



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

“OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN LAS GRÚAS
PUENTE C-24974 PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD EN LA
EMPRESA SOUTHERN PERÚ COPPER CORPORATION, MOQUEGUA -
2018”

PRESENTADO POR:

Bach. LUIS ALBERTO CARRERA FERNANDEZ

ASESOR:

Mg. YURY VASQUEZ CHARCAPE

**PARA OPTAR GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN INGENIERÍA
MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
DE MANTENIMIENTO**

MOQUEGUA – PERÚ

2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1 Problema general:	2
1.2.2 Problema Específico:	2
1.3 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1 Objetivo general:.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1 Justificación Teórica	4
1.4.2 Justificación Metodológica	4
1.4.3 Justificación Práctica.....	4
1.4.4 Limitaciones de la investigación.....	4
1.5 VARIABLES	6
1.5.1 Operacionalización de variables	6
1.6 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.6.1 Hipótesis General:.....	8
1.6.2 Hipótesis específicas:.....	8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	9
2.2 BASES TEÓRICAS.....	12
2.2.1 Plan de mantenimiento.....	12

2.2.2	Indicadores.....	16
2.2.3	Disponibilidad.....	17
2.2.4	Confiabilidad.....	19
2.2.5	Gestión del mantenimiento	20
2.2.6	Optimización.....	22
2.2.7	Estadística Aplicada en el mantenimiento	22
2.2.7.1	Probabilidad de falla (p) y tasa de falla (λ).....	22
2.2.7.2	Densidad de fallas f(t).....	23
2.2.7.3	Tasa de fallas $\lambda(t)$	24
2.2.7.4	Definiciones de Confiabilidad	25
2.2.8	Conceptos de costos en el mantenimiento	28
2.2.9	Gestión de Criticidad.....	29
2.2.9.1	Criticidad.....	30
2.2.9.2	Análisis de criticidad.....	31
2.2.10	Modelo de Distribución de Confiabilidad	33
2.3	MARCO CONCEPTUAL.....	36
2.3.1.	Definiciones de términos	36
2.3.1.1	Estrategia de mantenimiento.....	36
2.3.1.2	Criticidad de mantenimiento.....	37
2.3.1.3	Gestión de mantenimiento.	37
2.3.1.4	KPI, (Indicador clave de desempeño).	38
2.3.1.5	Mantenimiento correctivo.....	38
2.3.1.6	Mantenimiento preventivo.....	38
2.3.1.7	Mantenimiento predictivo.....	38
CAPITULO III. MÉTODO		39
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	39
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	40
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	41
3.4.1	Técnicas de recolección de datos	41
3.4.2	Instrumentos.....	42
3.5	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	43
3.5.1	TECNICAS DE PROCESAMIENTO	43

3.5.2 ANÁLISIS DE DATOS.....	45
3.5.2.1 Análisis de modo de falla, efectos y criticidad	70
3.5.2.2 Análisis de criticidad.....	77
3.5.2.3 Calculo de las funciones de weibull.....	91
3.5.2.4 Estrategia de mantenimiento.....	95
3.5.2.5 Disponibilidad mecánica Optimizada	107
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	110
4.1. Presentación de resultados	110
4.2. Contratación de hipótesis.	110
4.3. Discusión de resultados.....	110
4.3.1. Comparación de resultados entre el periodo de evaluación 2018 y el 2020.	110
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
5.1. Conclusiones	114
5.2. Recomendaciones	115
BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXO 1	121
ANEXO 2	126
ANEXO 3	131
ANEXO 4	134
ANEXO 5	137
ANEXO 6	139
ANEXO 7	142
ANEXO 8.....	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Operacionalización de variable Independiente	6
Tabla 02: Operacionalización de variable Dependiente.....	7
Tabla 03: Criterios para evaluación de criticidad	32
Tabla 04: Matriz de Criticidad	33
Tabla 05: Análisis de subsistemas gruas puente C-24974.....	41
Tabla 06: Calculo de confiabilidad en la grúa puente 1	46
Tabla 07: Calculo de confiabilidad en la grúa puente 2.....	47
Tabla 08: Calculo de confiabilidad en la grúa puente 3	48
Tabla 09: Disponibilidad Actual total de las gruas puente	57
Tabla 10: Valores típicos de disponibilidad.....	58
Tabla 11: Resultados de encuesta (MES).....	59
Tabla 12: Resultados de valores esperados.....	59
Tabla 13: Valores promedios de efectividad del mantenimiento.....	60
Tabla 14: Resumen de modos de falla.....	62
Tabla 15: Bearing utilizados en los elementos rodantes de las gruas puente.....	71
Tabla 16: Resumen de modos de falla optimizados según ISO 14224-2016	74
Tabla 17: Resumen de equipos críticos matriz cuantitativa	79
Tabla 18: Tabla general de valoración matriz cuantitativa	80
Tabla 19: Cálculo de regresión y correlación	92
Tabla 20: Resumen de la disponibilidad luego de la optimización.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1 Disponibilidad de gruas puente y horas de parada	45
Figura N°2 Densidad de falla grúa puente 1	49
Figura N°3 Densidad de falla grúa puente 2	49
Figura N°4 Densidad de falla grúa puente 3	49
Figura N°5 Densidad de falla total en las gruas puente	50
Figura N°6 Tasa de mortalidad en la grúa puente 1	51
Figura N°7 Fiabilidad en la grúa puente 1	51
Figura N°8 Infiabilidad en la grúa puente 1	51
Figura N°9 Tasa de mortalidad en la grúa puente 2	52
Figura N°10 Fiabilidad en la grúa puente 2	52
Figura N°11 Infiabilidad en la grúa puente 2	53
Figura N°12 Tasa de mortalidad en la grúa puente 3	53
Figura N°13 Fiabilidad en la grúa puente 3	54
Figura N°14 Infiabilidad en la grúa puente 3	54
Figura N°15 Tasa de mortalidad total en las 3 grúas puente	55
Figura N°16 Fiabilidad total en las 3 grúas puente	54
Figura N°17 Infiabilidad total en las 3 grúas puente	55
Figura N°18 Punto de intersección fiabilidad e infiabilidad	56
Figura N°19 Problemas frecuentes en el sistema de traslación puente	67
Figura N°20 Problemas frecuentes en el sistema de traslación trolley	67
Figura N°21 Problemas frecuentes en el sistema de izaje principal	67
Figura N°22 Problemas frecuentes en el sistema de izaje auxiliar este	67
Figura N°23 Problemas frecuentes en el sistema de izaje auxiliar oeste	68

Figura N°24 Problemas frecuentes en el panel de fuerza y alimentación	68
Figura N°25 Problemas frecuentes en la estructura del puente grúa	68
Figura N°26 Diagrama de Pareto grúas puente	69
Figura N°27 Capacidad de carga radial & axial en rodamientos	72
Figura N°28 Bearing rating life	72
Figura N°29 Aplicación del (AMFEC) en la gestión del mantenimiento	73
Figura N°30 Esquema de confirmación del AMFEC	73
Figura N°31 Análisis de criticidad matriz cualitativa	78
Figura N°32 Análisis de criticidad matriz cuantitativa	78
Figura N°33 Cálculo de parámetros de weibull	93
Figura N°34 Parámetro de forma curva de confiabilidad de un equipo	94
Figura N°35 Plan de mantenimiento Grúa puente 1	96
Figura N°36 Hoja de ruta grúa puente 1	96
Figura N°37 Paquetes de mantenimiento Grúa puente 1	97
Figura N°38 Plan de mantenimiento Grúa puente 2	97
Figura N°39 Hoja de ruta grúa puente 2	98
Figura N°40 Paquetes de mantenimiento Grúa puente 2	98
Figura N°41 Plan de mantenimiento Grúa puente 3	99
Figura N°42 Hoja de ruta grúa puente 3	99
Figura N°43 Paquetes de mantenimiento Grúa puente 3	100
Figura N°44 Formato de inspección semanal	102
Figura N°45 Formato de inspección mensual	104
Figura N°46 Formato de inspección Semestral	105
Figura N°47 Formato de inspección propuesto [16M]	106
Figura N°48 Cumplimiento del programa semanal	108

Figura N°49 Paradas No programadas	108
Figura N°50 Cumplimiento del programa semanal Optimizado	111
Figura N°51 Disponibilidad 2018 al 2020	111
Figura N°52 Horas disponibles para la operación	112
Figura N°53 Proyección de gastos en las grúas puente	113

RESUMEN

El presente proyecto de investigación, describe la optimización de un plan de mantenimiento preventivo en las grúas puente modelo C-24974 P&H cap. 60Tn que intervienen directamente en el proceso productivo. Mejorando significativamente la disponibilidad mecánica.

El mismo que parte de la necesidad de realizar una re categorización (Jerarquización) de los componentes inicialmente tomados como críticos evaluando así la mejor estrategia de mantenimiento.

Para cumplir con el objetivo se aplicará la metodología del RCM mantenimiento centrado en la confiabilidad y el análisis de modos de falla, efecto y criticidad (AMFEC). Por ende, se definieron las funciones principales y secundarias, modos de falla, efectos de la falla, causas potenciales y criticidad. Además, se revisaron los historiales de falla cargados en el software SAP PM de las 03 grúas puentes instalados en planta. Compuestas por 18 sub sistemas los cuales entraran al proceso de evaluación de criticidad con una matriz cuantitativa.

Los sub sistemas en estudio se sometieron a un proceso de re categorización puesto que inicialmente la mayoría de los equipos se encontraban en la categoría crítica debido a su mayor incidencia de fallas evaluada con una matriz cualitativa.

La evaluación de las variables determinó que era posible mejorar la disponibilidad mecánica hasta en un 97% evitando así paradas no programadas y costos mayores de mantenimiento.

Por tanto, la optimización del plan de mantenimiento en base al establecimiento de una nueva frecuencia de mantenimiento que se determinó

mediante la distribución de weibull, aumento la disponibilidad en 13% en las grúas puente de convertidores en la empresa Southern Peru Copper Corporation.

Palabra claves:

Disponibilidad mecánica, Modos de falla, Criticidad, Optimización.

ABSTRACT

The present research project, describes the optimization of a plan of preventive maintenance in the bridge cranes model C-24974 P&H cap. 60Tn directly involved in the production process. Significantly improving the mechanical availability.

The same as part of the need to make a re categorization (Hierarchy) of components initially taken as critical evaluating the best maintenance strategy.

To meet the objective, the RCM methodology will be applied, maintenance focused on reliability and the analysis of failure, effect and criticality modes (AMFEC). Therefore, the main and secondary functions, failure modes, failure effects, potential causes and criticality were defined.

In addition, the fault histories loaded into the SAP PM software of the 03 bridge cranes installed in the plant were reviewed. Composed of 18 sub-systems which will enter the criticality evaluation process with a quantitative matrix.

The sub systems in study underwent a process of re-categorization since initially the majority of the teams were in the category criticism due to their greater incidence of failure assessed with a qualitative matrix.

The assessment of the variables determined that it was possible to improve the mechanical availability by up to 97% thus avoiding unscheduled downtime and higher costs of maintenance.

Therefore, the optimization of the maintenance plan based on the establishment of a new maintenance frequency that was determined through the distribution of weibull, increased the availability by 13% in the converter bridge cranes in the company Southern Peru Copper Corporation.

Keywords:

Mechanical Availability, Failure Modes, Criticality, Optimization.

INTRODUCCIÓN

Debido a la coyuntura actual y la rápida recuperación económica nacional que nos toca afrontar. Los comercios juegan un rol protagónico importante, frente a un mundo industrial y globalizado, Las empresas deben ser más estratégicas y competitivas para poder sobresalir y enfrentar a la competencia en todo caso estarían destinadas al fracaso.

Las empresas mineras no son ajenas a la realidad, en tal sentido se ven obligadas a mejorar sus procesos implementando mejoras que permitan generar ventajas sobre la competencia y de esta manera ganar un posicionamiento en el mercado.

En esta nueva era de cambios, las empresas están en la búsqueda de la optimización de los índices de productividad con lo cual buscan ganar mayor eficiencia y brindar servicios de calidad, lo que obliga a que los gerentes y líderes administrativos adopten modelos de gestión participativa, tomando como base al elemento humano y finalmente el trabajo en equipo.

Una de las tecnologías recientes de informática con una particular importancia en el estudio de la información desde el panorama empresarial, por su utilidad en el contexto mundial y por orientarse a todos los procesos administrativos relacionados con la operación (Mantenimiento, Operaciones, Logística, etc), son los sistemas de Planificación de Recursos de la Empresa (ERP).

La aplicación de estas herramientas (software), está siendo cada vez más generalizado en la administración empresarial. La búsqueda de la centralización de todos los procesos de negocio, con el objetivo de mejorar la toma de decisiones teniendo información relevante en tiempo real se está volviendo cada vez más necesario.

De la problemática detectada en la industria, surge la necesidad de cumplir a cabalidad el 100% el programa de mantenimiento; Optimizando recursos para asegurar la operatividad del total de líneas del proceso productivo.

La presente investigación se centra en mejorar la disponibilidad de las grúas puente C-2474, Identificando la criticidad de los componentes y modificando la frecuencia del plan de mantenimiento a través de la distribución de weibull en la empresa SOUTHERN PERÚ COPPER CORPORATION, Siguiendo la metodología del RCM y revisando los criterios mínimos establecidos por las SAE JA 1011 y 1012 con lo cual se espera aumentar la disponibilidad mejorando la gestión de planificación, programación del mantenimiento y a partir de éste gestionar indicadores que controlen y mejoren la eficiencia de la gestión del mantenimiento en las empresas mineras en general.

La investigación se sustentará en la metodología del (RCM) mantenimiento basado en la confiabilidad y el (AMFEC) Análisis de modo de falla, efecto y criticidad. Lo cual se manifiesta en la posibilidad de integrar los diferentes conceptos y herramientas a los procedimientos desarrollados existentes, con una

adecuada administración de la gestión del mantenimiento, esto permitirá la inclusión y posterior aplicación en la actual estrategia por intermedio del Planificador de Recursos Empresariales (ERP) SAP PM.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el mundo, las corporaciones buscan tener un buen nivel de sistematización, sin embargo, en ocasiones carecen de información oportuna y verás que permita la optimización de la toma de decisiones, así como una mejor capacidad de respuesta, coherente, ágil y eficiente.

Desde este enfoque la gestión de mantenimiento necesita de una gama de técnicas e instrumentos que faciliten la ejecución de las actividades críticas, Esto se refleja en planeación, dirección y control óptimo para el cumplimiento de las metas y objetivos de la corporación considerando la eficiencia, productividad y eficacia.

La empresa Southern Perú Cooper Corporation, ubicada en Pampa Caliche Km 9 carretera a Fundición, Distrito de Pacocha, Provincia de Ilo, Departamento Moquegua, Perú tiene implementados planes de mantenimiento preventivo desarrollados de acuerdo al AMEF (análisis de modos y efectos de falla).

Los actuales planes de mantenimiento reflejan de manera significativa en la disminución de la vida útil de los equipos, especialmente en las grúas puente C-24974 ocasionando sobre costo en los componentes y repuestos de reparación perjudicando la disponibilidad de las grúas y aumentando el mantenimiento correctivo no planificado.

La finalidad de la optimización del plan de mantenimiento de las grúas puente C-24974 es aumentar la disponibilidad actual, identificando principalmente las fallas

más frecuentes a través del diagrama de Pareto y re categorizando el AMEF bajo una matriz de criticidad de riesgo cuantitativa de tal manera que obtengamos indicadores de mantenimiento como el MTBF (tiempo medio entre fallas) y MTTR (Tiempo medio para reparar) con el que mejoraremos estratégicamente la gestión del mantenimiento y garantizando la eficacia productiva de las grúas en la empresa.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general:

¿Será posible mejorar la disponibilidad de las grúas puente C-24974, Identificando la criticidad de los componentes y modificando la frecuencia del plan de mantenimiento a través de la distribución de weibull en la empresa SOUTHERN PERÚ COPPER CORPORATION?

1.2.2 Problema Específico:

- a) ¿Luego de la recategorización cuáles son los componentes críticos según la matriz cuantitativa del sistema de grúas puente C-24974?
- b) ¿Cuál es la frecuencia de mantenimiento adecuada que deben tener las grúas puente C-24974 según la distribución weibull?
- c) ¿De qué manera los KPI como el MTBF y MTTR mejoran la disponibilidad de las grúas puente C-24974?

1.3 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general:

Mejorar la disponibilidad de las grúas puente C-24974, Identificando la criticidad de los componentes y modificando la frecuencia del plan de mantenimiento a través de la distribución de weibull en la empresa SOUTHERN PERÚ COPPER CORPORATION

1.3.2 Objetivos Específicos:

- a) Revalorizar la criticidad de los componentes del sistema de grúas puente C-24974 en función de la matriz cuantitativa.

- b) Calcular a través de la distribución de Weibull la frecuencia de mantenimiento adecuada para optimizar el plan de mantenimiento.

- c) Identificar los KPI (MTBF, MTTR) y su relación con la disponibilidad en las grúas puente C-24974.

1.4 JUSTIFICACIÓN Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Justificación Teórica

En la investigación usaremos teoría de la gestión empresarial, gestión del mantenimiento y control administrativo, previamente demostrada y aplicada en empresas donde se tiene implementado el MCC. Dándole un enfoque en la optimización de planes de mantenimiento para aumentar la disponibilidad mecánica.

1.4.2 Justificación Metodológica

Las teorías utilizadas y referidas en la investigación cuentan con una metodología que es adaptable a la realidad de la empresa estudiada con la finalidad de entregar una solución a la problemática actual. El sustento estará basado en la metodología del MCC (Mantenimiento centrado en la confiabilidad) y la normas SAE JA 1011, SAE JA 1012 , ISO 14224 -2016 y API RP 581.

1.4.3 Justificación Práctica

Fortalecer el paradigma de que una implementación de algún sistema de mantenimiento, influye directa y proporcionalmente a la disponibilidad mecánica, optimizando la gestión del mantenimiento.

1.4.4 Limitaciones de la investigación

Esta investigación está delimitada por los siguientes ámbitos

- Método: El ámbito del estudio corresponde a los proyectos ejecutados en la empresa SOUTHERN PERÚ COPPER CORPORATION en las grúas puente modelo C-24974.
- Geografía: La presente investigación se circunscribe al departamento de Moquegua, ciudad de Ilo. No obstante, su aplicación nacional e internacional.
- Época: Comprende el periodo referente al año 2018

1.5 VARIABLES

1.5.1 Operacionalización de variables

Tabla N° 1

Operacionalización de variable Independiente

Variable Independiente (X):	Definición Conceptual	Escala de medición	Indicadores
Criticidad	Es la valoración que se le da a un activo dado el impacto operacional en la estructura jerárquica.	Porcentual	<p>Riesgo:</p> <p><i>Riesgo = Frecuencia X Consecuencia</i></p> <p><i>Frecuencia</i> = N° de fallos en un tiempo determinado</p> <p><i>Consecuencia</i> = ((Impacto Operacional X Flexibilidad) + Costos Mantto. + Impacto SAH)</p>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 2

Operacionalización de variable dependiente

Variable Dependiente (Y):	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Disponibilidad mecánica (DM)	Tiempo en que un activo esta físicamente disponible para ser usado en un proceso productivo	Porcentual	<p>Disponibilidad</p> $= \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$ <p>Donde:</p> $MTBF_{seccion} = \frac{\sum_{i=1}^n N^{\circ} \text{de horas de operacion}}{\sum_{i=1}^n N^{\circ} \text{de paradas correctivas}}$ $MTTR_{seccion} = \frac{\sum_{i=1}^n N^{\circ} \text{de horas de reparacion}}{\sum_{i=1}^n N^{\circ} \text{de paradas correctivas}}$ <ul style="list-style-type: none"> - MTBF = Tiempo medio entre fallas. - MTTR = Tiempo medio de reparación.
Frecuencia de mantenimiento	Rango o Periodo establecido para una intervención preventiva	Parametro de Forma β	<ul style="list-style-type: none"> - Funciones de Weibull: - Correlación y regresión para cuantificar relación de variables y compararlas con ($Y = bx + a$) $\checkmark \ln(\ln(\frac{1}{1-F(t)})) = \beta \ln t - \beta \ln n$ $\checkmark y = bx + a$ <p>Donde</p> <ul style="list-style-type: none"> • $x = \ln t$ (variable función de t) • $y = \ln(\ln(\frac{1}{1-F(t)}))$ (Función de t) • $a = -\beta \ln n$ (Constante); • $-a/\beta = \ln n$; $n = \exp(-a/\beta)$ • $b = \beta$ (Coeficiente director) <p>Para estimación de las fallas acumulativas $f(t)$ usamos las tablas de rangos y medianas o la formula para $N < 20$</p> $\checkmark F(i) = \frac{i-0.3}{N+0.4}$

Fuente: Elaboración Propia

1.6 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Hipótesis General:

La identificación de los componentes críticos y la optimización de la frecuencia del plan de mantenimiento a través de la distribución de weibull elevará, en al menos, hasta un 97% la disponibilidad mecánica de las grúas puente modelo C-24974 en la empresa SOUTHERN PERÚ COPPER CORPORATION.

1.6.2 Hipótesis específicas:

- a) Con la revalorización de la criticidad considerando la matriz cuantitativa se reducirá significativamente la cantidad de equipos críticos en el sistema de grúas puente C-24974.
- b) La frecuencia de mantenimiento recomendada será de acuerdo a la curva de confiabilidad del equipo determinada por la distribución de Weibull.
- c) Los KPI de mantenimiento MTBF y MTTR están estadísticamente relacionados con la disponibilidad mecánica de las grúas puente C-24974.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los objetivos del mantenimiento centrado en la confiabilidad es mejorar la gestión del mantenimiento para esto se crea planes con la finalidad de que todos los equipos jerarquizados en la corporación cuenten con un plan de mantenimiento mínimamente básico (limpieza, lubricación e inspección). Todos los planes pueden ser optimizados o mejorados esto dependerá de la perspectiva del programador o el Ing. de confiabilidad.

Ramírez F. (2007) en su investigación “Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico, Guatemala, 2007”. Universidad de San Carlos Guatemala, facultad de Ingeniería, para lograr el grado de Maestro en artes en ingeniería de mantenimiento.

Esta investigación señala que: Es necesario que el área responsable tenga los procedimientos por escrito, y que se registren todos los históricos generados por ellos, con el fin de estandarizar los procesos en todas las fases de la ejecución llegando a la conclusión; El mantenimiento debe utilizar una guía e introducir innovaciones a la hora de mantener los equipos, capacitación continua al personal y ponerle cuidado a los equipos y un monitorio continuo a los componentes.

Arellano G. (2009) en su tesis “Implantación de Análisis de aceite en motores de combustión interna de ciclo Diésel, Ecuador, 2009”. Escuela superior

politécnica del litoral (ESPOL), facultad de Ingeniería mecánica y ciencias de la producción, para lograr el grado de Ingeniero Mecánico. Concluye:

Los motores son considerados como componentes críticos por el rol fundamental que desempeñan en el proceso. Como parte de la estrategia de mantenimiento de estos equipos, se ha implementado el Mantenimiento predictivo (Análisis de Vibraciones y Análisis de Aceite), y proactivo. Además del Mantenimiento Basado en Condición mediante técnicas de monitoreo de varios parámetros operacionales. Con las muestras adquiridas se llevan las tendencias de los análisis de aceite desde un año y los datos operativos desde hace seis meses, en todos los motores. Sin embargo, la interpretación de los resultados no fue la adecuada, no existe formato de reportes y presentación de los diagnósticos. La finalidad de la tesis fue parametrizar los análisis utilizando la técnica SACODE.

Mella K. (2002) en su tesis “Plan de lubricación con aplicación del software SAP, módulo PM en la empresa Masisa y la planta Puschmann”. Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería Mecánica, para lograr el grado de Ingeniero mecánico. Concluye que:

La generación de planes de mantenimiento (lubricación), es una labor fundamental en el mantenimiento industrial, por parte del personal que trabaja en el área y los especialistas. Con la evolución de la tecnología y el constante avance se ha dado paso al desarrollo de programas informáticos que nos permiten resolver estos y muchos otros problemas con mayor eficacia. El SAP es (sistema y aplicación

de los procesos y datos de productos) es un sistema constituido por 12 módulos donde está incluido el de mantenimiento.

Armas L. (2016) en su tesis “Gestión de mantenimiento para mejorar la Disponibilidad mecánica de la maquinaria de confitados en industrias alimentarias S.R.L, Huancayo – Perú, 2016”. Universidad nacional del centro del Perú Facultad de Ingeniería Mecánica. para lograr el grado de Ingeniero Mecánico.

Concluye: La disponibilidad mecánica es la probabilidad de que un activo realice la función asignada cuando se requiera de ella.

Según Castro (2017) El cálculo del MTBF (tiempo medio para fallar), puede realizarse haciendo algunos arreglos en la confiabilidad con la aplicación del análisis de Weibull, El autor aplica el análisis con el fin de calcular la vida útil de dos activos los cuales tienen un valor prácticamente igual al fijado por el fabricante. También concluye que la gestión del MCC debe aplicarse con el único fin de medir indicadores de gestión (KPI), para así facilitar la toma de decisiones. C.Irrarazabal recomienda realizar una identificación de los componentes críticos para su posterior reposición luego del análisis.

En la presente investigación se analizan parámetros de confiabilidad como: tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación, disponibilidad y efectividad. Se evaluaron los datos de una gestión de mantenimiento obsoleta que carece de nuevos conceptos. Esta metodología quedará como base para la

implementación y/o mejora del MCC en cualquier equipo Industrial el cual pueda ser objeto de análisis.

