



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**MANTENIMIENTO DE EQUIPOS AUXILIARES
EN UNA COMPAÑÍA MINERA DE
ANCASH 2021 – 2022**

PRESENTADO POR:

BACHILLER JOAO MARTIN CARDOSA ORTEGA

ASESOR:

MGR. JAVIER REMBERTO ZEBALLOS CHÁVEZ

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

MOQUEGUA – PERÚ

2023

ÍNDICE

	Pág.
PÁGINA DE JURADO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DEL TEMA

1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Empresa Labores y Servicios Múltiples S.R.L.	14
1.3. Contexto socioeconómico.....	16
1.4. Descripción de la experiencia.....	16
1.5. Explicación del cargo “Planner de contrato de equipos auxiliares”	19
1.6. Propósito del puesto.....	19
1.7. Proceso que será objeto del informe.....	19
1.7.1. Objetivo general.	19
1.7.2. Objetivos específicos.....	20

1.8.	Resultados alcanzados	21
1.8.1.	Actividades previas.....	21
1.8.2.	Actividades operativas.....	22
1.8.2.1.	<i>Condiciones actuales.....</i>	22
a).	<i>Puente Grúa Taller livianos</i>	23
b).	<i>Puente Grúa Bahía pesados antiguos.....</i>	24
c).	<i>Puente Grúa Bahía pesados nuevos</i>	25
d).	<i>Puente Grúa Auxiliares</i>	26
e).	<i>Puente Grúa Bahía de soldadura nuevo.....</i>	27
f).	<i>Puente Grúa Bahía de soldadura antiguo</i>	28
g).	<i>Puente Grúa Pesado 7 Bahía nuevo</i>	29
1.8.2.2.	<i>Indicadores de mantenimiento.</i>	32
a).	<i>Tiempo de producción de los puentes grúa del área de Truck Shop.....</i>	32
b).	<i>Número de fallas y Mtto programado en los puentes grúas del área de Truck Shop.</i>	33
c).	<i>Tiempo total de reparaciones de los puentes grúas del área de Truck Shop.....</i>	34
d).	<i>Tiempo neto de producción de los puentes grúas del área de Truck Shop.....</i>	35
e).	<i>Tiempo promedio para reparar los puentes grúas del área de Truck Shop.....</i>	35

f).	<i>Tiempo promedio entre fallas de los puentes grúas del área de Truck Shop.</i>	36
g).	<i>Tasa de fallas de los equipos (λ).</i>	37
h).	<i>Cálculo de la disponibilidad de cada puente grúa del área de Truck Shop.</i>	38
i).	<i>Cálculo de la confiabilidad de cada puente grúa del área de Truck Shop.</i>	39
j).	<i>Cálculo de la disponibilidad global de los puentes grúas del área de Truck Shop.</i>	40
k).	<i>Cálculo de la confiabilidad global de los puentes grúas del área de Truck Shop.</i>	41
1.8.2.3.	<i>Cálculo de criticidad de los puentes grúas del área de Truck Shop.</i>	42
1.8.2.4.	<i>Determinar el plan de mantenimiento en base a la metodología last planner system.</i>	46
a).	<i>Determinación del Análisis modal de efectos y fallos:</i>	46
b).	<i>Tiempo programado para la ejecución del plan de mantenimiento</i>	55
1.8.2.5.	<i>Nuevos indicadores de mantenimiento obtenidos.</i>	58
a).	<i>Número de fallas y mantenimiento programado.</i>	58
b).	<i>Tiempo total de reparaciones</i>	59
c).	<i>Tiempo neto de producción</i>	59
d).	<i>Tiempo promedio para reparar</i>	60
e).	<i>Tiempo promedio entre fallas</i>	61

f).	<i>Nueva disponibilidad de los puentes grúa</i>	62
g).	<i>Nueva confiabilidad de los puentes grúa</i>	62
h).	<i>Nueva disponibilidad global de los puentes grúa</i>	63
i).	<i>Nueva confiabilidad global de los puentes grúa</i>	64
1.8.3.	Actividades de mejora.	66
1.8.3.1.	<i>Identificación de causa raíz de las fallas de los equipos Puentes Grúa</i>	66
1.8.3.2.	<i>Representación en el diagrama de Pareto y aplicación de la ley de Pareto 80/20</i>	70

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1.	Explicación de la relación entre la teoría y la práctica	71
2.2.	Acciones para la evaluación de costos y brindar una mejora en la propuesta del plan de mantenimiento	75
2.2.1.	Cálculo costo de mantenimiento correctivo.	75
2.2.2.	Costos por mantenimiento preventivo basado en la metodología last planner system	76
2.3.	Representación de resultados	79

CAPÍTULO III

APORTES Y DESARROLLO DE EXPERIENCIAS

3.1. Aportes utilizados	81
3.2. Desarrollo de experiencias	81
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Resumen de Puentes Grúas en área Truck Shop.....	30
Tabla 2 Tipos de Mantenimientos.....	31
Tabla 3 Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF).....	46
Tabla 4 Evaluación de Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).....	52
Tabla 5 Acciones Preventivas	53
Tabla 6 Tiempos Programados para Ejecución de Plan de Mantenimiento	55
Tabla 7 Cuadro de Priorización y Respectivas Cantidades de Nro. de Fallas	67
Tabla 8 Cuadro de Priorización Causa Raíz	68
Tabla 9 Personal Involucrado y Costo Hora Hombre.....	75
Tabla 10 Cálculo de Costos por Mantenimiento Correctivo	76
Tabla 11 Costos por Reparación y Mantenimiento Preventivo	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Organigrama LASER SRL - Operaciones Antamina.....	16
Figura 2 Visita al Área de Truck Shop para Verificación de Condiciones Actuales.....	23
Figura 3 Puente Grúa Taller Livianos.....	24
Figura 4 Gancho de Puente Grúa Bahía Pesados Antiguos.....	25
Figura 5 Puente Grúa Bahía Pesados Nuevos.....	26
Figura 6 Puente Grúa Auxiliares.....	27
Figura 7 Puente Grúa Bahía de Soldadura Nuevo.....	28
Figura 8 Puente Grúa Bahía de Soldadura Antiguo.....	29
Figura 9 Puente Grúa Pesado 7 Bahía Nuevo - Polipasto Principal.....	30
Figura 10 Producción Anual de los Equipos.....	33
Figura 11 Número de Fallas.....	34
Figura 12 Tiempo Total de Reparación.....	35
Figura 13 Tiempo Neto de Producción.....	35
Figura 14 Tiempo Promedio para Reparar (TPPR).....	36
Figura 15 Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF).....	37
Figura 16 Tasa de Fallas de los Puentes Grúas.....	38
Figura 17 Disponibilidad (D).....	39
Figura 18 Confiabilidad (C).....	40
Figura 19 Indicadores de Mantenimiento Global.....	42
Figura 20 Valores de Criterios de Criticidad.....	44
Figura 21 Indicadores de Criticidad.....	44
Figura 22 Análisis de Criticidad.....	45
Figura 23 Números de Fallas.....	58

Figura 24	Tiempo Total de Reparaciones por Fallas y Mantenimiento Programado	59
Figura 25	Tiempo Neto de Producción de los Puentes Grúa.....	59
Figura 26	Tiempo Promedio Para la Reparación TPPR	60
Figura 27	Tiempo Promedio Entre Fallas TPEF	61
Figura 28	Nueva Disponibilidad	62
Figura 29	Nueva Confiabilidad	63
Figura 30	Nuevos Indicadores Globales de Mantenimiento	65
Figura 31	Análisis de causales críticos “Diagrama de Ishikawa”	66
Figura 32	Tendencias de Elementos que Producen la Criticidad en los Puentes Grúas	69
Figura 33	Diagrama de Pareto	70
Figura 34	Costos Anuales	78
Figura 35	Horas Anuales	78

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional tuvo como objetivo general proponer el mantenimiento de equipos auxiliares en una compañía minera de Ancash 2021 – 2022 basado en la metodología “last planner system” para incrementar los indicadores de mantenimiento como es el de disponibilidad y confiabilidad. Se dio inicio con la toma de información in situ con la empresa contratista LASER S.R.L. dentro de una unidad minera ubicada en Ancash. Se realizaron los cálculos de los indicadores de mantenimiento y criticidad pudiendo identificar los equipos críticos de puentes grúas en el área de truck shop. Se realizó seguimiento a la planificación de mantenimiento basándonos en las herramientas de la metodología “last planner system” durante un año (2 021 al 2 022). Posteriormente se procedió a realizar los cálculos de los nuevos indicadores de mantenimiento y comparar con los datos iniciales teniendo incrementos en disponibilidad 2.44% y confiabilidad 8.48%. Se obtuvo una reducción de costos en mantenimiento no programados significativo de S/ 76 928,23. Los datos obtenidos brindan la satisfacción de poder sentirnos dentro de la carrera constante de la mejora continua.

Palabras clave: Mantenimiento, indicadores de mantenimiento, confiabilidad, Disponibilidad, last planner system, puente grúa y truck shop.

ABSTRACT

The present work of professional sufficiency had as a general objective to propose the maintenance of auxiliary equipment in a mining company of Ancash 2 021 – 2 022 based on the last planner system methodology to increase maintenance indicators such as availability and reliability. It began with the collection of information in situ with the contractor company LASER S.R.L. within a mining unit located in Ancash. The calculations of the maintenance and criticality indicators were carried out, being able to identify the critical equipment of overhead cranes in the truck shop area. Maintenance planning was monitored based on the tools of the last planner system methodology for one year (2 021 to 2 022). Subsequently, the calculations of the new maintenance indicators were carried out and compared with the initial data, having increases in availability 2,44% and reliability 8,48%. A significant reduction in unscheduled maintenance costs of S/ 76 928,23 was obtained. The data obtained provide the satisfaction of being able to feel within the constant race of continuous improvement.

Keywords: Maintenance, maintenance indicators, reliability, Availability, last planner system, overhead crane and truck shop

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DEL TEMA

A fines del siglo XIX emergió el pensamiento Lean Production (producción sin pérdidas) en Japón por Sakichi Toyoda, fundador de Grupo Toyota pero siendo su sobrino Eiji Toyoda y su genio de la producción Taiichi Ohno los cuales impulsaron la filosofía lean incrementando la productividad haciendo énfasis en producir únicamente la demanda y a solicitud del cliente dado que los fundamentos principales de la producción son variables y universales, servibles en cualquier contexto por cualquier persona y que el verdadero reto en la actualidad es no incurrir dos veces en el mismo error. (Womack & Roos, 1992). Desde aquellas épocas la filosofía lean viene desarrollándose en distintos ámbitos de producción (lean production = producción sin pérdidas) y construcción (lean construction = construcción sin pérdidas) las cuales basándose en la disminución de tiempo en mano de obra, regulación de desperdicios de los recursos y sumo cuidado de incurrir en accidentes laborales son metas que de lograrse cumplir añaden valor a la metodología por lo cual los investigadores Glenn Ballard y Greg Howell idearon el método Last Planner System conocido en Latinoamérica como el método del último planificador siendo su función mejorar la fase de la planificación removiendo la

manera tradicional de programar. (Porras et al., 2014)

Los problemas hallados fueron en campo al momento de la ejecución de los planes de mantenimiento realizados para puentes grúas en una empresa minera ubicada en Ancash, trayendo como consecuencia baja disponibilidad y confiabilidad de los equipos en mención. Por testimonios de muchas personas en los últimos 20 años aún no se han implementado métodos ejecutables eficientes, si bien en algunos lugares ya se está tomando en cuenta los nuevos métodos ejecutables que implican “lean production”, a manera global aún falta tanto a nivel internacional, nacional y local. (Pons & Rubio, 2019)

Truck shop es el nombre que la empresa minera le ha colocado al área donde se realizan mantenimientos mecánicos, eléctricos e hidráulicos a las unidades móviles mineras haciendo referencia a truck = tractor y shop = tienda siendo una tienda de camiones. Son naves o hangares de gran dimensión donde es necesario contar con puentes grúas para realizar aquellas labores de mantenimiento, reparación y/o cambios de componentes los cuales son gran tonelaje y se requiere izar para poder realizar los trabajos requeridos, en tal sentido es indispensable que los puentes grúa estén operativas y cuenten con los altos índices de disponibilidad y confiabilidad para abastecer el programa de mantenimiento que cuentan estas 120 unidades mineras. (ContentLab, 2020). La empresa minera cuenta con un software de nombre ellipse el cual realiza un reporte diario de las actividades de mantenimiento según la información indexada por cada equipo entre ellos los puentes grúa el problema es que este software indica lo que se debe de realizar y no toma en cuenta si se puede realizar, ya que para poder realizar una actividad se requiere contar con los recursos disponibles tanto en materiales, mano de obra, equipos, herramientas,

contar con el área libre o disponible para realizar una actividad de mantenimiento, motivo por lo cual muchas veces se ha dejado de realizar la actividad de mantenimiento y como consecuencia no se ha logrado los índices de disponibilidad y confiabilidad deseados es por ello que se desea basar el plan de mantenimiento en la metodología last planner system como herramienta de ejecución.

Partiendo del punto en que la metodología last planner system está enfocado en un principio colaborativo donde intervienen todos desde el responsable directo de realizar la actividad (ultimo planificador) líder mecánico, electricista, instrumentista y/o civil como el supervisor, jefe de área subcontratista, para poder identificar lo que será realizado y quién realizará el trabajo e indicará el estado actual previo a la ejecución y podrá informar sobre las restricciones si lo hubiera, para lograr subsanar de manera oportuna. Debido a que sin la experiencia de todos los participantes no se analizaría los errores de la planificación ni se tomaría en cuenta las causas de su acontecimiento. Por lo tanto ¿En qué medida mejoran los indicadores de mantenimiento en el área de truck shop debido a la implementación de la metodología last planner system? (ELROY, 2014).

