas-hombre al año de los trabajos de mantenimiento preventivo (por condición + por sustitución) y correctivo (run to failure) es 327 horas.

3.4.2.1. Horas-hombre totales al año de los trabajos de mantenimiento preventivo (por condición + por sustitución)

3.4.2.2. Horas-hombres al año de los trabajos de mantenimiento preventivo condición.

- Inspección de Gancho:
Frecuencia: 12 veces/año
Duración: 5 hrs/inspección
Total: 12 * 5 = 60 horas
- Revisión de Cables:
Frecuencia: 12 veces/año
Duración: 3 hrs/revisión
Total: 12 * 3 = 36 horas
- Revisión de Poleas:
Frecuencia: 6 veces/año
Duración: 4 hrs/revisión

Total: $6 * 4 = 24$ horas

- Revisión de Motor:

Frecuencia: 4 veces/año

Duración: 6 hrs/revisión

Total: $4 * 6 = 24$ horas

- Revisión de Engranajes:

Frecuencia: 4 veces/año

Duración: 4 hrs por revisión

Total: $4 * 4 = 16$ horas

Total HPC = $60 + 36 + 24 + 24 + 16 = 160$ horas

3.4.2.3. Horas-Hombre al año de los trabajos de mantenimiento preventivo por sustitución cíclica

- Sustitución de Gancho:

Frecuencia: 2 veces/año

Duración: 10 hrs/sustitución

Total: $2 * 10 = 20$ horas

- Sustitución de Cables:

Frecuencia: 1 vez/año

Duración: 8 hrs/sustitución

Total: $1 * 8 = 8$ horas

- Sustitución de Poleas:

Frecuencia: 1 vez/año

Duración: 7 hrs/sustitución

Total: $1 * 7 = 7$ horas

- Sustitución de Motor:

Frecuencia: 1 vez/2 años (0.5 veces/año)

Duración: 12 hrs/sustitución

Total: $0.5 * 12 = 6$ horas

- Sustitución de Engranajes:

Frecuencia: 1 vez/año

Duración: 9 hrs/sustitución

Total: $1 * 9 = 9$ horas

$$\text{Total HPS} = 20 + 8 + 7 + 6 + 9 = 50 \text{ horas}$$

El Total de Horas-Hombre al Año de los Trabajos de Mantenimiento Preventivo (HPC + HPS) es de 210 horas.

HPC: 160 horas

HPS: 50 horas

$$\text{Total: } 160 + 50 = 210 \text{ horas}$$

3.4.3. Horas-hombre totales al año de los trabajos correctivo run to failure)

3.4.3.1 Mantenimiento Correctivo (Run to Failure)

- Reparación de Gancho:

Frecuencia: 1 vez/año

Duración: 15 hrs/reparación

Total: $1 * 15 = 15$ horas

- Reparación de Cables:

Frecuencia: 2 veces/año

Duración: 10 hrs/ reparación

Total: $2 * 10 = 20$ horas

- Reparación de Poleas:

Frecuencia: 3 veces/año

Duración: 12 hrs/reparación

Total: $3 * 12 = 36$ horas

- Reparación de Motor:

Frecuencia: 1 vez/año

Duración: 18 hrs/reparación

Total: $1 * 18 = 18$ horas

- Reparación de Engranajes:

Frecuencia: 2 veces/año

Duración: 14 hrs/reparación

Total: 2 * 14 = 28 horas

Total de Horas-Hombre al Año de los Trabajos Correctivos (HHC)

Reparación de Gancho: 15 horas

Reparación de Cables: 20 horas

Reparación de Poleas: 36 horas

Reparación de Motor: 18 horas

Reparación de Engranajes: 28 horas

$$\begin{aligned} \text{Total HHC} &= 15 + 20 + 36 + 18 + 28 \\ &= 117 \text{ horas} \end{aligned}$$

El total Horas-Hombre Totales al Año de los Trabajos Correctivos (HHC): 117 horas

3.5. TOTAL DE COSTOS POR AÑO POR MANTENIMIENTO (PREVENTIVO + CORRECTIVO)

Para calcular el total de costos por año por mantenimiento (preventivo y correctivo), necesitamos considerar tanto los costos de mano de obra como los costos de materiales para cada tarea de mantenimiento preventivo (por condición y por sustitución) y correctivo.

Elemento	Costo por Inspección/Sustitución	Costo por Reparación	Costo por Hora-Hombre
Gancho	\$200	\$500	\$50
Cable	\$100	\$300	\$50
Poleas	\$150	\$400	\$50
Motor	\$500	\$800	\$50
Engranajes	\$300	\$600	\$50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-2. Costos

3.5.1. Costos de Mantenimiento Preventivo por Condición (HPC)

Total HPC

= \$5400+\$3000+\$2100+\$3200+\$2000

= \$15700

Actividad	Horas-Hombre	Costos de Mano de Obra	Costos de Material	Total
Inspección de Gancho	60 horas	\$3000	\$2400	\$5400
Revisión de Cables	36 horas	\$1800	\$1200	\$3000
Revisión de Poleas	24 horas	\$1200	\$900	\$2100
Revisión de Motor	24 horas	\$1200	\$2000	\$3200
Revisión de Engranajes	16 horas	\$800	\$1200	\$2000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-3. Costos por condición

3.5.2. Costos de Mantenimiento Preventivo por Sustitución (HPS)

Total HPS

= \$1400+\$500+\$500+\$550+\$750

= \$3700

Actividad	Horas-Hombre	Costos de Mano de Obra	Costos de Material	Total
Sustitución de Gancho	20 horas	\$1000	\$400	\$1400
Sustitución de Cables	8 horas	\$400	\$100	\$500
Sustitución de Poleas	7 horas	\$350	\$150	\$500
Sustitución de Motor	6 horas	\$300	\$250	\$550
Sustitución de Engranajes	9 horas	\$450	\$300	\$750

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-4. Costos por sustitución

3.5.3. Costos de Mantenimiento Correctivo (HHC)

Total HHC

$$\begin{aligned} & \$1250 + \$1600 + \$3000 + \$1700 + \$2600 \\ & = \$10150 \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia

Actividad	Horas-Hombre	Costos de Mano de Obra	Costos de Material	Total
Reparación de Gancho	15 horas	\$750	\$500	\$1250
Reparación de Cables	20 horas	\$1000	\$600	\$1600
Reparación de Poleas	36 horas	\$1800	\$1200	\$3000
Reparación de Motor	18 horas	\$900	\$800	\$1700
Reparación de Engranajes	28 horas	\$1400	\$1200	\$2600

Tabla 3.5. Costos de mantenimiento correctivo

3.5.4. Total de Costos por Año por Mantenimiento (Preventivo + Correctivo)

(HPC): \$15700
(HPS): \$3700
(HHC): \$10150

El Total de Costos por Año por Mantenimiento (Preventivo + Correctivo): \$29550

3.6. TOTAL DE COSTOS POR AÑO POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO (POR CONDICIÓN + POR SUSTITUCIÓN)

Para calcular el total de costos por año por mantenimiento preventivo (por condición + por sustitución), se procederá a dividir el análisis en dos partes: costos de mantenimiento por condición (HPC) y costos de mantenimiento por sustitución (HPS).

3.6.1. Total de costos por año por mantenimiento por condición (HPC)

Actividad	Horas-Hombre	Costos de Mano de Obra	Costos de Material	Total
Inspección de Gancho	60 horas	\$3000	\$2400	\$5400
Revisión de Cables	36 horas	\$1800	\$1200	\$3000
Revisión de Poleas	24 horas	\$1200	\$900	\$2100
Revisión de Motor	24 horas	\$1200	\$2000	\$3200
Revisión de Engranajes	16 horas	\$800	\$1200	\$2000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6. Costos por año por mantenimiento por condición

Total HPC

= \$5400+\$3000+\$2100+\$3200+\$2000

= \$15700

3.6.2. Total de costos por año por mantenimiento por sustitución (HPS)

Total HPS

= \$1400+\$500+\$500+\$550+\$750

= \$3700

Actividad	Horas-Hombre	Costos de Mano de Obra	Costos de Material	Total
Sustitución de Gancho	20 horas	\$1000	\$400	\$1400
Sustitución de Cables	8 horas	\$400	\$100	\$500
Sustitución de Poleas	7 horas	\$350	\$150	\$500
Sustitución de Motor	6 horas	\$300	\$250	\$550
Sustitución de Engranajes	9 horas	\$450	\$300	\$750

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7. Costos por año por mantenimiento por condición

Total de Costos por Año por Mantenimiento Preventivo (HPC + HPS)

(HPC): \$15700

(HPS): \$3700

Total: \$15700 + \$3700 = \$19400

El Total de Costos por Año por Mantenimiento Preventivo (HPC + HPS) es de \$19400.

3.7. TOTAL DE COSTOS POR AÑO POR TRABAJOS CORRECTIVOS (RUN TO FAILURE)

Para calcular el total de costos por año por trabajos correctivos (run to failure), se consideran tanto los costos de mano de obra como los costos de materiales/componente para cada reparación.