2.2 BASES TEÓRICAS

La investigación se sustentará en las siguientes bases:

- Plan de mantenimiento
- Indicadores
- Disponibilidad
- Confiabilidad
- Gestión del mantenimiento
- Optimización
- Estadística aplicada en el mantenimiento
- Conceptos de costos en el mantenimiento
- Gestión de Criticidad
- Modelo de Distribución de Confiabilidad

2.2.1 Plan de mantenimiento

Intención o proyecto, es un modelo estructurado que se desarrolla previo a la realización de una tarea u acción, Con el objeto de canalizar y dirigirlo. En tal efecto, un plan de mantenimiento es un alcance donde se detalla los procedimientos para realizar la actividad.

“Serie de tareas estructuradas y documentadas que incluyen las actividades, procedimientos, recursos y la escala de tiempo requerida para llevar a cabo el mantenimiento” (ISO 14224,2016, p.31)

“El cumplimiento de los planes de mantenimiento viene dado por la relación porcentual entre las horas hombre notificadas y las horas hombre programadas” (ISO 14224,2016, p.248)

- ✓ % Cumplimiento de Planes de mantenimiento.

$$CPM = \frac{HH_{Notificadas}}{HH_{Programadas}} \dots [1]$$

El porcentaje de actividades no programadas se establece por la relación entre las HH No programadas y las HH programadas.

- ✓ % Mantenimiento No programado

$$MNP = \frac{HH_{Ordenes\ NO\ programadas\ Notificadas}}{HH_{Ordenes\ Programa\ Semanal}} \dots [2]$$

Ramírez F. (2007); La planificación es el proceso por el cual se determinan los elementos necesarios para ejecutar una actividad antes de que se inicie. Aquí pueden estar considerados los documentos administrativos necesarios para realizar la actividad (Aviso, Orden de mantenimiento estatus 0, procuras, Procedimientos).

La programación involucra la hora o el momento específico, las etapas o fases de las actividades planeadas junto con los reportes de seguimiento y control de la actividad hasta cerrar el ciclo de mantenimiento. (Notificación de la Orden de

mantenimiento, Cierre de la Orden, Cierre contable). Es fundamental una buena planificación para una correcta programación. La planificación y la programación son la base de una correcta gestión del mantenimiento contribuyendo de manera significativa a:

- Reducción de costos de mantenimiento. Estudios han llegado a la conclusión que la planificación de las actividades ayuda a la reducción de costos por mantenimiento no programado.
- Optimización del recurso de mantenimiento. Se administra mejor al personal involucrado que realizara las actividades y se optimiza los tiempos de: mantenimiento, tiempos de demoras e interrupciones debido a las actividades multidisciplinarias.
- Mejora en la calidad del trabajo. Pues se adoptan mejores métodos y procedimientos y se asignan a los especialistas calificados para el trabajo.

La planificación comprende todos los aspectos relacionados a la generación de la orden de mantenimiento, material involucrado (Boom), requisiones, planos, recursos, cronograma, hoja de inspección, pets y todo lo necesario para programar la actividad antes de la programación y no tener contratiempos en el transcurso.

Barros O. (2015); La planificación del mantenimiento es una parte primordial del proceso, pues esta garantiza como, cuando y donde efectuar las tareas de mantenimiento con todos los factores de seguridad controlados.

La programación es el proceso por el cual se consolidan todas las actividades con los recursos y se asignan secuencias de intervención, así como los tiempos de duración para ser ejecutados.

Barros O. (2015); La programación es fundamental para efectuar las tareas de mantenimiento pues se complementa con el control antes de la ejecución y debe manejar toda la información que facilite la ejecución.

Un programa de mantenimiento confiable debe considerar lo siguiente:

- Clasificación según prioridad de los trabajos a ejecutar.
- Los materiales y suministros deben estar listos para ser atendidos por el departamento de logística, caso contrario no se debe programar la actividad).
- Debe haber una estrecha coordinación entre el programa de mantenimiento y el programa de producción.
- Estimaciones reales de lo que pueda suceder coordinado con la supervisión y no lo que el programador suponga.
- Dinamismo del programa de mantenimiento. El planificador debe entender que se necesita evaluar la criticidad de los trabajos para no tener errores en la programación. El programa se revisa y se actualiza con frecuencia según las necesidades de cada planta.

2.2.2 Indicadores

De la sentencia de Peter Drucker: “Lo que no se puede medir, no se puede controlar, lo que no se puede controlar no se puede gestionar y lo que no se puede gestionar no se puede mejorar”.

- **Objetivos de los indicadores**

Los objetivos principales que deben tener los indicadores son:

- ✓ Dar información real e importante que ayude a la toma de decisiones.
- ✓ Seguimiento y monitoreo a las metas, objetivos y planes propuestos.
- ✓ Ponderar los cambios efectuados en situaciones diferentes (compleja y problemática).
- ✓ Mejorar la eficacia y eficiencia gestionando la ejecución de planes destinados al cumplimiento de los objetivos propuestos.

- **Importancia del indicador**

“Los indicadores vienen hacer los signos vitales de la compañía y su continuo seguimiento y monitoreo permite establecer e identificar los síntomas derivados del proceso normal de las operaciones” (Beltran, 2000, p.5)

Según Beltran (2000) Las organizaciones deben contar con un número mínimo de indicadores que aseguren información real, constante y precisa sobre lo que se requiera evaluar.

- Indicadores de eficiencia, calidad y oportunidad

Estos son indicadores con los cuales los procesos de control logran los objetivos a un nivel adecuado de calidad y optimizando los recursos.

2.2.3 Disponibilidad

“Probabilidad de que un sistema o equipo desarrolle satisfactoriamente su función en el momento en que sea requerido luego del inicio de su puesta en marcha, cuando se usa en condiciones estables” (ISO 14224,2016, p.211).

Sexto L. (2006) Refiere: la disponibilidad es la probabilidad de que un sistema realice la función para la cual fue diseñada cuando se requiere de ella. La disponibilidad depende de la frecuencia en que se producen las fallas en un intervalo de tiempo considerando también los tiempos de reparación.

2.2.3.1 Disponibilidad Operativa

Según (ISO 14224,2016, p.248).

$$\textit{Disponibilidad Operativa}\% = \frac{\textit{TOPE}}{\textit{TOPE} + \Sigma\textit{TMAN}} \dots [3]$$

- TOPE = Tiempo de Operación.
- $\Sigma\textit{TMAN}$ = Suma de tiempos de mantenimiento: $\textit{TMPR} + \textit{TNDR} + \textit{TMDR}$

Disponibilidad Operativa: Relación entre el tiempo de operación del equipo y la suma del tiempo de operación del equipo y el tiempo de mantenimiento (suma

algebraica del tiempo de mantenimiento programado, tiempo No programado y tiempo de demora por mantenimiento.

Según Mora (2009)

$$DM = \frac{TOPE}{TOPE + \Sigma TMAN} \dots [4]$$

$$\Sigma TMAN = TMPR + TNPR + TDMR \dots [5]$$

- **TMPR** = Tiempo de Mantenimiento Programado.
- **TNDR** = Tiempo no Programado
- **TMDR** = Tiempo de Demora por Mantenimiento

Otra manera de representar el cálculo de la disponibilidad es: la relación entre la diferencia del número de horas programadas al mes, más las horas extras realizadas y el número de horas de mantenimiento (horas de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo, horas de parada por falta de personal operativo) para cada equipo.

$$DM = \frac{Hp + He - Hm - F_0}{Hp + He} \dots [6]$$

- **Hp** = Horas programadas al mes.
- **He** = Horas extras realizadas.
- **Hm** = Horas de mantenimiento (preventivo, correctivo, predictivo).
- **F₀** = Horas paradas por falta de operador.

2.2.3.2 Disponibilidad Intrínseca o Inherente

“Es la disponibilidad de un sistema estable, en el cual solo se considera el tiempo de inactividad debido a; paradas para aplicar mantenimiento correctivo” (ISO 14224,2016, p.210).

$$Di = \frac{MTTF}{MTTF + MTTRes} \times 100$$

- **MTTF** = Tiempo medio transcurrido hasta la falla (Tiempos activos reales observados).
- **MTTRes** = Tiempo medio para restaurar ((Tiempos activos de mantenimiento observados).

El índice de Disponibilidad (o Performance) es fundamental para la gestión del mantenimiento debido a que a través de este se puede realizar análisis selectivos a los equipos cuyo comportamiento operacional está en niveles inferiores a los recomendados según la OEE.

Para la evaluación analítica, se recomienda colocar en tablas mensuales, la disponibilidad de los equipos seleccionados según la criticidad y establecer parámetros mínimos aceptables según la OEE, y a partir de ello seleccionar los equipos para el análisis respectivo.

2.2.4 Confiabilidad

La definición más conocida sería la “probabilidad de que el sistema, equipo o componente opere sin fallar por un determinado intervalo de tiempo bajo las

condiciones de operación estables previamente establecidas” (ISO 14224,2016, p.248).

Sin fallas en el sistema la confiabilidad es 100% si la frecuencia de fallas se eleva progresivamente la confiabilidad es baja.

2.2.5 Gestión del mantenimiento

La González, F. (2005); Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. Tesis para optar el grado de ingeniero Madrid – España. Afirma. “Acciones que debe seguir la administración de una compañía de mantenimiento, con el fin de seguir una política parametrizada” (p.504).

Parra, C. (2012); Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. Tesis para optar el título de ingeniero Sevilla – España. Indica.

Según EN 133306-2011 norma europea, la gestión de mantenimiento actual debe incluir aquellas acciones de gestión que puedan facilitar la determinación de los objetivos, prioridades y/o metas revisadas y admitidas por la dirección del departamento, así como las estrategias o métodos que se aplicaran para conseguirlos y los responsables de gestionarlos.

Sin fallas el equipo es confiable 100% si las frecuencias de fallas son progresivamente altas la confiabilidad es baja.

La gestión del mantenimiento surge como una actividad para diseñar, planificar y controlar. Destinada a minimizar lo concerniente a los costes asociados a las fallas prematuras, detenciones y baja disponibilidad de la planta.

Sirena A., Gabriela, Suarez P., Rimbart y Ascencio C., Marcial, (2009); Refieren. El objetivo de la gestión del mantenimiento es fortalecer y potenciar la planificación del mantenimiento de los equipos, tomando los datos reales de las inspecciones, análisis de procedimientos y los históricos de falla. La gestión del mantenimiento busca aumentar la productividad en la corporación fortaleciendo el vínculo entre planificador y mantenedor aumentando la confiabilidad de su ejecución y operación reduciendo los costos referidos a mantenimiento.

Santibañez, A. (2009); Diseño de un sistema de información administrativo para optimización de gestión del mantenimiento en agrícola y packing Cachapoal S.A. Tesis para optar el título de Ingeniero Curico – Chile.

Esta investigación señala; el vínculo entre mantenimiento y producción, desde que las corporaciones vieron la necesidad de separar los departamentos, el departamento de mantenimiento es un subordinado. La forma de establecer esta relación quizá sea viable en compañías donde no hay una adecuada gestión del mantenimiento y donde el departamento se ocupa principalmente de los trabajos correctivos y de emergencia que requiere producción. Esta situación es diferente cuando el mantenimiento es gestionado optimizando todos los recursos. Los departamentos de Mantenimiento y Operaciones, son igualmente importantes para la continuidad de todo el proceso productivo. Para que todo el sistema funcione correctamente es necesario que todos los procesos (departamentos) funcionen coordinadamente. La eficiencia de la organización estará basada por el departamento menos involucrado entonces se puede decir que en organizaciones

donde existe la gestión del mantenimiento ningún departamento es subordinado de otro.

2.2.6 Optimización

Parra C. & Crespo A., (2012); Refiere que: La optimización no hace referencia a ahorrar y/o suprimir, es más bien buscar la mejor opción para realizar una actividad. Este término involucra directamente a la eficiencia (manejo correcto de recursos) pues debemos utilizar los recursos de la mejor manera posible y con ello obtener beneficios con la eficacia (Enfocarse en los resultados). Para optimizar los recursos se debe ser eficiente y eficaz.

2.2.7 Estadística Aplicada en el mantenimiento

La aplicación de la estadística en el mantenimiento nos permite conocer los siguientes conceptos:

2.2.7.1 Probabilidad de falla (p) y tasa de falla (λ)

“La probabilidad (p) se refiere a la razón que existe entre el número de resultados acertados para la ocurrencia de un evento y el total de resultados”

(Maibaum, 1987, p.29)

Las inspecciones en mantenimiento se realizan probabilísticamente, por tanto, la definición de tasa de fallas es: “Cantidad de equipos y componentes que han dejado de cumplir la función para lo cual fueron diseñados en un determinado

tiempo” (Miguel Angel Apolinario Gabriel, “Estimación de confiabilidad mediante la distribución Weibull”, tesis, Lima-Peru, 2008, p 27-28).

$$\lambda(t) = \frac{\text{Numero de fallas}}{\text{Tiempo de observacion}} \dots [7]$$

2.2.7.2 Densidad de fallas $f(t)$

La densidad de fallas indica cuán frecuente es que exista la ocurrencia de fallo en un determinado tiempo. La fiabilidad e in fiabilidad en relación a la densidad de fallas pueden representarse de la siguiente manera.

Según Parra C. & Crespo A.,

De la definición de densidad de fallas tenemos:

$$f(t) = \frac{n(t+\Delta t)-n(t)}{\Delta t.N(0)} = -\frac{N(t)-N(t-\Delta t)}{\Delta t.N(0)} \dots [8]$$

Considerando la definición de fiabilidad e in fiabilidad tenemos:

$$R(t) = -\frac{N(t)}{N(0)} \dots [9] \quad F(t) = -\frac{n(t)}{N(0)} \dots [10]$$

La densidad de fallas en forma diferencial:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \dots [11]$$

La in fiabilidad en relación de la densidad de fallas:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t)dt \dots [12]$$

La fiabilidad en relación de la densidad de fallas:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \dots [13]$$

2.2.7.3 Tasa de fallas $\lambda(t)$

“Es la probabilidad de que una máquina que está funcionando hasta un cierto momento falle en el siguiente intervalo de tiempo, en otras palabras, es una probabilidad a posteriori” (ISO 14224,2016, p.214).

La fiabilidad, in fiabilidad, densidad de fallas y MTBF en relación a la tasa de fallas pueden representarse de la siguiente manera.

Por definición, la tasa de fallas:

Según Parra C. & Crespo A.,

$$\lambda(t) = \frac{n(t+\Delta t)-n(t)}{\Delta t.N(t)} = \frac{N(t)-N(t+\Delta t)}{\Delta t.N(t)} \dots [14]$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots [15]$$

Considerando la definición de confiabilidad

$$R(t) = -\frac{N(t)}{N(0)} \dots [16]$$

Entonces, la tasa de fallas toma la siguiente expresión

$$\lambda(t)\Delta t = \frac{R(t)-R(t+\Delta t)}{R(t)} \dots [17]$$

La tasa de fallas en forma diferencial:

$$\lambda(t)dt = -\frac{dR(t)}{R(t)} \dots [18]$$

En forma Integral:

$$\int_0^t \lambda(t)dt = -[\ln R(t) - \ln(0)] \dots [19]$$

Despejando se obtiene la expresión matemática:

$$R(t) = f(\lambda(t))$$

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] \dots [20]$$

2.2.7.4 Definiciones de Confiabilidad

2.2.7.4.1 Confiabilidad o Fiabilidad R(t)

Llamada también función de confiabilidad o supervivencia, es la probabilidad de que una maquina funcione sin fallas durante un tiempo determinado en condiciones específicas de trabajo.

Según Parra C. & Crespo A.,

$$R(t) = \frac{n(t)}{N} \dots [26]$$

Donde:

N – Número de componentes observados por falla.

n(t) – Número de componentes sin observación por falla.

$$R(t) = \frac{N(t)}{N(0)} = \frac{N(0)-n(t)}{N(0)} = \mathbf{1} - \frac{n(t)}{N(0)} \dots [27]$$

2.2.7.4.2 Infiabilidad F(t)

Llamada también función de distribución acumulada, es la probabilidad de que ocurra una falla durante un tiempo determinado.

Según Parra C. & Crespo A.,

$$F(t) = \frac{n(t)}{N(0)} \dots [28]$$

La fiabilidad es la inversa de la in fiabilidad.

$$R(t) + F(t) = 1 \dots [29]$$

2.2.7.4.3 Distribución acumulada de falla F(t) o Infiabilidad

En la teoría de probabilidades estas funciones son conocidas como función de distribución acumulada y permiten conocer cuan probable es que exista un evento en un intervalo en cualquier dominio en que se está evaluando la función.

Expresión matemática:

$$F(x) = P[a \leq x \leq b] = \int_a^b f(x)dx \dots [30]$$

Por cada función de densidad hay una función de distribución.

La distribución acumulada de falla es la probabilidad de falla de un activo en un periodo de tiempo (0, t).

$$F(t) = \frac{N-n(t)}{N} \dots [31]$$

La suma de la probabilidad acumulada de fallo y la confiabilidad es igual a la unidad.

2.2.7.4.4 Tiempo medio entre fallas MTBF

“Es el tiempo que se espera para que un equipo falle”. (ISO 14224,2016, p.225).

Para un equipo, (horas/falla).

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operacion}}{N^{\circ} \text{ de fallas}} \dots [32]$$

Para evaluar una sección de equipos (hora/falla)

$$MTBF_{seccion} = \frac{\sum_{i=1}^n N^{\circ} \text{ de horas de operacion}}{\sum_{i=1}^n N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}} \dots [33]$$

Nota: La operación puede estar dada en horas, meses, años, etc.

En la presente investigación se ilustrará un resumen de la función densidad, tasa de falla, confiabilidad y tiempo medio entre fallas. Así como sus aplicaciones en el proceso de optimización del plan.

2.2.7.4.5 Tiempo medio para reparar MTTR

“Es el tiempo estimado de reparación de un equipo” (ISO 14224,2016, p.214).

Para un equipo, (horas/falla).

$$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de reparacion}}{N^{\circ} \text{ de fallas}} \dots [34]$$

Para evaluar una sección de equipos (hora/falla)

$$MTTR_{seccion} = \frac{\sum_{i=1}^n N^{\circ} \text{ de horas de reparacion}}{\sum_{i=1}^n N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}} \dots [35]$$

2.2.8 Conceptos de costos en el mantenimiento

Según Tavares (2014) En mantenimiento el costo total está compuesto por 5 elementos los cuales son: mano de obra, insumos y materiales, apoyo de terceros, depreciaciones y/o perdida por reducción al facturar) y a su vez cada uno subdividido en 3 : (Costos directos, indirectos y administrativos), muchas veces es difícil realizar este desglose y la mayoría de las corporaciones solo se limitan a dos o tres elementos (mano de obra, insumos y ocasionalmente apoyo de terceros) y, una o dos subdivisiones (costos directos e indirectos). (p.58)

De los costos descritos, consideraremos los asociados netamente al mantenimiento correctivo. Este criterio no incluye los asociados a los costos por depreciación y va de acuerdo a lo establecido por Lyonnet (1991).

Los conceptos económicos que se revisaran y aplicaran al mantenimiento son:

a. Costos por detención de equipo.

Costos involucrados por la detención total del equipo, sistema o componente y que inevitablemente afecta a la producción.

b. Costos por fallas asociados a inspecciones.

Costos generados por inspecciones preventivas y/o predictivas: materiales, equipamiento, recurso humano calificado. Se consideran también los costos de las inspecciones que interrumpen el proceso productivo.

c. Costos por reparaciones.

Costos generados durante la reparación: gastos directos, indirectos y administrativos

d. Costo total de mantenimiento.

Este costo integra todos los asociados al mantenimiento del equipo, para poder realizar la evaluación de este costo como función derivable, lo haremos en función a los costos temporales afectados por: la tasa de fallas (λ) promedio, el número de inspecciones (n), tiempo medio para inspección (i), tiempo medio para reparar (μ). De esta manera, la relación del costo total de mantenimiento ($Cg(n)$) tomado en cuenta la consideración se expresa:

Según Parra C. & Crespo A.,

$$c_g(n) = Cf \frac{\lambda(n)}{\mu} + Cf \frac{n}{i} + C_{i,r} \frac{\lambda(n)}{\mu} + C_{i,i} \frac{n}{i} \dots [36]$$

Donde:

Cf - Costos por falla.

$C_{i,r}$ - Costos por inspección (equipo detenido).

$C_{i,i}$ - Costos de inspección (equipo en operación).

λ - Promedio de tasa de fallas

μ - Tiempo promedio de reparación.

i - Tiempo medio para inspeccionar.

2.2.9 Gestión de Criticidad

La gestión del mantenimiento se realiza en base a la toma de decisiones estratégicas y administrativas. Cuando se usan herramientas como los KPI'S, se identifican mejor las causas que puedan ayudar o perjudicar la funcionalidad y

mantenibilidad, así como los riesgos y costos globales de mantenimiento con el único fin de mejorar la administración, procedimientos y operaciones.

Con este enfoque, el análisis de criticidad tiene un gran valor en las organizaciones. “Pues identifica el sistema, equipo componente al cual se le debe prestar mayor interés, esto facilita la toma de decisiones que ayudan a mejorar la confiabilidad en la organización gestionando los riesgos de tal manera que estén identificados y controlados” (Parra C, 2012, p.58).

Los indicadores claves de desempeño (KPI's) que elegiremos de la gran cantidad existente serán los más convenientes en relación a la medición del uso de equipo los cuales nos permitan medir costos de mantenimiento, disponibilidad y criticidad.

Para entender mejor los criterios para el uso de los indicadores en esta investigación desarrollaremos los conceptos siguientes:

2.2.9.1 Criticidad

Indicador directamente proporcional al riesgo, el cual permite establecer una jerarquía o prioridad de los procesos, sistemas, equipos y componentes. Creando un flujo que facilite la toma de decisiones efectivas y ágiles para direccionar el recurso a las áreas donde más requieran mejorar la fiabilidad y gestionar mejor el riesgo. (Pablo Romero Carranza, 2013)

2.2.9.2 Análisis de criticidad

“Es una metodología de evaluación que permite jerarquizar por su importancia e impacto global en la compañía, los procesos, los sistemas y activos. Creando una estructura que facilite la toma de decisiones efectivas y acertadas de manera tal que se orienten los esfuerzo tanto materiales como humanos al área donde sea importante mejorar la fiabilidad Operacional” (Parra C, 2012, p.63).

Para determinar la criticidad se realiza una evaluación en base a la frecuencia y consecuencia de falla.

Para la ponderación de la criticidad existe una metodología basada en la teoría del riesgo según API ER 581.

$$[\mathbf{Riesgo} = \mathbf{Frecuencia} * \mathbf{Consecuencia}]$$

$$[\mathbf{Frecuencia} = \mathbf{N}^{\circ} \text{ de fallos en un tiempo determinado}]$$

$$[\mathbf{Consecuencia} = (\mathbf{Impacto operacional} * \mathbf{Flexibilidad})$$

$$+ \mathbf{Costos de Mantto.} + \mathbf{Impacto SAH}]$$

Tabla N° 3

Criterios para la evaluación de la criticidad

Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallas /año	4
3 – 4 fallas/año	3
1 – 2 fallas/año	2
No presenta fallas en el año	1
Impacto operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacto en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1
Flexibilidad Operacional	
No existe equipo de respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo/ repuesto disponible en Almacén	1
Costos de Mantenimiento	
Superior 350,000.00\$	2
Intermedio 150,000.00\$	1
Inferior 70,000.00\$	0
Impacto a la seguridad y medio ambiente	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daño a personas o impactos al medio ambiente	0

Fuente: Publicación periódica del Club de Mantenimiento

La criticidad se determina mediante el producto de los factores que miden ambos aspectos y que se correlacionan en la matriz de criticidad mostrada en la siguiente tabla.

Tabla N° 4.

Matriz de criticidad

FRECUENCIA	4	B	B	A	A	A
	3	B	B	B	A	A
	2	C	C	B	B	A
	1	C	C	C	B	A
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: ISO 14224-2016 (2016)

2.2.10 Modelo de Distribución de Confiabilidad

Para el estudio de la confiabilidad se toman modelos probabilísticos, se evalúa la probable ocurrencia de un evento de falla y se toma como dominio el tiempo.

Walpole (2012) concluye: “Las aplicaciones de la ingeniería de mantenimiento usan frecuentemente modelos de distribución (Weibull y exponencial)” (p.197). En nuestro caso tomaremos a $f(t)$ como función densidad de fallas y $F(t)$ como su asignada función de distribución.

El modelo de weibull nos permite representar una gran cantidad de datos reales:

Sabemos que:

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] \dots [21]$$

En el año 1951 weibull propuso una expresión empírica pero funcional para la tasa de fallos:

$$\int \lambda(t) dt = \left[\frac{t-t_0}{n} \right]^\beta \dots [22]$$

Entonces

$$R(t) = \exp\left(- \left[\frac{t-t_0}{n} \right]^\beta \right) \dots [23]$$

Donde:

t_0 = Parámetro inicial de localización

η = Parámetro de escala – vida característica

β = Parámetro de forma – Pendiente

Entonces según los parámetros evaluaremos cuando $t_0 = 0$ y $t_0 \neq 0$.

Cuando: $t_0 = 0$

$$R(t) = \exp\left(- \left[\frac{t}{n} \right]^\beta \right) \dots [24]$$

Cuando: $t_0 \neq 0$

$$R(t) = \exp\left(- \left[\frac{t-t_0}{n} \right]^\beta \right) \dots [25]$$

Los efectos de los parámetros de weibull son:

Efecto de β sobre $f(t)$

- ✓ $t_0 = 0$: el mecanismo no tiene una duración de fiabilidad intrínseca, y:
- ✓ Si $\beta < 1$ la tasa de fallos disminuye con la edad sin llegar a 0
- ✓ Si $\beta = 1$ la tasa de fallo se mantiene constante
- ✓ Si $\beta > 1$ la tasa de fallo se incrementa con la edad de forma continua

- ✓ Si $\beta = 3.44$ Se cumple que la media es igual a la mediana y la distribución de weibull es sensiblemente igual a la normal.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Definiciones de términos

2.3.1.1 Estrategia de mantenimiento.

Francés A. (2006). Define planificación estratégica como “un proceso en el cual se establecen lineamientos estratégicos y sistemáticos de una compañía, se agregan y desarrollan guías y procedimientos para la actividad, se asignan recursos y finalmente se documenta en un plan”.