La justificación del trabajo de suficiencia la obtenemos desde; el punto de vista *operacional* debido a que existió la gran necesidad de implementar el plan de mantenimiento como búsqueda de la mejora continua tanto en ahorro de recurso humano, materiales, equipos y herramientas, punto de vista *operativo* ya que se requirió lograr una mayor operatividad de los equipos para alcanzar metas trazadas como empresa en cuanto a producción, punto de vista *técnico* porque se gestionó la implementación de una nueva metodología de origen internacional que está siendo recientemente utilizada a nivel nacional, punto de vista *social* es posible que otras

empresas logren conocer esta nueva metodología de trabajo y puedan adaptarla según sus necesidades, punto de vista *medio ambiental* se logró una mayor disponibilidad y confiabilidad de los equipos, previniendo deterioro de los mismos y posibles impactos sobre el medio ambiente los cuales pudieron haber sido, derrames de hidrocarburos, emisiones de sustancias tóxicas, accidentes, etc., y del punto de vista *económico* porque debido al incremento de los índices de mantenimiento se logró una mejor optimización de los recursos

1.1. Antecedentes

Se ha indagado algunos temas sobre la investigación y a nivel internacional se escogió la tesis de Parra & Paredes (2019) natural de Ecuador quien trató sobre el Efecto del last planner system en la productividad total de los factores en proyectos de obras viales, la cual consistió en realizar la planificación en base a la filosofía lean consiguiendo el 59.9% de Porcentaje de plan cumplido (PPC), 3.38% de productividad de mano de obra, 24% de productividad en maquinaria y equipos, 69.38% de productividad de materiales y 10.88% de productividad total de las actividades.

Y sobre mantenimiento se seleccionó la investigación denominada Complementación del programa de mantenimiento preventivo para los puentes grúa del área de laminación de la empresa GERDAU DIACO - Colombia (López, 2020), logrando evidenciar un incremento del índice de disponibilidad del 0.4% en la nave 1, 0.6% en la nave 3 en un periodo de 6 meses dando indicios de una mejora progresiva de los equipos estudiados.

De forma similar se buscó información a nivel nacional respecto al tema de estudio y se consideró el tema de Implementación de Lean Construction para incrementar la productividad en una empresa Constructora Royal Sun Corporation, Lima, 2018 investigación de Taipe (2018), quien aplicando el método convencional y la metodología basada en la filosofía lean en dos actividades iguales, obtuvo resultados fehacientes de aumento de la productividad en mano de obra de 1.07 m³/hh a 1.22 m³/hh logrando una optimización de productividad total en 14.01% demostrando los beneficios de la aplicación de la filosofía lean.

Así mismo Silva (2020) en su tesis de pregrado Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos del proceso productivo de una curtiembre. En su investigación desarrollada consiguió elevar los indicadores de mantenimiento tanto en disponibilidad en 5%, confiabilidad en 12.74% y adicionalmente demostró la rentabilidad positiva por la implementación de dicho plan de mantenimiento logrando 08 años de vida útil con un periodo de retorno de inversión en 2.64 años garantizando ingresos positivos por 5.36 años debido a la nueva disponibilidad y confiabilidad alcanzada. Logrando evidenciar que cuando se cumple con las actividades del plan de mantenimiento se logran palpar los resultados en este caso elevando en un promedio de 10.83% sobre las máquinas de dicha municipalidad siendo un ahorro de S/600.00 al mes.

Adicionalmente se investigó respecto al incrementos de la eficiencia por medio del mantenimiento y Requejo & Santin (2018), en su tesis de pregrado denominado Implementación de un sistema de mantenimiento productivo total para mejorar la eficiencia global de los equipos de la empresa IPEFICAL S.A.C., 2018. Logran un incremento de la eficiencia en 12.63% identificando la causa raíz de las

fallas de los equipos críticos mediante la herramienta del diagrama de Ishikawa y estudio del diagrama de Pareto e implementando un plan de mantenimiento.

De la misma forma se investigó a nivel local seleccionando la tesis Implementación de la filosofía lean en la mejora de procesos de construcción en la empresa HTC CONTRATISTAS SRL – Huaraz, 2016 (Minaya, 2016), en la cual se logra contrastar el porcentaje de actividades cumplidas superando el 80% de lo planificado en 05 semanas.

De forma similar Milla (2019) en su tesis Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la confiabilidad de máquinas de la municipalidad provincial de Huaraz, 2019. Incrementando la disponibilidad de 79% a 90% y confiabilidad de 83% a 95%.

La teoría relacionada al trabajo de suficiencia está basada en los equipos puentes grúa, mantenimiento y la metodología last planner system las cuales se proceden a explicar en los siguientes párrafos:

Sobre los puentes grúa se puede indicar que son equipos contruidos a base de diversos elementos mecánicos y eléctricos para poder cumplir con el propósito de desplazar cargas dentro de su rango de trabajo, (Diestra et al., 2017). Podemos clasificarlas por su tipo; i) grúa monorraíl la cual es la más usual ya que es manejable para movilizar objetos de gran carga en magnitud, luego esta ii) grúa birrail siendo más robusta por su doble viga transversal utilizada con frecuencia para cargas muy elevadas, también encontramos la iii) grúa pórtico que podría contar con una o dos rieles las cuales están montadas de manera rígida, así mismo está la iv) grúa semi-pórtico la cual aprovecha una estructura existente como parte

de una de sus componentes de soportería, de igual manera encontramos v) grúa pluma ideal para realizar desplazamientos en espacios reducidos en un área máximo de 220m², teniendo dentro de sus atributos un giro de 180°, 270° hasta 360°, mediante giro manual o a control. (Gonzáles, 2018). Los elementos de un puente grúa estándar son; Carro móvil principal, viga principal de la grúa, chapas de unión conocidas como vigas testeras o testeros, motor de traslación del puente, Mando de control, equipo eléctrico de grúa, equipo mecánico de carro principal, winche de amortiguación, montaje de riel, fuente de alimentación eléctrica y cable de alimentación eléctrica (Diestra et al., 2017).

Sus aplicaciones más comunes son; a) la industria automotriz transportando componentes de unidades vehiculares colaborando con la automatización y eficacia de sus procesos de productivos, b) la industria del acero en la cual viene a ser uno de sus equipos principales para trasladar gran cantidad de materiales., c) la industria minera por su magnitud productiva es necesario tener un equipo que aporte en el traslado interno de equipos y/o componentes en sus procesos de producción, mantenimiento, etc. De igual manera podemos encontrar aplicaciones en las demás industrias tales como, d) la industria alimenticia, e) la industria del cemento, etc. (Gonzáles, 2018).

Sobre mantenimiento podemos definirla como conjunto de procedimientos utilizados con el propósito de mantener en condiciones óptimas tanto las maquinarias como equipos e instalaciones de una organización, garantizando el funcionamiento en buen estado durante sus procesos de producción, entre sus beneficios están la optimización de recursos, materiales, mano de obra, energía todo ello sin generar excesivos desperdicios, minimizar costos de producción, optimizar

operatividad de maquinarias y equipos, también incremento de su vida útil, cumplimiento de estándares de calidad y cuidado del medio ambiente. (IntegraMarkets, 2018).

Se clasifican según sus actividades i) Mantenimiento Correctivo donde las actividades principales consisten en corregir defectos a medida que se presentan durante el proceso de producción en los equipos e instalaciones, ii) Mantenimiento Preventivo donde se programa la parada y/o bloqueo del equipo por un periodo de tiempo es de carácter sistemático debido a que se paraliza el equipo sin que haya ocurrido alguna falla, iii) Mantenimiento Predictivo basado en mostrar una información de estado y operatividad de los diferentes equipos e instalaciones mediante la recopilación de información in situ las cuales podrían ser vibración, temperatura, consumo energético, etc., cuyos datos difieren de lo habitual y/o según instrucciones de funcionamiento, para lo cual se basa en equipos de medición bien calibrados, iv) Mantenimiento Cero Horas (Overhaul) consiste en realizar cambios a los elementos sometidos a desgaste o repararlos pero con intención de dejarlo como nuevo para lograr una máxima duración de operatividad, v) Mantenimiento En Uso es realizada por los mismos operarios realizando limpiezas, inspecciones visuales, toma de datos de temperatura, espesor, etc., brindando información efectiva para el TPM (Mantenimiento Productivo Total) (García, 2013).

Un plan de mantenimiento es un conjunto de actividades de mantenimiento preparadas para asegurar el correcto funcionamiento de una industria, encontramos actividades requeridas para prevenir los fallos más frecuentes. Elaboración de planes de mantenimiento; a) Plan de mantenimiento basado en los manuales de los fabricantes, b) Plan de mantenimiento diseñado en base a las instrucciones empírica

y genérica según las experiencias de mantenimiento, c) Plan de mantenimiento en base a los análisis de fallos evidenciados. (García, 2013). Fases para la creación de un plan de mantenimiento, a) Realizar un inventario de equipos y su estado operativo de cada uno, por lo que se recopila informaciones tales como descripción del fabricante, lista de repuestos, costos en mantenimiento, etc., b) Asignación del tipo de mantenimiento se dará una vez contemos con una inspección real de cada equipo y su respectivo informe de estado operativo, c) Formatos de verificación de mantenimiento como parte de un mantenimiento hora cero., d) Organizar un flujo de actividades donde se describe la manera en la que realiza dicha actividad y tipo de mantenimiento, e) Para el desarrollo lo ideal es contar con un registro de frecuencias con los fallos críticos. Para eso debemos hacer que funcionen de manera uniforme y realizando mismos esfuerzos con el fin de contar con una data similar y detectar anomalías en su funcionamiento, f) Mantener actualizado el historial de equipos y poder contar con un plan de respuesta eficiente de mantenimiento. (García, 2013).

Los indicadores de mantenimiento sirven para medir y brindar soporte al momento de la toma de decisiones sobre mantenimiento, entre ellos como objeto de estudio usaremos la disponibilidad, confiabilidad. (Silva, 2020).

Disponibilidad la podríamos definir como la probabilidad de funcionamiento de un elemento en buen estado por un determinado tiempo sin interrupciones y se mide en relación a una probabilidad de que dicho elemento se mantenga en buen estado sin averías, para temas de cálculos se requiere calcular el tiempo promedio entre fallas (TPEF) y el tiempo promedio para reparar (TPPR), siendo el tiempo promedio entre fallas el tiempo de operatividad del equipo hasta

la falla el cual al ser de mayor duración incrementará la disponibilidad de dicho equipo, para el cálculo del TPEF se realiza mediante la siguiente fórmula. (Penabad et al., 2016).

Tiempo promedio entre fallas (TPEF):

$$\text{TPEF} = (\sum \text{TPEF}) \text{ Hrs.} / (\text{N}^{\circ} \text{ Fallas}) \# \text{fallas}$$

(1)

Tiempo promedio para reparar (TPPR):

$$\text{TPPR} = (\sum \text{TPR}) \text{ Hrs.} / (\text{N}^{\circ} \text{ Fallas}) \# \text{fallas}$$

(2)

Para el cálculo de la disponibilidad usamos la siguiente fórmula:

Disponibilidad (D):

$$D = (\text{TPEF}) / (\text{TPEF} + \text{TPPR}) * 100\%$$

(3)

Confiabilidad es la probabilidad de que un elemento funcione por un periodo de tiempo calculado en determinadas condiciones operacionales, ambientales, etc. Utilizamos el tiempo promedio entre fallas para cada elemento a analizar, teniendo como fórmula la siguiente expresión.

$$\lambda = (1) / (\text{TPEF})$$

(4)

Siendo (λ) la tasa de fallas y (TPEF) tiempo promedio entre fallas las cuales se expresa de manera respectiva horas / fallas. Como primer paso calculamos la tasa de fallas, el cual se divide 1 entre el tiempo promedio entre fallas (TPEF),

seguidamente estimamos el tiempo expresado en horas, de esa manera calculamos la confiabilidad. (Silva, 2020).

Confiabilidad (C):

$$C = e * [((-\lambda * t) / 100)] \quad (5)$$

Para la evaluación de un análisis de criticidad debemos tener en cuenta que esta permite establecer una jerarquía entre los equipos materia de estudio, de acuerdo a su importancia en la empresa, la cual nos permite tomar decisiones acertadas para el desarrollo del plan de mantenimiento, la fórmula empleada es la siguiente:

$$C_t = F * C \quad (6)$$

En la cual:

Criticidad (Ct) Frecuencia (F)

Consecuencia (C)

Tomando en cuenta que la consecuencia es calculada de la siguiente manera:

$$C = (I.O. * F.O.) + (C.M.) + (I.S.M.A.) \quad (7)$$

En la cual:

Impacto Operacional (I.O.)

Impacto de Seguridad y Medio

Flexibilidad Operacional (F.O.)

Ambiente (I.S.M.A.)

Costo de Mantenimiento (C.M.)

Al determinar el cálculo de criticidad debemos obtener los valores anteriormente mencionados. Definimos la criticidad según la tabla de criterios de criticidad. *Ver anexo 1*

La matriz de criticidad ayuda a brindarnos el orden jerárquico de importancia de los equipos según los datos obtenidos. En la cual se definen los siguientes tres tipos de criticidad, i) Área Crítico (C), ii) Área medio crítico (MC) y iii) Área no crítico. *Ver anexo 2*

La matriz de criticidad tiene una codificación de colores que nos brinda de manera didáctica el nivel de criticidad de mayor relevancia. Siendo una herramienta que apoya el incremento de la calidad en los trabajos de mantenimiento analizando fallas con el fin de detectar las causas que la generan y de esta forma realizar actividades de mantenimiento preventivas de manera correcta. (Cabrera & Espín, 2018).

El número de prioridad de riesgos (NPR) es el producto de tres indicadores las cuales son a) Ocurrencia, b) Gravedad y c) Detección. (Silva et al., 2019).

Donde:

Ocurrencia (O), Gravedad (G) y Detección (D).

$$\text{NPR} = \text{O} * \text{G} * \text{D} \quad (8)$$

Se usarán valores del 1 al 10 como ponderación para cada indicador (Gravedad, Ocurrencia y Detección). En la tabla se presentan los indicadores los cuales en su conjunto son denominados número de prioridad de riesgo (NPR). *Ver Anexo 3*

Sobre la metodología last planner system podemos indicar que es el conjunto de responsables de la planificación operacional, encargados de facilitar el flujo de trabajo y control de las actividades de producción que buscan cambiar el orden de la planificación tradicional donde el universo es lo que **se debe hacer** y como subconjuntos lo que **se hará** y lo que **se puede hacer**. En la práctica vemos que no siempre lo que **se hará se puede hacer** debido a restricciones, por lo cual la metodología busca que lo que antes de planificar lo que **se hará** se pueda identificar lo que **se puede hacer** y lograr que sí se pueda cumplir ya que estamos haciendo que lo que **se hará** sea un subconjunto de lo que **se puede hacer** y cambiar el universo de lo que **se debe hacer** por lo **que se debería** (Porras et al., 2014). *Ver anexo 4*

Las fases de la metodología last planner system son; a) Programa maestro donde se definen responsables, objetivos planteados, actividades que **se debería de hacer**, proveedores y subcontratistas, etc., b) Programa de fase es utilizado cuando lo proyectado en el plan es extenso, dividiendo en fases y los agrupamos según convenga durante el proceso, c) Programa intermedio se define lo que **se puede hacer**, identificamos recursos y lo que se debe hacer teniendo una alta probabilidad de ejecución, seguidamente se programa bajo un control de flujo tales como inspecciones, pruebas, ensayos y lo que se requiera., d) Programa semanal previo aquí definimos claramente lo que **se hará** y lo que controlará la unidad de producción, se abordará asignaciones de calidad bajo actividades bien definidos, con secuencia lógica, cantidad de mano de obra teniendo en cuenta la prioridad para que pueda pasar a la etapa de lo que **se puede hacer**., e) Programa semanal de control donde se asigna un día de la semana donde se pueda mantener una reunión

semanal, se analiza el cumplimiento de la planificación pasada y realizar la nueva planificación hacia la semana entrante. Mediante indicadores se demostrará el avance real tal como el porcentaje de plan cumplido (PPC) y las causas de no cumplimiento (CNC) se logrará observar e identificar las diferentes restricciones que causaron los no cumplimientos e identificar y corregir a manera de mejora continua para no volver a incurrir en el mismo error. (ELROY, 2014).