Actividad	Frecuencia	Horas-Hombre	Costos de Mano de Obra	Costos de Material	Total
Reparación de Gancho	1 vez/año	15 horas	\$750	\$500	\$1250
Reparación de Cables	2 veces/año	20 horas	\$1000	\$600	\$1600
Reparación de Poleas	3 veces/año	36 horas	\$1800	\$1200	\$3000
Reparación de Motor	1 vez/año	18 horas	\$900	\$800	\$1700
Reparación de Engranajes	2 veces/año	28 horas	\$1400	\$1200	\$2600

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-8. Total costos por año por trabajos

Total de Costos por Año por Trabajos Correctivos (HHC)

Reparación de Gancho: \$1250

Reparación de Cables: \$1600

Reparación de Poleas: \$3000

Reparación de Motor: \$1700

Reparación de Engranajes: \$2600

Total HHC = \$1250+\$1600+\$3000+\$1700+\$2600 = \$10150

El Total de Costos por Año por Trabajos Correctivos (Run to Failure): \$10150

3.8. PORCENTAJES DE MANTENIMIENTO

3.8.1 % De Mantenimiento Preventivo

Para calcular el porcentaje de costos de mantenimiento preventivo, se deben comparar los costos de mantenimiento preventivo (por condición y por sustitución) con el costo total anual de mantenimiento.

Datos Resumidos:

- Total de Costos por Año por Mantenimiento Preventivo (HPC + HPS): \$19400
- Total de Costos por Año por Mantenimiento por Condición (HPC): \$15,700
- Total de Costos por Año por Mantenimiento por Sustitución (HPS): \$3700
- Total de Costos por Año por Trabajos Correctivos (HHC): \$10150
- Total de Costos por Año por Mantenimiento (Preventivo + Correctivo):
- Total Mantenimiento Anual (HPC + HPS + HHC): \$19400 + \$10150 = \$29550

3.8.1.1. % de mantenimiento preventivo total

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{\text{Total de Costos por Mantenimiento Preventivo}}{\text{Total de Costos de Mantenimiento Anual}} \right) \times 100 \\ &= \left(\frac{19,400}{29,550} \right) \times 100 \approx 65.65\% \end{aligned}$$

3.8.1.2. % de mantenimiento preventivo por condición

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\text{Total de Costos por Mantenimiento por Condición}}{\text{Total de Costos de Mantenimiento Anual}} \right) \times 100 \\ &= \left(\frac{15,700}{29,550} \right) \times 100 \approx 53.14\% \end{aligned}$$

3.8.1.3. % de mantenimiento preventivo por sustitución

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\text{Total de Costos por Mantenimiento por Sustitución}}{\text{Total de Costos de Mantenimiento Anual}} \right) \times 100 \\ &= \left(\frac{3,700}{29,550} \right) \times 100 \approx 12.51\% \end{aligned}$$

En resumen:

% de Mant. Preventivo Total: 65.65%
% de Mant. Prev. por Condición: 53.14%
% de Mant. Prev. por Sustitución: 12.51%

3.8.2. % de Mantenimiento Correctivo

Para calcular el porcentaje de mantenimiento correctivo, se debe comparar el costo anual de mantenimiento correctivo con el costo total anual de mantenimiento.

Datos Resumidos:

- Total de Costos por Año por Trabajos Correctivos (HHC): \$10150
- Total de Costos por Año por Mantenimiento Preventivo (HPC + HPS): \$19400
- Total de Costos por Año por Mantenimiento Anual (HPC + HPS + HHC): \$29550

El porcentaje de mantenimiento correctivo es 34,35 %

$$\left(\frac{\text{Total de Costos por Mantenimiento Correctivo}}{\text{Total de Costos de Mantenimiento Anual}} \right) \times 100$$
$$= \left(\frac{10,150}{29,550} \right) \times 100 \approx 34.35\%$$

3.9. % DE COSTOS ASOCIADOS

3.9.1. % de Costos de Mantenimiento Preventivo

Para calcular el porcentaje de costos de mantenimiento preventivo, tanto total como desglosado por condición y por sustitución, se utilizan los siguientes datos:

Total de Costos por Año por Mantenimiento Preventivo (HPC + HPS): \$19400
Total de Costos por Año por Mantenimiento por Condición (HPC): \$15700
Total de Costos por Año por Mantenimiento por Sustitución (HPS): \$3700
Total de Costos por Año por Trabajos Correctivos (HHC): \$10150
Total de Costos de Mantenimiento Anual (HPC + HPS + HHC): \$29550

$$\left(\frac{\text{Total de Costos por Mantenimiento Preventivo}}{\text{Total de Costos de Mantenimiento Anual}} \right) \times 100$$
$$= \left(\frac{19,400}{29,550} \right) \times 100 \approx 65.65\%$$

3.9.2. % de Costos de Mantenimiento Preventivo por Condición

$$\left(\frac{\text{Total de Costos por Mantenimiento por Condición}}{\text{Total de Costos de Mantenimiento Anual}} \right) \times 100$$
$$= \left(\frac{15,700}{29,550} \right) \times 100 \approx 53.14\%$$

3.9.3. % de Costos de Mantenimiento Preventivo por Sustitución

$$\left(\frac{\text{Total de Costos por Mantenimiento por Sustitución}}{\text{Total de Costos de Mantenimiento Anual}} \right) \times 100$$
$$= \left(\frac{3,700}{29,550} \right) \times 100 \approx 12.51\%$$

3.9.4 % De Costos De Mantenimiento Correctivo (Run To Failure)

Para calcular el porcentaje de costos de mantenimiento correctivo (run to failure), se utilizan los siguientes datos:

- Total de Costos por Año por Trabajos Correctivos (HHC): \$10150
- Total de Costos de Mantenimiento Anual (HPC + HPS + HHC): \$29550

3.9.4.1. % de Costos de Mantenimiento Correctivo

$$\left(\frac{\text{Total de Costos por Mantenimiento Correctivo}}{\text{Total de Costos de Mantenimiento Anual}} \right) \times 100$$
$$= \left(\frac{10,150}{29,550} \right) \times 100 \approx 34.35\%$$

3.10. TOTAL DE COSTOS POR AÑO DE LOS MODOS DE FALLAS (RIESGO ANUAL EQUIVALENTE DE LOS MODOS DE FALLAS)

Para calcular el total de costos por año de los modos de fallas (Riesgo anual equivalente de los modos de fallas), se consideran las frecuencias de las fallas y los costos asociados con cada tipo de falla.

Falla	Frecuencia (veces/año)	Costos de Mano de Obra (\$)	Costos de Material (\$)	Total por Reparación (\$)	Total por Año (\$)
Rotura de Gancho	1	750	500	1250	1250
Deformación del Gancho	2	500	300	800	1600
Desgaste de Cable	5	400	300	700	3500
Juego en Poleas	5	600	400	1000	5000
Fallos en el Motor	5	900	800	1700	8500
Desgaste de Engranajes	4	700	600	1300	5200

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-9. Frecuencia de fallas, costos de mano de obra, costos totales de reparación y costos anuales totales

Total de Costos por Año de los Modos de Fallas

- Rotura de Gancho: \$1250
- Deformación del Gancho: \$1600
- Desgaste de Cable: \$3500
- Juego en Poleas: \$5000
- Fallos en el Motor: \$8500
- Desgaste de Engranajes: \$5200

Total de Costos por Año de los Modos de Fallas = 1250+1600+3500+5000+8500+5200
= 25050

El Total de Costos por Año de los Modos de Fallas (Riesgo Anual Equivalente de los Modos de Fallas) es de \$25050.

3.10.1. Comparación Entre El Total De Costos Por Año De Mantenimiento Preventivo Y El Indicador De Costos Por Año De Los Modos De Fallas.

Para comparar el total de costos por año de mantenimiento preventivo con el total de costos por año de los modos de fallas, utilizamos los datos calculados anteriormente.

Datos:

- Total de Costos por Año de Mantenimiento Preventivo: \$19400
- Total de Costos por Año de los Modos de Fallas: \$25050

Comparación:

$$\begin{array}{rcl} \text{Diferencia} & = & \text{Costos de Modos} - \text{Costos de Mantenimiento} \\ \text{de Costos} & & \text{de Fallas} \qquad \qquad \text{Preventivo} \end{array}$$

$$\text{Diferencia de Costos} = 25050 - 19400 = 5650$$

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{\text{Diferencia de Costos}}{\text{Costos de Mantenimiento Preventivo}} \right) \times 100 \\ &= \left(\frac{5,650}{19,400} \right) \times 100 \approx 29.12\% \end{aligned}$$

Porcentaje de diferencia: La comparación muestra que los costos de los modos de fallas son \$5,650 más altos que los costos de mantenimiento preventivo, lo que representa un 29.12% adicional en relación al costo del mantenimiento preventivo.

Este análisis sugiere que el mantenimiento preventivo es económicamente beneficioso ya que puede reducir significativamente los costos asociados con las fallas.

CAPITULO 4 :
PROYECCIONES, RESUMENES Y CONCLUSIONES

4.1. PROYECCIÓN DEL AHORRO POTENCIAL POR AÑO POR LA APLICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO A PLANIFICAR - PROGRAMAR Y EJECUTAR EN UN AÑO.

Para proyectar el ahorro potencial por año mediante la aplicación de las actividades de mantenimiento planificadas, comparamos los costos anuales de mantenimiento preventivo con los costos de los modos de fallas en ausencia de mantenimiento preventivo. La diferencia entre estos dos costos representará el ahorro potencial.

Datos:

- Total de Costos por Año de Mantenimiento Preventivo: \$19400
- Total de Costos por Año de los Modos de Fallas: \$25050

Cálculo del ahorro potencial:

$$\begin{array}{ccccc} \text{Ahorro} & = & \text{Costos de Modos} & - & \text{Costos de Mantenimiento} \\ \text{Potencial} & & \text{de Fallas} & & \text{Preventivo} \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro Potencial} &= 25050 - 19400 \\ &= 5650 \end{aligned}$$

Porcentaje de ahorro potencial:

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{\text{Ahorro Potencial}}{\text{Costos de Modos de Fallas}} \right) \times 100 \\ &= \left(\frac{5,650}{25,050} \right) \times 100 \approx 22.56\% \end{aligned}$$

La implementación de actividades de mantenimiento planificadas puede resultar en un ahorro potencial de \$5,650 por año, lo que representa aproximadamente un 22.56% de los costos que se incurrirían debido a los modos de fallas.