El autor también indica que “La planificación estratégica toma en cuenta la incertidumbre mediante el reconocimiento de oportunidades y riesgos en el entorno, tratando de anticipar lo que otros puedan hacer”.

La planificación estratégica, es una herramienta de diagnóstico, análisis y toma de decisiones colectivas en torno a las actividades que se realizan en el presente y al camino que deben recorrer éstas en el futuro para que la empresa se adapte a los cambios y a las demandas del entorno logrando el máximo de eficiencia y calidad de sus funciones. Por tanto, la planificación estratégica es un proceso participativo que permite definir una serie de propósitos en función de los cuales se ejecutan una serie de acciones.

Todos los departamentos de una empresa necesitan estrategias. Se debe implantar instructivos que sirvan a los encargados de los departamentos a alcanzar las metas y objetivos de la compañía.

- ✓ “Aspectos como calidad, seguridad, Optimizacion e interrelaciones, están siendo de gran apoyo en la gestión de mantenimiento industrial. Estos aspectos deben ser incluidos en todas las formas de trabajo del departamento. Y estas serían las razones principales por las cuales se debe implementar la gestión del mantenimiento”. (Santibañez, 2009, p, 46).

2.3.1.2 Criticidad de mantenimiento.

Según Parra, C. (2012). Es un método que permite identificar y jerarquizar por su relevancia los activos de una instalación sobre las cuales vale la pena dirigir nuestros esfuerzos, recursos (económicos y tecnológicos). En pocas palabras, la evaluación del análisis de criticidad ayuda en la determinación e importancia y las consecuencias potenciales de falla del sistema de producción dentro del contexto en el que se desempeñan.

2.3.1.3 Gestión de mantenimiento.

Básicamente consiste en optimizar recursos y materiales para mejorar la mantenibilidad y así garantizar la continuidad del proceso productivo. evitando sobrecostos por mantenimiento ineficiente. Actualmente existen software en apoyo a la gestión del mantenimiento los cuales tienen la finalidad de cumplir algunos objetivos como: programar las actividades de manera adecuada y eficiente, controlar los costos de mantenimiento asegurando que la corporación cumpla con s las regulaciones requeridas según los estándares mundiales.

2.3.1.4 KPI, (Indicador clave de desempeño).

Es un medidor de rendimiento, conocido también como indicador clave de desempeño. Es usado para medir el éxito de las acciones y/o estrategias aplicado en cualquier proceso en general.

2.3.1.5 Mantenimiento correctivo.

Son las acciones en conjunto que se realizan de forma inesperada para solucionar defectos prematuros que presentan los equipos.

2.3.1.6 Mantenimiento preventivo.

Es el mantenimiento donde las intervenciones son periódicas y normalmente planificadas de acuerdo a una frecuencia de mantenimiento previa evaluación de los componentes críticos y tiene como objetivo principal el de mantener operativo el equipo a un nivel de servicio constante.

2.3.1.7 Mantenimiento predictivo.

Es el mantenimiento que está sujeto a un monitoreo por condición, busca monitorear y conocer de manera real y continua el estado del equipo, a través de la recolección de datos según la técnica predictiva utilizada con la cual determinaremos variables cuyas variaciones indicaran las posibles fallas anticipadas que puedan detener el equipo.

CAPITULO III. MÉTODO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de la investigación a ejecutarse es aplicada “porque tiene por objetivo la generación de conocimiento con aplicación directa y a mediano plazo en el sector minero-industrial para mejorar la disponibilidad mecánica de algún equipo” (Murillo, 2008). Para nuestro caso las grúas puente objeto de la investigación. Una característica del tipo de investigación es que se pondrá a prueba experimental y se van a contrarrestar a las escalas correspondientes comparando resultados antes y después de optimizar el plan de mantenimiento.

Además de que se aborda algunos aspectos cuantitativos al estimar tasas de fallos en un periodo establecido.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación tiene un diseño Pre-Experimental con toma de datos Transversal.

Hernández R. (2015). Define “el diseño pre-experimental es aplicable a un solo grupo cuyo control es mínimo. Este diseño es funcional como primera vista a la problemática real de la investigación”.

Según Campbell y Stanley (1963). “Una investigación pre-experimental se produce cuando se compara un grupo al cual se le realizó un tratamiento experimental con otro al cual no se le realizó el tratamiento”.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

El lugar de estudio donde se implementará la investigación es la empresa minera Southern Peru Copper Corporation.

3.3.1 Población:

La población para el presente estudio estará conformada por los datos extraídos de:

- ✓ Los Documentos de control general de mantenimiento (Planes de mantenimiento actuales)
- ✓ Los Documentos de planeamiento: (Plan anual de mantenimiento e indicadores).
- ✓ Los Históricos de falla (SAP PM)

La muestra corresponde a la información específica de los equipos que ingresaran al análisis 3 grúas puente modelo C-24974 y 18 Subsistemas (Ítem Mantenible). (Ver tabla 05)

Tabla N° 5

Tabla de Análisis (Sub sistemas de Grúas Puentes C-24974).

Ubicación técnica	Nombre del Sub sistema	Cantidad de equipos instalados 3 grúas
ILO-FU-CO-A290-CRA001-CNPN	PANEL DE FUERZA	03
ILO-FU-CO-A290-CRA001-CYMO	CONTROL Y COMUNICACIÓN	03
ILO-FU-CO-A290-CRA001-HOIS	IZAJE	03
ILO-FU-CO-A290-CRA001-STRU	ESTRUCTURA	
ILO-FU-CO-A290-CRA001-TRAN	TRASLACIÓN	03
ILO-FU-CO-A290-CRA001-TROL	TROLLEY	03
Total		18

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Muestra:

La muestra del estudio será no probabilística es decir estará conformada por toda la población indicada.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

Se realizará una encuesta para determinar la efectividad del mantenimiento (MES).

Para desarrollar el análisis de disponibilidad mecánica antes de la optimización del plan de mantenimiento, se usará la técnica documental

denominada registros de reportes de trabajos correctivos de mantenimiento (Históricos de Fallas).

Para desarrollar el análisis de disponibilidad luego de la optimización del plan de mantenimiento, se usa la técnica comparativa de observación llamada también: registros de actividades preventivas y autónomas.

3.4.2 Instrumentos

Ya que cada técnica de recolección posee un propio instrumento, en cada caso será:

El instrumento para el análisis de la auditoria (MES) son las hojas de encuesta entregadas a los departamentos involucrados. La confiabilidad del instrumento se evaluó con Alfa de cronbach con un rango de 0.61 a 0.80 dando una magnitud Alta de 0.738.

El instrumento de los registros de reportes de actividades correctivas de mantenimiento son los formatos de reportes de actividades no programadas de mantenimiento las cuales están imputadas a una orden de mantenimiento en el sistema SAP PM (ZPM1 Status 0). Para la validación de este instrumento nos amparamos en la norma ISO 14224-2016.

El instrumento para los registros de actividades preventivas y autónomas son los formatos de actividades preventivas o formatos de inspección rutinaria. Para la validación de este instrumento nos amparamos en la norma ISO 14224-2016.

3.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.5.1 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO

El procesamiento de los datos se efectuará registrando la información y los cálculos en tablas mediante la herramienta para análisis de datos Microsoft Excel, procesaremos los datos de manera tal que podamos presentarlos gráficamente para facilitar el análisis de los resultados.

En esta sección se detalla el flujo de la información recopilada para el posterior análisis, así como los instrumentos de recolección y formulas descritos anteriormente obedeciendo el procedimiento siguiente.

La información que se va analizar proviene de la recolección organizada de datos del sistema SAP y de formularios diseñados para dicha evaluación:

- Data técnica del equipo (Anexo A3).
- Histórico de fallas de las grúas puente de convertidores.
- Fórmulas para el cálculo del MTBF, MTTR y Disponibilidad.
- Cálculo de la confiabilidad de las grúas puente.
- Cálculo de densidad de falla.
- Cálculo de fiabilidad e infiabilidad de falla.
- Cálculo de tasa de mortalidad.
- Cálculo del punto de intersección de la fiabilidad e infiabilidad.
- Cálculo de la disponibilidad antes de la optimización.
- Formato de encuesta para evaluar la efectividad del mantenimiento.
- Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) antes de la optimización.
- Diagrama de Pareto de evaluación donde indicaremos las fallas más recurrentes.

- Cumplimiento del programa de mantenimiento antes de la optimización.
- Análisis de modo de falla, efectos y criticidad (AMEFC).
- Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) optimizado.
- Tabla general de valoración matriz cuantitativa según teoría del riesgo.
- Cálculo de funciones y parámetros de weibull.
- Cálculo de regresión y correlación.
- Formato de estrategia y plan de mantenimiento.
- Formato de Hojas de inspección.
- Cálculo de la disponibilidad optimizada.
- Reporte de Ordenes de mantenimiento correctivas.
- Reporte de Ordenes de mantenimiento preventivas.
- Reporte de planes de mantenimiento
- Cumplimiento del programa de mantenimiento
- Reporte taxonómico de la instalación de las grúas puente.
- Reporte de gastos de mantenimiento enero 2018 - marzo 2020.

3.5.2 ANÁLISIS DE DATOS

De la información indicada analizaremos los datos de los resultados iniciales antes de la optimización y presentaremos la estadística aplicada para determinar según el análisis la mejora del plan de mantenimiento existente.

Del anexo 4 tenemos;

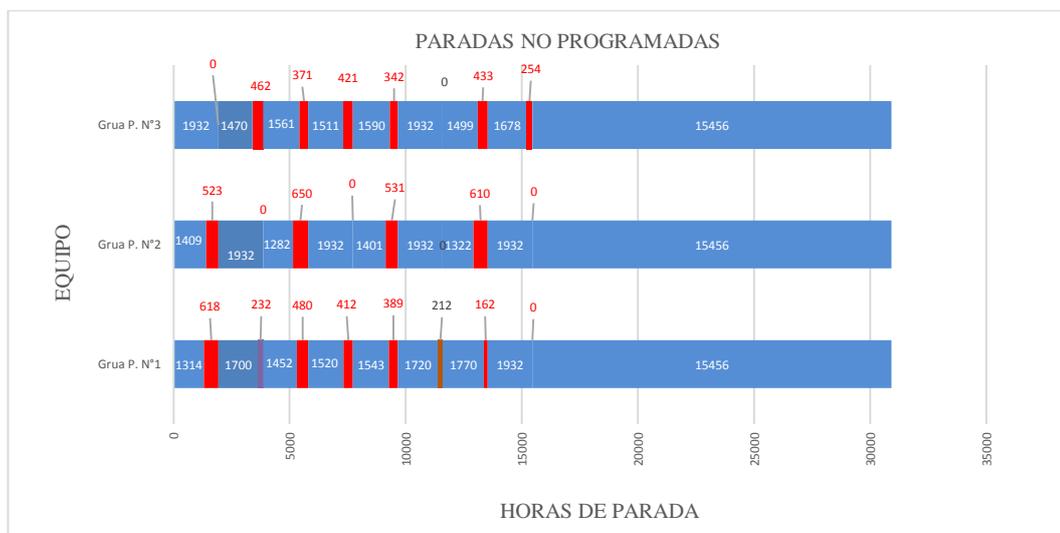


Figura N°1 Disponibilidad de grúas puente y horas de parada

Para calcular la disponibilidad inicial antes de la identificación de la criticidad y optimizar la frecuencia del plan de mantenimiento se revisaron los históricos de paradas no programadas en el periodo de 24 meses, 8 trimestres en las tres grúas puente de convertidores (Tabla N°6, N°7 y N°8).

Tabla N°6

Calculo de la confiabilidad en la grúa puente 1.

T, ("Mes")	1	2	3	4	5	6	7
Horas de paradas	618	232	480	412	389	212	162
T, Trimestre	Horas de falla en el trimestre	n(t), Horas de falla al final del trimestre	N(t), Horas de funcionamiento al final del trimestre	f(t), Proporción de horas de falla en el trimestre	F(t), Proporción acumulada de horas de falla en el trimestre	R(t), Proporción de horas en funcionamiento al final del trimestre	(λ)Tasa de mortalidad Tasa de fallas
1	618	618	1887	0.247	0.247	0.753	0.247
2	232	850	1655	0.093	0.339	0.661	0.123
3	480	1330	1175	0.192	0.531	0.469	0.290
4	412	1742	763	0.164	0.695	0.305	0.351
5	389	2131	374	0.155	0.851	0.149	0.510
6	212	2343	162	0.085	0.935	0.065	0.567
7	162	2505	0	0.065	1.000	0.000	1.000
TOTAL	2505						

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°7

Calculo de la confiabilidad en la grúa puente 2.

T, ("Mes")	1	3	5	7				
Horas de paradas	523	650	531	610				
T, Trimestre	Horas de falla en el trimestre	n(t), Horas de falla al final del trimestre	N(t), Horas de funcionamiento al final del trimestre	f(t), Proporción de horas de falla en el trimestre	F(t), Proporción acumulada de horas de falla en el trimestre	R(t), Proporción de horas en funcionamiento al final del trimestre	Fiabilidad	(λ)Tasa de mortalidad Tasa de fallas
1	523	523	1791	0.226	0.226	0.774		0.226
3	650	1173	1141	0.281	0.507	0.493		0.363
5	531	1704	610	0.229	0.736	0.264		0.465
7	610	2314	0	0.264	1.000	0.000		1.000
TOTAL	2314							

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°8

Calculo de la confiabilidad en la grúa puente 3.

T, ("Mes")	2	3	4	5	7	8	
Horas de paradas	462	371	421	342	433	254	
T, Trimestre	Horas de falla en el trimestre	n(t), Horas de falla al final del trimestre	N(t), Horas de funcionamiento al final del trimestre	f(t), Proporción de horas de falla en el trimestre	F(t), Proporción acumulada de horas de falla en el trimestre	R(t), Proporción de horas en funcionamiento al final del trimestre	(λ)Tasa de mortalidad Tasa de fallas
2	462	462	1821	0.202	0.202	0.798	0.202
3	371	833	1450	0.163	0.365	0.635	0.204
4	421	1254	1029	0.184	0.549	0.451	0.290
5	342	1596	687	0.150	0.699	0.301	0.332
7	433	2029	254	0.190	0.889	0.111	0.630
8	254	2283	0	0.111	1.000	0.000	1.000
TOTAL	2283						

Fuente: Elaboración Propia

Con la información recolectada en las tablas N°6, N°7 y N°8 Analizaremos la densidad de falla, fiabilidad, infiabilidad y tasa de mortalidad en las grúas puente 1, 2 y 3 objetos de la investigación.

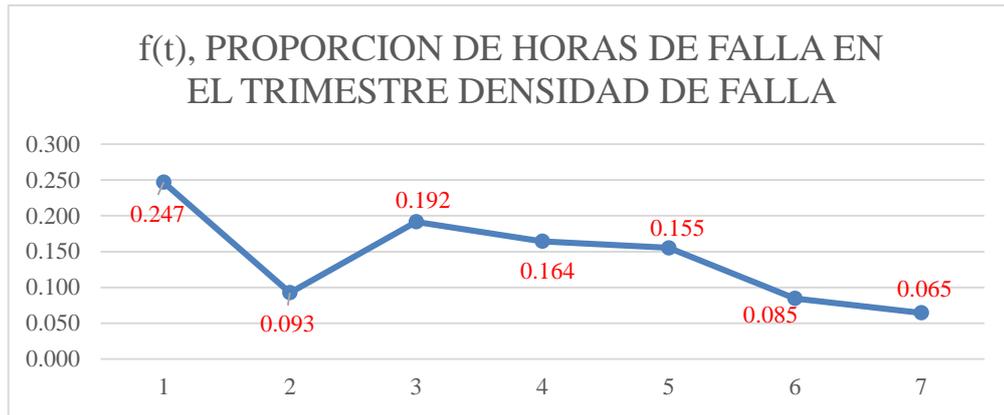


Figura N°2 Densidad de falla grúa puente 1

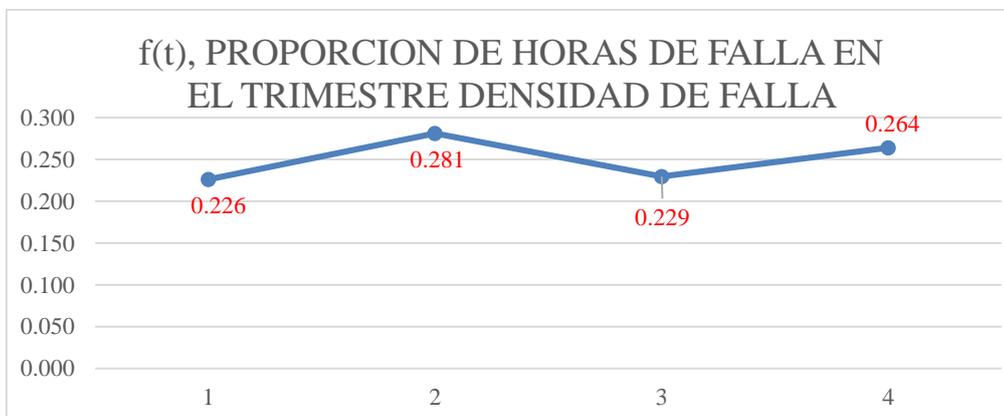


Figura N°3 Densidad de falla grúa puente 2

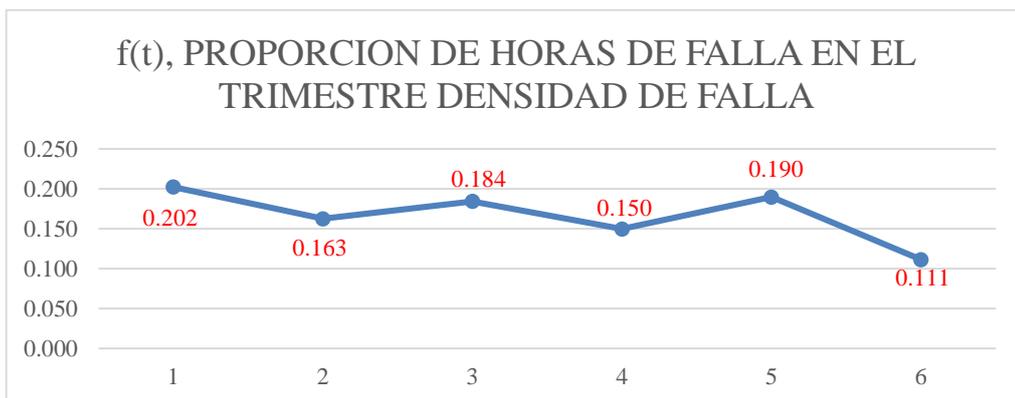


Figura N°4 Densidad de falla grúa puente 3

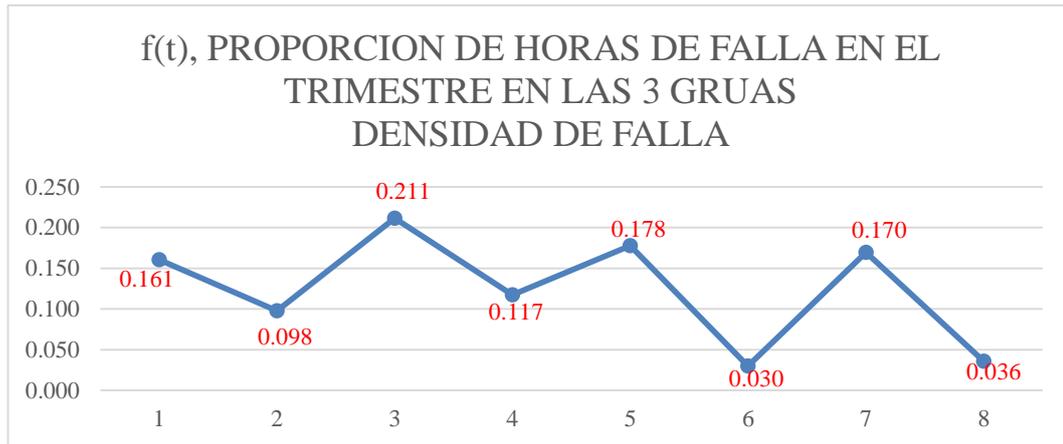


Figura N°5 Densidad de falla total en las grúas puente

En la Figura N° 5 Podemos observar que la densidad de falla en el periodo establecido para el análisis aumentó en los trimestres 3, 5 y 7 esto indica claramente que la gestión actual del mantenimiento y el plan de mantenimiento necesitan de una nueva evaluación. Se refuerza la hipótesis de que la identificación de los componentes críticos y la optimización de la frecuencia del plan de mantenimiento a través de la distribución de weibull mejorará la disponibilidad en las grúas puente modelo C-24974 en la empresa SOUTHERN PERÚ COPPER CORPORATION.

Ahora realizaremos el cálculo y análisis de los parámetros de fiabilidad, Tasa de mortalidad e Infiabilidad de las grúas puente.