Sobre el diagrama causa – efecto, también conocido como el diagrama de Ishikawa en honor a su creador Kaoru Ishikawa quien lo ilustró en 1943 en varios estudios industriales, permitiendo identificar y analizar situaciones o fenómenos atípicos en diversos procesos, logrando determinar los problemas en las industrias. (Basilio & Campos, 2021).

Finalmente, la ley de Pareto denominó a un grupo pequeño de vital importancia, mientras que el resto del grupo por más que sea la mayoría del grupo no lo son. Teniendo que encontrar el 20% que provoca el 80% de las situaciones o fenómenos atípicos. (Bonet, 2005), Esta herramienta fue desarrollada por Vilfredo Pareto a principios del siglo XX (Díez, 2006).

1.2. Empresa Labores y Servicios Múltiples S.R.L.

Razón social: Empresa de Labores y Servicios Múltiples LASER S.R.L

Descripción de la empresa: LASER S.R.L. Empresa integral de proyectos y contratos en servicios de construcción y mantenimiento estructural y de equipos mecánicos eléctricos, siendo un grupo que se despliega en un enfoque global sobre la industria de la construcción. Todo esto sumado a los altos estándares empleados dentro de nuestros procesos desde la idea de proyecto hasta la entrega, lo que los

posiciona en un lugar privilegiado en la industria de la petroquímica, energética y minera.

Valores corporativos:

- Salud y seguridad industrial
- Integridad
- Compromiso
- Solidaridad
- Respeto
- Trabajo en equipo

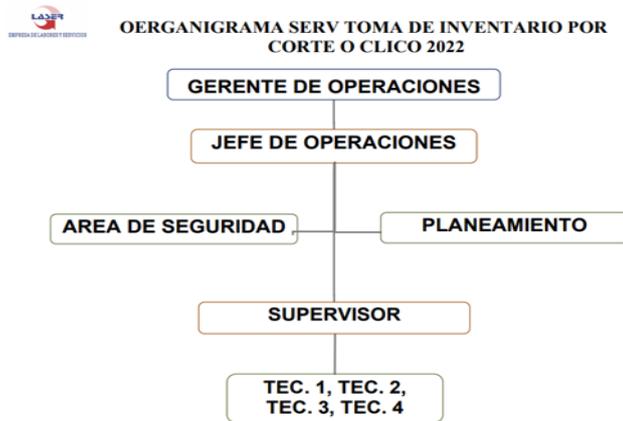
Misión: Realizar obras de primer nivel, mediante el desarrollo de innovaciones y soluciones, brindando resultados de gran calidad, salud, seguridad y medio ambiente sostenible, satisfaciendo las necesidades de los diferentes usuarios atendidos, brindar empleo de trabajo significativo y oportunidades de superación.

Visión: Ser una empresa líder, especialista en servicios de mantenimiento y construcción para sus clientes en el sector minero, hidrocarburos y energéticos.

Ubicación: Región Moquegua, distrito y provincia en la ciudad de Ilo y dirección en Arenal (Alto Ilo) - Mza. L Lote. K36

Figura 1

Organigrama LASER SRL - Operaciones Antamina



Nota. Laser S.R.L. (2022)

1.3. Contexto socioeconómico

La empresa LASER SRL, pertenece al mercado laboral de la explotación minera, ejecución de proyectos y mantenimiento de equipos e instalaciones, en tal sentido con su más de 50 años de experiencia cuenta con más de 180 empleados en las diversas operaciones mineras tales como Antapacay, Las Bambas, Cerro Verde, Antamina, Quellaveco y Southern Perú. Cuenta con sus propios recursos de equipos mecánicos, eléctricos, de instrumentación, herramientas y unidades vehiculares livianos, medianos y pesados.

1.4. Descripción de la experiencia

La compañía minera requiere de contar con socio estratégico que se encargue de prestar los servicios de mantenimiento de los equipos auxiliares por un periodo de tiempo determinado según contrato que se pacte con el adjudicador.

Las actividades consisten en el mantenimiento programado (PM) que según el periodo de cada equipo se determinarán por PM1, PM2, PM3 y PM4. Siendo:

- Servicio de ejecución y actualización de planes de mantenimiento de equipos, por áreas de mantenimiento, de acuerdo con los tipos de mantenimiento (PM1, PM2, PM3 y PM4) para puentes grúas.
- Servicio de ejecución y actualización de planes de mantenimiento de los equipos de laboratorio químico, laboratorio metalúrgico, laboratorio de geología Truck Shop, laboratorio de Core Shack Yanacancha, laboratorio de medio ambiente, planta de reactivos de quebrada, planta de mezcla para preparación de ANFO, estaciones de lubricantes truck shop, estaciones de combustible chancadora primaria y Mina.
- Las actividades de mantenimiento de equipos auxiliares se realizarán en donde se encuentren ubicados los equipos.

Mantenimiento Preventivo: Conjunto de procedimientos de limpieza, lubricación, ajuste y reemplazo de partes, efectuados en un equipo o instalación a fin de minimizar el riesgo de fallo y asegurar la continua operación de estos. Esto incluye el cuidado periódico que debe realizar el propio operador del equipo o instalación, como limpieza, auto calibración, protección del medio, etc. (Monsalve, 2018).

Mantenimiento Preventivo Programado (PM): Es el que se ejecutará siguiendo un programa de visitas a los equipos o instalaciones en vez de esperar a que sea solicitado por el usuario. (García, 2013).

Mantenimiento Correctivo: Es el trabajo que se realiza en un equipo, instalación, infraestructura o cualquier otro de la planta física para restablecer sus condiciones normales de funcionamiento, su integridad o apariencia original. (García, 2013).

Acciones Preventivas: La empresa determinará acciones para eliminar las causas de no conformidades potenciales para prevenir su ocurrencia. Estas deben de ser apropiadas a los efectos de los problemas potenciales. (Cabrera & Espín, 2018).

Acciones Correctivas: La empresa tomará las acciones para eliminar la causa de no conformidades con el objeto de prevenir que vuelva a ocurrir. Deben ser apropiadas a efecto de las no conformidades encontradas. (Antamina, 2020).

Mejora Continua: La eficiencia del Sistema de gestión mediante el uso de la política de calidad, los objetivos de calidad, los resultados de las auditorías, el análisis de datos, las acciones correctivas, preventivas y la revisión por la dirección. (ELROY, 2014).

Se presentarán listas de comprobación computarizadas completas y detalladas que describirán cada paso del programa de mantenimiento preventivo para la cual la compañía minera entregará los programas de mantenimiento tentativo.

Los programas de mantenimiento tentativos serán generados por el sistema (software) del usuario ERP ELLIPSE©, que cuenta con el historial de mantenimientos realizados, con esta información se emitirá un informe semanal con el programa de mantenimiento emitido de manera tentativa.

Las listas de comprobación se preparan para todos los equipos del contrato, siguiendo las instrucciones del fabricante y considerando debidamente las condiciones de trabajo y ambientales del área. La lista debe definir la inspección requerida, la medida que se va a tomar, la fecha de la siguiente inspección, la fecha

actual, así como una declaración de la persona responsable con relación a que se han tomado todas las medidas contempladas en el informe. (Antamina, 2020).

1.5. Explicación del cargo “Planner de contrato de equipos auxiliares”

Las actividades realizadas por el Planner del contrato, son en función a las necesidades que requiere el supervisor operativo para gestionar coordinaciones con el operador de contrato Antamina, solicitar materiales para las próximas semanas, controlar el roster del personal en mina, reposición de personal en mina en caso de haber vacaciones o permisos del personal asignado al contrato, verificar la programación de mantenimientos e indicadores de mantenimiento, evaluar la valorización mensual de horas hombre y horas máquinas, realizar las coordinaciones para intervenciones de mantenimiento y demás funciones que el supervisor operativo disponga.

1.6. Propósito del puesto

Las coordinaciones tienen que ser de manera efectiva, por lo cual se maneja un planner que cuente con la base de datos para la correcta coordinación de solicitud de materiales, subidas y bajadas del personal a mina, coordinación con el área de almacén respecto a sus requerimiento y atención a la valorización mensual que se realiza por actividades realizadas durante este tiempo.

1.7. Proceso que será objeto del informe

1.7.1. Objetivo general.

- i. Proponer el mantenimiento de equipos auxiliares en una compañía minera de Ancash 2021 – 2022

1.7.2. Objetivos específicos.

- ii. Evaluar las condiciones actuales y obtener sus indicadores de mantenimiento de los equipos de Puentes Grúa.
- iii. Identificar mediante análisis de criticidad, la valoración de alta criticidad mediana criticidad y baja criticidad de los equipos de Puentes Grúa.
- iv. Implementar la metodología last planner system, en la ejecución del plan de mantenimiento.
- v. Obtener nuevos resultados de indicadores de mantenimiento y comparar con datos iniciales
- vi. Realizar diagrama de Ishikawa para identificar causa raíz de las fallas de los equipos.
- vii. Realizar diagrama Pareto (Curva de distribución ABC), para encontrar y priorizar esfuerzos de mantenimiento mediante la ley Pareto 80/20 a las necesidades de mantenimiento identificados en el diagrama Ishikawa.
- viii. Realizar una evaluación de costos.

1.8. Resultados alcanzados

1.8.1. Actividades previas.

Para la ejecución de las actividades de mantenimiento la empresa LASER SRL, respetando y cumpliendo los estándares de la compañía minera en cuanto a temas de seguridad y protección del medio ambiente, así como también los procedimientos para el desarrollo de los trabajos. Se esforzará por disminuir los costos con aumento de calidad. Para ello realizaremos un estudio de gestión en el cual analizará las condiciones actuales, para de esta manera determinar cuáles son las posibilidades de mejora, donde se pueda reducir los costos y cómo aumentar la calidad y en base a esto entregarles una propuesta competitiva desarrollando una actitud proactiva la cual se consolidará en una relación de confianza con la cliente basada en el intercambio continuo de información. El aumento de la calidad y productividad que se traducen en una mejor apariencia y funcionamiento de las instalaciones.

Se establecerán procesos de inspección y supervisión para asegurar la calidad y la conformidad del servicio, del sistema de gestión y de la mejora continua.

El control verificará que se están cumpliendo los parámetros y las metas estipuladas en relación con las actividades, sus entregables (PM1, PM2, PM3 y PM4) y los insumos requeridos.

Los cumplimientos se basan en:

- Calidad (Satisfacción de las expectativas del usuario)
- Cobertura (Volumen y alcance del servicio)
- Oportunidad (Entrega en las fechas previstas)

La eficiencia propiamente dicha, que tiene que ver con el rendimiento de los recursos asignados y con la maximización de los servicios en relación con los insumos. (Antamina, 2020)

1.8.2. Actividades operativas.

1.8.2.1. Condiciones actuales.

Las marcas de los equipos son Konecranes de origen finlandés, tipo birriel de dos polipastos y un solo polipasto, alimentadas con fuente de energía eléctrica trifásico, con sistema de izaje de cable acerado, con variadores de velocidad en el tablero eléctrico para garantizar la seguridad de trabajos sensibles al movimiento, operado a control remoto y cuentan con un mando colgante de respaldo.

Figura 2

Visita al Área de Truck Shop para Verificación de Condiciones Actuales



a). Puente Grúa Taller livianos.

Capacidad de carga nominal:

Polipasto principal: 15Tn Polipasto auxiliar: 5Tn

Longitud de cables acerados:

Polipasto principal: 77m Polipasto auxiliar: 74m

Diámetro de cables acerados:

Polipasto principal: 10mm Polipasto auxiliar: 10mm

Utilizados frecuentemente para realizar mantenimiento de las unidades vehiculares livianas, tales como son las camionetas, equipos componentes considerados de peso liviano.

Figura 3

Puente Grúa Taller Livianos



b). Puente Grúa Bahía pesados antiguos.

Capacidad de carga nominal:

Polipasto principal: 30Tn Polipasto auxiliar: 10Tn

Longitud de cables acerados:

Polipasto principal: 118m Polipasto auxiliar: 92m

Diámetro de cables acerados:

Polipasto principal: 16mm Polipasto auxiliar: 9mm

Utilizados frecuentemente para realizar mantenimiento de las unidades vehiculares mineras de gran tonelaje tales como; camión o volquete mineros conocido como tico, cisternas mineras.

Figura 4

Gancho de Puente Grúa Bahía Pesados Antiguos



c). Puente Grúa Bahía pesados nuevos.

Capacidad de carga nominal:

Polipasto: 35Tn

Longitud de cable acerado:

Polipasto: 127m

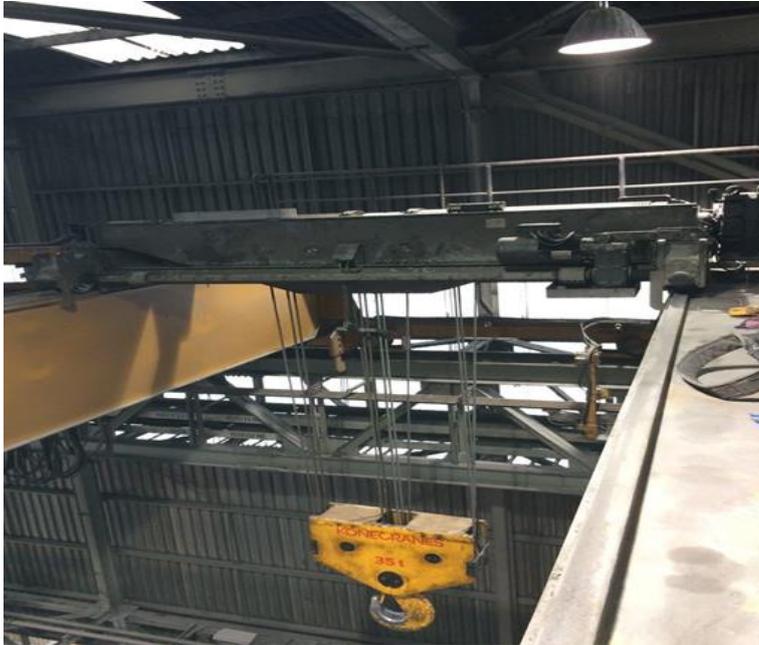
Diámetro de cable acerado:

Polipasto: 16mm

Utilizados frecuentemente para realizar mantenimiento de las unidades vehiculares mineras de gran tonelaje tales como; camión o volquete mineros conocido como tico, cisternas mineras.