Este ahorro se debe a la reducción de costos asociados con fallas inesperadas y el aumento de la eficiencia y la confiabilidad de los equipos mediante un mantenimiento preventivo regular.

4.2. **RESUMEN RCM**

4.2.1. Tabla Resumen:

Esta tabla proporciona un resumen claro y conciso de las principales actividades y análisis relacionados con el sistema de elevación del puente grúa, basado en los principios del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

Categoría	Detalle
Identificación de Funciones del Sistema	Elevación de cargas - Seguridad en la operación
Identificación de Fallos Funcionales	Incapacidad de elevar cargas - Fallos de Seguridad
Identificación de Modos de Falla	Rotura de gancho - Deformación del gancho - Desgaste de cable - Juego en poleas - Fallos en el motor - Desgaste de engranajes.
Efectos de las Fallas	Pérdida de capacidad de Elevación - Peligro para los operarios - Interrupciones en la operación
Priorización de Modos de Falla	- Basada en la frecuencia y la criticidad.
Tareas de Mantenimiento Preventivo	Inspecciones regulares - Sustituciones periódicas - Mantenimiento correctivo basado en condiciones

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-1. Tabla resumen

4.2.2. Planificación y Programación del Mantenimiento:

Esta tabla proporciona un resumen claro de los tipos de mantenimiento aplicados al sistema de elevación del puente grúa y las tareas específicas asociadas a cada tipo de mantenimiento.

Planificación y Programación del Mantenimiento	
Mantenimiento Preventivo por Condición	- Inspección de gancho, cables, poleas, motor y engranajes con frecuencias específicas.
Mantenimiento Preventivo por Sustitución	- Sustitución de gancho, cables, poleas, motor y engranajes en intervalos planificados.
Mantenimiento Correctivo	- Reparación de componentes críticos al fallar, según las frecuencias estimadas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-2. Tabla Planificación

4.2.3. Tabla Resumen Indicadores

Indicador	Detalle
1. Total de Horas-Hombre al Año de los Trabajos de Mantenimiento	327 horas
2. Horas-Hombre al Año de los Trabajos de Mantenimiento Preventivo (HPC + HPS)	210 horas
2.1. Horas-Hombre al Año de los Trabajos de Mantenimiento Preventivo por Condición (HPC)	160 horas
2.2. Horas-Hombre al Año de los Trabajos de Mantenimiento Preventivo por Sustitución (HPS)	50 horas
3. Horas-Hombre al Año de los Trabajos Correctivos (HHC)	117 horas
4. Total de Costos por Año por Mantenimiento (Preventivo + Correctivo)	\$29.550
5. Total de Costos por Año por Mantenimiento Preventivo (HPC + HPS)	\$19.400
5.1. Total de Costos por Año por Mantenimiento por Condición (HPC)	\$15.700
5.2. Total de Costos por Año por Mantenimiento por Sustitución (HPS)	\$3.700
6. Total de Costos por Año por Trabajos Correctivos (HHC)	\$10.150
7. % de Mantenimiento Preventivo	
7.1. % de Mantenimiento Preventivo por Condición	53.14%
7.2. % de Mantenimiento Preventivo por Sustitución	12.51%
8. % de Mantenimiento Correctivo	34.35%
9. % de Costos de Mantenimiento Preventivo	
9.1. % de Costos de Mantenimiento Preventivo por Condición	53.14%
9.2. % de Costos de Mantenimiento Preventivo por Sustitución	12.51%
10. % de Costos de Mantenimiento Correctivo (Run to Failure)	34.35%
11. Total de Costos por Año de los Modos de Fallas (Riesgo Anual Equivalente de los Modos de Fallas)	\$25.050
12. Comparación entre Costos de Mantenimiento Preventivo y Modos de Fallas	
- Diferencia Absoluta	\$5.650
- Diferencia Relativa	29.12%
13. Proyección del ahorro potencial por año por la aplicación de las actividades de mantenimiento a planificar - programar y ejecutar en un año	\$5650 (22.56%)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-3. Resumen Indicadores

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Eficiencia del Mantenimiento Preventivo: El análisis muestra que los costos de mantenimiento preventivo (\$19,400) son menores que los costos asociados a las fallas (\$25,050), indicando un ahorro potencial de \$5,650 por año. Esto representa una reducción del 22.56% en los costos anuales comparados con los costos de fallas.
- Distribución de Costos: La mayoría de los costos de mantenimiento preventivo están asociados con tareas de condición (53.14%), seguidos de las tareas de sustitución (12.51%). Los costos correctivos representan el 34.35% del total, lo que resalta la

importancia de un mantenimiento preventivo robusto para reducir fallas inesperadas y costosas.

- **Impacto Financiero:** Implementar un programa de mantenimiento preventivo robusto no solo reduce los costos directos asociados con las fallas, sino que también mejora la confiabilidad y disponibilidad del equipo, lo cual puede traducirse en mayores beneficios operativos y de seguridad.
- **Ahorro Potencial:** La proyección del ahorro potencial muestra que, al aplicar correctamente las actividades de mantenimiento planificadas, se pueden evitar costos significativos asociados con fallas, mejorando la eficiencia operativa y minimizando el riesgo de interrupciones no planificadas.

4.4. ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO

La implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM representa una mejora significativa en la gestión de activos, pero también conlleva ciertos riesgos que deben ser gestionados de forma proactiva para asegurar su éxito. A continuación, se identifican los principales riesgos asociados:

4.4.1. Resistencia al cambio

Descripción: Parte del personal operativo y de mantenimiento puede mostrar rechazo a modificar rutinas ya establecidas o adoptar nuevas prácticas.

Impacto: Bajo compromiso en la ejecución del nuevo plan, omisión de tareas críticas o implementación parcial.

Mitigación: Involucrar al equipo desde las etapas iniciales del rediseño, comunicar beneficios y proporcionar apoyo constante durante la transición.

4.4.2. Necesidad de capacitación técnica

Descripción: El nuevo plan incorpora actividades específicas y uso de herramientas de planificación que pueden no ser familiares para todos los técnicos.

Impacto: Ejecución incorrecta o ineficiente de tareas de mantenimiento, errores en la programación o interpretación de criticidad.

Mitigación: Realizar capacitaciones técnicas sobre los principios del RCM, uso del software de mantenimiento y procedimientos operativos estándar.

4.4.3. Periodo de ajuste operativo

Descripción: Durante las primeras semanas o meses, es posible que se presenten desviaciones respecto al calendario propuesto o se detecten tareas no consideradas inicialmente.

Impacto: Retrasos, sobrecarga de personal o necesidad de ajustes no programados.

Mitigación: Monitorear el plan de forma semanal durante la etapa inicial, ajustar frecuencias según retroalimentación y documentar las mejoras detectadas.

4.4.4. Limitaciones presupuestarias iniciales

Descripción: El costo inicial de implementación (capacitación, repuestos preventivos) puede no estar presupuestado por completo.

Impacto: Atrasos en la implementación o ejecución parcial del plan.

Mitigación: Justificar los costos con proyecciones de ahorro anual y presentar el plan como una inversión recuperable en el corto plazo.

4.4.5. Dependencia del software de gestión

Descripción: El nuevo plan contempla un uso más intensivo de software para calendarización y seguimiento.

Impacto: Errores de ingreso, pérdida de información o dependencia del área TI.

Mitigación: Capacitar a los usuarios clave, realizar respaldos periódicos y estandarizar el uso del sistema.

4.5. CONCLUSIONES.

Impacto de la aplicación del RCM en la gestión del mantenimiento: La implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en el puente grúa Kone de la Fundación Chagres permitió transformar un enfoque predominantemente reactivo en una gestión proactiva y planificada. A través del análisis FMECA, se identificaron modos de falla con alto impacto operativo y se diseñaron respuestas específicas, lo que fortalece la toma de decisiones basada en riesgo.

Optimización de recursos y reducción de costos: Se demostró que un enfoque preventivo bien estructurado reduce los costos operacionales. El mantenimiento correctivo

representaba el 34,35% del total anual, y al aplicar el plan preventivo propuesto se logra una disminución del 22,56% en los costos totales, equivalente a USD 5.650 anuales. Esto valida la hipótesis de que intervenir proactivamente los componentes críticos es más rentable que operar bajo esquemas de run to failure.

Mejora en la disponibilidad y confiabilidad operacional: Con la implementación del plan de mantenimiento, se logra una reducción en el número y duración de las fallas, lo que se traduce en una mayor disponibilidad del equipo. Esto impacta positivamente la continuidad del proceso de fundición, dado que el puente grúa es un equipo cuello de botella en el flujo productivo.

Priorización basada en criticidad como herramienta estratégica: La aplicación de herramientas como la matriz de criticidad, el análisis de Pareto y el diagrama Jack Knife permitió priorizar de forma objetiva los subsistemas del puente grúa. Esta priorización evita la dispersión de recursos y permite enfocar los esfuerzos de mantenimiento en los componentes que más afectan la eficiencia global del sistema.

Cultura de mejora continua y sostenibilidad operativa: Este trabajo no solo propone una solución técnica a un problema puntual, sino que instala una metodología replicable en otros equipos críticos de la fundición. La estandarización de pautas de mantenimiento, el uso de software de gestión y la revisión periódica de indicadores fomentan una cultura de mejora continua, clave para una operación sostenible y competitiva.