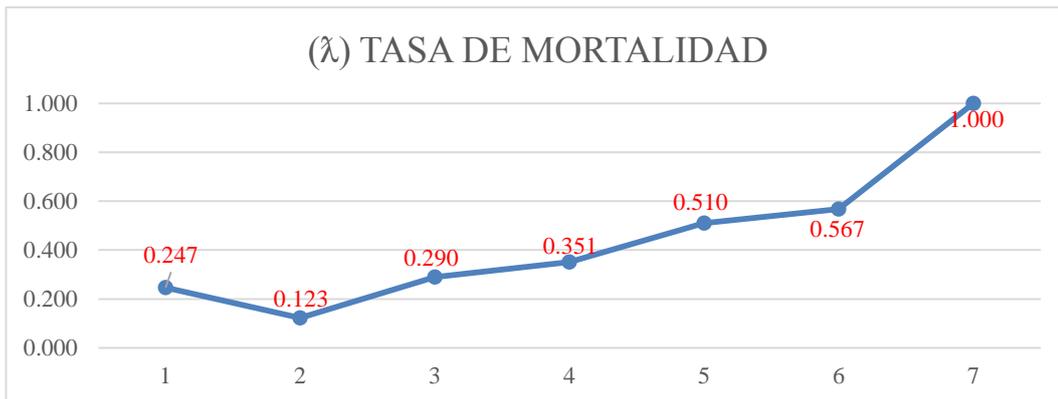


Figura N°6 Tasa de mortalidad en la grúa puente 1

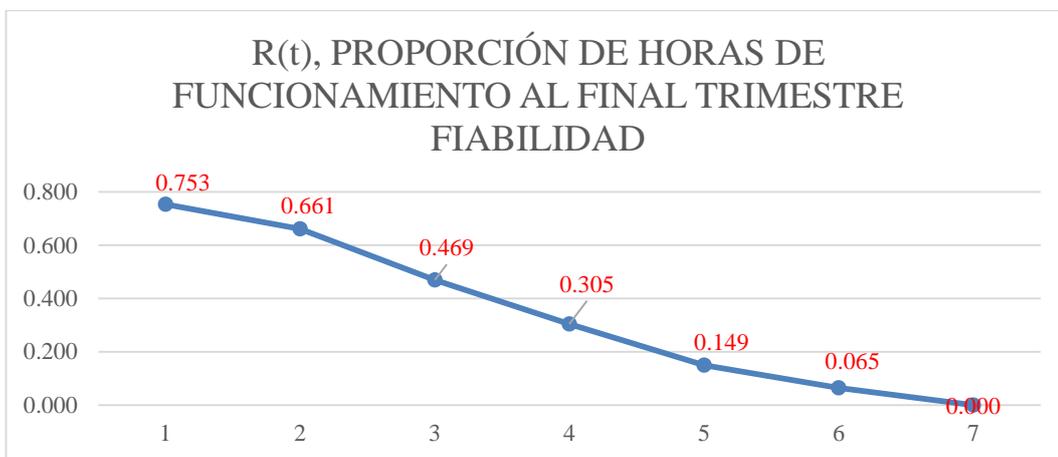


Figura N°7 Fiabilidad en la grúa puente 1

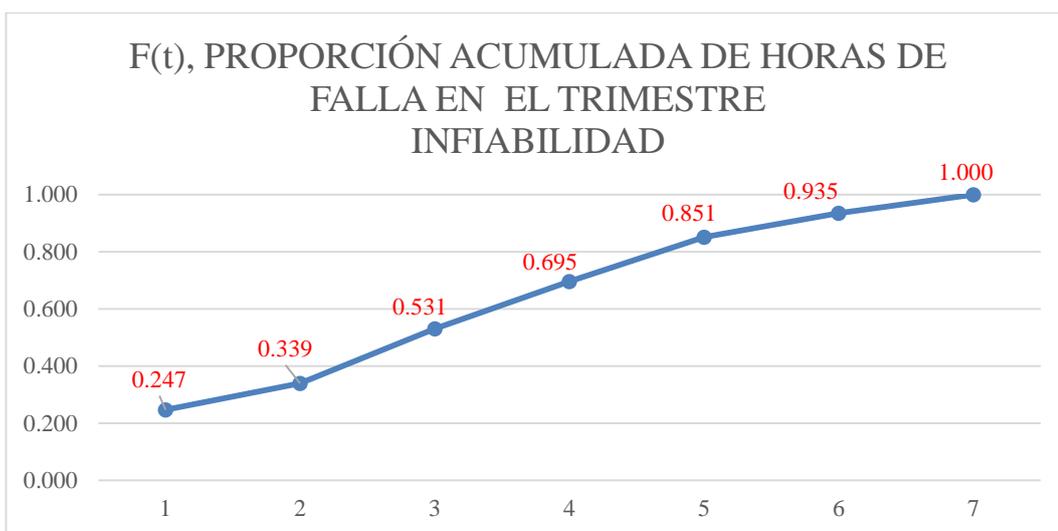


Figura N°8 Infiabilidad en la grúa puente 1

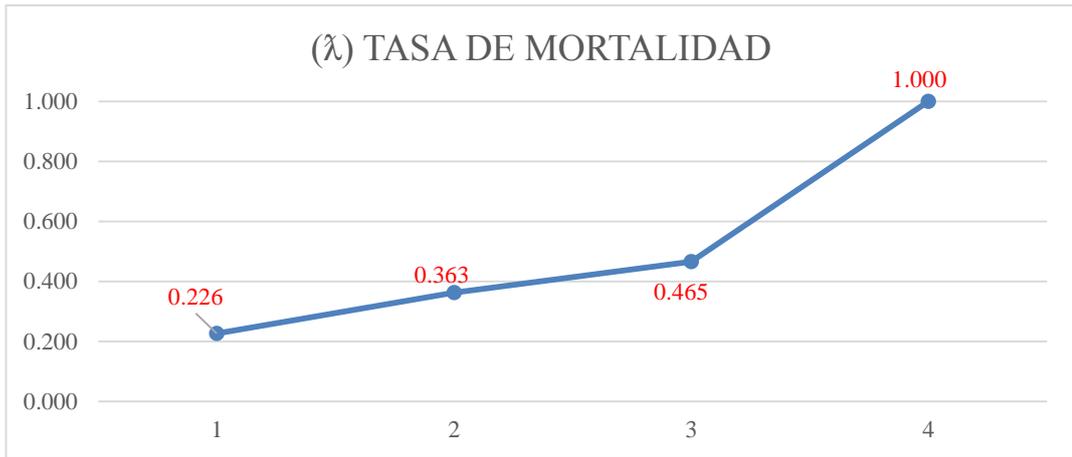


Figura N°9 Tasa de mortalidad en la grúa puente 2

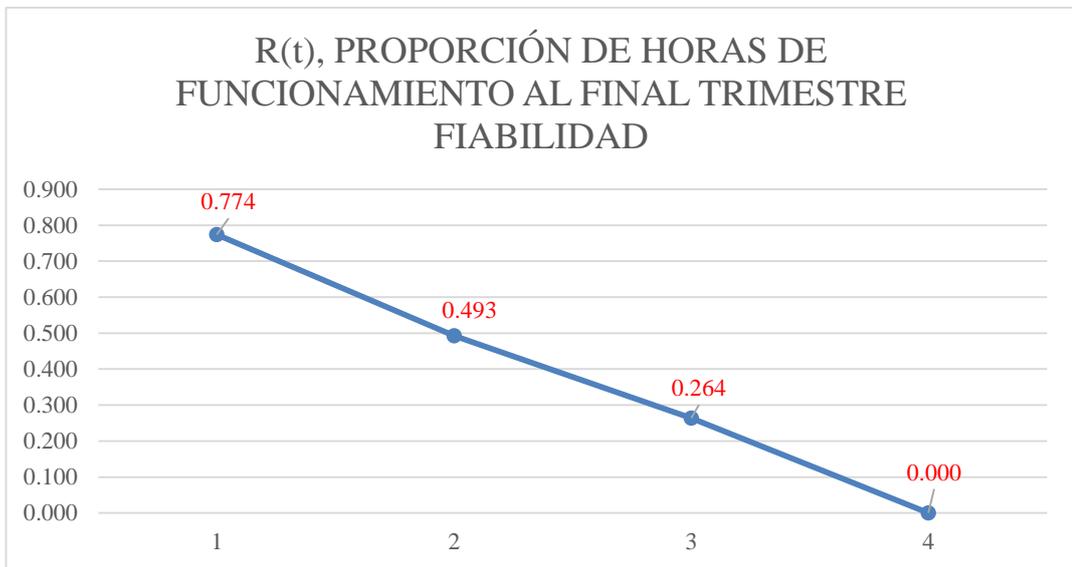


Figura N°10 Fiabilidad en la grúa puente 2

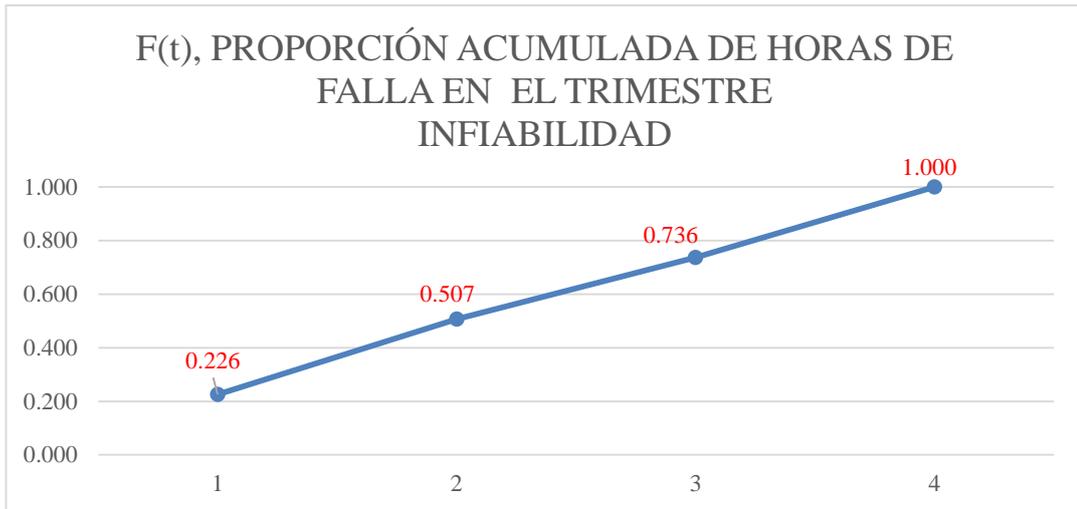


Figura N°11 Infiabilidad en la grúa puente 2

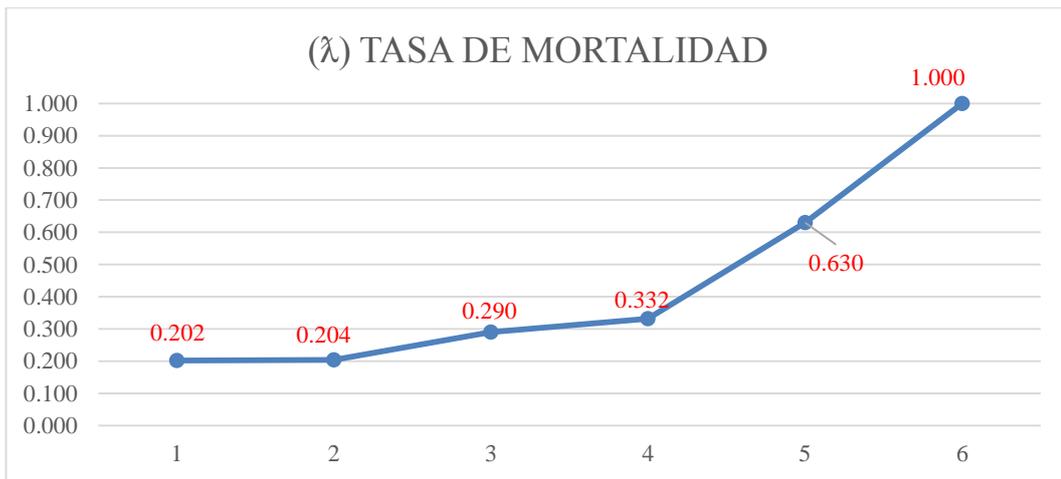


Figura N°12 Tasa de mortalidad en la grúa puente 3

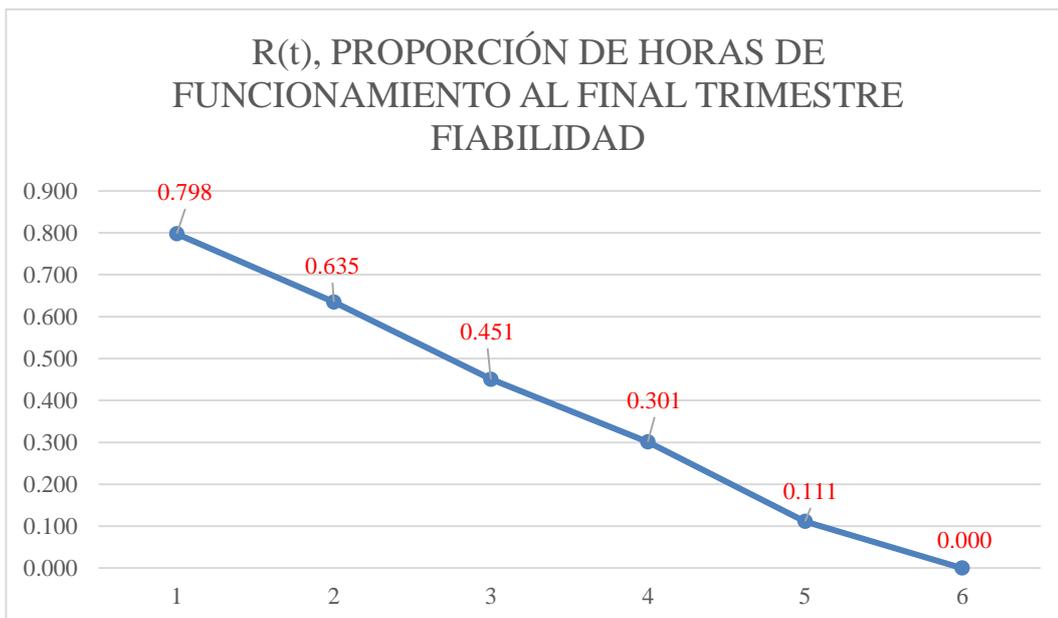


Figura N°13 *Fiabilidad en la grúa puente 3*

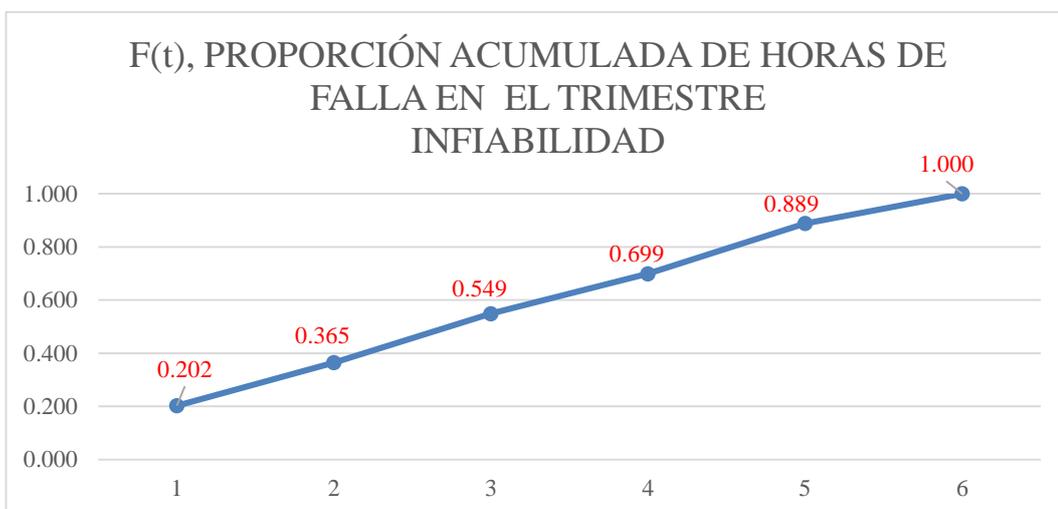


Figura N°14 *Infiabilidad en la grúa puente 3*



Figura N°15 Tasa de mortalidad Total en las 3 grúas puente.

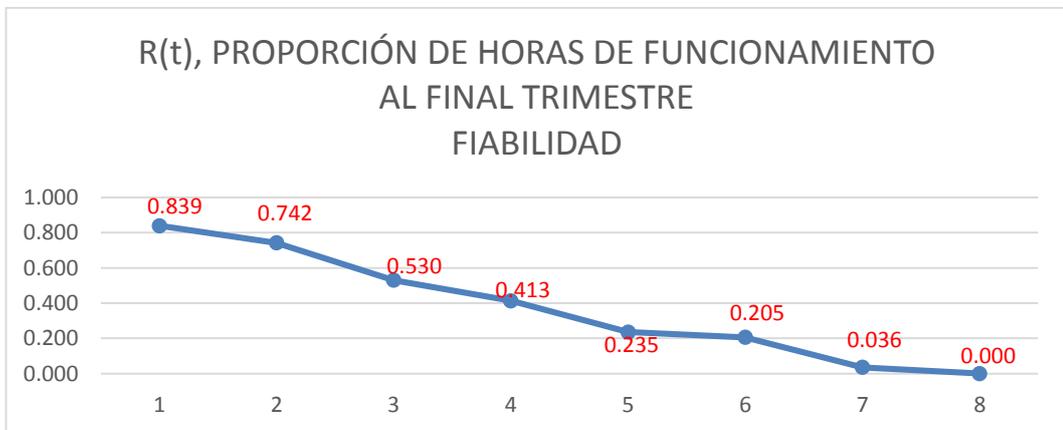


Figura N°16 Fiabilidad Total en las 3 grúas puente.

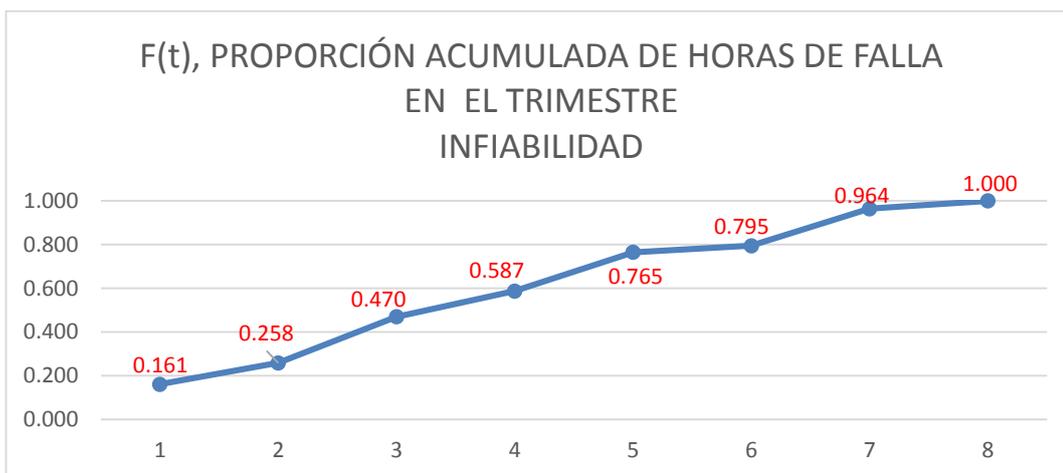


Figura N°17 Infiabilidad Total en las 3 grúas puente.

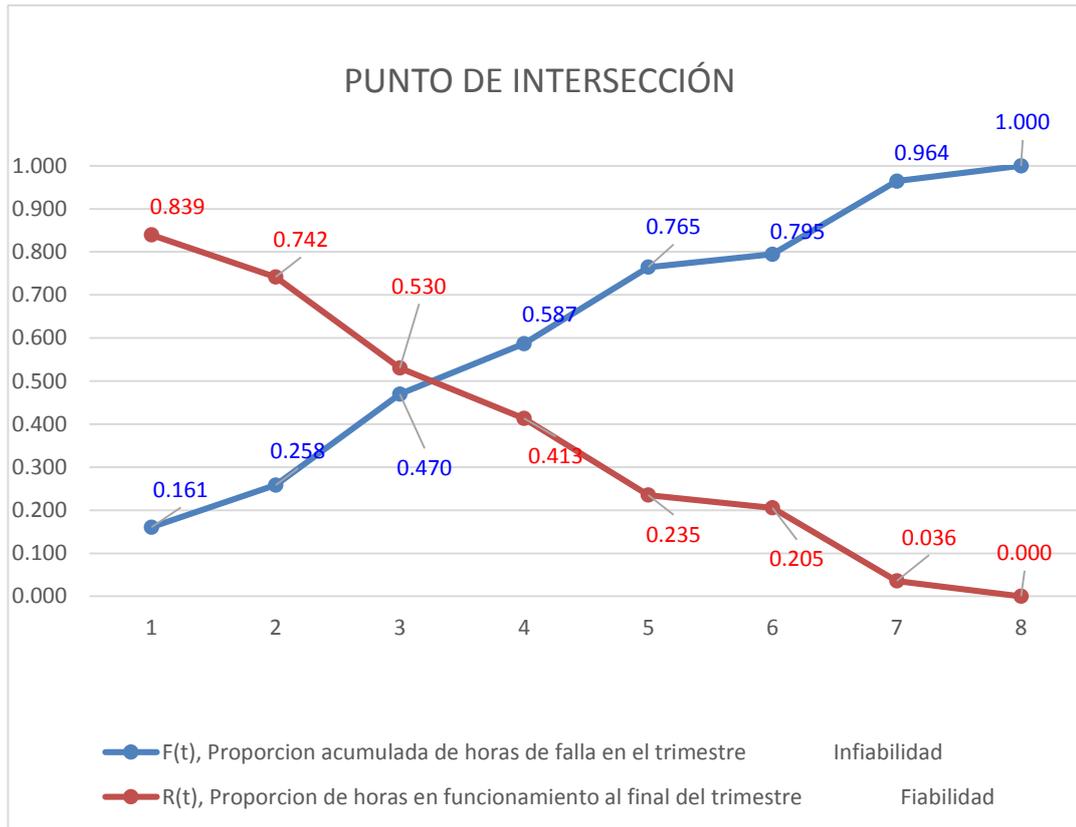


Figura N°18 Punto de Intersección Fiabilidad e Infiabilidad

De los gráficos Interpretamos lo siguiente:

Si observamos las figuras N° 6, 9 y 12 Tasa de mortalidad en el periodo establecido de 8 trimestres la tasa de mortalidad aumenta con el tiempo, además la fiabilidad (Figura N° 7, 10 y 13) de los equipos va disminuyendo y la infiabilidad (Figura N° 8, 11 y 14) va en aumento esto indudablemente indica que tenemos falencias en la disponibilidad de las grúas puente.

Con los datos registrados en el periodo establecido calculamos la disponibilidad mecánica de las grúas puente.

De la figura N°1 expresamos la siguiente tabla N°9 reemplazando los datos en la Ecuación [32], [34] y [37]

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operacion}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$$

$$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de reparacion}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$$

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Tabla N°9

Disponibilidad actual total de las grúas puente.

Equipo	N° DE EVENTOS	MTTR (Tiempo medio de reparación)	MTBF (Tiempo medio de fallas)	% Disponibilidad
TOTAL FLOTA	17	417.76	2309.76	84.68%
Grúa P. N°3	6	380.50	2195.50	85.23%
Grúa P. N°2	4	578.50	3285.50	85.03%
Grúa P. N°1	7	357.86	1850.14	83.79%

Fuente: Elaboración Propia

La disponibilidad actual antes de la optimización del plan de mantenimiento era de 84.68% según la tabla de valores típicos de disponibilidad (Tabla N°10) por el tipo de proceso continuo al que corresponden las grúas. La disponibilidad está en tercer lugar en el intervalo de 78 – 84% esta es la razón fundamental por la cual se optimizará el plan de mantenimiento.

Tabla N°10

Valores típicos de disponibilidad

TIPO DE PROCESO	PEOR	CUARTIL		
		3RO	2DO	MEJOR
CONTINUO	<78%	78 - 84%	85 - 91%	>91%
BATCH	<72%	72 - 80%	81 - 90%	>90%
QUIMICO, REFINERIA, ENERGIA	<85%	85 - 90%	91 - 95%	>95%
PAPEL	<83%	83 - 86%	87 - 94%	>94%

Fuente: Fluor global Service – Estudio de benchmarking – NA–AP–EU-1996

De la encuesta de la eficacia del mantenimiento (MES) Anexo 2 que se realizó a 8 candidatos de diferentes Áreas:

- ✓ Recursos gerenciales
- ✓ Gerencia de la información
- ✓ Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo
- ✓ Planificación y ejecución
- ✓ Soporte al mantenimiento, calidad y motivación

Se deriva la siguiente tabla 11.

Tabla N° 11

Tabla de Resultados de encuesta

Resultados por áreas	Valor máximo esperado por área 36 puntos
Recursos Gerenciales	29.5
Gerencia de la Información	30.5
Equipos y técnicas de mant. Preventivo	20.5
Planificación y Ejecución	20.625
Soporte, Calidad y Motivación	30
Totales	131.125

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 12

Tabla de Resultados de valores esperados

Resultados	Valor máximo esperado por los tres criterios 180 puntos
Número de participantes	8
Criterios	
1 (por debajo del promedio)	10.75
2 (promedio)	55.5
3 (por arriba del promedio)	64.875
Totales	131.125

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°13

Valores promedios de efectividad del mantenimiento

Tabla de Resultados de valores promedios

180-160 Clase Mundial / nivel de mejores prácticas operacionales

159-140 Muy bueno / nivel de operaciones efectivas

139-120 Por arriba del nivel promedio

119-100 Promedio / oportunidades para mejorar

99-80 Por debajo del promedio / muchas oportunidades para mejorar

Fuente: Elaboración Propia

La confiabilidad del instrumento se evaluó con Alfa de cronbach con un rango de 0.61 a 0.80 dando una magnitud Alta de 0.738

Con los valores entregados entendemos que estamos por arriba del promedio en cuanto a la eficacia del mantenimiento sin embargo no estamos a nivel de los estándares de clase mundial. Las áreas que necesitan mayor interés y dedicación son: Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo y Planificación ejecución. Estos resultados reflejan que hay una relación entre la disponibilidad y los resultados de los valores promedio esto puede ser la causa de la baja disponibilidad de la grúa puente.

Una vez conocidas las Áreas a las cuales se le debe prestar interés hacemos hincapié a los equipos del área de convertidores específicamente a las 3 grúas puente Modelo C-24974. El diagnóstico inicial se hará considerando los modos y

efecto de falla actuales indicados en el AMEF (Tabla N° 14), evaluaremos con un diagrama de Pareto (Figura N°26) e identificaremos las fallas recurrentes.

La Información recopilada fue registrada desde el 2018 (Históricos de fallas) el periodo en evaluación es de 24 meses 8 trimestres la evaluación se realizó a las 3 grúas puente en simultaneo.