Figura 5

Puente Grúa Bahía Pesados Nuevos



d). Puente Grúa Auxiliares.

Capacidad de carga nominal #01 y #02:

Polipasto: 15Tn

Longitud de cables acerados:

Polipasto: 83m

Diámetro de cables acerados:

Polipasto: 16mm

Utilizados frecuentemente para realizar mantenimiento de las unidades vehiculares pesados tales como; retroexcavadoras, perforadoras pequeñas, motoniveladoras y tractor frontal.

Figura 6

Puente Grúa Auxiliares



e). Puente Grúa Bahía de soldadura nuevo.

Capacidad de carga nominal:

Polipasto: 80Tn

Longitud de cables acerados:

Polipasto: 156m

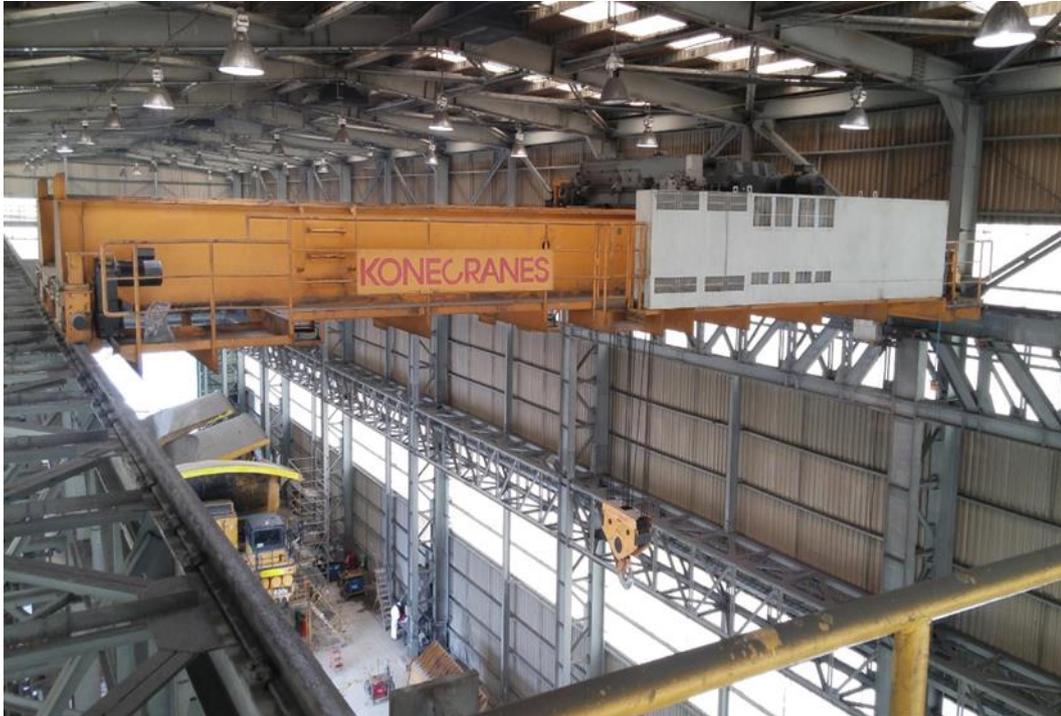
Diámetro de cables acerados:

Polipasto: 24mm

Utilizados frecuentemente para realizar mantenimiento de soldadura de las unidades mineras y unidades vehiculares pesadas.

Figura 7

Puente Grúa Bahía de Soldadura Nuevo



f). Puente Grúa Bahía de soldadura antiguo.

Capacidad de carga nominal:

Polipasto principal: 70Tn Polipasto auxiliar: 20Tn

Longitud de cables acerados:

Polipasto principal: 74m Polipasto auxiliar: 65m

Diámetro de cables acerados:

Polipasto principal: 20mm Polipasto auxiliar: 16mm

Utilizados frecuentemente para realizar mantenimiento de soldadura de las unidades minera y unidades vehiculares pesadas

Figura 8

Puente Grúa Bahía de Soldadura Antiguo



g). Puente Grúa Pesado 7 Bahía nuevo.

Capacidad de carga nominal #01 y #02:

Polipasto principal: 30Tn Polipasto auxiliar: 10Tn

Longitud de cables acerados:

Polipasto principal: 118m Polipasto auxiliar: 92m

Diámetro de cables acerados:

Polipasto principal: 16mm Polipasto auxiliar: 9mm

Utilizados frecuentemente para realizar mantenimiento de las unidades vehicular mineras de gran tonelaje tales como; camión o volquete mineros conocido como tico, cisternas mineras

Figura 9

Puente Grúa Pesado 7 Bahía Nuevo - Polipasto Principal



Tabla 1

Resumen de Puentes Grúas en área Truck Shop

Equipos		
Puente grúa	Sección	Ubicación Técnica del Equipo
Grúa #1	Talleres livianos	ANT-TS-TL-PG001
Grúa #1	Bahía pesado antiguo	ANT-TS-BPA-PG002
Grúa #1	Bahía pesado nuevo	ANT-TS-BPN-PG003
Grúa #1	Equipos auxiliares	ANT-TS-EQA-PG004
Grúa #2	Equipos auxiliares	ANT-TS-EQA-PG005
Grúa #1	Bahía de soldadura nuevo	ANT-TS-BSN-PG006
Grúa #1	Bahía de soldadura antiguo	ANT-TS-BSA-PG007
Grúa #1	Pesado 7 bahías	ANT-TS-PB-PG008
Grúa #2	Pesado 7 bahías	ANT-TS-PB-PG009

Nota. Laser S.R.L. (2021)

La identificación del mantenimiento de los equipos puente grúa se realizan a través del software ellipse junto a los encargados de la planificación, los cuales brindan las listas de trabajos a realizar u órdenes de servicio las cuales se generan de acuerdo con los datos insertados en el software para cada equipo teniendo así los procedimientos y/o acciones a ejecutar para los mantenimientos correctivos, correctivo planificado o preventivo.

Tabla 2

Tipos de Mantenimientos

Técnicas de Mantenimiento	Preventivo	Correctivo	Correctivo Planeado
Descripción	Inspecciones frecuentes Mantenimiento programado Overhaul (Parada Mayor).	Cambio de repuestos ante la detección de fallas y obtener un equipo operativo.	Cambio de repuestos días después de la detección de la falla.
Intervención	Periódica.	Ante detección de fallas.	Programada.
Repuestos	Se realiza pedido de los repuestos con anterioridad.	Se cuenta con el repuesto en stock.	Se verifica existencia de repuestos en stock.

Nota. López (2020)

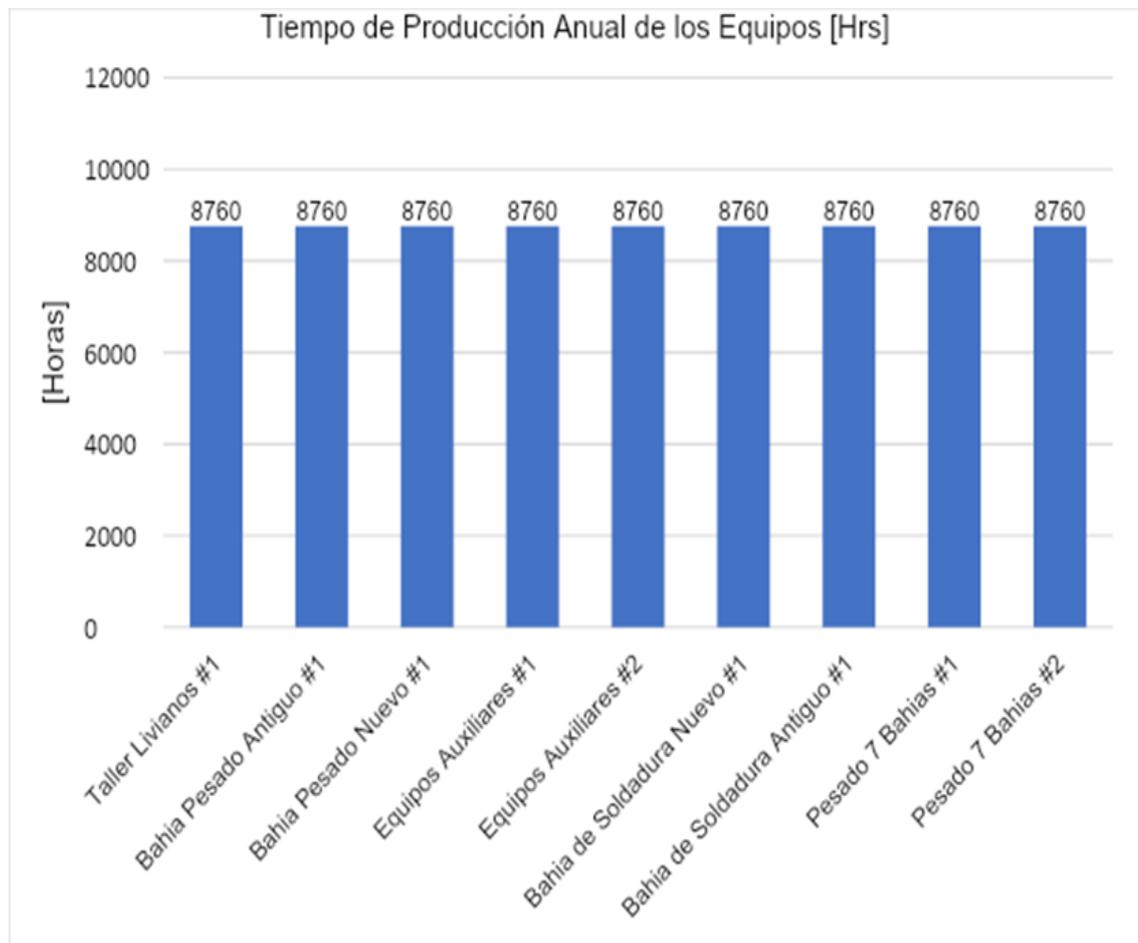
1.8.2.2. Indicadores de mantenimiento.

Se obtuvo la hoja resumen de los indicadores de mantenimiento de la empresa minera, la cuales se presentan a continuación en diagramas de barras.

a). Tiempo de producción de los puentes grúa del área de Truck Shop.

Figura 10

Producción Anual de los Equipos



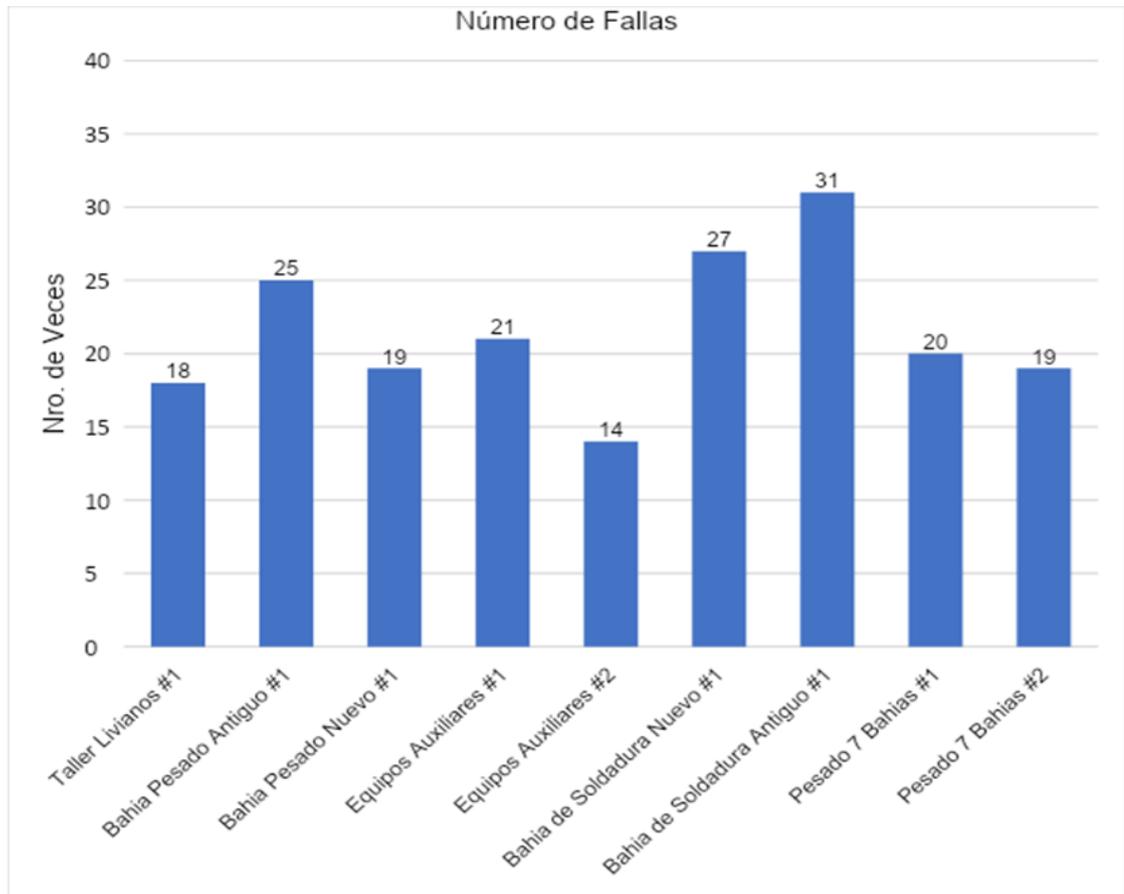
Nota. Laser S.R.L. (2019)

b). Número de fallas y Mtto programado en los puentes grúas del área de Truck Shop.