Validación del modelo propuesto a través de indicadores de desempeño: La construcción de indicadores cuantitativos —como horas-hombre, costos anuales por tipo de mantenimiento y porcentajes de distribución preventiva vs. correctiva— permite validar empíricamente el éxito del modelo propuesto. Además, habilita su monitoreo y ajuste continuo, alineando el mantenimiento con los objetivos de producción y seguridad de la organización. El análisis sugiere que la implementación de un programa de mantenimiento preventivo basado en RCM es económicamente beneficioso. No solo reduce los costos directos asociados con fallas inesperadas, sino que también mejora la eficiencia operativa, la seguridad y la confiabilidad del sistema de elevación. Esto demuestra la importancia de mantener un enfoque preventivo y proactivo en el mantenimiento de equipos críticos.

El método RCM es perfectamente aplicable dentro de la fundición de cobre Chagres de Angloamerican, sobre todo en los equipos críticos del proceso, puede llevar a la compañía a aumentar la productividad y también a alcanzar la META del “CERO DAÑO” a las personas, al medio ambiente y los equipos.

REFERENCIAS

1. Moubray, J. (1997). Reliability-Centered Maintenance. Industrial Press Inc.
2. Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. (2003). RCM: Gateway to World Class Maintenance. Butterworth-Heinemann.
3. Nowlan, F. S., & Heap, H. F. (1978). Reliability-Centered Maintenance. United States Department of Defense.
4. Moubray, J. (2001). Maintenance Management: Auditing and Benchmarking. Industrial Press Inc.
5. Blanchard, B. S. (2004). Logistics Engineering and Management. Pearson Prentice Hall. 15 16
6. Wireman, T. (2004). Benchmarking Best Practices in Maintenance Management. Industrial Press Inc.
7. O'Hanlon, J. F. (1992). Maintenance Engineering Handbook. McGraw-Hill.
8. Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2006). Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications. CRC Press.
9. Campbell, J. D., & Reyes-Picknell, J. V. (2006). Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management. CRC Press.
10. Rausand, M., & Høyland, A. (2004). System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications. Wiley Interscience.

ANEXOS

ANEXO A: PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

1. REALIZAR PLANES DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMAS CRÍTICOS DE PUENTE GRUA KONE

Para realizar adecuadamente los planes de mantenimiento del sistema se debe tener en cuenta las estrictas normas de seguridad de la empresa, los planes de mantenimiento deben asegurar una intervención segura y eficiente del equipo.

En los planes de mantenimiento deben aparecer los pasos a seguir para una correcta ejecución de la tarea y también debe quedar un registro de esta.

Las pautas de mantención deben quedar ingresadas en el sistema elipse, así como también los comentarios de la ejecución de cada tarea.

1.1. Instrucciones previas a la ejecución de una pauta de mantenimiento

A.- ACTIVIDADES PREVIAS

- 1.- Coordinar el trabajo con el responsable del equipo y/o el operador.
- 2.- Retirar previamente todos los repuestos y materiales necesarios para ejecutar el trabajo.
- 3.- Llevar al punto de trabajo todas las herramientas e instrumentos requeridos para ejecutar un trabajo de calidad. Asegurarse que estén en buen estado.

B.- SEGURIDAD

- 1.- Aplicar las reglas de oro para ejecutar un trabajo seguro (Anexo c).
- 2.- Ejecutar AST (Análisis de Seguridad del Trabajo) y solicitar permiso de trabajo según corresponda (Anexo C).
- 3.- Aplicar una “PRACTICA DE MANTENCION ESPECIFICA PARA EL CONTROL DE RIESGOS”, (Anexo D) si corresponde.
- 4.- Verificar que las condiciones correspondan a un trabajo seguro.
- 5.- Realizar las tareas con los elementos protección personal que sean necesario.
- 6.- Verificar que las protecciones a los equipos se encuentran en buen estado y posicionadas correctamente.

C.- ERGONOMIA

- 1.- Para lugares poco accesibles, instale tarimas o plataformas habilitadas para tal efecto.
- 2.- Tareas que requieran mover herramientas o componentes que pesan más de 25 kilos, recurrir a PUENTES GRUAS, GRUAS, TECLES o GRUAS HORQUILLAS o bien solicitar ayuda.

D.- MEDIO AMBIENTE

- 1.- Al realizar tareas relacionadas con residuos tales como aceites, filtros, guapos, etc., ocupe siempre los recipientes habilitados para contener estos elementos como disposición final.
- 2.- Tener presente que el orden y aseo es parte integral del trabajo, considerar como una actividad dentro del plan de trabajo.
- 3.- Eventualidades como por ejemplo derrames de aceite en el piso, conténgalo con absorbente de aceites y petróleo y luego recójalo. Posteriormente entréguelo al encargado del manejo de los residuos.

E.- CALIDAD

- 1.- Ejecutar un trabajo de calidad a la primera.
- 2.- Evitar el RETRABAJO.

F.- 6 ATRIBUTOS DE LA PLANIFICACION DEL TRABAJO

- 1.- ¿Qué vamos a hacer? (No tener dudas del trabajo a realizar)
- 2.- ¿Quién lo va a realizar? (Número de personas y HH)
- 3.- ¿Cuánto tiempo se requiere? (Justificar tiempo adicional)
- 4.- ¿Cuántos repuestos necesitamos? (Evite sacar repuestos, cuando este en el lugar de trabajo)
- 5.- ¿Cuáles son las principales herramientas que se necesitan? (Evite volver por herramientas olvidadas)
- 6.- Costos estimados.

G.- ACTIVIDADES FINALES

- 1.- Entregar el equipo a los dueños de proceso o de la operación, comentando el trabajo desarrollado.

1.2. **PROCEDIMIENTO PARA PAUTA DE MANTENCION SEMANAL PARA PUENTE GRÚA KONE**

El análisis seguro de trabajo o también llamado AST (anexo C) debe estar firmado por los responsables de la intervención y por los trabajadores involucrados en la tarea.

Además, se debe considerar el procedimiento de trabajo interno de la empresa para la intervención de grúas, monorrieles y tecles (anexo E) y el procedimiento de trabajo en altura (anexo F).

ITEM	ACTIVIDAD	AUX 1	AUX 2	PRINCIPAL
A.- FRENOS DE GANCHO				
01.	REVISAR LIMIT SWICHT DE CARRERA (PULSAR)			
02.	REVISION DE PASADORES Y SEGUROS			
03.	REVISION VISUAL BALATAS (CAMBIAR SI ES NECESARIO			
B.- REDUCTORES VELOCIDAD GANCHOS				
04.	DETECCION DE PERDIDAS DE ACEITE			
05.	REVISION DE NIVEL DE ACEITE			
06.	RELLENO DE ACEITE (SI ES NECESARIO)			
07.	ENGRASAR POLEAS			
08.	REVISAR APRIETE DE PERNOS DE ANCLAJE			

Fuente: Elaboración propia

Tabla A-1. Pauta de mantención semanal Puente Grúa Kone (1)

ITEM	ACTIVIDAD	AUX 1	AUX 2	PRINCIPAL
C.- GANCHOS				
09.	REVISAR Y LUBRICAR			
10.	VERIFICAR QUE NO EXISTAN DAÑOS EN GANCHO (REVISAR SEGURO DE TUERCA, ESTADO DE PERNOS Y PROTECCIONES, FUNCIONAMIENTO DE RODAMIENTOS AXIAL).			
11.	VERIFICAR DESGASTE TRAPICIO			
12.	VERIFICAR DESGASTE GANCHO BASTON			
13.	REVISAR SEGURO DE GANCHO			
14.	VERIFICAR DESGASTE Y APERTURA DE GANCHO PRINCIPAL Y AUXILIAR.			
15.	REVISAR PERNOS DE FLANGE TAMBOR GANCHO PRINCIPAL (UN PERNO CORTADO, GRUA DEBE QUEDAR FUERA DE SERVICIO)			
16.	REVISAR FUNCIONAMIENTO DE POLEAS GANCHO, TODAS LAS POLEAS DEBEN GIRAR.			
D.- REDUCTORES DE VELOCIDAD				
17.	DETECCION DE PERDIDAS DE ACEITE			
18.	REVISION DE NIVEL DE ACEITE			
19.	RELLENO DE ACEITE (SI ES NECESARIO)			
20.	REVISION APRIETE FRENOS DE ANCLAJE			
E.- LUBRICACION				
21.	CHEQUEAR FUNCIONAMIENTO MANUALMENTE			
22.	INSPECCIONAR FUGAS CIRCUITO LUBRICACION			
23.	INSPECCION DEL ESTADO DE RUEDAS Y LUBRICACION			
F.- SISTEMA TRASLACION PUENTE				
24.	REVISION MOTOR TRASLACION PUENTE			
25.	REVISION REDUCTOR TRASLACION PUENTE			

Fuente: Elaboración propia

Tabla A-2. Pauta de mantención semanal Puente Grúa Kone (2)

ITEM	ACTIVIDAD	AUX 1	AUX 2	PRINCIPAL
G.- FRENO PUENTE				
26.	INSPECCION DE VIAS CARRO Y PUENTE			
27.	DETECCIÓN DE PERNOS CORTADOS Y DESNIVELES VIAS (UNION DE RIELES)			
28.	HACER PRUEBAS HERMETICIDAD CABINA			
29.	INSPECCIONAR ESTRUCTURA CABINA (PERNOS DE FIJACIÓN, RECUBRIMIENTO Y ESTADO DE VIDRIOS			
H.- CABLES GANCHOS (3)				
30.	REVISAR ESTADO DE CABLES (4 HEBRAS CORTADAS EN UN METRO O DEFORMACION PERMANENTE, SIGNIFICA CAMBIO INMEDIATO DE ÉSTE).			
31.	DESGASTE DE LAS HEBRAS EXTERIORES Y HEBRAS CORTADAS			
32.	DEFORMACION PERMANENTE (COCAS)			
33.	ESTADO DE LAS POLEAS (VER CANALES, LUBRICAR, REVISAR GIRO)			
34.	ESTADO ESTRUCTURAL GANCHO (DESGASTE Y DEFORMACION)			
I.- FRENOS DE GANCHO				
35.	REVISAR APREITE PERNOS ANCLAJE (AUX 1, AUX 2 Y PRINCIPAL)			
36.	REVISION DESGASTE BALATAS			
J.- GANCHOS				
37.	REVISAR SEGUROS DE EJES POLEAS ((AUX 1, AUX 2 Y PRINCIPAL)			