Tabla N° 14

Tabla de resumen de modos de falla

#	Estándar de ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de falla
1. TRASLACIÓN DEL PUENTE					
1	Ser capaz de trasladar al Puente grúa entre las columnas 11 y 60, en un rango de velocidad 0 a 292.04 pies/s	1.A	No traslada al puente	1.A.1	No hay energía
				1.A.2	Falla de control eléctrico
				1.A.3	Falla de motor eléctrico
				1.A.4	Falla de transmisión cardanica
				1.A.5	Falla de rueda motriz lado este
				1.A.6	Falla de rueda motriz lado oeste
				1.A.7	Falla de sistema de freno
				1.A.8	Falla de ruedas conducidas
				1.A.9	Falla de reductor lateral lado este
				1.A.10	Falla de acoplamiento flotante lado este
				1.A.11	Falla de reductor lateral lado oeste
				1.A.12	Falla de acoplamiento flotante lado oeste
				1.A.13	Falla de reductor central del puente
1	Traslada a una velocidad de fuera del rango	1.B	Traslada a una velocidad de fuera del rango	1.B.1	Falla de control eléctrico
				1.B.2	Falla de motor eléctrico
				1.B.3	Falla de rueda motriz lado este
				1.B.4	Falla de rueda motriz lado oeste
				1.B.5	Falla de sistema de freno
				1.B.6	Falla de ruedas conducidas
				1.B.7	Falla de reductor lateral lado este
				1.B.8	Falla de reductor lateral lado oeste
				1.B.9	Falla de reductor central del puente

	1.C	Traslada el puente grúa en un solo sentido	1.C.1	Falla de control eléctrico
<u>TRASLACIÓN DEL TROLLEY</u>				
2	2.A	No traslada el trolley	2.A.1	No hay energía
			2.A.2	Falla de control eléctrico
			2.A.3	Falla de motor eléctrico
			2.A.4	Falla de transmisión cardanica
			2.A.5	Falla de rueda motriz lado norte
			2.A.6	Falla de rueda motriz lado sur
			2.A.7	Falla de sistema de freno
			2.A.8	Falla de ruedas conducidas
			2.A.9	Falla de reductor vertical
			2.A.10	Falla en las pistas de rodadura
	2.B	Traslada al trolley a una velocidad de fuera del rango	2.B.1	Falla de control eléctrico
			2.B.2	Falla de motor eléctrico
			2.B.3	Falla de rueda motriz lado norte
			2.B.4	Falla de rueda motriz lado sur
			2.B.5	Falla de sistema de freno
			2.B.6	Falla de ruedas conducidas
			2.B.7	Falla de reductor vertical
			2.B.8	Falla en las pistas de rodadura
	2.C	Traslada al trolley en un solo sentido	2.C.1	Falla de control eléctrico
<u>SISTEMA DE IZAJE</u>				
<u>SUB-SISTEMA DE IZAMIENTO</u>				
<u>PASTECA PRINCIPAL 60TN</u>				

3	Ser capaz de izar y descargar una carga máxima de 60 TN, 150 HP - 590 RPM - HEW75RFRAME.	3.A	No iza	3.A.1	No hay energía
				3.A.2	Falla de control eléctrico
				3.A.3	Falla de motor eléctrico
				3.A.4	Falla de cables
				3.A.5	Falla de reductor
				3.A.6	Falla de tambor
				3.A.7	Falla de sistema de freno
				3.A.8	Falla de pasteca
		3.B	Iza a una velocidad menor de 590 RPM	3.B.1	Falla de control eléctrico
				3.B.2	Falla de motor eléctrico
				3.B.3	Falla de reductor
				3.B.4	Falla de sistema de frenos
		3.C	Sube pero no baja la carga	3.C.1	Falla de control eléctrico
3.D	Baja pero no sube la carga	3.D.1	Falla de control eléctrico		
<u>SUB-SISTEMA DE IZAMIENTO AUXILIAR ESTE 10 TN</u>					
4	Ser capaz de izar y descargar una carga máxima de 10 TN, a una velocidad de 575 RPM	4.A	No iza	4.A.1	No hay energía
				4.A.2	Falla de control eléctrico
				4.A.3	Falla de motor eléctrico
				4.A.4	Falla de cables
				4.A.5	Falla de reductor
				4.A.6	Falla de tambor
				4.A.7	Falla de sistema de freno
		4.B	Iza a una velocidad menor de 575 RPM	4.B.1	Falla de control eléctrico
				4.B.2	Falla de motor eléctrico

			4.B.3	Falla de reductor	
			4.B.4	Falla de sistema de freno	
	4.C	Sube pero no baja la carga	4.C.1	Falla de control eléctrico	
	4.D	Baja pero no sube la carga	4.D.1	Falla de control eléctrico	
<u>SUB-SISTEMA DE IZAMIENTO AUXILIAR OESTE 10 TN</u>					
5	Ser capaz de izar y descargar una carga máxima de 10 TN, a una velocidad de 575 RPM	5.A	No iza	5.A.1	No hay energía
			5.A.2	Falla de control eléctrico	
			5.A.3	Falla de motor eléctrico	
			5.A.4	Falla de cables	
			5.A.5	Falla de reductor	
			5.A.6	Falla de tambor	
			5.A.7	Falla de sistema de freno	
	5.B	Iza a una velocidad menor de 575 RPM	5.B.1	Falla de control eléctrico	
			5.B.2	Falla de motor eléctrico	
			5.B.3	Falla de reductor	
			5.B.4	Falla de sistema de freno	
	5.C	Sube pero no baja la carga	5.C.1	Falla de control eléctrico	
	5.D	Baja pero no sube la carga	5.D.1	Falla de control eléctrico	
<u>PANEL DE FUERZA Y ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA</u>					
6	Ser capaz de energizar la grúa con una tensión trifásica de 460 V.	6.A	No energiza	6.A.1	Falla de energía (460 Vac)
			6.A.2	Falla de Main Breaker's Externos	
			6.A.3	Falla de ángulos colectores principales	
			6.A.4	Falla de Porta zapatas principales	

				6.A.5	Falla Main Contactor
				6.A.6	Falla de fusibles de fuerza
				6.A.7	Cables de fuerza
	6.B	Energiza parcialmente		6.B.1	Falla de Aisladores de ángulos principales
				6.B.2	Falla de Porta zapatas principales
				6.B.3	Falla fusible de fuerza
				6.B.4	Falla Main Safety Switch (Cabina)
<u>SISTEMA DE COMUNICACIONES</u>					
7	Ser capaz de comunicar al operador de la grúa con las otras grúas, convertidores y Hornos a fin de evitar accidentes	7.A	No comunica	7.A.1	Falla total de equipo de radio
<u>SISTEMA DE ESTRUCTURAS</u>					
8	Ser capaz de dar el soporte estructural necesario para trasladar cargas de 60 y 10 TN máximo a una velocidad de 1175 rpm	8.A	No da soporte	8.A.1	Fisuramiento total
		8.B	Da soporte parcial	8.B.1	Fisuramiento parcial
				8.B.2	Deflexión excesiva

Fuente: Elaboración Propia

En las siguientes figuras observaremos los principales modos de falla que afectan a las grúas puente de convertidores. Ver Anexo 6

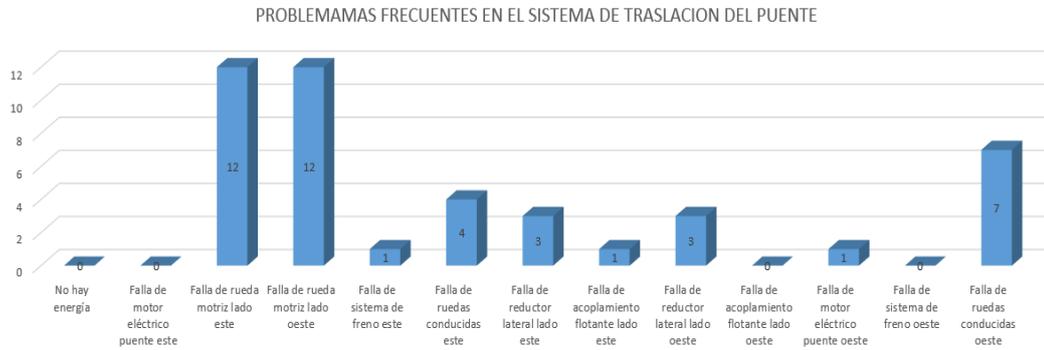


Figura N°19 Problemas frecuentes en el sistema de traslación del puente



Figura N°20 Problemas frecuentes en el sistema de traslación del trolley

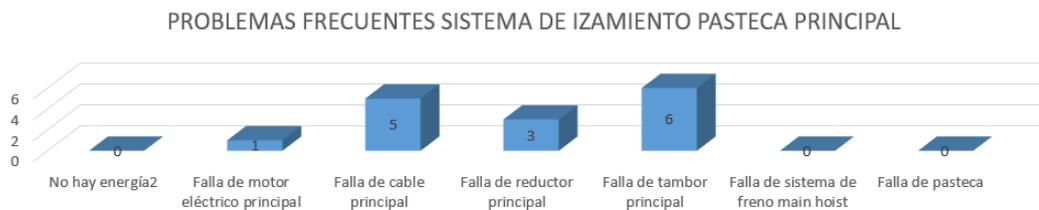


Figura N°21 Problemas frecuentes en el sistema de izaje principal

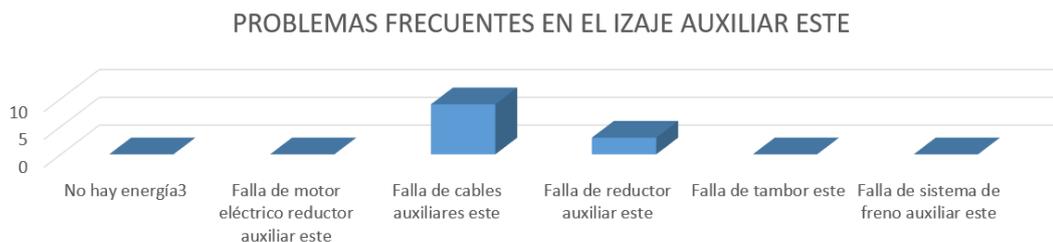


Figura N°22 Problemas frecuentes en el sistema de izaje auxiliar Este

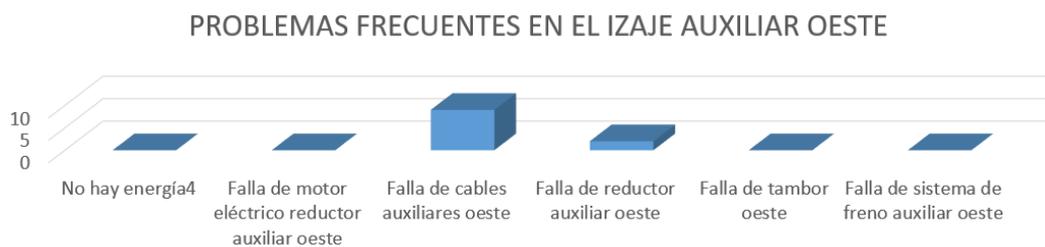


Figura N°23 Problemas frecuentes en el sistema de izaje auxiliar Oeste

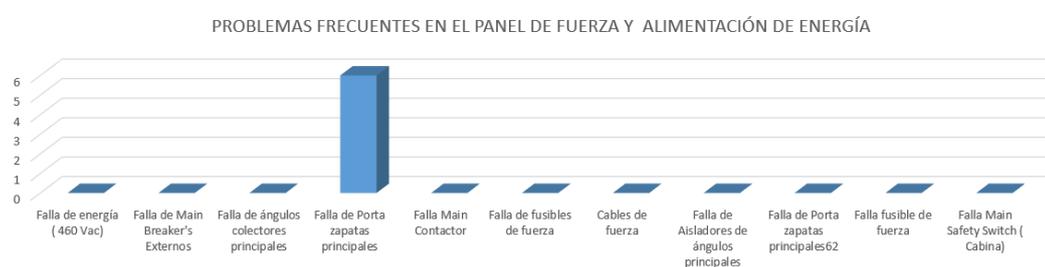


Figura N°24 Problemas frecuentes en el panel de fuerza y alimentación de energía



Figura N°25 Problemas frecuentes en la estructura del puente grúa

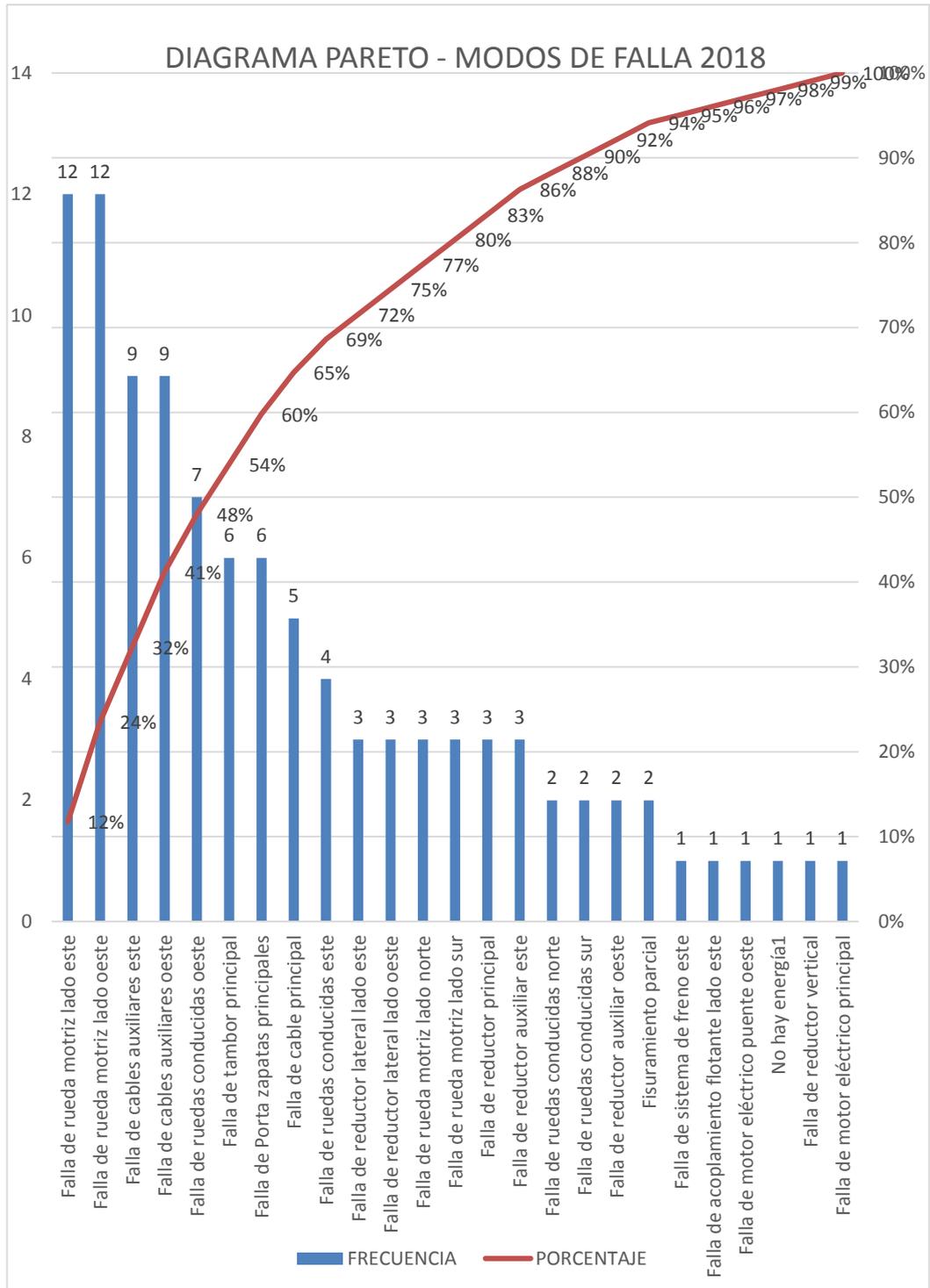


Figura N°26 Diagrama de Pareto Grúas puente

De la figura N°26 se desprende que el 80% de los problemas en las grúas puente son causados por el 20 % de los modos de falla recurrentes siguientes:

- ✓ Falla de rueda motriz lado este
- ✓ Falla de rueda motriz oeste
- ✓ Falla de cables auxiliares este
- ✓ Falla de cables auxiliares oeste
- ✓ Falla de ruedas conducidas oeste
- ✓ Falla de tambor principal
- ✓ Falla de porta zapatas principales
- ✓ Falla de cable principal
- ✓ Falla de ruedas conducidas este
- ✓ Falla de reductor lateral lado este
- ✓ Falla de reductor lateral lado oeste
- ✓ Falla de rueda motriz lado norte
- ✓ Falla de rueda motriz lado sur
- ✓ Falla de reductor principal
- ✓ Falla de reductor auxiliar este

Con esta información ahora canalizamos toda la gestión en los modos y efectos de fallas indicados.

3.5.2.1 Análisis de modo de falla, efectos y criticidad

El (AMEFC) se realizó considerando los modos de falla encontrados según los históricos de falla ver figura N°26 y según la norma ISO-14224-2016.

Básicamente los problemas venían asociados a las paradas no programadas ocasionadas por fallas en las ruedas del puente y trolley de la grúa, así como fallas en los reductores del Puente, Principal y auxiliares este y oeste.

Otras fallas menores recurrentes estaban asociadas a los cables auxiliares y a la porta zapatas de frenos de las grúas puente.

Para la actualización del (AMEF) y el análisis del modo de falla en los componentes rotativos se utilizó la información del fabricante SKF el cual proporciona los lubricantes, sellos, rodamientos y demás componentes necesarios para los equipos involucrados.

Además, se tomó como referencia el software del fabricante SKF, vida nominal básica y skf bearing calculator con el cual se asume el tiempo de vida nominal básica de los rodamientos a 24,600.00 horas, un resumen del cálculo en la siguiente tabla:

Tabla N°15

Bearing utilizados en los componentes rodantes de las gruas puente.

N° DE PARTE	DESCRIPCIÓN	FUERZA RADIAL	FUERZA AXIAL	VELOCIDAD RPM	T° INNER RING °C	T° OUTER RING °C	BEARING RATING LIFE
22326 CC/W33	RODAMIENTO DE RODILLOS ESFERICOS (ID)-130MM;(OD)-280MM;(W)-93MM	150	10	50	60	60	53500
22322E	RODAMIENTO DE RODILLOS ESFERICOS (ID)-110MM;(OD)-240MM;(W)-80MM	150	10	50	60	60	24600

Fuente: Elaboración Propia

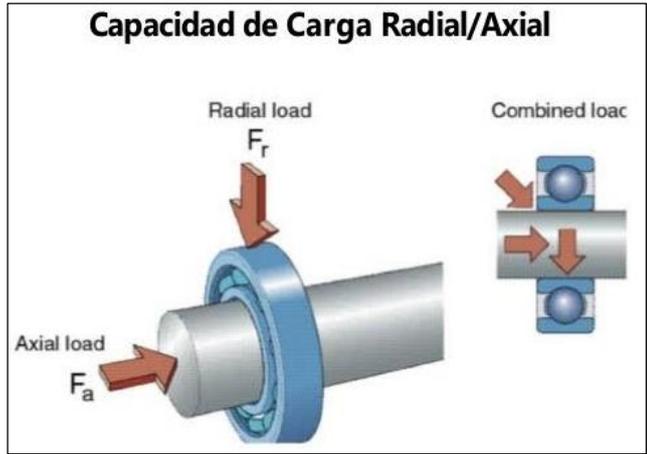


Figura N°27 Capacidad de carga Radial/Axial en rodamientos: Fuente SKF

Top Screenshot (22326 CC/W33):

- Operating conditions:** Grease, Horizontal
- BEARING PROPERTIES:** 22326 CC/W33
- VISCOSITY:** κ : 0.38
- BEARING LOADS:** C/P: 6.96
- GREASE LIFE AND RELUBRICATION INTERVAL:** t_f : 14000 h
- BEARING RATING LIFE:** L_{10m^6} : 53500 h, L_{10m^7} : 14000 h

Bottom Screenshot (22322 E):

- Operating conditions:** Grease, Horizontal
- BEARING PROPERTIES:** 22322 E
- VISCOSITY:** κ : 0.36
- BEARING LOADS:** C/P: 5.82
- GREASE LIFE AND RELUBRICATION INTERVAL:** t_f : 11400 h
- BEARING RATING LIFE:** L_{10m^6} : 24600 h, L_{10m^7} : 118000 h

Figura N°28 Bearing rating life: Fuente skfbearingslect

Para aplicar la metodología (AMFEC) se toma como referencia la norma UNE 60812 – Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas.

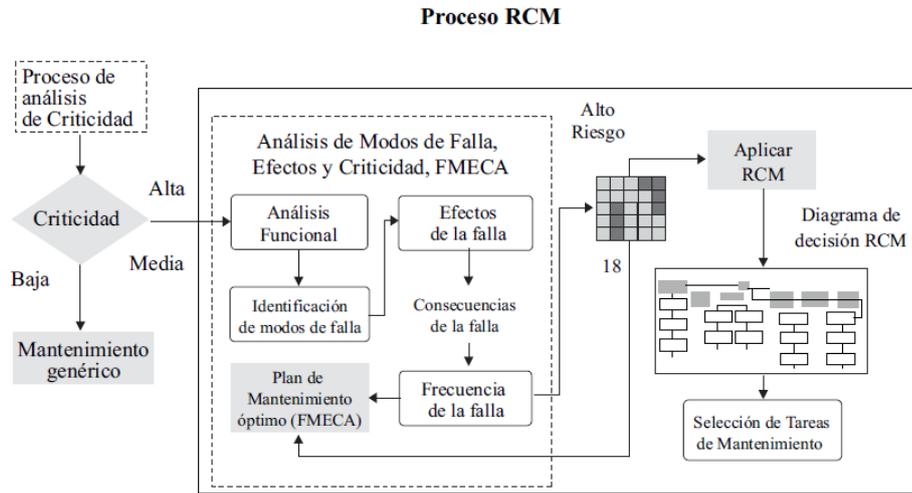


Figura N°29 Aplicación del (AMFEC) en la gestión del mantenimiento

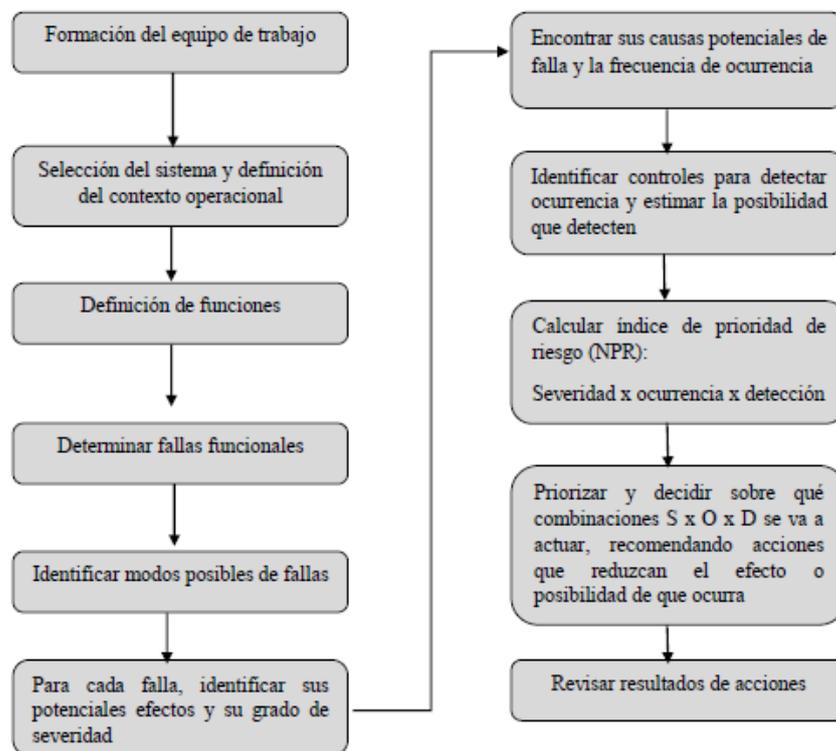


Figura N°30 Esquema de confirmación del AMFEC

Tabla N°16

Tabla de resumen de modos de falla Optimizados Según ISO 14224-2016.

#	Modo de falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla		Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1.A.5	Falla de rueda motriz lado este	1.A.5.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada meses	18	Sustitución ciclica	Cambio de rueda ensamblada Este	Cada 16 meses durante el overhaul	Mecánicos
1.A.6	Falla de rueda motriz lado oeste	1.A.6.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil.	Cada meses	18	Sustitución ciclica	Cambio de rueda ensamblada Oeste	Cada 16 meses durante el overhaul	Mecánicos
1.A.8	Falla de ruedas conducidas Este	1.A.8.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada meses	18	Sustitución ciclica	Cambio de rueda ensamblada Este	Cada 16 meses durante el overhaul	Mecánicos
1.A.9	Falla de reductor lateral lado este	1.A.9.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada meses	18	Sustitución ciclica	Cambio de Reductor lateral Este Spare	Cada 16 Meses durante el overhaul	Mecánicos
1.A.11	Falla de reductor lateral lado oeste	1.A.11.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada meses	18	Sustitución ciclica	Cambio de Reductor lateral Oeste Spare	Cada 16 Meses durante el overhaul	Mecánicos

1.B.6	Falla de ruedas conducidas Oeste	de	1.B.6.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada meses	18	Sustitución ciclica	cambio de rueda ensamblada Oeste	Cada 16 Meses durante el overhaul	Mecánicos
2.A.5	Falla de rueda motriz lado norte	de	2.A.5.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada meses	18	Sustitución ciclica	Cambio de rueda motiz norte	Cada 16 Meses durante el overhaul	Mecánicos
2.A.6	Falla de rueda motriz lado sur	de	2.A.6.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada meses	18	Sustitución ciclica	Cambio de rueda motiz sur	Cada 16 Meses durante el overhaul	Mecánicos
2.A.8	Falla de ruedas conducidas Este	de	2.A.8.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada meses	18	Sustitución ciclica	cambio de rueda ensamblada Este	Cada 16 Meses durante el overhaul	Mecánicos
2.B.6	Falla de ruedas conducidas Oeste	de	2.B.6.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada meses	18	Sustitución ciclica	cambio de rueda ensamblada Oeste	Cada 16 Meses durante el overhaul	Mecánicos
3.A.4	Falla cables	de	3.A.4.1	Por mal uso del cable en movimiento operativos	Cada 6 meses		Sustitución ciclica	Cambio de Cable principal	Cada 6 mes	Mecánicos
3.A.5	Falla reductor principal	de	3.A.5.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada meses	18	Sustitución ciclica	Cambio de reductor principal Spare	Cada 16 Meses durante el overhaul	Mecánicos
3.A.6	Falla tambor	de	3.A.6.1	Desalineamiento del tambor	Cada Meses	18	Sustitución ciclica	Cambio de tambor principal Spare	Cada 16 Meses durante el overhaul	Mecánicos
4.A.4	Falla cables	de	4.A.4.1	Por mal uso del cable en movimiento operativos	Cada 6 meses		Sustitución ciclica	Cambio de cable auxiliar este	Cada 6 mes	Mecánicos

4.A.5	Falla de reductor	4.A.5.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 18 meses	Sustitución ciclica	cambio de reductor este de auxiliar	Cada 16 Meses durante el overhaul	Mecánicos
5.A.4	Falla de cables	5.A.4.1	Por mal uso del cable en movimiento operativos	Cada 6 meses	Sustitución ciclica	Cambio de cable auxiliar Oeste	Cada 6 mes	Mecánicos
6.A.4	Falla de Porta zapatas principales	6.A.4.1	Rotura de porta zapatas (dos fases)	Cada 4 meses	Sustitución ciclica	Cambio de zapata y sistema de autoajuste	Cada 4 mes	Electricistas

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N°16 Se observa la optimización a los modos de falla recurrentes evaluados con anterioridad con el diagrama de pareto en la figura N° 26.

Con la nueva información entregada evaluaremos la criticidad de los mismo bajo una matriz cuantitativa basados en la teoría del riesgo y según ISO 31000 – 2018 para jerarquizar de acuerdo a la importancia y sobre los cuales vamos a dirigir los recursos.

3.5.2.2 Análisis de criticidad

Para el cálculo del análisis de criticidad se parte de la matriz inicial cualitativa cuyo objetivo fue lograr un consenso unificado en la clasificación de eventos basados en una matriz con base en una guía de valoración.