Se brinda información de los números de fallas por cada equipo y número de paradas programadas por mantenimiento preventivo siendo la bahía de soldadura antigua la que presentó mayor número de fallas.

Figura 11

Número de Fallas

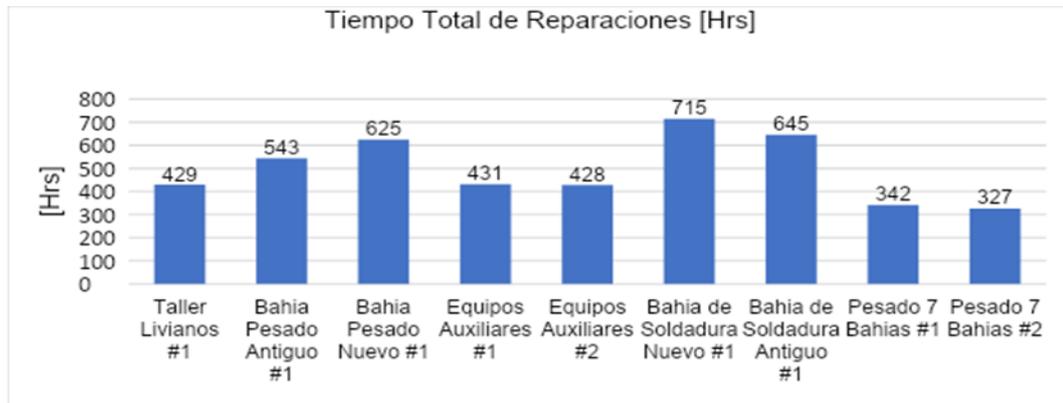


Nota. Laser S.R.L. (2019)

c). Tiempo total de reparaciones de los puentes grúas del área de Truck Shop.

Figura 12

Tiempo Total de Reparación



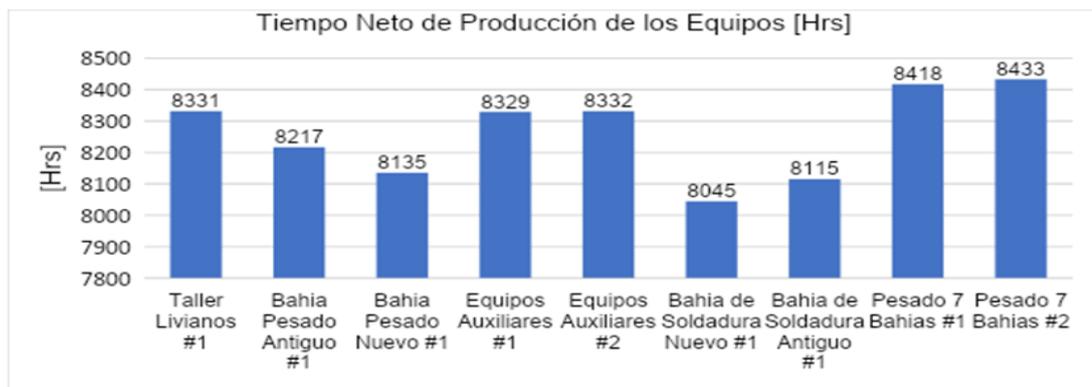
Nota. Laser S.R.L. (2019)

d). Tiempo neto de producción de los puentes grúas del área de Truck Shop.

Se muestra el tiempo real de producción de cada equipo siendo la de menor atención la bahía pesado antiguo respecto al análisis del año 2019.

Figura 13

Tiempo Neto de Producción



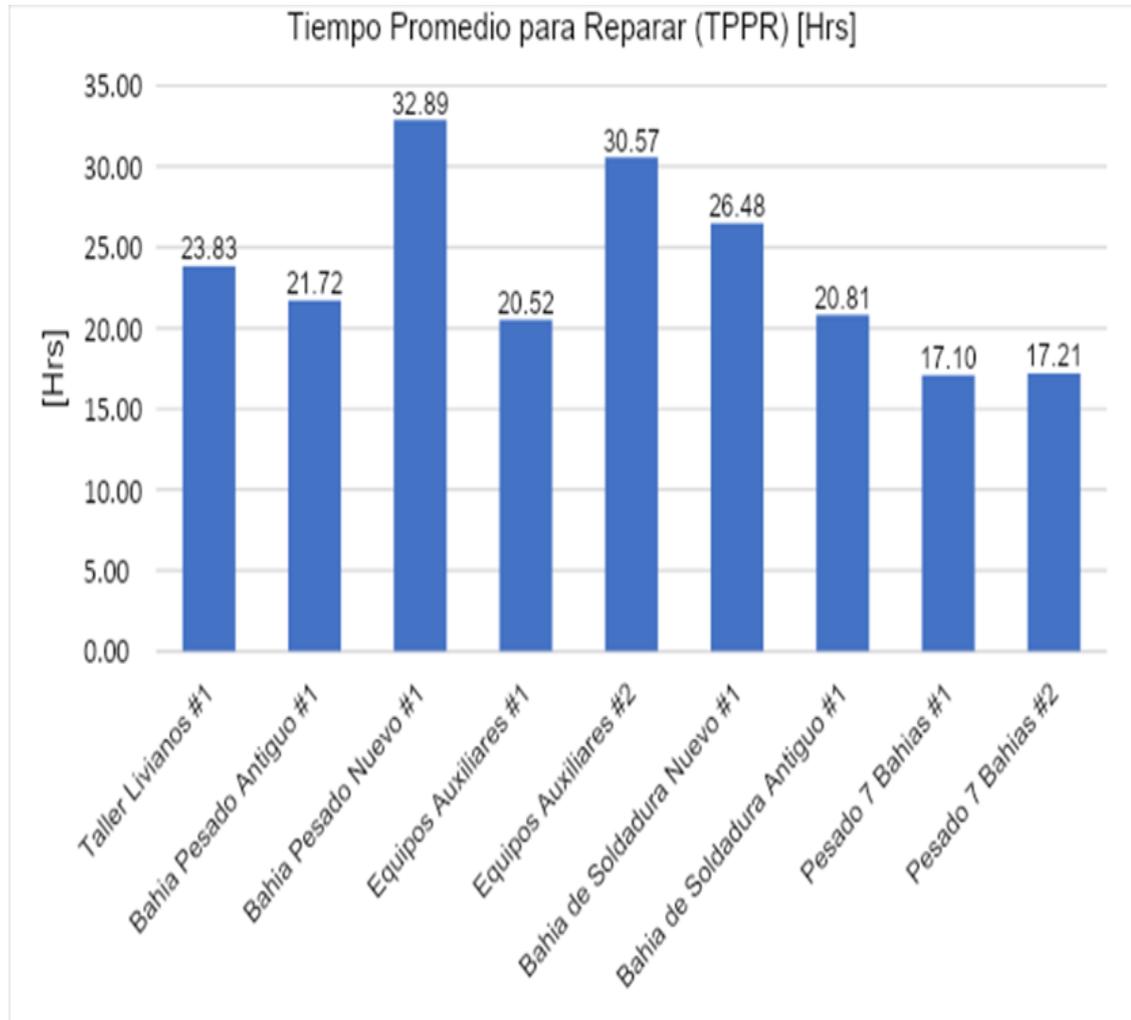
Nota. Laser S.R.L. (2019)

e). Tiempo promedio para reparar los puentes grúas del área de Truck Shop.

Se muestra el tiempo promedio para reparar por cada puente grúa.

Figura 14

Tiempo Promedio para Reparar (TPPR)



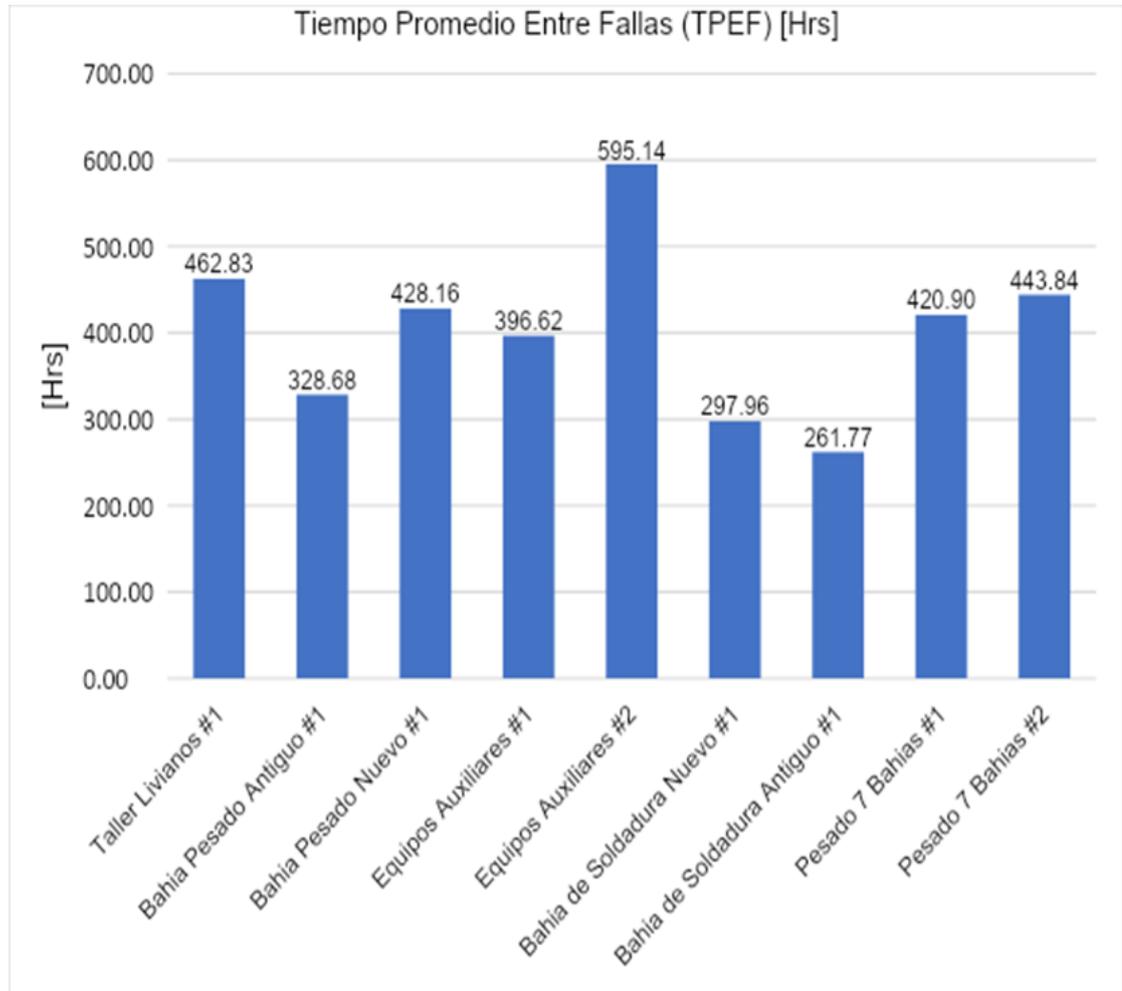
Nota. Laser S.R.L. (2019)

f). Tiempo promedio entre fallas de los puentes grúas del área de Truck Shop.

Se muestra el tiempo promedio entre fallas por cada puente grúa.

Figura 15

Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF)



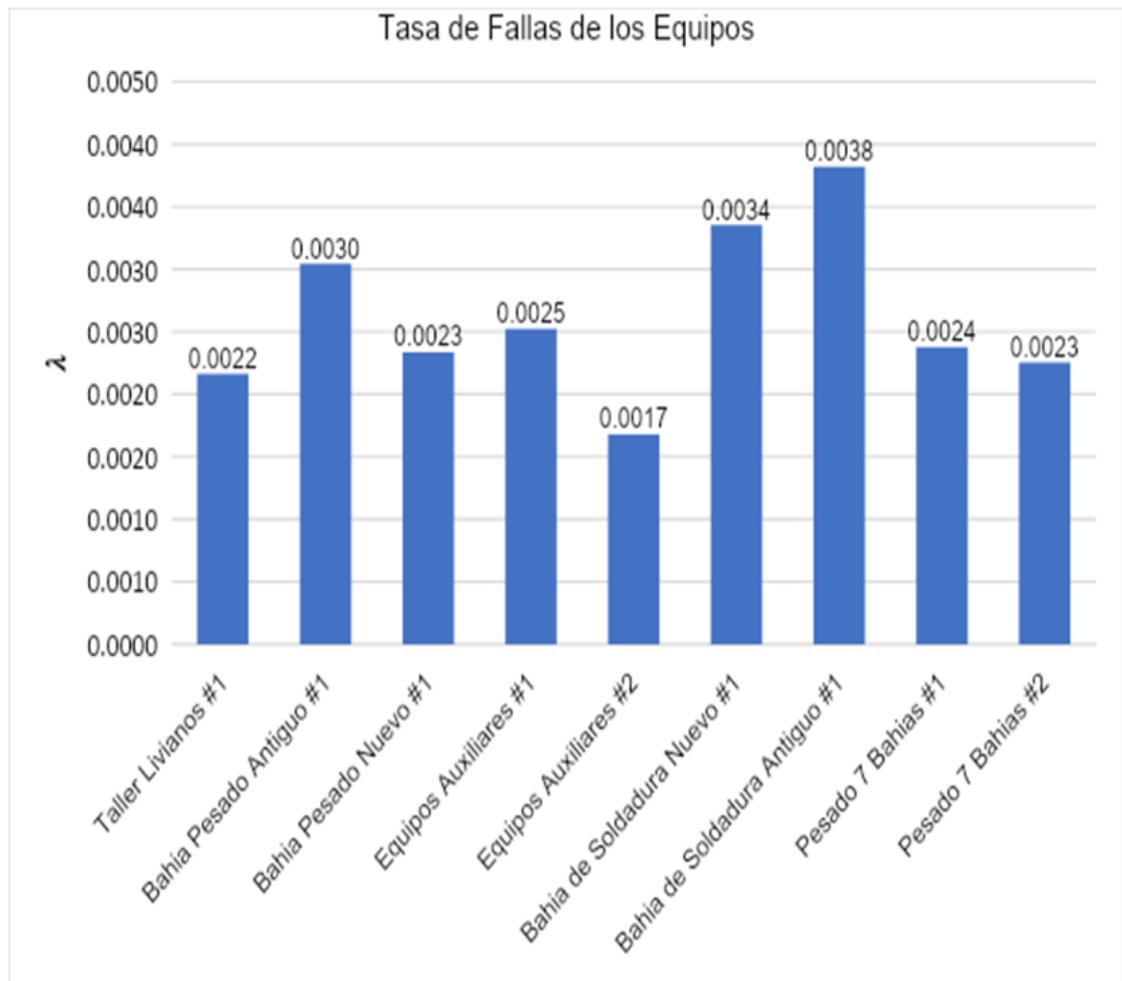
Nota. Laser S.R.L. (2019)

g). Tasa de fallas de los equipos (λ).