Fuente: Elaboración propia

Tabla A-3. Pauta de mantención semanal Puente Grúa Kone (3)

TRAPECIO OLLAS

DIAMETROS NOMINALES

COLGADOR	
75 mm diámetro	

ESLABONES MAESTROS (4 C/U)

51 mm diámetro	
306 mm largo	
202 mm ancho	

ESLABONES CORTOS

36 mm diámetro	
173 mm largo	
126 mm ancho	

Fuente: Elaboración propia

Tabla A-4. Pauta de mantención semanal Puente Grúa Kone (4)

CABLES DE ACERO GANCHOS

CABLE PRINCIPAL

Diámetro nominal 20 mm	
------------------------	--

CABLE AUXILIAR N° 1

Diámetro nominal 12 mm	
------------------------	--

CABLE AUXILIAR N° 2

Diámetro nominal 12 mm	
------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

1.3. Consideraciones

Lubricantes: Todos los elementos que están sometidos a desgaste están provistos con graseras individuales.

Prevía aplicación de un nuevo lubricante se debe efectuar una limpieza eliminando el lubricante reseco y la suciedad. Esta operación debe realizarse con el cable instalado, subiendo y bajando el gancho.

No se recomienda el uso de solventes porque ellos eliminan el lubricante del alma del cable. Cabe destacar que para el reductor de izamiento y los motorreductores de traslación cada 1500 horas de uso y 10000 horas de uso, respectivamente, se realizara una limpieza completa y cambio de lubricantes.

Asimismo, se deberá realizar el primer cambio de lubricantes a las 300 horas de uso, los rodamientos y descansos se deberán llenar con lubricante hasta el 50 a 75% de su espacio interior libre para no producir sobrecalentamientos excesivos. Este procedimiento se realizará a lo menos cada mes de uso de la grúa.

ELEMENTO	LUBRICANTE RECOMENDADO / CANTIDAD
Ruedas grúa y carro	Shell Alvania EP Grase 1 Esso Beacon EP1 Mobil Oil Mobilplex 47
Descanso tambor	Shell Alvania EP Grase 1 Esso Beacon EP1 Mobil Oil Mobilplex 48
Descanso Aparejo	Shell Alvania EP Grase 1 Esso Beacon EP1 Mobil Oil Mobilplex 47
Poleas	Shell Alvania EP Grase 1 Esso Beacon EP1 Mobil Oil Mobilplex 47
Cable de izamiento	Shell Cardium Compound D Mobil Grease Graphited N°3
Motor de traslación	Shell Cardium Compound D Mobil Grease Graphited N°3

Fuente: Elaboración propia

Tabla A-5. Pauta de lubricantes.

Reductores: Se debe comprobar el nivel de aceite, si fuera necesario agregar aceite del mismo tipo y marca.

Comprobar si no se escuchan ruidos anormales y si los descansos no se calientan.

Comprobar si hay fugas de aceite por los ejes, retenes o cualquier otra zona.

Comprobar el apriete de los pernos.

Comprobar el estado del aceite y cambiarlo si es necesario.

Frenos: Los motorreductores de traslación e izamiento están provistos de frenos electromagnéticos de disco. Para su descripción, instrucciones de mantenimiento y reparación referirse a las instrucciones que para tal efecto entrega el fabricante del equipo.

Cables: Mensualmente se observará si existen alambres rotos, la distorsión de los tirones, el estado de desgaste.

Debe tenerse presente que el desgaste de los cables se produce gradualmente y se manifiesta a través de espiras cortadas y disminución en el diámetro.

El cable se deberá mantener en perfecto estado de limpieza y con suficiente cantidad de lubricante para evitar la corrosión y disminuir el desgaste.

Como control del estado general del cable se recomienda medir su diámetro y compararlo con el diámetro nominal.

Los cables deberán ser substituidos cuando presenten cualquier tipo de anomalías.

Torques: Los pernos de fijación de cada uno de los equipos han sido torquados en fábrica. En caso de ser necesario un reemplazo del perno, o de que el equipo sea retirado y vuelto a montar, deberán retorquarse los pernos de acuerdo con los datos siguientes.

Los pernos de fijación de las vigas principales no deben ser reutilizados, y en caso de ser retirados, deben reemplazarse.

Los pernos suministrados con la grúa están cubiertos bajo una de las dos normas indicadas;

Norma SAE que califica sus pernos de acuerdo con:

Grados 2 Pernos de uso corriente SAE 2, material ASTM A307, resistencia mínima de tracción 64.000 psi.

Grados 5 Pernos de alta resistencia SAE 5 material ASTM A449, resistencia mínima de tracción 105.000 psi.

Grados 8 Pernos de alta resistencia SAE 8 material ASTM A490, resistencia mínima de tracción 150.000 psi.

Norma DIN que califica sus pernos de acuerdo con:

DIN 5.6 Pernos de uso corriente con resistencia mínima a la tracción de 5.600 kg/cm².

DIN 8.8 Pernos de uso corriente con resistencia mínima a la tracción de 8.800 kg/cm².

DIN 10.9 Pernos de uso corriente con resistencia mínima a la tracción de 10.900 kg/cm².

Alimentación botonera: Deberá revisar a lo menos una vez al año el estado de apriete de los cables en las borneras y botonera, así como también el apriete de los pernos de los soportes del riel.

Repuestos: Se recomienda mantener permanentemente en bodega un mínimo de repuestos críticos, tales como; sellos, rodamientos, discos de freno etc. El detalle y las especificaciones de los repuestos para cada uno de los componentes de la grúa o pluma pueden extraerse de los manuales de cada uno de ellos, entregados en los anexos de este manual.

ANEXO B: CHECK LIST

1. PROCEDIMIENTO PARA PAUTA DE CHECK LIST
OBLIGAGATORIO ANTES DE COMENZAR JORNADA LABORAL
PARA PUENTE GRÚA KONE

Se seguirá el mismo procedimiento a aplicar que para la pauta de mantención semanal.

Considerar las instrucciones previas de la ejecución de una pauta de mantención. Tener firmado AST por parte de los involucrados y considerar procedimientos internos de la empresa (Anexo E y F).

CHECK LIST PUENTE GRÚA KONE				
OPERADOR:			FECHA:	
ITEM	CONDICIÓN			OBSERVACIONES
	BUENA	REGULAR	MALA	
Ruedas				
Ejes				
Descansos				
Rodamientos				
Engranajes motriz				
Piñón motriz				
Cadena				
Engranajes reductor grúa				
Ejes reductor grúa				
Sellos de aceite grúa				
Aceite reductor grúa				
Descansos reductor grúa				
Frenos grúa				
Bandas de freno carro				
Zapatas carro				
Brazo palanca de freno carro				
Topes de goma				
Mecanismo de giro				
Tenazas				
Pintura				
Pernos de amrre				
Rótula boggle				
Eje soporte grúa				
Barandas y escaleras				
Ruedas				
Ejes				
Descansos carro				
Mecanismo de traslación				
Rodamientos				
Engranaje motriz				
Piñón motriz				
Cadena				
Engranajes reductor				
Ejes r eductor carro				
Sellos de aceite carro				
Descansos reductor carro				
Freno carro				
Zapatas carro				
Bandas de freno carro				
Brazo palanca de freno carro				

Fuente: Elaboración propia

Tabla B-1. Pauta de Check List Puente Grúa Kone (1)

CHECK LIST PUENTE GRÚA KONE				
OPERADOR:			FECHA:	
ITEM	CONDICIÓN			OBSERVACIONES
	BUENA	REGULAR	MALA	
Pleas aparejo				
Ejes poleas				
Descansos poleas				
Polea compensación				
Descansos poleas de compensación				
Block o aparejo				
Gancho				
Cable				
Rodamiento empuje de gancho				
Poleas limite de emergencia				
Cable limite de emergencia				
Contrapeso limite de emergencia				
Motor izamiento principal				
Motor traslación grúa				
Motor Traslación carro				
Motor traslación porta carro				
Freno izamiento				
Freno traslación grúa				
Freno tralación carro				
Freno Traslación porta carro				
Tambor tomacorriente				
Alimentación flexible carro				
Carro tomacorriente				
Botonera de comandos				
Instrumentos de cabina				
Cable tambor de alimentación				
Caja control contactores				
Resistencias				
Luminarias				
Baliza				
Bocina alarma				
Limite carrera grúa				
Limite carrera carro				
Limite carrera portacarro				
Limite carrera izamiento				
Limite carrera izamiento de emergencia				

Fuente: Elaboración propia

Tabla B-2. Pauta de Check List Puente Grúa Kone (2)