El objetivo de la matriz es establecer los niveles de criticidad de los componentes de las grúas puente que ayuden a la toma de decisiones, así como determinar la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de la planta, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Luego la reevaluación del Análisis de modos y efectos de falla, a través de una matriz de criticidad cuantitativa basada en la teoría del riesgo tomando como base la norma API RP 581 y Revisar la sección 2.2.9.2. y las tablas N°3 y N°4. Tenemos lo siguiente:

La criticidad medida con la matriz cualitativa antes de la optimización del plan nos daba un valor de 39% de componentes críticos, 17% de componentes con criticidad media y solo 45% de componentes con criticidad baja (Ver Anexo 7) lo que conllevaba a tener alguna estratégica de mantenimiento, así como el recurso

comprometido en actividades preventivas innecesarias para todos estos componentes con criticidad media y Alta

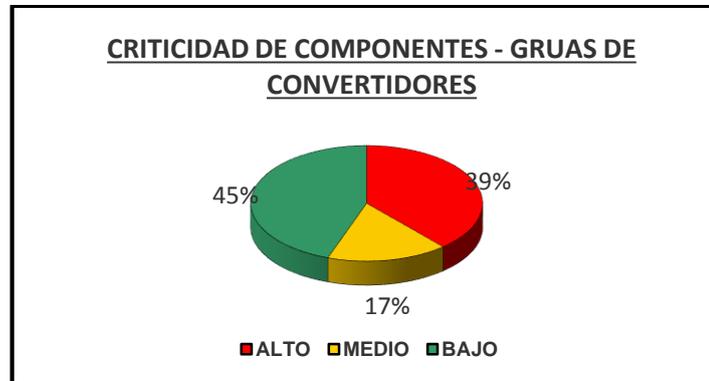


Figura N°31 Análisis de criticidad matriz cualitativa.

Con la nueva valoración de la criticidad con la matriz cuantitativa se redujo la cantidad de componentes críticos a 18%, criticidad media 5% y criticidad baja 77% (Ver Anexo 7). Esta reducción apoya a la gestión de mantenimiento debido a que se disminuye la cantidad de: Componentes spare y componentes en abastecimientos (Ítems de emergencia), exceso de estrategias de mantenimiento, sobrecarga de recurso comprometido y mayor control en los cambios preventivos programados.

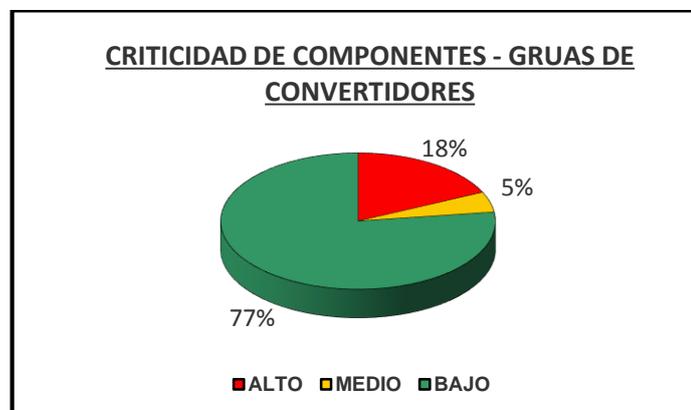


Figura N°32 Análisis de criticidad matriz cuantitativa.

Tabla N° 17

Tabla resumen de equipos críticos matriz cuantitativa

TITULO	ANALISIS DE CRITICIDAD		
CONVERTIDORES	GRUA PUENTE	Uso	Interno
Fecha Evaluación		Revisión:	REV_A
Siguiente Revisión		Status	
NIVEL DE CRITICIDAD	CANTIDAD	%	
Criticidad Alta	45	18%	
Criticidad Media	12	5%	
Criticidad Baja	192	77%	
TOTAL	249	100%	

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 18 siguiente se muestra el detalle de los componentes de las grúas puente y los criterios de evaluación de criticidad utilizados.

Tabla N° 18

Tabla General de valoración matriz Cuantitativa según teoría del riesgo.

Item Mantenible	Criterios de evaluación								Estado de análisis
	Frecuencia				Consecuencia				
	Frecuencia de fallos	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costos de mantenimiento	Impacto a la seguridad y medio ambiente	Consecuencia	Nivel de Riesgo	Descripción de la Criticidad	
GEAR BOX GANCHO AUX ESTE-GRÚA #1	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX GANCHO AUX OESTE-GRÚA #1	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX GANCHO PRINCIPAL-GRÚA #1	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX LATERAL ESTE - GRÚA #1	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX LATERAL OESTE - GRÚA #1	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #1	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #1	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #1	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #1	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #1	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #1	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #1	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #1	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDAS LATERAL NORTE GRÚA #1	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDAS LATERAL SUR GRÚA #1	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX GANCHO AUX ESTE - GRÚA #2	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado

GEAR BOX GANCHO AUX OESTE - GRÚA #2	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX GANCHO PRINCIPAL - GRÚA #2	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX LATERAL ESTE - GRÚA #2	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX LATERAL OESTE - GRÚA #2	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #2	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #2	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #2	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #2	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #2	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #2	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #2	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #2	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDAS LATERAL NORTE 1 - GRÚA #2	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDAS LATERAL SUR 4 - GRÚA #2	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX GANCHO AUX ESTE - GRÚA #3	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX GANCHO AUX OESTE - GRÚA #3	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX GANCHO PRINCIPAL - GRÚA #3	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX LATERAL ESTE - GRÚA #3	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
GEAR BOX LATERAL OESTE - GRÚA #3	4	10	4	2	8	50	200	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #3	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #3	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #3	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL ESTE - GRÚA #3	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #3	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #3	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #3	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDA LATERAL OESTE - GRÚA #3	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDAS LATERAL NORTE - GRÚA #3	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado
RUEDAS LATERAL SUR - GRÚA #3	3	10	4	1	6	47	141	Criticidad Alta	Análisis terminado

BANCO DE RESISTENCIAS Y REACTORES	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL SWITCH PRINCIPAL ALIMEN GRÚA	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
CONTACTOR PRINCIPAL 480 VAC.	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL AUX IZQUIERDO	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL AUX DERECHO	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL TROLLEY	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL MAIN HOIST	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL PUENTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABINA DE MANDO PANEL SWITCH DE EMERGENC	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
CADENA PORTACABLES ALIMEN TROLLEY	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ZAPATAS COLECTORAS 480 VAC. ALIMEN GRÚA	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH ESCALERA DE INGRESO A GRÚA	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH CONTRAPESO PASTEC PRINCIPAL	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH CONTRAPESO AUX ESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH CONTRAPESO AUX OESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ROTARY LIMIT SWITCH PASTECA PRINCIPAL	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ROTARY LIMIT SWITCH PASTECA AUX. ESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ROTARY LIMIT SWITCH PASTECA AUX. OESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE GEAR BOX GANCHO AUX ESTE GRÚA #1	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE GEAR BOX GANCHO AUX OESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
SOPORTE LADO TAMBOR GANCHO PRINCIPAL	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
SOPORTE LADO TAMBOR GANCHO AUX ESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado

SOPORTE LADO TAMBOR GANCHO AUX OESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE LARGO AUX ESTE/SUR - GRÚA #1	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE LARGO AUX ESTE/NORTE - GRÚA #1	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE LARGO AUX OESTE/SUR - GRÚA #1	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE LARGO AUX OESTE/NORTE - GRÚA #1	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE PRINCIPAL DE LA PASTECA - GRÚA #1	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO MAGNETORQ PASTECA PRINCIPAL	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO PASTECA PRINCIPAL	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR NOR-ESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR SUR-ESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR NOR-OESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR SUR-OESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
MAGNETORQUE AUX. OESTE-FRI 4144 A	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
MAGNETORQUE AUX. ESTE- FRI4198A	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
MAGNETORQUE PASTECA PRINCIPAL	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
MOTOR 150HP590RPMHEWY150RXFRAME GRÚA #1	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR AUX. OESTE,60HP,575RPM,HEW75RFRAME	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR AUX ESTE,60HP,580RPM,HEW508RXFRAME	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
PASTECA PRINCIPAL - GRÚA #1	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
PASTECA AUX ESTE - GRÚA #1	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
PASTECA AUX OESTE - GRÚA #1	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado

TAMBOR GANCHO PRINCIPAL - GRÚA #1	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
TAMBOR GANCHO AUX ESTE - GRÚA #1	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
TAMBOR GANCHO AUX OESTE - GRÚA #1	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABINA	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
PUENTE GRÚA #1	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE ALTA ESTE - GRÚA #1	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE EJE FLOTANTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE ALTA OESTE #1	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE EJE FLOTANTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
BBA DE FRENADO	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
FRENO DE TAMBOR OESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
FRENO DE TAMBOR ESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR PUENTE 50 HP, 1175 RPM, LADO ESTE	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR PUENTE 50 HP, 1175 RPM, LADO OESTE	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
CILINDRO HIDRAUL OESTE	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
CILINDRO HIDRAUL ESTE	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
RESERVORIO DE ACEITE OESTE	1	2	1	0	0	2	2	Criticidad Baja	Análisis terminado
RESERVORIO DE ACEITE ESTE	1	2	1	0	0	2	2	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE ALTA - GRÚA #1	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE BAJA - GRÚA #1	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE BAJA - GRÚA #1	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE BAJA - GRÚA #1	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO DEL TROLLEY	1	2	1	0	0	2	2	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR TROLLEY,30HP,700RPM,HEWY445XFRAME	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
GEAR BOX VERTICAL TROLLEY - GRÚA #1	1	2	1	0	0	2	2	Criticidad Baja	Análisis terminado
BANCO DE RESISTENCIAS Y REACTORES	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL SWITCH PRINCIPAL ALIMEN GRÚA	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado

CONTACTOR PRINCIPAL 480 VAC.	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL AUX IZQUIERDO	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL AUX DERECHO	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL TROLLEY	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL MAIN HOIST	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL PUENTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABINA DE MANDO PANEL SWITCH DE EMERGENC	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
CADENA PORTACABLES ALIMEN TROLLEY	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ZAPATAS COLECTORAS 480 VAC. ALIMEN GRÚA	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH ESCALERA DE INGRESO A GRÚA	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH CONTRAPESO PASTEC PRINCIPAL	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH CONTRAPESO AUX ESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH CONTRAPESO AUX OESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ROTARY LIMIT SWITCH PASTECA PRINCIPAL	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ROTARY LIMIT SWITCH PASTECA AUX. ESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ROTARY LIMIT SWITCH PASTECA AUX. OESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE GANCHO AUX ESTE - GRÚA #2	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE GEAR BOX GANCHO AUX OESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
SOPORTE LADO TAMBOR GANCHO PRINCIPAL	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
SOPORTE LADO TAMBOR GANCHO AUX ESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
SOPORTE LADO TAMBOR GANCHO AUX OESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE LARGO AUX ESTE/SUR - GRÚA #2	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado

CABLE LARGO AUX ESTE/NORTE - GRÚA #2	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE LARGO AUX OESTE/SUR - GRÚA #2	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE LARGO AUX OESTE/NORTE - GRÚA #2	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE PRINCIPAL DE LA PASTECA - GRÚA #2	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
MAGNETORQUE AUX. ESTE	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
MAGNETORQUE PASTECA PRINCIPAL FRI1900AA	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
MAGNETORQUE AUX. OESTE FRI4145A	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO MAGNETORQ PASTECA PRINCIPAL	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO PASTECA PRINCIPAL	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR NOR-ESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR SUR-ESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR NOR-OESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR SUR-OESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR 150HP590RPMHEWY150RXFRAME GRÚA #2	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR AUX. OESTE,60HP,575RPM,HEW75RFRAME	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR AUX ESTE,60HP,580RPM,HEW508RXFRAME	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
PASTECA PRINCIPAL - GRÚA #2	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
PASTECA AUX ESTE - GRÚA #2	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
PASTECA AUX OESTE - GRÚA #2	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
TAMBOR GANCHO PRINCIPAL - GRÚA #2	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
TAMBOR GANCHO AUX ESTE - GRÚA #2	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
TAMBOR GANCHO AUX OESTE - GRÚA #2	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado

CABINA	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
PUENTE GRÚA #2	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE ALTA ESTE - GRÚA #2	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE EJE FLOTANTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE ALTA OESTE - GRÚA #2	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE EJE FLOTANTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
BBA DE FRENADO	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
FRENO DE TAMBOR OESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
FRENO DE TAMBOR ESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR PUENTE 50 HP, 1175 RPM, LADO ESTE	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR PUENTE 50 HP, 1175 RPM, LADO OESTE	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
CILINDRO HIDRAUL OESTE	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
CILINDRO HIDRAUL ESTE	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
RESERVORIO DE ACEITE OESTE	1	2	1	0	0	2	2	Criticidad Baja	Análisis terminado
RESERVORIO DE ACEITE ESTE	1	2	1	0	0	2	2	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE ALTA - GRÚA #2	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE BAJA - GRÚA #2	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE BAJA - GRÚA #2	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE BAJA - GRÚA #2	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO DEL TROLLEY	1	2	1	0	0	2	2	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR TROLLEY,30HP,700RPM,HEWY445XFRAME	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
GEAR BOX VERTICAL TROLLEY - GRÚA #2	1	2	1	0	0	2	2	Criticidad Baja	Análisis terminado
BANCO DE RESISTENCIAS Y REACTORES	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL SWITCH PRINCIPAL ALIMEN GRÚA	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
CONTACTOR PRINCIPAL 480 VAC.	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL AUX IZQUIERDO	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL AUX DERECHO	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado

PANEL DE CTRL TROLLEY	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL MAIN HOIST	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
PANEL DE CTRL PUENTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABINA DE MANDO PANEL SWITCH DE EMERGENC	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
CADENA PORTACABLES ALIMEN TROLLEY	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ZAPATAS COLECTORAS 480 VAC. ALIMEN GRÚA	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH ESCALERA DE INGRESO A GRÚA	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH CONTRAPESO PASTEC PRINCIPAL	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH CONTRAPESO AUX ESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
LIMIT SWITCH CONTRAPESO AUX OESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ROTARY LIMIT SWITCH PASTECA PRINCIPAL	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ROTARY LIMIT SWITCH PASTECA AUX. ESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ROTARY LIMIT SWITCH PASTECA AUX. OESTE	2	2	1	0	0	2	4	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE GEAR BOX GANCHO AUX ESTE GRÚA #3	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE GEAR BOX GANCHO AUX OESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
SOPORTE LADO TAMBOR GANCHO PRINCIPAL	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
SOPORTE LADO TAMBOR GANCHO AUX ESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
SOPORTE LADO TAMBOR GANCHO AUX OESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE LARGO AUX ESTE/SUR - GRÚA #3	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE LARGO AUX ESTE/NORTE - GRÚA #3	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE LARGO AUX OESTE/SUR - GRÚA #3	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado

CABLE LARGO AUX OESTE/NORTE - GRÚA #3	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABLE DE LA PASTECA PRINCIPAL - GRÚA #3	2	4	2	0	4	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
MAGNETORQUE PASTECA PRINCIPAL -13388	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
ELECTROFRENO MAGNETORQ PASTECA PRINCIPAL	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO PASTECA PRINCIPAL	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR NOR-ESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR SUR-ESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR NOR-OESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO AUXILIAR SUR-OESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
MAGNETORQUE AUX. ESTE	1	2	1	0	0	2	2	Criticidad Baja	Análisis terminado
MAGNETORQUE AUX. OESTE	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR 150HP590RPMHEWY150RXFRAME GRÚA #3	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR AUX ESTE,60HP,580RPM,HEW508RXFRAME	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR AUX. OESTE,60HP,575RPM,HEW75RFRAME	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
PASTECA PRINCIPAL - GRÚA #3	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
PASTECA AUX ESTE - GRÚA #3	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
PASTECA AUX OESTE - GRÚA #3	4	4	2	1	3	12	48	Criticidad Media	Análisis terminado
TAMBOR GANCHO PRINCIPAL - GRÚA #3	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
TAMBOR GANCHO AUX ESTE - GRÚA #3	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
TAMBOR GANCHO AUX OESTE - GRÚA #3	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
CABINA	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
PUENTE GRÚA #3	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado

ACOPLE DE ALTA ESTE - GRÚA #3	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE EJE FLOTANTE DE BAJA ESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE ALTA OESTE - GRÚA #3	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE BAJA DE EJE FLOTANTE OESTE	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
BBA DE FRENADO	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
FRENO DE TAMBOR OESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
FRENO TAMBOR ESTE	2	4	2	1	3	12	24	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR PUENTE 50 HP, 1175 RPM, LADO ESTE	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR PUENTE 50 HP, 1175 RPM, LADO OESTE	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
CILINDRO HIDRAUL OESTE	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
CILINDRO HIDRAUL ESTE	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
RESERVORIO DE ACEITE OESTE	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
RESERVORIO DE ACEITE ESTE	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE ALTA - GRÚA #3	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE BAJA - GRÚA #3	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE BAJA - GRÚA #3	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ACOPLE DE BAJA - GRÚA #3	2	4	1	0	4	8	16	Criticidad Baja	Análisis terminado
ELECTROFRENO DEL TROLLEY	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado
MOTOR TROLLEY,30HP,700RPM,HEWY445XFRAME	1	2	2	0	4	8	8	Criticidad Baja	Análisis terminado
GEAR BOX VERTICAL TROLLEY - GRÚA #3	1	2	1	0	3	5	5	Criticidad Baja	Análisis terminado

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.3 Calculo de las funciones de weibull

Con los resultados de la tabla N°9 cálculo de la disponibilidad mecánica, aplicamos correlación y regresión para cuantificar la relación de las variables y compararlas con la ecuación de la recta ($Y = bx + a$) y logaritmos dobles neperianos.

De la Tabla N°6 tenemos:

Disponibilidad mecánica total de las grúas puente antes de la optimización

Equipo	N° DE EVENTOS	MTTR (Tiempo medio de reparación)	MTBF (Tiempo medio de fallas)	% Disponibilidad
TOTAL FLOTA	17	417.76	2309.76	84.68%
Grúa P. N°3	6	380.50	2195.50	85.23%
Grúa P. N°2	4	578.50	3285.50	85.03%
Grúa P. N°1	7	357.86	1850.14	83.79%

Fuente: Elaboración Propia

$$\ln(\ln(\frac{1}{[1-F(t)]})) = \beta \ln t - \beta \ln n \dots [38] \quad ; \quad y = bx + a \dots [39]$$

Donde

$$x = \ln t \text{ (variable funcion de t)}$$

$$y = \ln(\ln(\frac{1}{[1-F(t)]})) \text{(Funcion de t)}$$

$$a = -\beta \ln n \text{ (Constante)}; -a/\beta = \ln n ; n = \exp(-a/\beta)$$

$$b = \beta \text{ (Coeficiente director)}$$

Para el calculo de f(t) estimación de las fallas acumulativas utilizaremos la tabla de rangos y medianas Anexo 8 o en su defecto la formula para N<20

$$F(i) = \frac{i-0.3}{N+0.4} \dots[40]$$

Donde:

Para el calculo de los parametros de weibull utilizaremos el software weibullsoft tambien haremos el calculo análogo para la comparion respectiva:

Parametros de Weibull:

- ✓ β = Parametro de forma
- ✓ η = Parametro de escala o vida caracteristica; $n = \text{expo}^{(-\frac{a}{b})} \dots[41]$
- ✓ γ = Parametro de posición
- ✓ μ = Tiempo Promedio de fallas

Tabla N° 19

Cálculo de regresión y correlación

Nro	(t,h), Tiempo de falla	Tabla Rangos y Medianas		Media Rank N<20	$x = \text{Ln}(t)$	$y = \text{Ln}(\text{Ln}(\frac{1}{(1-F(t))}))$	%F(t)*t	t^2
		F(t)	F(t)%	F(t)				
1	212	8.3000	0.083	0.083	5.357	-2.446	17.596	44944
2	254	20.1130	0.20113	0.202	5.537	-1.494	51.087	64516
3	694	32.0520	0.32052	0.321	6.542	-0.951	222.441	481636
4	833	44.0150	0.44015	0.440	6.725	-0.545	366.645	693889
5	1141	55.9840	0.55984	0.560	7.040	-0.198	638.777	1301881
6	1205	67.9480	0.67948	0.679	7.094	0.129	818.773	1452025
7	1262	79.8870	0.79887	0.798	7.140	0.472	1008.174	1592644
8	1501	91.7000	0.917	0.917	7.314	0.912	1376.417	2253001
7102	399.999							

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla N°19 graficamos la ecuación de la recta con los valores de “X (Ln(t))” y “Y (Ln(Ln($\frac{1}{(1-F(t))}$)))” para definir los parámetros de weibull necesarios para calcular β .

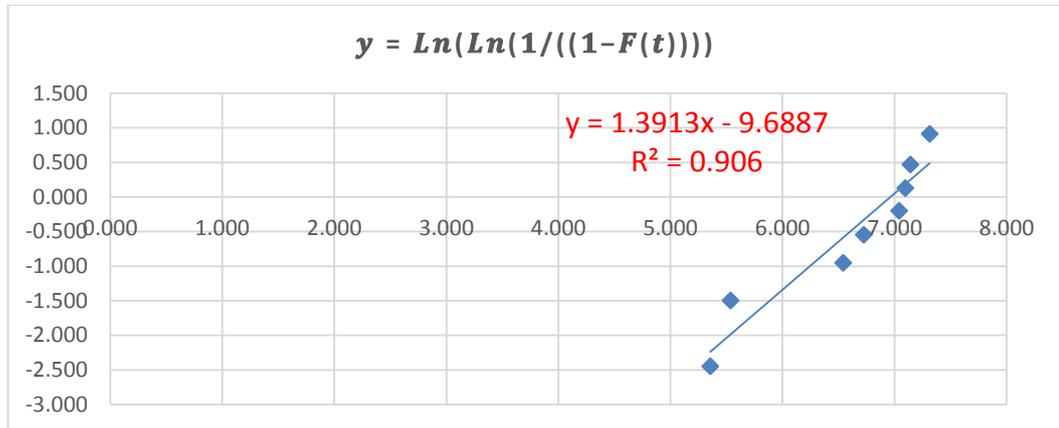


Figura N°33 Calculo de parámetros de Weibull

Entonces de la figura N°33 reemplazando en la ecuación [39] Tenemos:

- ✓ $b = \beta = 1.3913$
- ✓ $a = -9.6887$

Para calcular n reemplazamos en la ecuación [41]

$$n = \text{expo}^{\left(-\left(\frac{-9.6887}{1.3913}\right)\right)}$$

Y tenemos como resultado $n = 1057.62$ horas

- ✓ $\beta =$ Parametro de forma = 1.3913
- ✓ $\eta =$ Parametro de escala o vida caracteristica = 1057.62 horas
- ✓ $\gamma =$ Parametro de posición = 0
- ✓ $\mu =$ Tiempo Promedio de fallas

Considerando lo descrito por:

L Gonzáles, F. (2011); Métodos de interferencia para la distribución de weibull: Aplicación en fiabilidad industrial.

- t_0 = El mecanismo no tiene una duración de fiabilidad intrínseca, y
- Si: $\beta < 1$ la tasa de fallos disminuye con la edad sin llegar a cero
- Si: $\beta = 1$ la tasa de fallo se mantiene constante
- Si: $\beta > 1$ la tasa de fallo se incrementa con la edad de forma continua
- Si: $\beta = 3.44$ se cumple que la media es igual a la mediana y la distribución de weibull es sensiblemente igual a la normal.

Según los datos obtenidos y ubicándonos en la curva de confiabilidad estaríamos ubicados en la zona del periodo de desgaste o vejez.

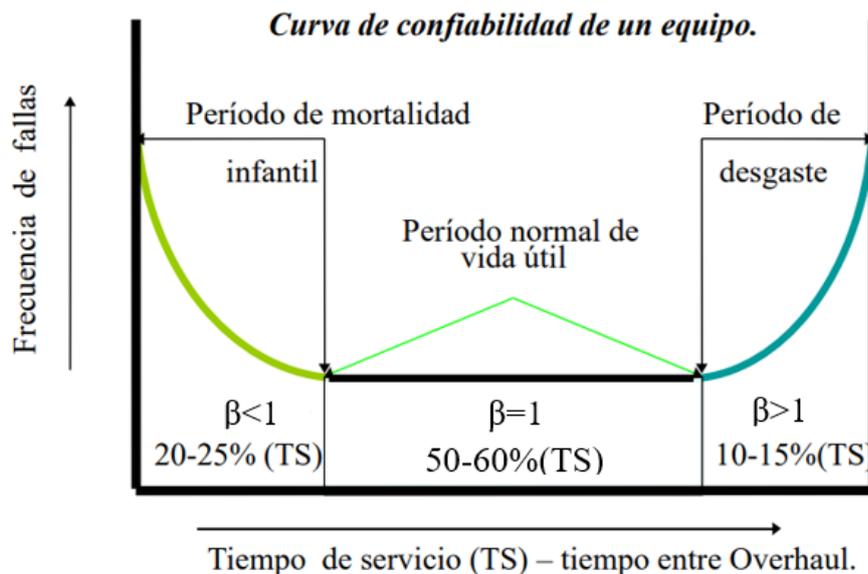


Figura N°34 Parámetro de Forma curva de confiabilidad de un equipo

Para fines prácticos de la figura N°34 tenemos: $\beta > 1$ esto indica que la tasa de fallas va aumentando con la edad de manera continua para tal fin vamos aplicar lo siguiente:

SI:

- ✓ $\beta > 1 \rightarrow$ Aplicar Mantenimiento Preventivo
- ✓ $\beta \sim 1 \rightarrow$ Aplicar Mantenimiento Predictivo
- ✓ $\beta < 1 \rightarrow$ Aplicar Mantenimiento Correctivo

3.5.2.4 Estrategia de mantenimiento

Conocido el parámetro de forma β luego del análisis de regresión y correlación y sabiendo que ahora debemos aplicar preventivamente mantenimiento realizamos la estrategia siguiente en la herramienta ERP SAP.