Se detallan los cálculos según las tasas de fallas de los puentes grúas con las cuales seguidamente se desarrollarán los cálculos para obtener la confiabilidad.

Figura 16

Tasa de Fallas de los Puentes Grúas



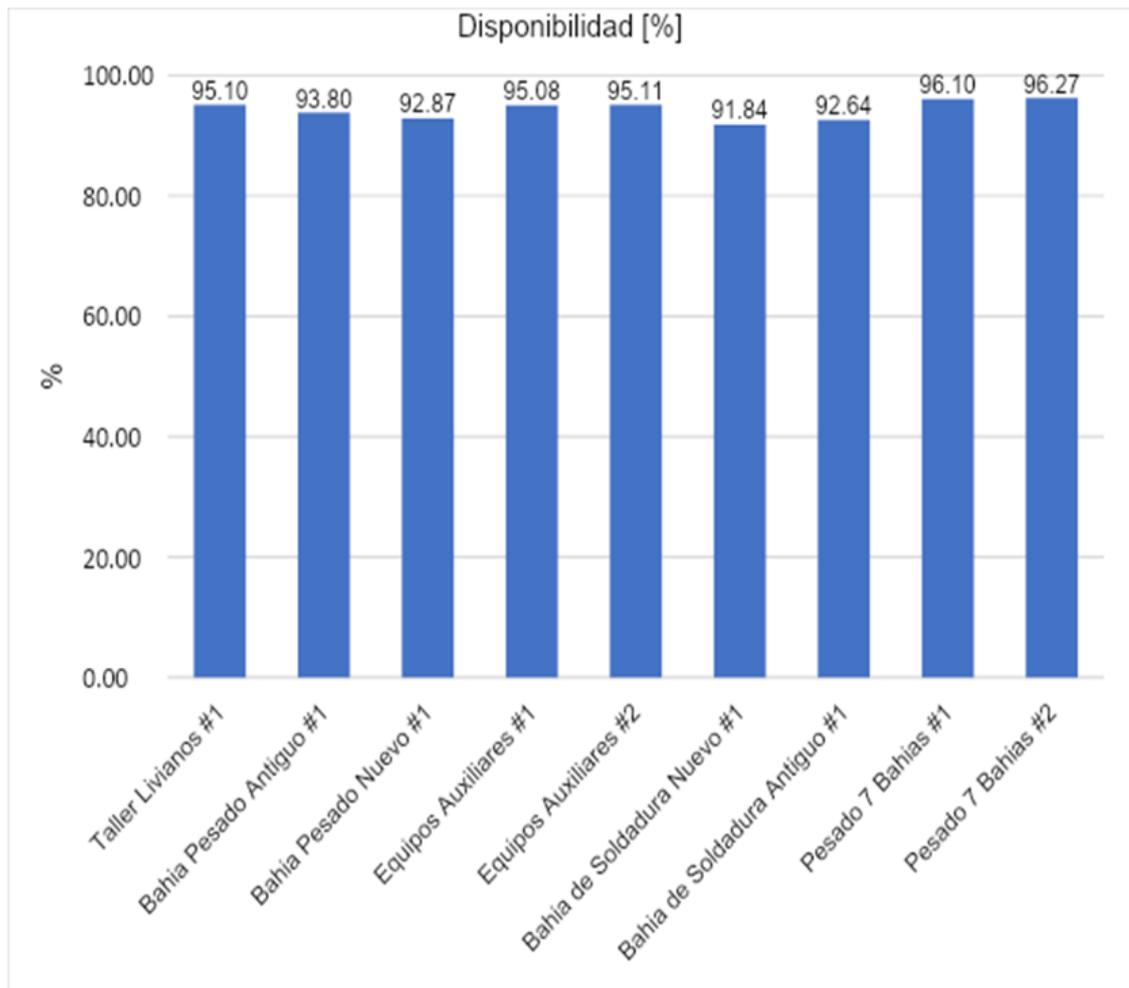
Nota. Laser S.R.L. (2019)

h). Cálculo de la disponibilidad de cada puente grúa del área de Truck Shop.

Los resultados son expresados de manera porcentual, siendo la bahía de soldadura nuevo la de menor disponibilidad.

Figura 17

Disponibilidad (D)



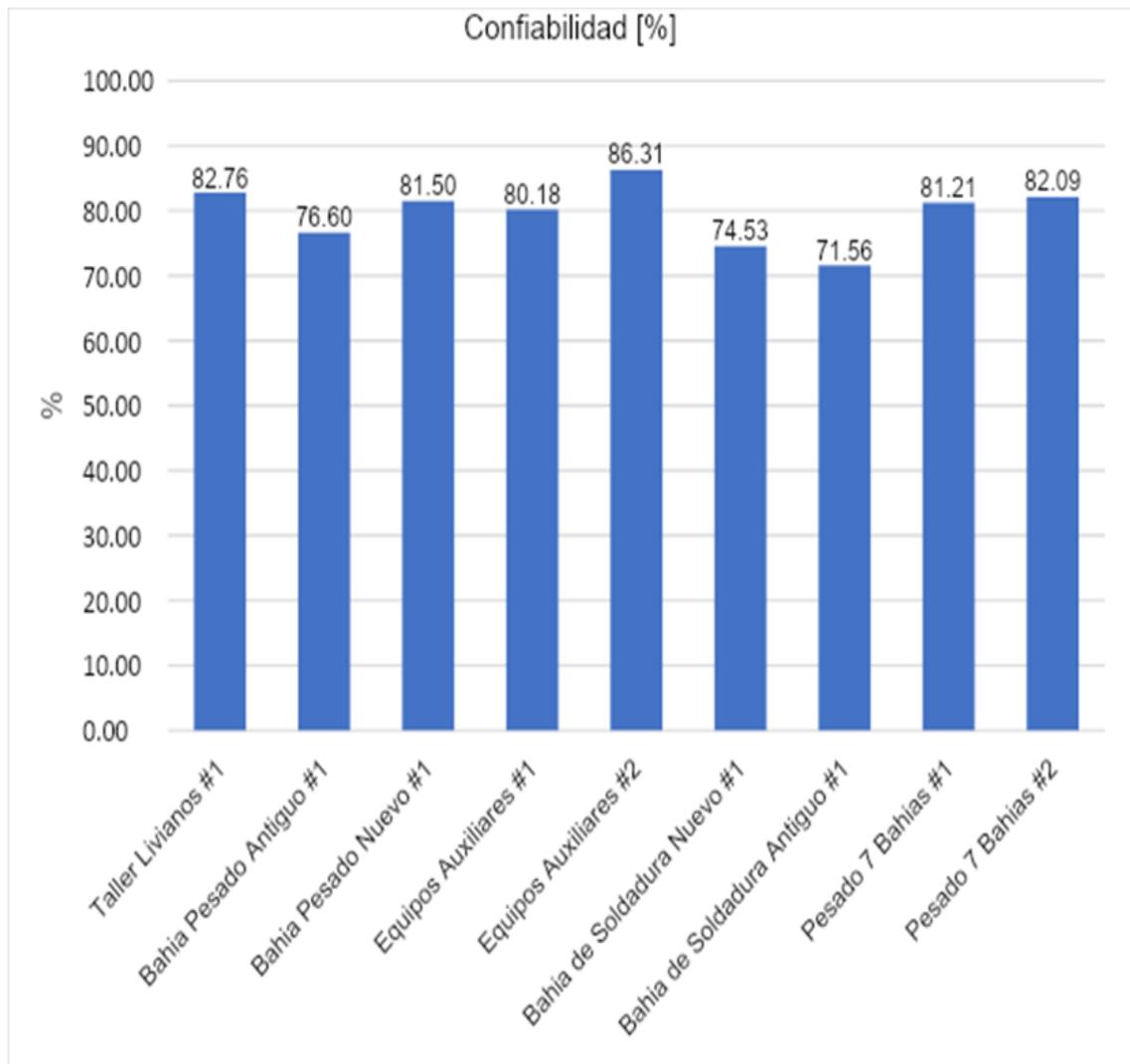
Nota. Laser S.R.L. (2019)

i). Cálculo de la confiabilidad de cada puente grúa del área de Truck Shop.

Los resultados son expresados de manera porcentual, siendo la bahía de soldadura antigua la de menor confiabilidad.

Figura 18

Confiabilidad (C)



Nota. Laser S.R.L. (2019)

j). Cálculo de la disponibilidad global de los puentes grúas del área de Truck Shop.

Siendo:

$$TPEF (total) = (\Sigma TEF TOTAL) / (N^\circ \text{ fallas totales})$$

$$TPEF (total) = 74\,355 \text{ [Hrs]} / (194)$$

$$TPEF (total) = 383,27 \text{ [Hrs]}$$

$$TPPR (total) = (\Sigma TPR TOTAL) \text{ [Hrs]} / N^\circ \text{ fallas totales) [Veces]}$$

$$TPPR (total) = 4\,485 \text{ [Hrs]} / 194$$

$$TPPR (total) = 23,11 \text{ [Hrs]}$$

Por lo tanto:

$$D = TPEF / TPEF + TPPR$$

$$D = 383,27 / (383,27 + 23,11)$$

$$D = 94,31 \%$$

k). Cálculo de la confiabilidad global de los puentes grúas del área de Truck Shop.

Siendo:

$$TPEF (total) = 383,27 \text{ [Hrs]}$$

$$\lambda = 1 / 383,27 \Rightarrow \lambda = 0,002609$$

$$T (total) = 78\,840 \text{ [Hrs]}$$

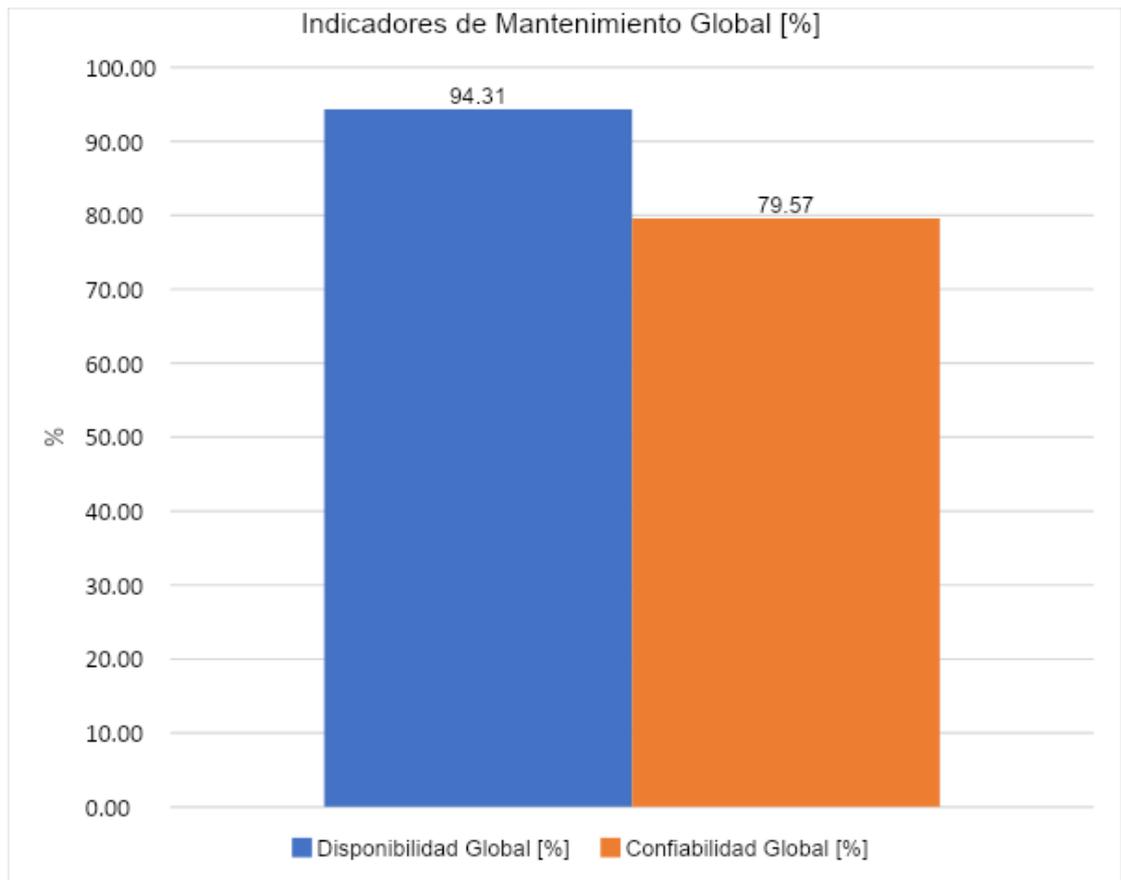
$$C = e^{((-0,002609 * 78840) / 100 * 9)}$$

$$C = 79,57\%$$

Obteniendo como datos iniciales los indicadores de mantenimiento globales tal como se muestra en la siguiente gráfica de barras.

Figura 19

Indicadores de Mantenimiento Global



Nota. Laser S.R.L. (2019)

Siendo la disponibilidad inicial de 94.31% y confiabilidad inicial de 79.57%. Para mayor detalle de los cálculos realizados.

1.8.2.3. Cálculo de criticidad de los puentes grúas del área de Truck Shop.

Determinaremos la criticidad de cada puente grúa del área de Truck Shop basándonos en la cantidad frecuencia de fallas multiplicando por la consecuencia que estas tuvieron individualmente, logrando obtener de manera clara el equipo puente grúa crítico, medio crítico y no crítico del área Truck Shop de la empresa minera.

$$Ct = F * C$$

En la cual:

Criticidad (Ct) Frecuencia (F)

Consecuencia (C)

$$C = (I.O. * F.O.) + (C.M.) + (I.S.M.A.)$$

En la cual:

Impacto Operacional (I.O.)