ANEXO C: HISTORIAL DE FALLAS 2022 PUENTE GRÚA KONE

ANEXO FALLAS (2022)		
SISTEMA	FALLA	N° FALLAS
Elevación	Rotura de gancho	1
	Deformacion del gancho	2
	Desgaste cable	14
	Juego en poleas	11
	(G) Motor	5
	(G) Desgaste engranajes	12
	(G) Desgaste cable reels	2
Alimentación	(G) Desgaste botonera	3
	(C) Fallo parada de emergencia	2
	(C) Baliza traslación	8
	(C) Sirena traslación	3
	(C) Sirena y y baliza de izaje	4
	(C) Corte en límite de izaje de contrapes	3
	(C) Corte en límite de izaje superior	2
	(C) Corte en límite de izaje inferior	2
	(C) Corte en límite de carrera de puente	3
	(C) Corte en límite de carrera de carro	5
	(C) Corte en límite de sobrecarga (celda)	3
	Desgaste columnas soportes vigas carri	1
Mecánico	(C) Desgaste finales de carrera	2
	(G) Desgaste finales de carrera	3
	Corte en límite de izaje	4
	Freno de carga	7
Traslación	(C) Motor	1
	(C) Desgastes engranajes	12
	Rueda trabada	7
	Caja reductorta elevador ppal	5
	Guias de tambor	3
	Tambor del elevador	7
	Caja reductorta desplazamiento carro	3
	TOTAL	140

ANEXO D: FMECA PUENTE GRÚA KONE

PUENTE GRÚA KONE																
SISTEMAS CRÍTICOS																
Referencia de información			Evaluación de la consecuencia					Acción a falta de					Tareas Propuestas			
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
								S1	S2	S3						
								O1	O2	O3						
								N1	N2	N3						
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	Tarea de sustitución cíclica Realizar cambio de gancho			
2	A	2	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-				
3	D	1	N	-	-	-	S	-	-	-	-	-	Inspección Visual del gancho Tarea a condición			
4	D	5	S	N	N	S	S	-	-	-	-	-				
5	A	9	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	Medición del desgaste en la polea Tarea de sustitución cíclica			
6	A	1	S	N	N	S	S	-	-	-	-	-				
7	A	8	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	Realizar cambio de engranajes Tarea a condición			
8	A	7	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-				
9	C	6	S	N	N	S	S	-	-	-	-	-	Medición de Aislación, corriente y tensión Tarea a condición			
10	A	6	S	N	N	S	S	-	-	-	-	-				
11	B	2	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	Reapretes de guías, Verificar desgastes, verificar correcta posición del cable y lubricación. Tarea de sustitución cíclica			
12	A	5	S	N	N	S	S	-	-	-	-	-				
13	B	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	Medición de Aislación, corriente y tensión Tarea a condición			
14	A	4	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-				

ANEXO E: TABLAS DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN NPR (SEVERIDAD, OCURRENCIA, DETECCIÓN)

Criterios sugeridos para la evaluación de criticidad.
Fuente: Norma SAE J1739.

Efecto	Criterio: Severidad del efecto	Ranking
Peligros sin advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad, cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla no se advierte al ocurrir.	10
Peligros con advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad, cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla se advierte al ocurrir.	9
Muy alto	Perturbación grave a la línea productiva. Las pérdidas pueden alcanzar al 100% del producto. Equipo inoperable, pérdida de la función primaria. Cliente muy insatisfecho.	8
Alto	Perturbación menor en la línea productiva. La producción puede tener que ser ordenada y una parte desechada (menor al 100%). Equipo operable, pero con un nivel de calidad reducido. Cliente insatisfecho.	7
Moderado	Perturbación menor en la línea productiva. Una porción (menor al 100%) puede tener que ser desechada (no ordenada). Equipo operable, pero con algunos ítems de confort inoperables. El cliente experimenta insatisfacción.	6
Bajo	Perturbación menor en la línea productiva. 100% del producto tiene que ser adaptado. Equipo operable, pero con algunos ítems de confort con un nivel de calidad reducido. El cliente experimenta algo de insatisfacción.	5
Muy bajo	Perturbación menor en la línea productiva. El producto puede ser ordenado y una porción (menor al 100%) adaptado. Ajustes y terminaciones y sonido en el ítem no están en conformidad. Defecto notado por la mayoría de los clientes.	4
Menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y chirridos que no están en conformidad. Defecto notado por el promedio de los clientes.	3
Muy menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y pequeñas vibraciones en el ítem que no están en conformidad. Defecto notado por la minoría de los clientes.	2
Ninguno	Sin efectos	1

Criterios sugeridos para la evaluación de la ocurrencia.
Fuente: Norma SAE J1739.

Probabilidad de falla	Posible tasa de falla	Ranking
Muy alta: La falla es casi inevitable	≥ 1 en 2	10
	1 en 3	9
Alta: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos, que presentan fallas con frecuencia	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderada: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos que experimentan fallas ocasionales, pero no en mayores proporciones	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2.000	4
Bajas: Fallas aisladas asociadas con procesos similares	1 en 15.000	3
Muy baja: Solo fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos	1 en 150.000	2
Remota: La falla es poco probable. No se repiten las fallas de procesos casi idénticos	≤ 1 en 1.500.000	1

Criterios sugeridos para la evaluación de la detección.
Fuente: Norma SAE J1739.

Detección	Criterios: Probabilidad de detección de un modo de falla	Ranking
Casi imposible	No existen controles disponibles para detectar el modo de falla	10
Muy remota	Muy remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	9
Remota	Remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	8
Muy baja	Muy baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	7
Baja	Baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	6
Moderada	Moderada probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	4
Alta	Alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	3
Muy alta	Muy alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	2
Casi cierta	Los actuales controles son casi certeros para detectar el modo de falla. Detección confiable	1

ANEXO F: FORMATO DE ANÁLISIS SEGURO DE TRABAJO (AST) Y REGLAS DE ORO ANGLOAMERICAN

Trabajo a realizar:	
Área/Lugar de trabajo:	
Fecha:	Empresa:
Peligros Principales Identificados:	
Línea de Fuego Identificada:	

1.-¿El personal está capacitado para realizar la actividad?	Si	☐	No	☐
2.-¿El peligro mas crítico de la tarea fue identificado?	Si	☐	No	☐
3.-¿Evaluó la aplicación de bloqueos físicos requeridos para energías peligrosas?	Si	☐	No	☐
4.-¿Evaluó las condiciones del entorno de trabajo?	Si	☐	No	☐
5.-¿Evaluó el riesgo de incendio y vías de escape disponibles?	Si	☐	No	☐

[illegible]

TRABAJADORES INVOLUCRADOS EN LA TAREA:

Nombre:	Rut:	Firma:

SE COORDINA TRABAJO CON:

Nombre:	Firma:	Proceso:

REVISADO POR: (Supervisor o líder del equipo)

Nombre:	Firma:

Comentarios y otros:



Reglas de Oro en Seguridad	
N°1: "Aspectos Básicos de Seguridad", No realice una tarea a menos que esté entrenado, tenga los recursos y esté autorizado para hacerla	N°6: "Vehículos de transporte", Siempre siga las reglas del tránsito de su faena.
N°2: "Operación de Minas, Canteras y Acopios", No ingrese en áreas restringidas a menos que tenga permiso. No ingrese en zonas no fortificadas. Maneje los explosivos y realice las tranaduras de acuerdo a procedimiento. Mantenga la frente y los taludes con un ángulo seguro.	N°7: "Levante y manejo de carga", Asegurese que el equipo/dispositivo de levante es capaz de levantar la carga. Nunca permita que alguien esté bajo la zona de caída/recorrido de la carga.
N°3: "Espacios Confinados", Nunca ingrese a un espacio confinado sin seguir el procedimiento para espacios confinados de su faena.	N°8: "Embalse de agua o líquidos", Siempre utilice chaleco salvavidas y nunca trabaje solo dentro o cerca de un embalse de almacenamiento de agua/líquido.
N°4: "Trabajo en altura", Siempre use equipo de protección contra caídas al trabajar en altura.	N°9: "Productos químicos y sustancias peligrosas", Asegurese que sabe como manejar, almacenar y desechar cualquier producto químico o sustancia peligrosa con la cual está trabajando.
N°5: "Bloqueo de equipos y energía", Asegurese que todas las fuentes de energía han sido aisladas, y la energía almacenada haya sido liberada o asegurada antes de trabajar en un equipo. Bloquee, señalice y pruebe.	N°10: "Metales calientes", Solo ingrese o trabaje en áreas donde hay metal/escoria caliente solo si tiene los permisos.

**ANEXO G: PROCEDIMIENTO INTERVENCIÓN EN PUENTES GRUAS,
MONORRIELES Y TECLES**

 AngloAmerican DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantención	Práctica Código: PNP.DFCSGPMA.0014	Fecha Inicio Vigencia: 01/10/2017 Versión (D2): 1.8, CURRENT, Obsoleto Página: 1 de 7
---	---	---

**PM12-Intervención en Puentes Grúas,
Monorrieles y Tecles**

Estado	Elaborador	Revisor	Aprobador
Obsoleto	Gecele Piero		Superintendencia de Mantención

 AngloAmerican DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantenición	Práctica Código: PNP.DFCSGPMA.0014	Fecha Inicio Vigencia: 01/10/2017 Versión (D2): 1.8, CURRENT, Obsoleto Página: 3 de 7
--	---	---

Intervención en Puentes Grúas, Monorrieles y Tecles



PRESENTACION

Todo equipo de manejo de materiales y elevación de carga está considerando crítico, especialmente aquellos que transportan líquidos calientes (Eje, escoria, coque blower, otros).



La mantención preventiva juega un papel fundamental en la eficiencia y seguridad de operación de estos equipos

El Mantenedor debe detectar siempre los riesgos que se pueden generar si su tarea de mantención no se desarrolla dentro de los parámetros establecidos en las pautas de mantención.

Esta Práctica entrega orientaciones generales que debe tener presente el Mantenedor, por la seguridad de otras personas y la suya propia.