- ✓ Creamos el Plan de mantenimiento Preventivo para las 3 grúas puente 44417, 44418 y 44419.
- ✓ Creamos las Hojas de ruta que contendrán los planes 44417, 44418 y 44419.
- ✓ Ingresamos las operaciones a los PM.
- ✓ Seleccionamos los paquetes de MP disponibles.
- ✓ Actualizamos el formato de inspección de actividades Preventivas.

Plan mant.prev. 44417 PM GRUA PUENTE 1 - ST

Cab.plan mant.

Ciclos plan de mantenimiento 14.09.2021 Parám.programación plan mantenimiento Datos adicionales ...

Ciclo	Unidad	Texto ciclo mantenimiento	Offset
1 WCH		01 SEMANAL	0
4 WCH		04 MENSUAL	0
8 WCH		08 BIMENSUAL	0

Resumen de posiciones Posición Lista objeto posición Emplazamiento posición Llamadas prog...

Posición PM 45960 PM GRUA PUENTE 1 - MECA - ST 1 / 5

Objeto de referencia

Ubic.téc. ILO-FU-CO-A290-CR... GRÚA PUENTE 1 - CONVERS, CAP. 60 TON.

Equipo

Conjunto

Datos de planificación

Centro planif. SPCC Southern Peru Grupo planif. IAC PLNR AREA CALIENTE

Clase de orden ZPM2 AMC Orden de mantenimiento ... Clase actividad PM MA MANTENIMIENTO

Pto.tbjo.resp. IFAC / IL01 IMF TALLER MECÁ... División

Prioridad 2-alto Norma de liquidación

Documento venta /

No liberar inmediate.

Hoja de ruta para mantenimiento

Tp.	GrHRuta	CGrHR	Descripción
I	/	M1	PM GRUA PUENTE 1 - MECA - ST

Figura N°35 Plan de mantenimiento Grúa Puente 1

HRuta p. UbicTécnica: resumen operaciones

Ubic.téc. ILO-FU-CO-A290-CRA001 GRÚA PUENTE 1 - CONVERS, CAP.

GrHRuta 6 PM GRUA PUENTE 1 - MECA - ST ContGrpHR M1

Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T.	Trabajo	Un.	Nº	Dur.	Un.	C	%	DistTrbInt	Fac	ClAct
0010	IFAC	IL01	PM01	MP GRUA PUENTE 1 MECA ST [1S]	8	HH	2	4.0	H	2	100			1	TMECA	
0020	IFAC	IL01	PM01	MP GRUA PUENTE 1 MECA ST [1M]	8	HH	2	4.0	H	2	100			1	TMECA	
0030	IFAC	IL01	PM01	MP GRUA PUENTE 1 MECA ST [6M]	16	HH	2	8.0	H	2	100			1	TMECA	

Figura N°36 Hoja de Ruta Grúa puente 1

Mod.hoja ruta p.ubicación técnica: Res.paquetes manten.

Paquete mantenimiento preventivo Propia Externo Cab. Plan

Ubic.téc. ILO-FU-CO-A290-CRA001 GRÚA PUENTE 1 - CONVERS, CAP.
GrHRuta 6 PM GRUA PUENTE 1 - MECA - ST ContGrpoHR M1

Resumen oper.paquetes mant.prev.

Op.	SOp	Descripción operación	01	02	03	04	06	08	10	12	16	24	32	36	48	52	64	96
0010		MP GRUA PUENTE 1 MECA ST [1S]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0020		MP GRUA PUENTE 1 MECA ST [1M]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0030		MP GRUA PUENTE 1 MECA ST [6M]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					

Figura N°37 Paquetes de mantenimiento Grúa Puente 1

Plan mant.prev. 44418 PM GRUA PUENTE 2 - ST

Cab.plan mant.

Ciclos plan de mantenimiento 14.09.2021 Parám.programación plan mantenimiento Datos adicionales ...

Ciclo	Unidad	Texto ciclo mantenimiento	Offset
1WCH		01 SEMANAL	0
4WCH		04 MENSUAL	0
8WCH		08 BIMENSUAL	0

Resumen de posiciones Posición Lista objeto posición Emplazamiento posición Llamadas prog...

Posición PM 45961 PM GRUA PUENTE 2 - MECA - ST 1 / 5

Objeto de referencia

Ubic.téc. ILO-FU-CO-A290-CR... GRÚA PUENTE 2 - CONVERS, CAP. 60 TON.
Equipo
Conjunto

Datos de planificación

Centro planif. SPCC Southern Peru Grupo planif. IAC PLNR AREA CALIENTE
Clase de orden ZPM2 AMC Orden de mantenimiento ... Clase actividad PM MA MANTENIMIENTO
Pto.tbjo.resp. IFAC / IL01 IMF TALLER MECÁ... División
Prioridad 2-alto Norma de liquidación
Documento venta /
 No liberar inediat.

Hoja de ruta para mantenimiento

Tp.	GrHRuta	CGrHR	Descripción
T	7	M1	PM GRUA PUENTE 2 - MECA - ST

Figura N°38 Plan de mantenimiento Grúa Puente 2

HRuta p. UbiTécnica: resumen operaciones																
Ubic.téc. ILO-FU-CO-A290-CRA002 GRÚA PUENTE 2 - CONVERS, CAP. GrHRuta 7 PM GRUA PUENTE 2 - MECA - ST ContGrpoHR M1																
Resumen general operación																
Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T.	Trabajo	Un.	Nº	Dur.	Un.	C %	DistTrbInt	Fac	CIAct	
0010	IFAC	IL01	PM01	MP GRUA PUENTE 2 MECA ST [1S]	<input checked="" type="checkbox"/>	8	HH	2	4.0	H	2	100		1	TMECA	
0020	IFAC	IL01	PM01	MP GRUA PUENTE 2 MECA ST [1M]	<input checked="" type="checkbox"/>	8	HH	2	4.0	H	2	100		1	TMECA	
0030	IFAC	IL01	PM01	MP GRUA PUENTE 2 MECA ST [6M]	<input checked="" type="checkbox"/>	16	HH	2	8.0	H	2	100		1	TMECA	

Figura N°39 Hoja de Ruta Grúa puente 2

Mod.hoja ruta p.ubicación técnica: Res.paquetes manten.																		
Paquete mantenimiento preventivo Propia Externo Cab. Plan																		
Ubic.téc. ILO-FU-CO-A290-CRA002 GRÚA PUENTE 2 - CONVERS, CAP. GrHRuta 7 PM GRUA PUENTE 2 - MECA - ST ContGrpoHR M1																		
Resumen oper.paquetes mant.prev.																		
Op.	SOp	Descripción operación	01	02	03	04	06	08	10	12	16	24	32	36	48	52	64	96
0010		MP GRUA PUENTE 2 MECA ST [1S]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0020		MP GRUA PUENTE 2 MECA ST [1M]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0030		MP GRUA PUENTE 2 MECA ST [6M]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					

Figura N°40 Paquetes de mantenimiento Grúa Puente 2

Plan mant.prev. 44419 PM GRUA PUENTE 3 - ST

Cab.plan mant.

Ciclos plan de mantenimiento 14.09.2021 Parám.programación plan mantenimiento Datos adicionales ...

Ciclo	Unidad	Texto ciclo mantenimiento	Offset
1 WCH		01 SEMANAL	0
4 WCH		04 MENSUAL	0
8 WCH		08 BIMENSUAL	0

Resumen de posiciones Posición Lista objeto posición Emplazamiento posición Llamadas prog...

Posición PM 45962 PM GRUA PUENTE 3 - MECA - ST 1 / 5

Objeto de referencia

Ubic.técn. ILO-FU-CO-A290-CR... GRÚA PUENTE 3 - CONVERS, CAP. 60 TON.

Equipo

Conjunto

Datos de planificación

Centro planif. SPCC Southern Peru Grupo planif. IAC PLNR AREA CALIENTE

Clase de orden ZPM2 AMC Orden de mantenimiento ... Clase actividad PM MA MANTENIMIENTO

Pto.tbjo.resp. IFAC / IL01 IMF TALLER MECÁ... División

Prioridad 2-alto Norma de liquidación

Documento venta /

No liberar immediat.

Hoja de ruta para mantenimiento

Ip.	GrHRuta	CGrHR	Descripción
I / 8		M1	PM GRUA PUENTE 3 - MECA - ST

Figura N°41 Plan de mantenimiento Grúa Puente 3

HRuta p. UbicTécnica: resumen operaciones

Ubic.técn. ILO-FU-CO-A290-CRA003 GRÚA PUENTE 3 - CONVERS, CAP.

GrHRuta 8 PM GRUA PUENTE 3 - MECA - ST ContGpohR M1

Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T.	Trabajo	Un.	Nº	Dur.	Un.	C %	DistTrbInt	Fac	ClAct
0010	IFAC	IL01	PM01	MP	GRUA PUENTE 3 MECA ST [1S]	8	HH	2	4.0	H	2	100		1	TMECA
0020	IFAC	IL01	PM01	MP	GRUA PUENTE 3 MECA ST [1M]	8	HH	2	4.0	H	2	100		1	TMECA
0030	IFAC	IL01	PM01	MP	GRUA PUENTE 3 MECA ST [6M]	16	HH	2	8.0	H	2	100		1	TMECA

Figura N°42 Hoja de Ruta Grúa puente 3

Op.		SOp	Descripción operación	01	02	03	04	06	08	10	12	16	24	32	36	48	52	64	96
0010			MP GRUA PUENTE 3 MECA ST [1S]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0020			MP GRUA PUENTE 3 MECA ST [1M]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0030			MP GRUA PUENTE 3 MECA ST [6M]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					

Figura N°43 Paquetes de mantenimiento Grúa Puente 3

Equipo/UT:	[GR10] GRÚA PUENTE 1 - CONVERS, CAP. 60 TON.	TAG:	ILO-FU-CO-A290-CRA001	Día [yyyy/mm/dd]	Duración [horas]
HR	[IGR109] MP GRUA PUENTE 1 MECA ST [1S]	Tipo:	[CB] CONDITION BASED		
Grupo:	[IFAC] IMF TALLER MECÁNICO AREA CALIENTE	Prioridad:	[A] Alta		
Supervisor:		Estado:	[IAC] PLNR AREA CALIENTE		
Ejecutado por (Firma):	Observación:			Semana: S2909 - 2001778295	
Requisito:				Hora Inicio Real:	Hora Fin Real:

Orden Tarea	Sub_Sistema Item_Mantenible - TAG WO_Tarea: Texto_Tarea	Condición Bueno Mal	Medición Valor [Unidades]	Observación
IGR109 001	[SBI1386] TRASLACIÓN [ACI198] ACOPILE DE ALTA ESTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001TRANCOU1 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 002	[SBI1386] TRASLACIÓN [ACI198] ACOPILE DE EJE FLOTANTE DE BAJA - ESTE - PCO290CRA001TRANCOU2 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 003	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI34] FRENO DE TAMBOR ESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR TAMBOR DE FRENO, DESCARTAR FIGURAS Y DESGASTE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 004	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI34] FRENO DE TAMBOR ESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR ZAPATAS, DESCARTAR DAÑOS Y DESGASTE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 005	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI34] FRENO DE TAMBOR ESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 VERIFICAR Y REGULAR LA LUZ ENTRE LA ZAPATA Y EL TAMBOR	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 006	[SBI1386] TRASLACIÓN [MOI13187] MOTOR PUENTE 50 HP, 1175 RPM, LADO ESTE - PCO290CRA001TRANMTR1 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 007	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI34] FRENO DE TAMBOR ESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR ACTUADOR DE FRENO ELECTRICO.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 008	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI34] FRENO DE TAMBOR ESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR TORQUE DE FRENADO (360 LBF/FT), INSPECCIONAR CARRERA DE VASTAGO DE ACTUADOR (17MM)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 009	[SBI1386] TRASLACIÓN [ACI200] ACOPILE DE ALTA OESTE #1 - PCO290CRA001TRANCOU3 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 010	[SBI1386] TRASLACIÓN [ACI201] ACOPILE DE EJE FLOTANTE DE BAJA - OESTE - PCO290CRA001TRANCOU4 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		

IGR109 011	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI33] FRENO DE TAMBOR OESTE - PCO290CRA001TRANBRK1 INSPECCIONAR TAMBOR DE FRENO, DESCARTAR FISURAS Y DESGASTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 012	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI33] FRENO DE TAMBOR OESTE - PCO290CRA001TRANBRK1 INSPECCIONAR ZAPATAS, DESCARTAR DAÑOS Y DESGASTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 013	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI33] FRENO DE TAMBOR OESTE - PCO290CRA001TRANBRK1 VERIFICAR Y REGULAR LA LUZ ENTRE LA ZAPATA Y EL TAMBOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 014	[SBI1386] TRASLACIÓN [MOI196] MOTOR PUENTE 50 HP, 1175 RPM, LADO OESTE - PCO290CRA001TRANMTR2 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 015	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI33] FRENO DE TAMBOR OESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR ACTUADOR DE FRENO ELECTRICO.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 016	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI33] FRENO DE TAMBOR OESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR TORQUE DE FRENADO (360 LBF/FT), INSPECCIONAR CARRERA DE VASTAGO DE ACTUADOR (17MM)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 017	[STBRGR1] ESTRUCTURA [CZI3] CABINA - PCO290CRA001STRUCAB1 INSPECCIONAR ESTADO DE ASIENTOS DE CABINA, DESCARTAR DAÑOS Y ROTURAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 018	[STTRGR1] TROLLEY [ACI202] ACOPLA DE ALTA - GRÚA #1 - PCO290CRA001TROLCOU1 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 019	[STTRGR1] TROLLEY [ACI203] ACOPLA DE BAJA - GRÚA #1 - PCO290CRA001TROLCOU2 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 020	[STTRGR1] TROLLEY [ACI204] ACOPLA DE BAJA - GRÚA #1 - PCO290CRA001TROLCOU3 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 021	[STTRGR1] TROLLEY [ACI205] ACOPLA DE BAJA - GRÚA #1 - PCO290CRA001TROLCOU4 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 022	[STTRGR1] TROLLEY [MOI13088] MOTOR TROLLEY,30HP,700RPM,HEWY445XFRAME - PCO290CRA001TROLMTR1 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 023	[SIMHGR1] IZAJE [ACI206] ACOPLA GEAR BOX GANCHO AUX ESTE GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISCOU1 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 024	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIE04] CABLE LARGO AUX ESTE/NORTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP3 INSPECCIONAR CABLE, REALIZAR MEDICIÓN DE DIAMETRO DE CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS, SOLTURA EN PERNO DE SEGURO, ELONGAMIENTO Y APLASTAMIENTO.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 025	[SIMHGR1] IZAJE [PJ114] PASTECA AUX ESTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISSBL2 INSPECCIONAR CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS Y SOLTURA EN PERNO DE SEGURO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 026	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIE01] CABLE LARGO AUX ESTE/SUR - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP2 INSPECCIONAR CABLE LIMIT SWITCH, DESCARTAR DAÑOS Y ROTURAS DEHILOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 027	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIE01] CABLE LARGO AUX ESTE/SUR - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP2 INSPECCIONAR CABLE, REALIZAR MEDICIÓN DE DIAMETRO DE CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS, SOLTURA EN PERNO DE SEGURO, ELONGAMIENTO Y APLASTAMIENTO.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 028	[SIMHGR1] IZAJE [MOI13388] MOTOR AUX ESTE,60HP,580RPM,HEW508RXFRAME - PCO290CRA001HOISMTR2 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 029	[SIMHGR1] IZAJE [ACI207] ACOPLA GEAR BOX GANCHO AUX OESTE - PCO290CRA001HOISCOU2 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 030	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIE04] CABLE LARGO AUX OESTE/NORTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP5 INSPECCIONAR CABLE, REALIZAR MEDICIÓN DE DIAMETRO DE CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS, SOLTURA EN PERNO DE SEGURO, ELONGAMIENTO Y APLASTAMIENTO.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 031	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIE01] CABLE LARGO AUX OESTE/SUR - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP4 INSPECCIONAR CABLE, REALIZAR MEDICIÓN DE DIAMETRO DE CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS, SOLTURA EN PERNO DE SEGURO, ELONGAMIENTO Y APLASTAMIENTO.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

IGR109 032	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRICE01] CABLE LARGO AUX OESTE/SUR - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP4 INSPECCIONAR CABLE LIMIT SWITCH, DESCARTAR DAÑOSY ROTURAS DEHILOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 033	[SIMHGR1] IZAJE [MOI13086] MOTOR AUX. OESTE,60HP,575RPM,HEW75RFRAME - PCO290CRA001HOISMTR3 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 034	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIPR01] CABLE PRINCIPAL DE LA PASTECA - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP1 INSPECCIONAR CABLE, REALIZAR MEDICIÓN DE DIAMETRO DE CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS, SOLTURA EN PERNO DE SEGURO, ELONGAMIENTO Y APLASTAMIENTO.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 035	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIPR01] CABLE PRINCIPAL DE LA PASTECA - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP1 INSPECCIONAR CABLE LIMIT SWITCH, DESCARTAR DAÑOSY ROTURAS DEHILOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 036	[SIMHGR1] IZAJE [MOI13084] MOTOR PASTECA PRINCIPAL 150HP560RPMHEWY150RXFRAME GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISMTR1 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		

Figura N°44 Formato de Inspección Semanal

Equipo/UT: (GR110) GRÚA PUENTE 1 - CONVERS, CAP. 60 TON.	TAG: ILO-FU-CO-A290-CRA001	Día [yyyy/mm/dd]	Duración [horas]
HR (IGR109) MP GRUA PUENTE 1 MECA ST [1S]	Tipo: [CB] CONDITION BASED		
Grupo: [IFAC] IMF TALLER MECÁNICO AREA CALIENTE	Prioridad: [A] Alta		
Supervisor:	Estado: [IAC] PLNR AREA CALIENTE		
Ejecutado por (Firma):	Observación:	Semana: S2909 - 2001778295	
Registro:		Hora Inicio Real:	Hora Fin Real:

Orden Tarea	Sub_Sistema Item_Mantenible - TAG WO_Tarea: Texto_Tarea	Condición		Medición	Observación
		Bueno	Mal	Valor [Unidades]	
IGR109 001	[SBI1386] TRASLACIÓN [ACI198] ACOPILE DE ALTA ESTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001TRANCOU1 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 002	[SBI1386] TRASLACIÓN [ACI199] ACOPILE DE EJE FLOTANTE DE BAJA - ESTE - PCO290CRA001TRANCOU2 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 003	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI34] FRENO DE TAMBOR ESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR TAMBOR DE FRENO, DESCARTAR FISURAS Y DESGASTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 004	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI34] FRENO DE TAMBOR ESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR ZAPATAS, DESCARTAR DAÑOS Y DESGASTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 005	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI34] FRENO DE TAMBOR ESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 VERIFICAR Y REGULAR LA LUZ ENTRE LA ZAPATA Y EL TAMBOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 006	[SBI1386] TRASLACIÓN [MOI13187] MOTOR PUENTE 50 HP, 1175 RPM, LADO ESTE - PCO290CRA001TRANMTR1 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 007	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI34] FRENO DE TAMBOR ESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR ACTUADOR DE FRENO ELECTRICICO.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 008	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI34] FRENO DE TAMBOR ESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR TORQUE DE FRENADO (360 LBF/FT), INSPECCIONAR CARRERA DE VASTAGO DE ACTUADOR (17MM)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 009	[SBI1386] TRASLACIÓN [ACI200] ACOPILE DE ALTA OESTE #1 - PCO290CRA001TRANCOU3 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 010	[SBI1386] TRASLACIÓN [ACI201] ACOPILE DE EJE FLOTANTE DE BAJA - OESTE - PCO290CRA001TRANCOU4 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 011	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI33] FRENO DE TAMBOR OESTE - PCO290CRA001TRANBRK1 INSPECCIONAR TAMBOR DE FRENO, DESCARTAR FISURAS Y DESGASTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 012	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI33] FRENO DE TAMBOR OESTE - PCO290CRA001TRANBRK1 INSPECCIONAR ZAPATAS, DESCARTAR DAÑOS Y DESGASTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 013	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI33] FRENO DE TAMBOR OESTE - PCO290CRA001TRANBRK1 VERIFICAR Y REGULAR LA LUZ ENTRE LA ZAPATA Y EL TAMBOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 014	[SBI1386] TRASLACIÓN [MOI195] MOTOR PUENTE 50 HP, 1175 RPM, LADO OESTE - PCO290CRA001TRANMTR2 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 015	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI33] FRENO DE TAMBOR OESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR ACTUADOR DE FRENO ELECTRICICO.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 016	[SBI1386] TRASLACIÓN [FRI33] FRENO DE TAMBOR OESTE - PCO290CRA001TRANBRK2 INSPECCIONAR TORQUE DE FRENADO (360 LBF/FT), INSPECCIONAR CARRERA DE VASTAGO DE ACTUADOR (17MM)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 017	[STBRGR1] ESTRUCTURA [CZ3] CÁBINA - PCO290CRA001STRUCAB1 INSPECCIONAR ESTADO DE ASIENTOS DE CÁBINA, DESCARTAR DAÑOS Y ROTURAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 018	[STTRGR1] TROLLEY [ACI202] ACOPILE DE ALTA - GRÚA #1 - PCO290CRA001TROLCOU1 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 019	[STTRGR1] TROLLEY [ACI203] ACOPILE DE BAJA - GRÚA #1 - PCO290CRA001TROLCOU2 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 020	[STTRGR1] TROLLEY [ACI204] ACOPILE DE BAJA - GRÚA #1 - PCO290CRA001TROLCOU3 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR109 021	[STTRGR1] TROLLEY [ACI205] ACOPILE DE BAJA - GRÚA #1 - PCO290CRA001TROLCOU4 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

IGR109 022	[STTRGR1] TROLLEY [MOI13088] MOTOR TROLLEY, 30HP, 700RPM, HEWY445XFRAME - PCO290CRA001TROLMTR1 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 023	[SIMHGR1] IZAJE [ACI206] ACOPLE GEAR BOX GANCHO AUX ESTE GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISCOU1 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 024	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIES04] CABLE LARGO AUX ESTE/NORTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP3 INSPECCIONAR CABLE, REALIZAR MEDICIÓN DE DIAMETRO DE CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS, SOLTURA EN PERNO DE SEGURO, ELONGAMIENTO Y APLASTAMIENTO.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 025	[SIMHGR1] IZAJE [PJ114] PASTECA AUX ESTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISSBL2 INSPECCIONAR CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS Y SOLTURA EN PERNO DE SEGURO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 026	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIES01] CABLE LARGO AUX ESTE/SUR - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP2 INSPECCIONAR CABLE LIMIT SWITCH, DESCARTAR DAÑOSY ROTURAS DEHILOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 027	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIES01] CABLE LARGO AUX ESTE/SUR - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP2 INSPECCIONAR CABLE, REALIZAR MEDICIÓN DE DIAMETRO DE CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS, SOLTURA EN PERNO DE SEGURO, ELONGAMIENTO Y APLASTAMIENTO.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 028	[SIMHGR1] IZAJE [MOI13386] MOTOR AUX ESTE, 60HP, 580RPM, HEW508RXFRAME - PCO290CRA001HOISMTR2 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 029	[SIMHGR1] IZAJE [ACI207] ACOPLE GEAR BOX GANCHO AUX OESTE - PCO290CRA001HOISCOU2 INSPECCIONAR ACOPLAMIENTO, IDENTIFICAR FRACTURA, PERDIDA, REPONER Y/O TORQUEAR PERNOS, DESCARTAR FUGAS DE GRASA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 030	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIOE04] CABLE LARGO AUX OESTE/NORTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP5 INSPECCIONAR CABLE, REALIZAR MEDICIÓN DE DIAMETRO DE CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS, SOLTURA EN PERNO DE SEGURO, ELONGAMIENTO Y APLASTAMIENTO.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 031	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIOE01] CABLE LARGO AUX OESTE/SUR - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP4 INSPECCIONAR CABLE, REALIZAR MEDICIÓN DE DIAMETRO DE CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS, SOLTURA EN PERNO DE SEGURO, ELONGAMIENTO Y APLASTAMIENTO.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 032	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIOE01] CABLE LARGO AUX OESTE/SUR - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP4 INSPECCIONAR CABLE LIMIT SWITCH, DESCARTAR DAÑOSY ROTURAS DEHILOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 033	[SIMHGR1] IZAJE [MOI13085] MOTOR AUX. OESTE, 60HP, 575RPM, HEW75RFRAME - PCO290CRA001HOISMTR3 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 034	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIPR01] CABLE PRINCIPAL DE LA PASTECA - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP1 INSPECCIONAR CABLE, REALIZAR MEDICIÓN DE DIAMETRO DE CABLE, DESCARTAR ROTURA DE HILOS, SOLTURA EN PERNO DE SEGURO, ELONGAMIENTO Y APLASTAMIENTO.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 035	[SIMHGR1] IZAJE [CBGRIPR01] CABLE PRINCIPAL DE LA PASTECA - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISROP1 INSPECCIONAR CABLE LIMIT SWITCH, DESCARTAR DAÑOSY ROTURAS DEHILOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
IGR109 036	[SIMHGR1] IZAJE [MOI13084] MOTOR PASTECA PRINCIPAL 150HP, 590RPM, HEWY150RXFRAME GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISMTR1 RETORQUEAR PERNOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		

Figura N°45 Formato de Inspección Mensual

Equipo/UT: (GR110) GRÚA PUENTE 1 - CONVERS, CAP. 60 TON.	TAG: ILO-FU-CO-A290-CRA001	Día [yyyy/mm/dd]	Duración [horas]
HR (IGR111) MP GRUA PUENTE 1 MECA ST [SM]	Tipo: [CB] CONDITION BASED		
Grupo: [IFAC] IMF TALLER MECÁNICO AREA CALIENTE	Prioridad: [A] Alta		
Supervisor:	Estado: [IAC] PLNR AREA CALIENTE		
Ejecutado por (Firma):	Observación:	Semana: S2955	OM 2002271256
Región:		Hora Inicio Real:	Hora Fin Real:

Orden Tarea	Sub_Sistema Item_Mantenible - TAG WO_Tarea: Texto_Tarea	Condición		Medición	Observación
		Bueno	Malo	Valor [Unidades]	
IGR111 001	[SBI1386] TRASLACIÓN [ROI9] RESERVORIO DE ACEITE ESTE - PCO290CRA001TRANRSV2 CAMBIAR PREVENTIVAMENTE LIQUIDO DE FRENO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 002	[SBI1386] TRASLACIÓN [ROI9] RESERVORIO DE ACEITE ESTE - PCO290CRA001TRANRSV2 REALIZAR LIMPIEZA DE RESERVORIO DE LIQUIDO DE FRENO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 003	[SBI1386] TRASLACIÓN [ROI8] RESERVORIO DE ACEITE OESTE - PCO290CRA001TRANRSV1 CAMBIAR PREVENTIVAMENTE LIQUIDO DE FRENO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 004	[SBI1386] TRASLACIÓN [ROI8] RESERVORIO DE ACEITE OESTE - PCO290CRA001TRANRSV1 REALIZAR LIMPIEZA DE RESERVORIO DE LIQUIDO DE FRENO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 005	[SIMHGR1] IZAJE [PJI14] PASTECA AUX ESTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISSBL2 INSPECCIONAR GANCHO DE IZAJE, DESCARTAR DAÑOS Y DESGASTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 006	[SIMHGR1] IZAJE [PJI14] PASTECA AUX ESTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISSBL2 VERIFICAR DESGASTE DE CANALES DE POLEAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 007	[SIMHGR1] IZAJE [PJI15] PASTECA AUX OESTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISSBL3 INSPECCIONAR GANCHO DE IZAJE, DESCARTAR DAÑOS Y DESGASTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 008	[SIMHGR1] IZAJE [PJI15] PASTECA AUX OESTE - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISSBL3 VERIFICAR DESGASTE DE CANALES DE POLEAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 009	[SIMHGR1] IZAJE [PJI13] PASTECA PRINCIPAL - GRÚA #1 - PCO290CRA001HOISSBL1 VERIFICAR DESGASTE DE CANALES DE POLEAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Figura N°46 Formato de Inspección Semestral

Equipo/UT: (GR110) GRÚA PUENTE 1 - CONVERS, CAP. 60 TON.	TAG: ILO-FU-CO-A280-CRA001	Día [yyyy/mm/dd]	Duración [horas]
HR (GR111) MP GRUA PUENTE 1 MECA ST [16M]	Tipo: [CB] CONDITION BASED		
Grupo: [IFAC] IMF TALLER MECÁNICO AREA CALIENTE	Prioridad: [A] Alta		
Supervisor:	Estado: [IAC] PLNR AREA CALIENTE		
Ejecutado por (Firma):	Observación:	Semana: S2955	OM 2002271256
Registro:		Hora Inicio Real:	Hora Fin Real:

Orden Tarea	Sub_Sistema Item_Mantenible - TAG WO_Tarea: Texto_Tarea	Condición		Medición	Observación
		Bueno	Malo	Valor [Unidades]	
IGR111 001	[SBI1386] TRASLACIÓN PUENTE CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA MOTRIZ LATERAL ESTE (1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 002	[SBI1387] TRASLACIÓN PUENTE CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA MOTRIZ LATERAL OESTE (2)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 003	[SBI1388] TRASLACIÓN PUENTE CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA CONDUCCIDAS SUR ESTE(1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 004	[SBI1389] TRASLACIÓN PUENTE CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA CONDUCCIDAS NOR ESTE (1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 005	[SBI1390] TRASLACIÓN PUENTE CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA CONDUCCIDAS NOR ESTE (2)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 006	[SBI1391] TRASLACIÓN PUENTE CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA CONDUCCIDAS SUR OESTE(1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 007	[SBI1392] TRASLACIÓN PUENTE CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA CONDUCCIDAS NOR OESTE (1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 008	[SBI1393] TRASLACIÓN PUENTE CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA CONDUCCIDAS NOR OESTE (2)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 009	[SBI1394] TRASLACIÓN PUENTE CAMBIAR REDUCTOR LATERAL ESTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 010	[SBI1395] TRASLACIÓN PUENTE CAMBIAR REDUCTOR LATERAL OESTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 011	[STTRGR1] TROLLEY CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA MOTRIZ NORTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 012	[STTRGR1] TROLLEY CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA MOTRIZ SUR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 013	[STTRGR1] TROLLEY CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA CONDUCCIDA NORTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 014	[STTRGR1] TROLLEY CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RUEDA CONDUCCIDA SUR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 015	[SIMHGR1] IZAJE [PJ114] PASTECA AUX ESTE - CAMBIAR PREVENTIVAMENTE RED AUX ESTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 016	[SIMHGR1] IZAJE [PJ114] PASTECA AUX ESTE - CAMBIAR PREVENTIVAMENTE CABLE AUX ESTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 017	[SIMHGR1] IZAJE [PJ114] PASTECA AUX ESTE - CAMBIAR PREVENTIVAMENTE CABLE AUX OESTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 018	[SIMHGR1] IZAJE [PJ113] PASTECA PRINCIPAL - CAMBIAR PREVENTIVAMENTE REDUCTOR PRINCIPAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 019	[SIMHGR1] IZAJE [PJ114] PASTECA PRINCIPAL - CAMBIAR PREVENTIVAMENTE TAMBOR PRINCIPAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 020	[SIMHGR1] IZAJE [PJ115] PASTECA PRINCIPAL - CAMBIAR PREVENTIVAMENTE CABLE PRINCIPAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
IGR111 021	[SIMHGR1] IZAJE [PJ115] PORTA ZAPATAL - CAMBIAR PREVENTIVAMENTE ZAPATAS Y AUTOAJUSTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Figura N°47 Formato de Inspección propuesto [16M]

3.5.2.5 Disponibilidad mecánica Optimizada

El corte se realiza a las 10:00 am los días lunes y solo se considera las horas hombre con notificación total (No se consideran notificaciones parciales).

De las ecuaciones [1] y [2] Tenemos:

$$CPM = \frac{HH_{Notificadas}}{HH_{Programadas}} \dots [1]$$

$$MNP = \frac{HH_{Ordenes\ NO\ programadas\ Notificadas}}{HH_{Ordenes\ Programa\ Semanal}} \dots [2]$$

Donde:

- ✓ CMP: Cumplimiento Plan de Mantenimiento
- ✓ MNP: Mantenimiento No Programado
- ✓ HHprogramadas: Horas hombre del programa semanal.
- ✓ HHNotificadas: Horas hombre que cuentan con notificación total.
- ✓ HHSin Notificar: Horas hombre que no se ejecutaron del programa semanal.

En la Figura N° 48 podemos observar la tendencia del cumplimiento del programa semanal luego de la optimización. En los años de prueba donde se recolectaba la información para la optimización, el cumplimiento del programa semanal llegaba a un pico máximo de 87% sin embargo luego de recategorizar y analizar la criticidad de los componentes el cumplimiento del plan llega a 99%.

De igual manera podemos indicar que esto a ocasionado la reducción de paradas no programadas y paradas innecesarias en las grúas puente por consiguiente podemos concluir que la optimización del plan de mantenimiento aumento significativamente la disponibilidad mecánica de las grúas puente de convertidores y para poder ver el beneficio analizaremos los indicadores de gestión antes y después.

Tabla N°20

Resumen de la disponibilidad luego de la optimización.

EQUIPO	N° DE EVENTOS		MTTR (Tiempo medio de reparación)		MTBF (Tiempo medio de fallas)		% Disponibilidad	
TOTAL FLOTA	17	14	417.76	69.00	2309.76	3243	84.68%	97.92%
Grúa P. N°3	6	5	380.50	54.60	2195.50	3036.6	85.23%	98.23%
Grúa P. N°2	4	3	578.50	116.00	3285.50	5036	85.03%	97.75%
Grúa P. N°1	7	6	357.86	57.50	1850.14	2518.5	83.79%	97.77%

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 20 podemos observar el aumento de la disponibilidad en las 3 grúas puente en los últimos trimestres luego de la optimización del plan de mantenimiento.

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Conocida la disponibilidad mecánica actual de las grúas puente modelo C-24974 de la empresa Southern Peru Copper Corporation que se realizó bajo una matriz de criticidad cualitativa y una limitada identificación de los modos y efectos de falla (AMEF). Se desarrollará la optimización del plan de mantenimiento preventivo considerando la metodología del (AMFEC) Análisis de modos de fallas, efectos y criticidad.

4.2. Contratación de hipótesis.

La disponibilidad mecánica inicial era de 84.68% con la optimización del plan de mantenimiento, Identificando la criticidad de los componentes y modificando la frecuencia del plan de mantenimiento a través de la distribución de weibull se llegó a un 97% aumentando en 13% a la disponibilidad mecánica. Esto ha reducido la tasa de fallos en los periodos siguientes, así como las paradas innecesarias en las grúas puente objeto de investigación.

4.3. Discusión de resultados.

4.3.1. Comparación de resultados entre el periodo de evaluación 2018 y el 2020.

En la figura N°50 se representa el cumplimiento del programa semanal de las grúas puente de convertidores. La tendencia desde el 2018 fue en aumento debido a la optimización del plan de mantenimiento llegando en el 2020 a un 99%

esto se verá reflejado directamente en la disponibilidad mecánica de las gruas como podemos apreciar en la figura N° 51.

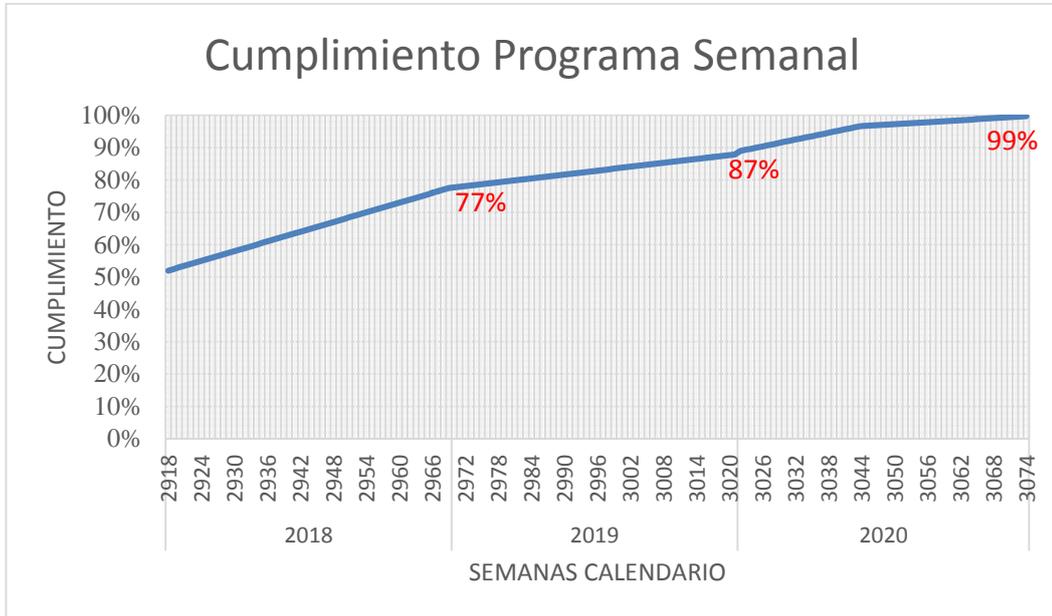


Figura N°50 Cumplimiento programa Semanal

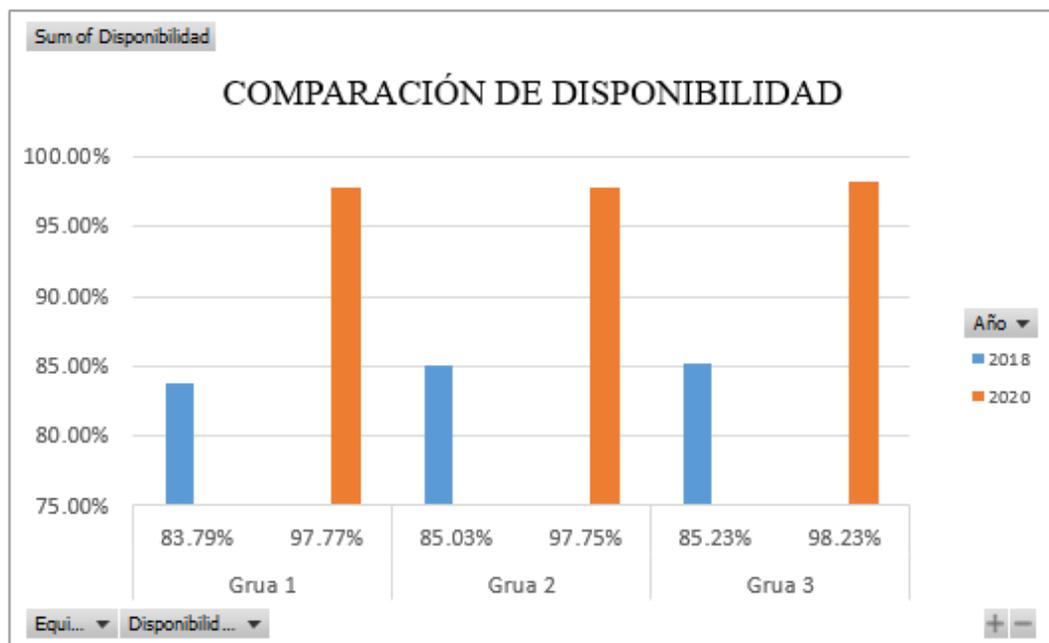


Figura N°51 Disponibilidad 2018 al 2020

Las horas de paradas por mantenimiento correctivo también se redujeron en un total de 69% a esto también se le suman las paradas innecesarias programadas antes de la optimización del plan de mantenimiento.

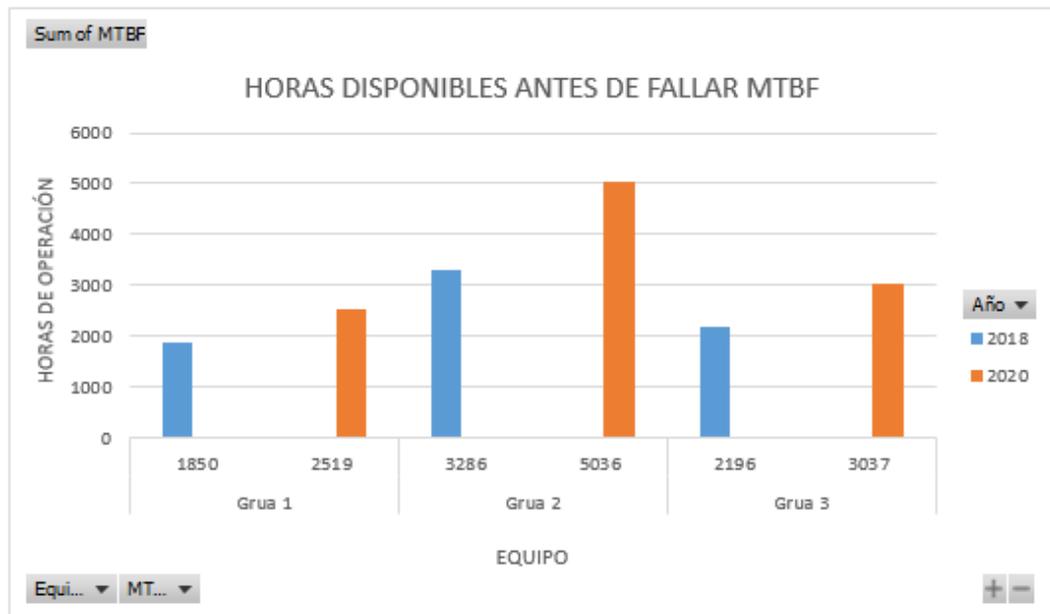


Figura N°52 Horas disponibles para la operación

En la figura N°53 se muestran los costos producidos por todos los fallos registrados, así como las paradas innecesarias, esto coincide que al reducir las horas de paradas también se redujeron los costos relacionados a ello. Los costos más relevantes se dieron en los años 2014 y 2015 donde no estaba bien definida la criticidad de los componentes. El costo de mantenimiento se redujo 44% luego de la optimización del plan de mantenimiento teniendo un ahorro considerable en el parque de las grúas puente de convertidores.

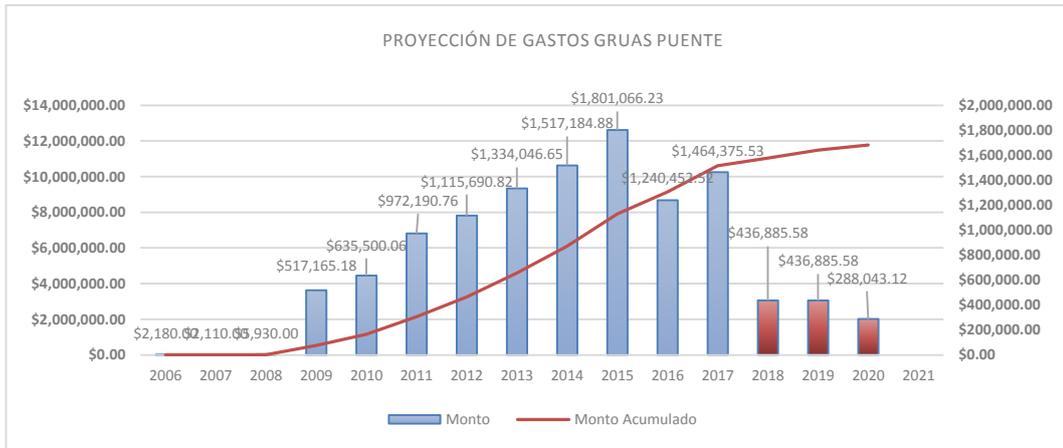


Figura N°53 Proyección de gastos en las grúas puente

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Luego de realizada la investigación, se presentan las conclusiones siguientes concordantes con los objetivos.

- Luego del cálculo inicial de los indicadores de mantenimiento: MTBF y MTTR para el cálculo de densidad de falla, tasa de mortalidad, fiabilidad e infiabilidad tenemos como resultado la disponibilidad mecánica actual antes de la optimización. El cálculo de la disponibilidad inicial se realizó a las 3 grúas puente del Área de convertidores dando un valor total de 84.68%, este valor está dentro de lo recomendado por tabla de valores típicos de disponibilidad (Tabla N°10) por el tipo de proceso continuo al que corresponden las grúas. La disponibilidad está en tercer lugar en el intervalo de 78 – 84% luego de la optimización del plan de mantenimiento la Disponibilidad total calculada fue 97.92%.
- Previo a la reestructuración del AMEF se realizó un diagrama de Pareto con los modos de falla recurrentes en las grúas puente para evaluar específicamente aquellos que están en el 20% ocasionado el 80% de las fallas. Estos resultados fueron examinados en el AMEF inicial para luego evaluar la criticidad según la matriz cuantitativa.
- La criticidad inicial evaluada con la matriz cualitativa de los componentes de las grúas puente daba un valor de 39% para criticidad Alta, 17% para criticidad media y 45% para criticidad baja. Luego de la optimización del plan de mantenimiento siguiendo la metodología del AMFEC y

recategorizando el AMEF bajo una matriz cuantitativa se obtuvo 18% para criticidad Alta, 5% para criticidad media y 77% reduciendo significativamente la cantidad de componentes críticos en las grúas puente.

- A través del cálculo de los parámetros de Weibull aplicando relación y correlación se determinó el valor de $\beta = 1.9313$ con los efectos de β sobre weibull se obtuvo que $\beta > 1$ y que el fallo se incrementa con la edad en forma continua debiéndose aplicar mantenimiento preventivo.

5.2. Recomendaciones

- Realizar de manera periódica la encuesta para evaluar la efectividad del mantenimiento (MES), pues con ella veremos en qué departamento se debe potenciar el recurso.
- Seguir almacenando los datos históricos de fallas en el ERP SAP para ayudar al análisis de datos a posteriori, se podría evaluar implementar contadores para la alimentación más exacta de la falla en los reductores de las grúas puente, este instrumento ayudaría junto la frecuencia de mantenimiento a una mejor estimación de la próxima falla.
- Debido a las mejoras y nuevas técnicas de mantenimiento se sugiere realizar un análisis de criticidad a los componentes considerando las nuevas mejoras tecnológicas para solución y control de modos de falla.
- Capacitación permanente a todo el personal de mantenimiento sobre la gestión del mantenimiento sobre todo en la planificación y la importancia del feedback.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ramírez F. (2007). En su tesis “*Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico, Guatemala, 2007*”. Universidad de San Carlos Guatemala, facultad de Ingeniería, para lograr el grado de Maestro en artes en ingeniería de mantenimiento.

Beltran J. (2000). En su libro “Indicadores de gestión, 2da edición”. (p5)

Sexto L. (9 de mayo 2006). Confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.
<https://luisfelipesepto.blogia.com/2006/051001-confiabilidad-mantenibilidad-y-disponibilidad.php>

Mora L. (2009). Mantenimiento, Planeación, ejecución y control. Primera Edición.
Alfaomega Grupo editor, S.A. de C.V., México.

Sirena A., Gabriela, Suarez P., Rimbart y Ascencio C., Marcial, (2009). En su tesis:
“Implementación del RCM en el planeamiento y gestión estratégica del área de mantenimiento de la empresa de transportes Hagemnsa S.A.C., TECSUP 2009.

Maibaum, G. (1987). Teoría de Probabilidades y Estadística Matemática” Edit.
Pueblo y Educación.

Walpole R. & Myers R., (2012). Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias, 9na Edic.

Hernández R. (2015). En su libro “Metodología de la investigación, 7ma edición”.
(p187).

Campbell D. & Stanley J., (1963). Experimental and quasi-experimental designs for research.

Tavares, L., (2014). Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo Publicaciones.

Lyonnet, P., (1991). Maintenance Planning, Methods and Mathematics. Chapman & Hall.

Pablo Romero Carranza, J. L. (2013). Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmontadora de algodón. e-Reading Trabajos y Proyectos de estudios de la E.T.S.I.

Francés A. (2006). Estrategia y planes para la empresa. Con el cuadro de mando Integral. Pearson Educación: México.

Mora Gutiérrez, A.G., (2012). Mantenimiento Industrial Efectivo.

Vásquez C., (2019). En su tesis “Reducción de los costos de mantenimiento mediante la modificación de la frecuencia de inspección, en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra, Moquegua, 2018”, 2019. Escuela de postgrado de la facultad de Ing. Mecánica, para lograr el grado académico de Maestro.

Arellano G. (2009). En su tesis “Implantación de Análisis de aceite en motores de combustión interna de ciclo Diésel, Ecuador, 2009”. Escuela superior politécnica del litoral (ESPOL), facultad de Ingeniería mecánica y ciencias de la producción, para lograr el grado de Ingeniero Mecánico

Mella K. (2002). En su tesis “Plan de lubricación con aplicación del software SAP, modulo mantención, en la empresa Masisa planta Puschmann”. Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería Mecánica, para lograr el grado de Ingeniero mecánico.

Armas L. (2016). En su tesis “Gestión de mantenimiento para mejorar la Disponibilidad mecánica de la maquinaria de confitados en industrias alimentarias S.R.L, Huancayo – Perú, 2016”. Universidad nacional del centro del Perú, Facultad de Ingeniería Mecánica, para lograr el grado de Ingeniero Mecánico

Castro Irrarazabal, M. (2017). Método basado en RCM para la gestión de mantenimiento en tractores agrícolas. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

La Gonzáles, F. (2005). Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. Tesis para optar el grado de ingeniero Madrid – España.

Parra, C. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. Tesis para optar el título de ingeniero Sevilla – España.

Barros O. (2015). En su tesis “La planificación estratégica de mantenimiento como herramienta preventiva y predictiva para la disminución de la accidentabilidad de un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional, Ecuador, 2007”. Universidad Politécnica Salesiana, facultad de Ingeniería, para lograr el grado de Maestro.

- Santibañez, A. (2009). Diseño de un sistema de información administrativo para optimización de gestión del mantenimiento en agrícola y packing Cachapoal S.A. Tesis para optar el título de Ingeniero Curico – Chile.
- Villegas J. (2016). En su tesis “Propuesta de mejora en la Gestión del área de Mantenimiento, para la Optimización del desempeño de la Empresa MANFER S.R.L. Contratistas”. Universidad Católica San Pablo, Facultad de Ingeniería y Computación. Para optar el título de ingeniero Industrial, Arequipa-Perú. Recuperado de [:http://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/UCSP/15234](http://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/UCSP/15234)
- Armas A. (2016). “Gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de la maquinaria de confitados en industrias alimentarias S.R.L.”. Universidad Nacional del Centro del Perú, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Huancayo-Perú. Recuperado de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3632>
- Cruz S. (2018). “Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo para el puente grúa dela nave número dos de la bodega de almacenamiento de producto terminado de la industria novacero S.A. planta Lasso”. Universidad técnica de Cotopaxi, Facultad de ciencias de la ingeniería y aplicadas, Latacunga – Ecuador.
- Galarza J. (2012). “Plan de mantenimiento de un puente grúa con capacidad de diez toneladas”. Escuela politécnica nacional, Facultad de ingeniería mecánica, Quito – Ecuador.

Saavedra R. (2007). “Propuesta de mejora del plan de mantenimiento preventivo en la disponibilidad operativa de los camiones compactadores de la subgerencia de limpieza pública en la municipalidad provincial de Cajamarca”. Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Cajamarca Perú.

Córdova C. (2005). “Implantación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a los hornos convertidores pierce smith de la fundición de cobre de Southern Peru Copper Corporation”. Universidad Nacional de Ingenierías, Facultad de ingenierías, Lima Perú.