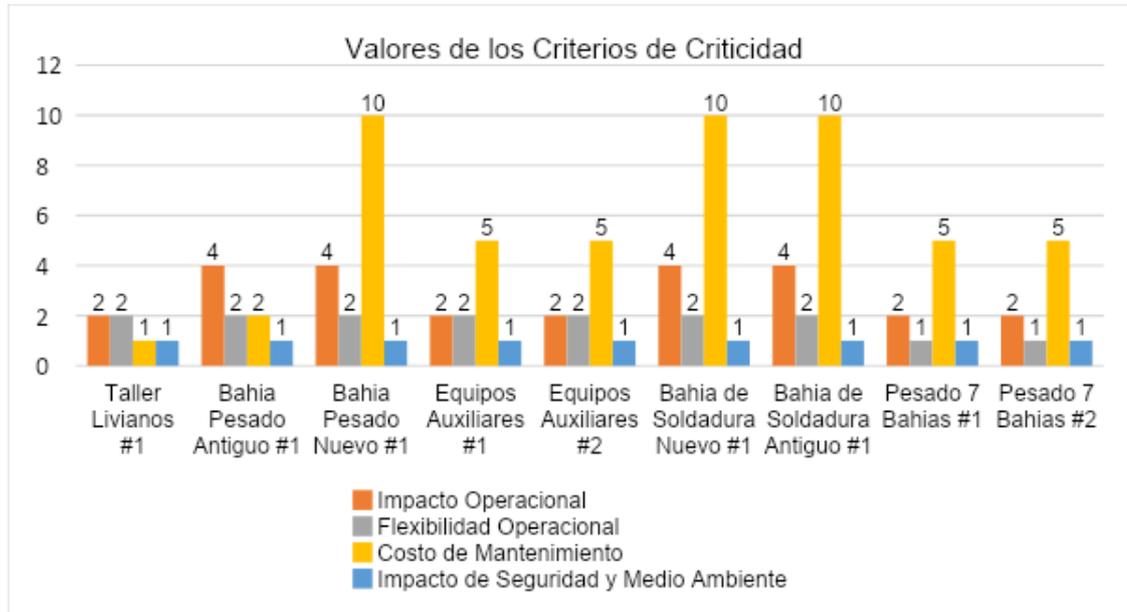
Flexibilidad Operacional (F.O.)

Costo de Mantenimiento (C.M.)

Impacto de Seguridad y Medio Ambiente (I.S.M.A.)

Figura 20

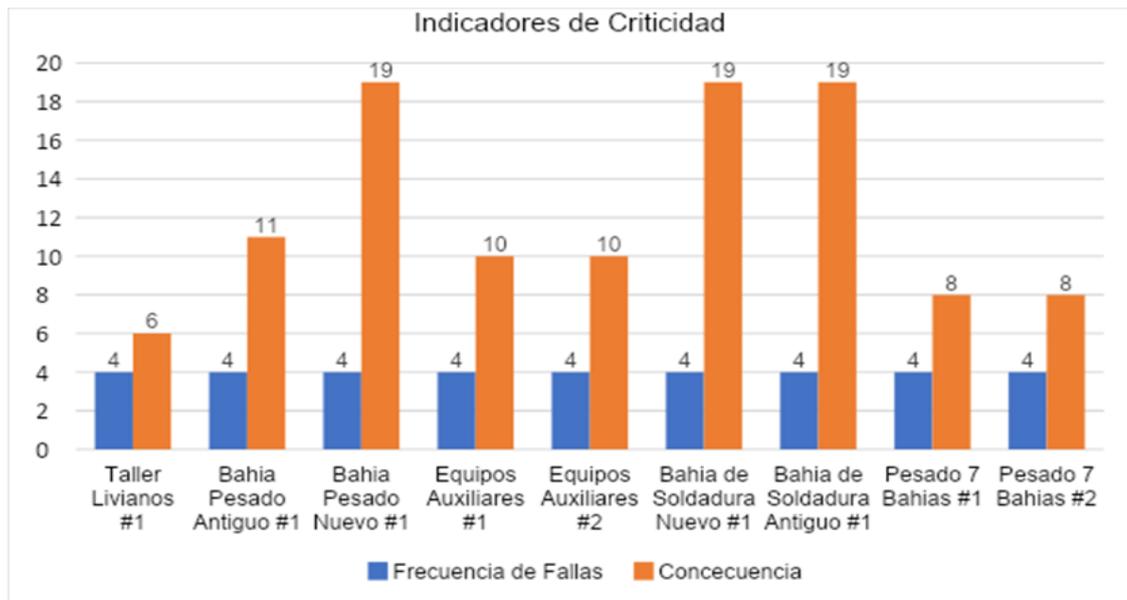
Valores de Criterios de Criticidad



Nota. Laser S.R.L. (2019)

Figura 21

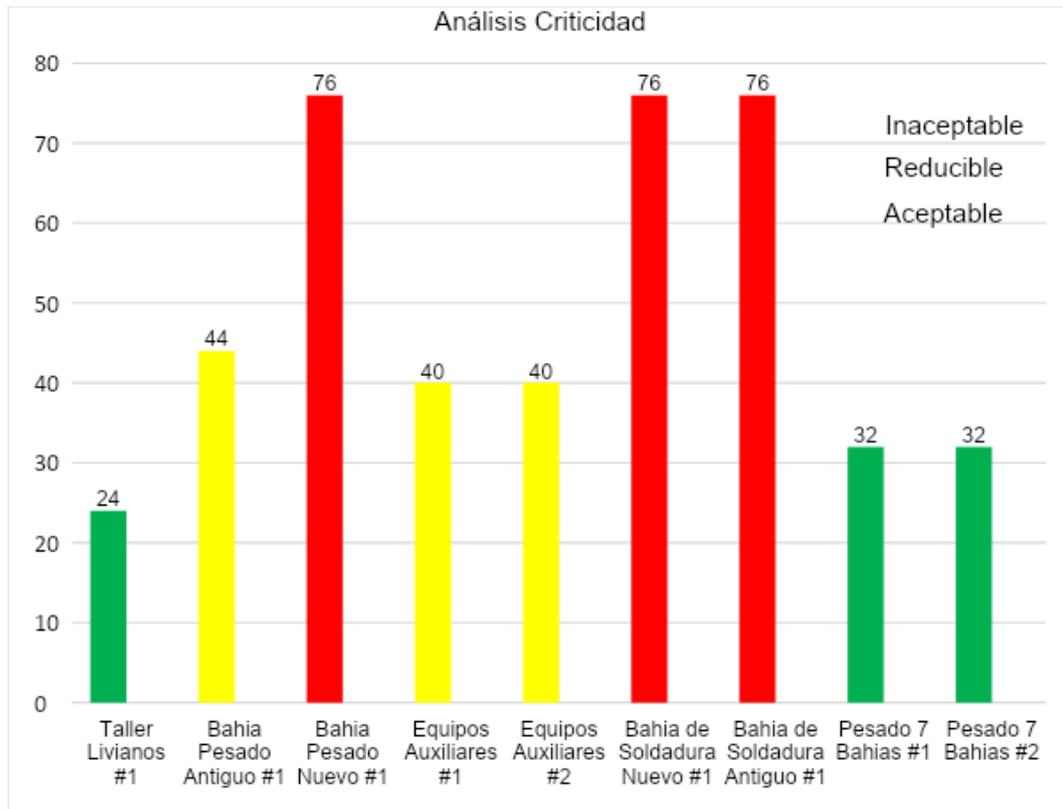
Indicadores de Criticidad



Nota. Laser S.R.L. (2019)

Figura 22

Análisis de Criticidad



Nota. Laser S.R.L. (2019)

Se deja en anexo los cálculos realizados mediante tablas de valores ver ***anexo 05, 06 y 07.***

1.8.2.4. Determinar el plan de mantenimiento en base a la metodología last planner system.

a). Determinación del Análisis modal de efectos y fallos.

En el estudio de las maquinarias la presencia de fallas en los equipos generó retrasos en la producción, estas fallas fueron evaluadas para identificar los modos y efectos de fallas, asimismo se analizó el número de prioridad de riesgos (NPR).

Tabla 3

Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF)

Ítem	Máquina y/o Equipo	Función	Falla Funcional	Modo Potencial De Falla	Efecto Potencial De Falla	Gravedad	Ocurrencia	Determinación	NPR = G*O*D	Clasificación De Falla
1	Bahía Pesado Antiguo #1	Izar, trasladar de forma horizontal y vertical, sostener elementos de gran tonelaje que pueda permitir el	Por tiempo de uso, corte eléctrico interno.	Luces estroboscópicas	Falta de señalización visual.	3	3	5	45	Aceptable
			Corte eléctrico en la bobina, sobre tensión.	Bocina	Falta de señalización acústica.	3	3	5	45	Aceptable

Ítem	Máquina y/o Equipo	Función	Falla Funcional	Modo Potencial De Falla	Efecto Potencial De Falla	Gravedad	Ocurrencia	Determinación	NPR = G*O*D	Clasificación De Falla
		mantenimiento de las unidades vehicular mineras de gran tonelaje tales como; camión o volquete mineros conocido como tico, cisternas mineras.	Componentes deteriorados por tiempo de uso.	Controlados	Deja fuera de servicio todo el equipo.	7	4	4	112	Aceptable
		Izar, trasladar de forma horizontal y vertical, sostener elementos de gran tonelaje que pueda permitir el mantenimiento de las unidades vehicular mineras de gran	Deterioro de la tarjeta de controles.	Variador de velocidad defectuoso	Deja de funcionar el motor.	9	8	5	360	Inaceptable
2	Bahía Pesado Nuevo #1	elementos de gran tonelaje que pueda permitir el mantenimiento de las unidades vehicular mineras de gran	Fatiga de cable.	Cable con movimiento reducido	Fractura de los hilos de acero.	7	6	5	210	Inaceptable
		mantenimiento de las unidades vehicular mineras de gran	Contacto de limitador deteriorado.	Sensores mecánicos defectuoso	Bloqueo del motor.	5	7	6	210	Inaceptable

Ítem	Máquina y/o Equipo	Función	Falla Funcional	Modo Potencial De Falla	Efecto Potencial De Falla	Gravedad	Ocurrencia	Determinación	NPR = G*O*D	Clasificación De Falla	
3	Equipos Auxiliares #1	tonelaje tales como; camión o volquete mineros conocido como tico, cisternas mineras.	Temperatura excesiva del motor.	Relé térmico dañado	Falla en el motor.	5	7	6	210	Inaceptable	
			Contactos gastados por tiempo de uso.	Contactores atascados	No permite controlar el motor.	7	6	5	210	Inaceptable	
			Izar, trasladar de forma horizontal y vertical, sostener elementos de gran tonelaje que pueda permitir el mantenimiento de las unidades vehiculares pesados tales como; retroexcavadoras,	Componentes deteriorados por tiempo de uso.	Controlados	Deja fuera de servicio todo el equipo.	7	3	5	105	Aceptable
			Torones en mal estado.	Cable de izaje.	Fractura de los torones.	7	4	5	140	Reducible	
4	Equipos Auxiliares #2	perforadoras pequeñas, motoniveladoras y tractor frontal	Por tiempo de uso, sobrecarga física.	Ganchos.	Deformación del gancho o rajadura, caída de elementos en izaje.	7	5	4	140	Reducible	
			Corte eléctrico en la bobina, sobre tensión.	Bocina.	Falta de señalización acústica.	3	3	5	45	Aceptable	

Ítem	Máquina y/o Equipo	Función	Falla Funcional	Modo Potencial De Falla	Efecto Potencial De Falla	Gravedad	Ocurrencia	Determinación	NPR = G*O*D	Clasificación De Falla
		Ídem celda superior	Falta de lubricación, polvo excesivo.	Aros guidores.	Atascamiento de tambor con el cable	3	3	5	45	Aceptable
	Bahía De Soldadura Nuevo #1	Izar, trasladar de forma horizontal y vertical, sostener elementos de gran tonelaje que pueda permitir el mantenimiento de soldadura de las unidades mineras y unidades vehiculares pesadas.	Por tiempo de uso, sobre calentamiento.	Motor eléctrico del trole.	Avería del motor, bobinado, estator, rodamiento, etc.	9	8	5	360	Inaceptable
			Falta de lubricación, polvo excesivo.	Aros guidores.	Atascamiento de tambor con el cable	3	3	5	45	Aceptable
5			Fatiga de cable.	Cable con movimiento reducido.	Fractura de los hilos de acero.	7	6	5	210	Inaceptable

Ítem	Máquina y/o Equipo	Función	Falla Funcional	Modo Potencial De Falla	Efecto Potencial De Falla	Gravedad	Ocurrencia	Determinación	NPR = G*O*D	Clasificación De Falla
			Por tiempo de uso, corte eléctrico interno.	Luces estroboscópicas.	Falta de señalización visual.	3	3	5	45	Aceptable
			Por tiempo de uso, sobrecarga física.	Ganchos.	Deformación del gancho o rajadura, caída de elementos en izaje.	7	5	4	140	Reducible
		Izar, trasladar de forma horizontal y vertical, sostener elementos de gran tonelaje que pueda permitir el mantenimiento de soldadura de las unidades minera y	Deterioro de la tarjeta de controles.	Variador de velocidad defectuoso.	Deja de funcionar el motor.	9	8	5	360	Inaceptable
6	Bahía De Soldadura Antiguo #1		Contacto de limitador deteriorado.	Sensores mecánicos defectuosos	Bloqueo del motor.	5	7	6	210	Inaceptable

Ítem	Máquina y/o Equipo	Función	Falla Funcional	Modo Potencial De Falla	Efecto Potencial De Falla	Gravedad	Ocurrencia	Determinación	NPR = G*O*D	Clasificación De Falla
		unidades vehiculares pesadas	Temperatura excesiva del motor.	Relé térmico dañado.	Falla en el motor.	5	7	6	47	Aceptable

Tabla 4*Evaluación de Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)*

	Escala	Falla	Cantidad De Fallas	%
200 <	NPR	INACEPTABLE	9	42,86%
125 <	NPR ≤ 200	REDUCIBLES	3	14,28%
	NPR ≤ 125	ACEPTABLES	9	42,86%
TOTAL			21	100,00%

Por lo tanto, según NRP, se identifica que el 42.86% de las fallas existentes se resolverá mediante las acciones preventivas a tomar en cuenta, por lo cual quedaría reducibles y aceptables un total de 57.14% los cuales se contemplarán como parte del seguimiento en la metodología last planner system para alcanzar dichas metas programadas.

Podemos observar el detalle del análisis modal de efectos y fallas de los equipos puentes grúas en el área de Truck Shop, la cual nos guiará para poder determinar las acciones preventivas para el plan de mantenimiento basada en la metodología last planner system.