La impresión o copia de este documento constituye una Copia No Controlada. El usuario debe verificar su vigencia en Documentum.

 AngloAmerican DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantenición	Práctica Código: PNP.DFCSGPMA.0014	Fecha Inicio Vigencia: 01/10/2017 Versión (D2): 1.8, CURRENT, Obsoleto Página: 4 de 7
--	---	---



EQUIPOS DE LEVANTE

Los equipos de levante en la Fundación se pueden dividir en dos grandes grupos:

- * Puentes Grúas
- * Tecles

Los Puentes Grúas levantan y transportan grandes pesos, conducidos por Operadores situados en Cabinas que se desplazan en conjunto con la carga.

Los tecles son equipos diseñados para levantar cargas, normalmente operados por una persona que permanece estática en un lugar. Cuando la carga se desplaza en un lugar a otro (normalmente distancias cortas), reciben el nombre de Monorrieles.



INTERVENCIONES EN PUENTES GRUAS - TECLES

Las indicaciones que se entregan están principalmente orientadas a los Puentes Grúas, debido a que son ellos los que presentan mayor riesgo asociado cada vez que el mantenedor realiza intervenciones. El riesgo asociado a los tecles normalmente está relacionado con sobrepasar la capacidad de carga y/o situarlos (colgarlos), en vigas o soportes que no resisten la carga que se puede izar en algún instante.

Usted como Mantenedor debe considerar los siguientes aspectos de control de los riesgos en cada oportunidad que intervenga en un Puente Grúa:

1. Nunca intervenga u opere un Puente Grúa si no ha sido autorizado ni tiene los conocimientos para ello.
2. Todo trabajo que realice en estos equipos debe estar coordinado con Operaciones.
3. Usted debe recibir el Equipo en los lugares que se han establecido para mantención.
4. Si por situaciones de fallas, el equipo ha quedado ubicado en otro lugar y con carga debe, en conjunto con el Operador oficial, procurar dejar la carga en piso firme y desplazar el equipo a su lugar de mantención.

 AngloAmerican DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantenición	Práctica Código: PNP.DFCSGPMA.0014	Fecha Inicio Vigencia: 01/10/2017 Versión (D2): 1.8, CURRENT, Obsoleto Página: 5 de 7
--	---	---

Si esta operación no puede realizarse, usted deberá informar a su jefatura, quien entregará instrucciones precisas para enfrentar esta situación

5. Usted como Mantenedor no debe efectuar trabajos en ninguna parte del Puente Grúa si no ha colocado su **"Candado de Bloqueo con sus respectivas tarjetas de identificación"** en el tablero eléctrico del sistema y en los comandos operacionales locales, además debe realizarse la comprobación de la energía cero.-
6. Asegúrese que todos los comandos de control estén en posición OFF.
7. Si Usted debe realizar alguna intervención fuera de la cabina, debe considerarse como **Trabajo en Altura, para lo cual deberá usar su arnés de seguridad certificado y previamente revisado**
8. Si se requiere "ordenar" el cable en el tambor, nunca debe Usted tomarlo con sus manos, o hacer alguna maniobra con una barreta o algo similar.
9. Si Usted debe mover el Equipo por razones de comprobación, informe esta situación a Operaciones y visualice los movimientos de la otra Grúa (Nave de Conversión).
10. Ponga mucha atención cuando hace comprobaciones de los interruptores de límite de carreras. Alguno de ellos puede estar mal regulado o no actuar.
11. Evite dejar herramientas en la estructura del Puente Grúa. Estos pueden quedar olvidados y caer sobre personas y/o dañar componentes de equipo.
12. Si Usted desarrolla funciones de lubricación, controle los derrames sobre la estructura o caída hacia el piso de la Nave.
13. Cuando ejecute trabajos de desarme de piezas de los Equipos, aisle a nivel de piso el sector del Equipo (Puente Grúa), con el fin de evitar el tránsito de personas.

Ponga especial atención a todas las Pautas de Inspección y Mantenición de los Equipos de Levante.



Cualquier anomalía comuníquela de inmediato a su jefatura e informe a Operaciones, especialmente aquellas que se relacionan con los cables, ganchos, ejes y dispositivos de seguridad.

 AngloAmerican DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantenición	Práctica Código: PNP.DFCSGPMA.0014	Fecha Inicio Vigencia: 01/10/2017 Versión (D2): 1.8, CURRENT, Obsoleto Página: 6 de 7
--	---	---

Verifique que los Tecles o Monorrieles tengan la indicación de la capacidad de carga, **la revisión y certificación vigente**



TERMINO DE INTERVENCION DE LOS EQUIPOS DE LEVANTE

Considere los siguientes puntos al término de la intervención en los equipos de levante:

1. Verifique que están conectados todos los dispositivos de seguridad del Equipo: controles de término de carrera, alarma de movimiento, frenos de emergencia, otros.
2. Inspeccione en detalle que no hay herramientas olvidadas o repuestos en la cabina, estructura o rieles de los Equipos de Levante.
3. Compruebe que ha instalado todas las protecciones y barandas que pudo haber retirado para efectuar la mantención y/o inspección.
4. Si usted requiere hacer una prueba antes de entregar el equipo, de igual forma instale todos los dispositivos de protección.
5. Preocúpese del orden y aseo del lugar en donde realizó la mantención.
6. Retire todos sus **"Candados de Bloqueo"** y dispositivos de seguridad que utilizó.-.
7. Realice con el Operador del Equipo las pruebas funcionales del equipo.
8. Verifique que los Tecles y/o Monorrieles no queden en lugares que puedan afectar al proceso operacional, o sus ganchos queden a una altura tal que una persona pueda golpearse.

 AngloAmerican DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantención	Práctica Código: PNP.DFCSGPMA.0014	Fecha Inicio Vigencia: 01/10/2017 Versión (D2): 1.8, CURRENT, Obsoleto Página: 7 de 7
---	---	---

**RECUERDE:**

Cualquier duda o problema que se presente cuando está trabajando en Puentes Grúas, Monorrieles o Tecles, tome contacto de inmediato con su jefatura.

ANEXO H: PROCEDIMIENTO DE TRABAJO EN ALTURA

 DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantención	Procedimiento PNP.DFCSGPMA.0020	Fecha Inicio Vigencia : 04.11.2013 Versión: 1.5 Página 1 de 8
--	--	---

PM18-TRABAJOS EN ALTURA

Estado	Elaborador	Revisor	Aprobador
Vigente	Cepeda Perez Ana Lidia	Geciele Piero	SuperIntendencia de Mantención

La impresión o copia de este documento constituye una Copia No Controlada. El usuario debe verificar su vigencia en Documentum.

 DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantenición	Procedimiento PNP.DFCSGPMA.0020	Fecha Inicio Vigencia : 04.11.2013 Versión: 1.5 Página 3 de 8
---	--	---

TRABAJOS EN ALTURA

1 PRESENTACION

Los trabajos en altura tienen el riesgo asociado de la caída de las personas que se encuentran en altura. Otro riesgo asociado a este trabajo es la caída de elementos, herramientas y materiales sobre personas que puedan pasar por debajo del lugar en donde se desarrolla el trabajo en altura.



Este documento tiene como único objetivo señalar y entregar normas preventivas a fin de controlar o eliminar los riesgos de accidentes con consecuencias para el personal que desarrolla trabajos en altura y/o que circula por el área.

2 MARCO REGULATORIO

- D.S. 132 "Reglamento de Seguridad Minera", Art.47, 48 y 50.
- NCh 1258, vigencia a partir del año 2010 con respecto al uso de EPP.
- Regla de oro N° 4 "Trabajo en Altura".
- Estándar AFR N° 7 "Trabajo en Altura".
- Estándar "Equipos de Protección Personal (EPP)".

3 DISPOSICIONES GENERALES

Si Usted debe desarrollar trabajos en altura considere lo siguiente:

1. El personal seleccionado y autorizado debe ser apto para trabajar en altura. Se debe prestar atención específica a factores de riesgos como: personal que sufre alguna condición médica como vértigo, epilepsia o personal que tenga peso excesivo.
2. **Antes de realizar un trabajo en altura deberá realizar previo chequeo médico.**
3. **EL arnés de seguridad deberá ser certificado y revisado previamente**

El desarrollo de trabajos en altura debe contar con la autorización correspondiente, de acuerdo a lo establecido por el **Sistema de Administración de Permisos de Trabajo**, acompañado de una evaluación de riesgos (AST, Inventario de Riesgos).

 ANGLO AMERICAN DFC - DIV FUNDACION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantenimiento	Procedimiento PNP.DFCSGPMA.0020	Fecha Inicio Vigencia : 04.11.2013 Versión: 1.5 Página 4 de 8
---	--	---

3. El riesgo de caída a distinto nivel, debe ser minimizado, utilizando la jerarquía de los controles (Eliminación, Sustitución, Aislamiento, Control de Ingeniería, Control Administrativo).
4. Una de las causas de caídas de las personas es el uso de estructuras, andamios, plataformas y escalas que no cumplen los requerimientos técnicos para ser usados dentro de márgenes de seguridad.

Todo el equipo para trabajo en altura debe cumplir y ser usado de acuerdo a los estándares de diseños y las especificaciones del fabricante.

Para la construcción de escalas, estructuras y otras, se deben considerar las indicaciones de las Normas Chilenas sobre la materia y las que se encuentran en las "Normas Básicas Sobre Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente Para Compañías Contratistas o de Servicios Externos.

5. Revise la construcción de las superficies que empleará para su trabajo, que cumplan las disposiciones de seguridad. Si detecta alguna anomalía, informe de inmediato a su jefatura y no la use.

NUNCA USE ELEMENTOS IMPROVISADOS O CONSTRUIDOS POR PERSONAS SIN LOS CONOCIMIENTOS NECESARIOS. USELOS PARA EL FIN QUE FUERON CONSTRUIDOS. NO HAGA ADAPTACIONES Y/O MODIFICACIONES EN LOS ELEMENTOS EMPLEADOS PARA TRABAJOS EN ALTURA.

6. Si Usted necesita construir una superficie para trabajar en altura, deberá seguir las indicaciones técnicas proporcionadas por su jefatura y el Departamento de Prevención de Riesgos de la Fundación.
7. Cuando le corresponda desarrollar un trabajo en altura, hágase una auto evaluación de su estado físico. Si antes o durante el trabajo en altura siente molestias, baje a superficie e informe a su jefe.

RECUERDE QUE USTED DEBE TENER UN CHEQUEO MÉDICO VIGENTE Y AUTORIZACIÓN PARA DESARROLLAR TRABAJOS EN ALTURA.

8. Es necesario evaluar las condiciones ambientales, en general no es recomendable trabajar con vientos fuertes y tampoco estando las superficies de trabajo mojadas.
9. Usted debe señalar el área en donde se desarrollarán los trabajos en altura, colocando cinta plástica o mallas, además de letreros de advertencia para que otras personas no circulen por debajo del lugar.
10. No realice trabajos en altura en las proximidades de líneas de energía eléctrica.

Las escaleras para usar en trabajos eléctricos deberán ser de fibra de vidrio

11. Si Usted debe subir por escalas, siempre use las dos manos para afirmarse. Las herramientas súbalas en su cinturón o por medio de un balde o

 DFC - DIV FUNDICIÓN CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantenimiento	Procedimiento PNP.DFCSGPMA.0020	Fecha Inicio Vigencia : 04.11.2013 Versión: 1.5 Página 5 de 8
---	--	---

recipiente elevado por medio de una cuerda.. Al momento de bajar la escala hágalo de frente y con las manos desocupadas

PREOCUPESE DEL ANGULO DE APOYO DE SU ESCALA, Y SI ES FACTIBLE AMARRELA A LA ESTRUCTURA EN DONDE LA APOYO.

Se recomienda que la distancia desde la base de la escala al punto de apoyo debe ser equivalente a 1/4 del apoyo superior de la escala y debe sobrepasar en 90 a 100 cm.

12. Durante la permanencia en la superficie elevada, realice constantemente evaluaciones del estado de ella. Evite hacer movimientos rápidos y que sometan a la estructura a cargas dinámicas.
13. Cuando exista el potencial de una caída de más de 1.8 metros el personal debe usar equipos de protección de caídas como arnés tipo paracaídas de 4 argollas, incluyendo línea de seguridad de tres puntas (NCh 1258) y barboquejo.
14. Durante los trabajos y desplazamientos en altura se deberá permanecer amarrado en todo momento, debiendo estar afianzado a lo menos en un punto antes de soltarse del otro.
15. El uso de amortiguador de caída o carrete de inercia será obligatorio cuando se realicen trabajos por sobre los 5 metros de altura, dependiendo lo que indique la evaluación de riesgos y las condiciones del terreno. **Nunca se deberá usar una línea de vida con absorbedor de caídas a una altura inferior a 5 mts.**
16. Los arneses corporales deben incorporar cintas anti-traumas. Estas son cintas que pueden ser soltadas luego de una caída. El uso de correas para pies alivia la restricción en la circulación de la sangre, permitiendo así un período más largo para un rescate seguro.
17. Antes de usar su arnés, **REVISELO**, si se encuentra dañado, deteriorado, gastado, con picaduras de piola, etc., no podrá usarlo, debiendo dársele de baja y retirarlo de faena. De igual forma revise los puntos de anclaje, estos deben ser capaces de resistir, en el caso del cable de acero, debe ser 5 mm con una fuerza mínima de ruptura de 15 kN (aproximadamente 3.372 lbf). (Nch 1258/3).

La fuerza mínima de ruptura de la cuerda de fibra debe ser 22 kN. (Nch 1258/3).

18. Cuando se requiera trabajar a una distancia de menos de dos metros de una abertura en la que podría caer, se deberá utilizar dispositivos para evitar caídas, tales como cabos de vida y arnés como mínimo.

 DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantenición	Procedimiento PNP.DFCSGPMA.0020	Fecha Inicio Vigencia : 04.11.2013 Versión: 1.5 Página 6 de 8
---	--	---

19. Para circular sobre techos o estructuras similares, instale plataformas constituidas por dos tablonos de 2" x 10" y 3,20 mts. de largo preferentemente de álamo, en buen estado y sin nudos, con 3 travesaños para repartir la carga.
20. Si Usted debe desarrollar trabajos de corte y soldadura o cualquier trabajo con llama abierta en altura, use arnés de material ignífugo de tres argollas, una en espalda y dos de posicionamiento lateral. Este no debe contar con argolla en pecho para evitar un shock eléctrico al momento de soldar. Se debe contar además con cintas ignífugas o línea metálica de seguridad, en el caso de ser así, el cable debe poseer funda de PVC. Ambos elementos (arnés y línea de seguridad debe cumplir con aprobación Nch 1258)
21. Cuando se utilicen herramientas al realizar trabajos en altura se deberá contar con un sistema de amarre para sus herramientas manuales, para evitar los riesgos de caída. Controle todas las herramientas que mantiene en el área, cuidando que no vayan a caer. De igual forma no deje objetos sobre estructuras superiores, aunque ellos sean de tamaño reducido, la caída de un perno de gran altura puede provocar serias lesiones a una persona.
22. No permita que suban personas no autorizadas a las superficies de trabajo en altura.
23. Cuando exista potencial de caída de mas de 1.8 metros en zonas no protegidas, el acceso debe ser restringido y controlado mediante evaluación de riesgo.
24. Cuando operadores o mantenedores necesiten acceder periódicamente a sitios en altura (maquinarias móviles, instalaciones) estas deben poseer vías de accesos con pasamanos. Cuando no se pueda instalar pasamos, se deberá considerar el uso de dispositivos para impedir la caída, dependiendo del resultado de una evaluación de riesgo en cada situación.
25. Cada vez que se trabaje en altura, trabajador no puede estar solo en las tareas, siempre acompañado.

4. UTILIZACIÓN E INSTALACIÓN DEL ARNÉS DE SEGURIDAD Y ANCLAJES

1. Verifique que su arnés sea certificado y de cuatro argollas.
2. **VERIFIQUE QUE ESTE EN BUENAS CONDICIONES Y SIN DAÑOS VISIBLES**
3. Verifique características ignífugas si corresponde.
4. Tomar el arnés por la argolla-D ubicada en la espalda. Sacudir el arnés para que todas las correas cuelguen en su correcta ubicación.

 DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantención	Procedimiento PNP.DFCSGPMA.0020	Fecha Inicio Vigencia : 04.11.2013 Versión: 1.5 Página 7 de 8
--	--	---

5. Si las correas de pecho, pierna y/o cintura se encuentran abrochadas, soltar las correas y desabrocharlas.
6. Deslizar las correas sobre los hombros de manera que la argolla-D se ubique al centro de la espalda entre los omóplatos.
7. Tirar de la correa de la pierna, entre las piernas y conectar al extremo opuesto. Repetir con la otra correa de pierna. Si el arnés viene equipado con cinturón, abrochar la correa de cintura después de las correas de piernas.
8. Conectar la correa de pecho y posicionar en el área central del pecho. Apretar para mantener tensas las correas de hombros.
9. Luego de haber abrochado todas las correas, tensar todas las hebillas de manera que el arnés se ajuste al cuerpo y a la vez permita un amplio rango de movimiento. Hacer pasar el extremo libre de las correas por los pasadores.
10. Verificar que el arnés cuente con la cinta anti trauma.
11. Realice el anclaje siempre sobre la cabeza
12. Inspeccione el punto de anclaje y verifique que no tenga daños antes de conectarse a él, este debe ser adicional al sistema de arnés de seguridad como ej. línea de vida, fajas conectoras, etc.
13. Los anclajes alrededor de vigas, pueden debilitar la línea debido a la acción cortante de los bordes, utilizar siempre una faja conectora en estos casos.
14. No conecte dos mosquetones entre sí.
15. Una vez que haya conectado su mosquetón, verifique que esté bien asegurado y que no pueda abrirse accidentalmente.
16. Inspeccione todo equipo de protección contra caídas antes de cada uso, aparte de la inspección según programa.
17. No conecte su mosquetón a un objeto que pueda ejercer presión sobre el seguro de tal forma que pueda abrirlo.

5 TERMINO DE TRABAJOS EN ALTURA

Al terminar su trabajo en altura, considere lo siguiente:

1. Revise que no está dejando material olvidado en las estructuras, plataformas o techumbres.
2. **Limpie y ordene el lugar de trabajo, disponga residuos según corresponda**

 DFC - DIV FUNDICION CHAGRES SG - SGI General PMA - Prácticas Mantención	Procedimiento PNP.DFCSGPMA.0020	Fecha Inicio Vigencia : 04.11.2013 Versión: 1.5 Página 8 de 8
---	--	--

2. Baje por la escala de frente y tomado con ambas manos.
3. Si es de su responsabilidad, desarme la superficie de sustentación y/o retire la escala.
4. Retire la señalización de área.
5. Verifique el orden y limpieza del lugar.
6. Informe a Operaciones que ha finalizado su trabajo en el área.
7. Deje registro de entrega trabajo en AST y cierre Permiso Trabajo.



RECUERDE:

Cualquier duda o problema que se presente cuando está trabajando en altura, tome contacto de inmediato con su jefatura.