Tabla 5*Acciones Preventivas*

Máquina y/o Equipo	Falla	Causa	Consecuencia	Acciones Preventivas	Frecuencia De Actividades	Tiempo Por Actividad
Bahía Pesado Nuevo #1	Variador de velocidad defectuoso	Deterioró de la tarjeta de controles	Deja de funcionar el motor	Estudio de vibraciones y limpieza interior	1 440 Hrs	4Hrs
	Cable con movimiento reducido	Fatiga de cable	Fractura de los hilos de acero	Lubricación de tambor de cables	720 Hrs	4Hrs
	Sensores mecánicos defectuoso	Contacto de limitador deteriorado	Bloqueo del motor	Inspección visual de los sensores y cambio por condición	720 Hrs	2Hrs
	Relé térmico dañado	Temperatura excesiva del motor	Falla en el motor	Estudio de temperatura expuestas del relé térmico y cambio	1 440 Hrs	4Hrs
	Contactores atascados	Contactos gastados por tiempo de uso	No permite controlar el motor	Limpieza de contactores	720 Hrs	2Hrs
Equipos Auxiliares #1	Cable de izaje	Torones en mal estado	Fractura de los torones	Lubricación de tambor de cables	720 Hrs	4Hrs
	Ganchos	Por tiempo de uso, sobrecarga física	Deformación del gancho o rajadura,	Inspección visual de ganchos y cambio por condición	7 200 Hrs	2Hrs

Máquina y/o Equipo	Falla	Causa	Consecuencia	Acciones Preventivas	Frecuencia De Actividades	Tiempo Por Actividad
			caída de elementos en izaje			
Bahía De Soldadura Nuevo #1	Motor eléctrico del trole	Por tiempo de uso, sobre calentamiento	Avería del motor, bobinado, estator, rodamiento, etc.	Estudio de vibraciones y limpieza interior	1 440 Hrs	4Hrs
	Cable con movimiento reducido	Fatiga de cable	Fractura de los hilos de acero	Lubricación de tambor de cables	720 Hrs	4Hrs
	Ganchos	Por tiempo de uso, sobrecarga física	Deformación del gancho o rajadura, caída de elementos en izaje	Inspección visual de ganchos y cambio por condición	720 Hrs	2Hrs
Bahía De Soldadura Antiguo #1	Variador de velocidad defectuoso	Deterioró de la tarjeta de controles	Deja de funcionar el motor	Estudio de vibraciones y limpieza interior	1 440 Hrs	4Hrs
	Sensores mecánicos defectuoso	Contacto de limitador deteriorado	Bloqueo del motor	Inspección visual de los sensores y cambio por condición	720 Hrs	2Hrs

b). *Tiempo programado para la ejecución del plan de mantenimiento.*

Habiendo programado las actividades de mantenimiento preventivo para cada equipo crítico y con fallas inaceptables y reducibles, procedemos a detallar el cronograma para ejecución de estas actividades.

Tabla 6

Tiempos Programados para Ejecución de Plan de Mantenimiento

Máquina y/o Equipo	Acciones Preventivas	Cantidad De Hora Por Actividad	Frecuencia	Cantidad De Tareas Anuales
Bahía Pesado Nuevo #1	Estudio de vibraciones y limpieza interior	4Hrs	Cada 2 meses	6
	Lubricación de tambor de cables	4Hrs	Cada mes	12
	Inspección visual de los sensores y cambio por condición	2Hrs	Cada mes	12
	Estudio de temperatura expuestas del relé térmico y cambio	4Hrs	Cada 2 meses	6
	Limpieza de contactores	2Hrs	Cada mes	12
Equipos Auxiliares #1	Lubricación de tambor de cables	4Hrs	Cada mes	12
	Inspección visual de ganchos y cambio por condición	2Hrs	Cada mes	12
Bahía De Soldadura Nuevo #1	Estudio de vibraciones y limpieza interior	4Hrs	Cada 2 meses	6

Máquina y/o Equipo	Acciones Preventivas	Cantidad De Hora Por Actividad	Frecuencia	Cantidad De Tareas Anuales
	Lubricación de tambor de cables	4Hrs	Cada mes	12
	Inspección visual de ganchos y cambio por condición	2Hrs	Cada mes	12
Bahía De Soldadura Antiguo #1	Estudio de vibraciones y limpieza interior	4Hrs	Cada 2 meses	6
	Inspección visual de los sensores y cambio por condición	2Hrs	Cada mes	12

Contando con la programación del plan de mantenimiento procedemos a programar los planes de ejecución y control para llevar a cabo las actividades de mantenimiento de manera adecuada usando la metodología last planner system para lo cual se contará los cuadros:

- 1) Plan maestro, donde se plasma la meta que se desea respecto a las acciones de mantenimiento a realizar. **Ver anexo 08**
- 2) Reporte de cantidades, en la cual se plasmará el avance semanal, mensual de las actividades ejecutadas para mantener el control en tiempo real de lo avanzando. **Ver anexo 09**
- 3) Curva S, es un gráfico resumen de avance en la cual podremos observar lo programado vs lo real. **Ver anexo 10**

- 4) Estadística de mano de obra, se tomará en cuenta que la valorización real de las actividades de mantenimiento preventivo. ***Ver anexo 11***

- 5) Estadística de equipo, se registrará una lista de equipos requeridos para llevar a cabo las actividades de mantenimiento el cual será valorizado según incidencia. ***Ver anexo 12***

- 6) Plan semanal, es el programa que se propondrá según plan maestro (Acciones preventivas) y en reunión de planificación semanal se propondrá todo lo que involucra para llevar a cabo dichas actividades preventivas en la cual participará, Supervisor, técnicos mecánicos, técnicos electricistas, operadores de puentes grúa, personal de planeamiento y todos los que estén involucrados en el área de trabajo. ***Ver anexo 13***

- 7) Porcentaje de actividades completas, Es el cuadro donde se calculará el porcentaje de planes cumplidos (PPC) y Causas de no cumplimiento (CNC), siendo esto los indicadores los que nos mostraran de manera detallada el cumplimiento y no cumplimiento de nuestras actividades planificadas referente al mantenimiento preventivo programado y se podrá identificar de manera clara todos los impedimentos que hubiese para poder asignar a un responsable de subsanar dicho impedimento y llevar a cabo el mantenimiento requerido. ***Ver anexo 14***

- 8) Three weeks look ahead, es un cuadro donde se plasmará las futuras actividades de mantenimiento preventivo que servirá para prepararnos antes de realizar las actividades, logrando poder solicitar todos los materiales, repuestos, etc., requeridos. ***Ver anexo 15***

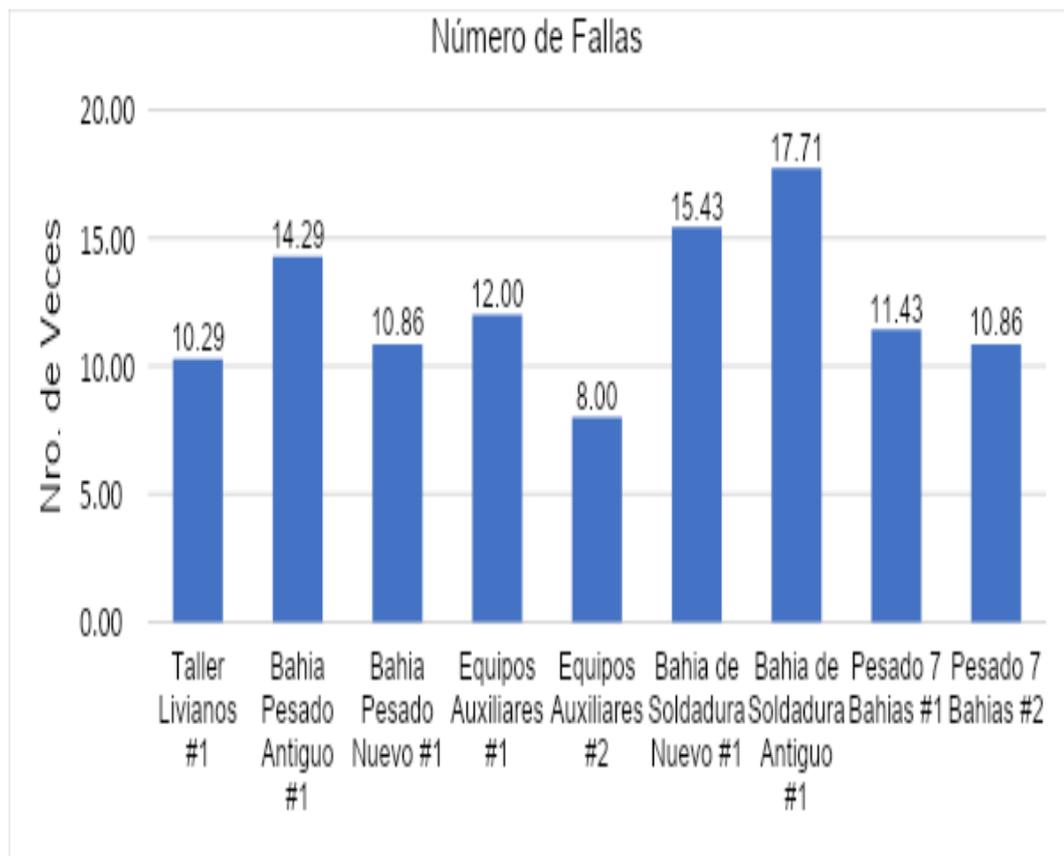
1.8.2.5. Nuevos indicadores de mantenimiento obtenidos.

Se procedió a realizar la nueva obtención de datos de campo con la aplicación de la metodología Last Planner System siendo:

a). *Número de fallas y mantenimiento programado.*

Figura 23

Números de Fallas



b). *Tiempo total de reparaciones.*

Teniendo como dato inicial respecto al tiempo de fallas y mantenimiento programado de la **bahía pesado nuevo #1** 625Hrs.

Figura 24

Tiempo Total de Reparaciones por Fallas y Mantenimiento Programado



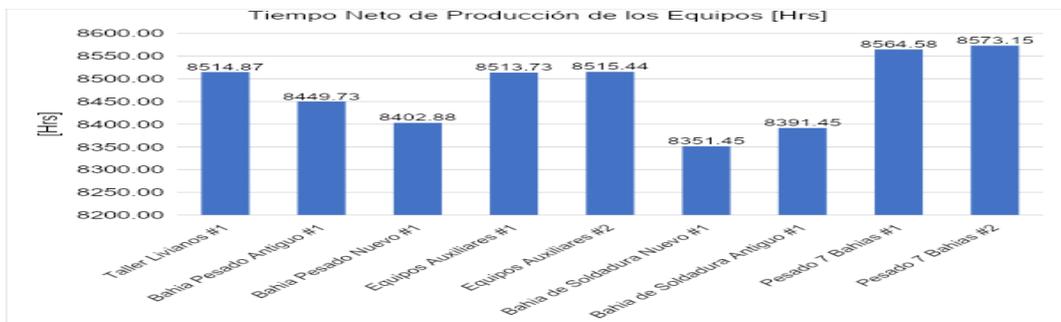
c). *Tiempo neto de producción.*

Se calcula a partir de las horas ideales de trabajo del equipo por todo un año siendo 8 760 Hrs/año menos el tiempo total de reparación por falla.

Para el caso de la **bahía pesado nuevo #1** su tiempo de producción neta es = 8 760 Hrs – 357,13 Hrs = 8 402,87 Hrs

Figura 25

Tiempo Neto de Producción de los Puentes Grúa



d). *Tiempo promedio para reparar.*

Se continuará tomando datos de la **bahía pesado nuevo #1** para la formulación de los siguientes cálculos, para lo cual:

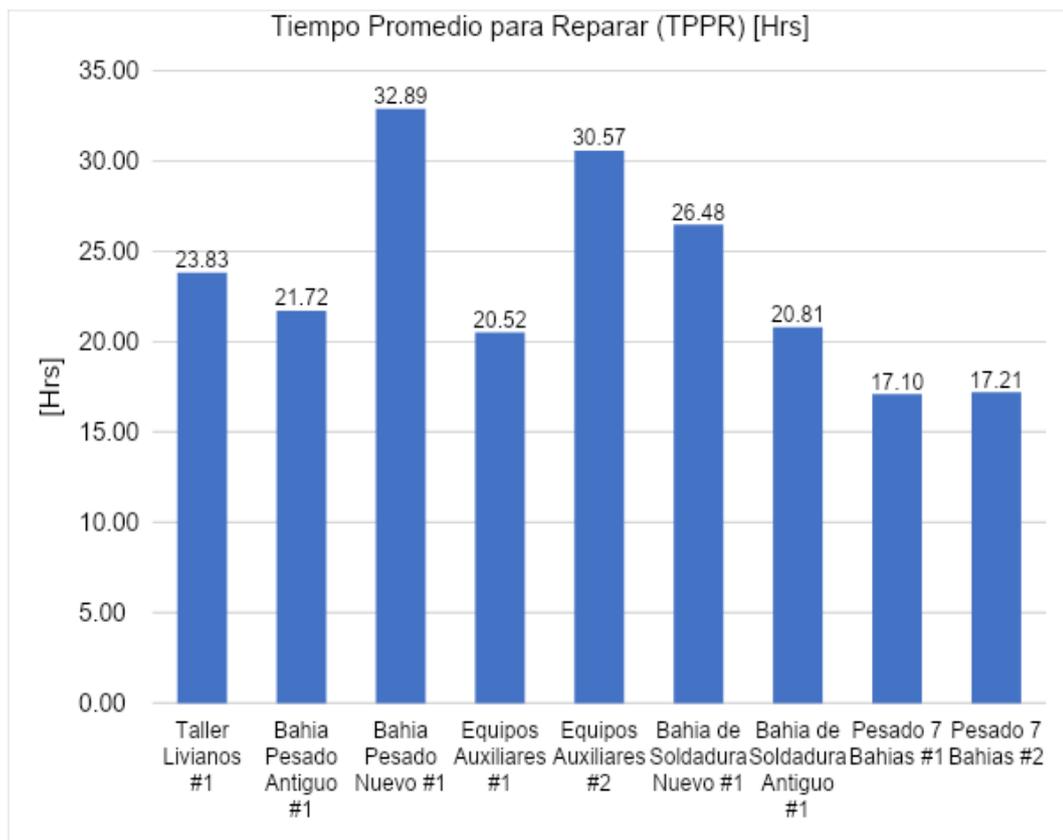
$$TPPR = ((\sum TPR) \text{ Hrs.} / (N^{\circ} \text{ Fallas}) \#fallas)$$

$$TPPR = ((357,13) / (10,86))$$

$$TPPR = 32,88 \text{ Hrs./ Falla}$$

Figura 26

Tiempo Promedio Para la Reparación TPPR



e). *Tiempo promedio entre fallas.*

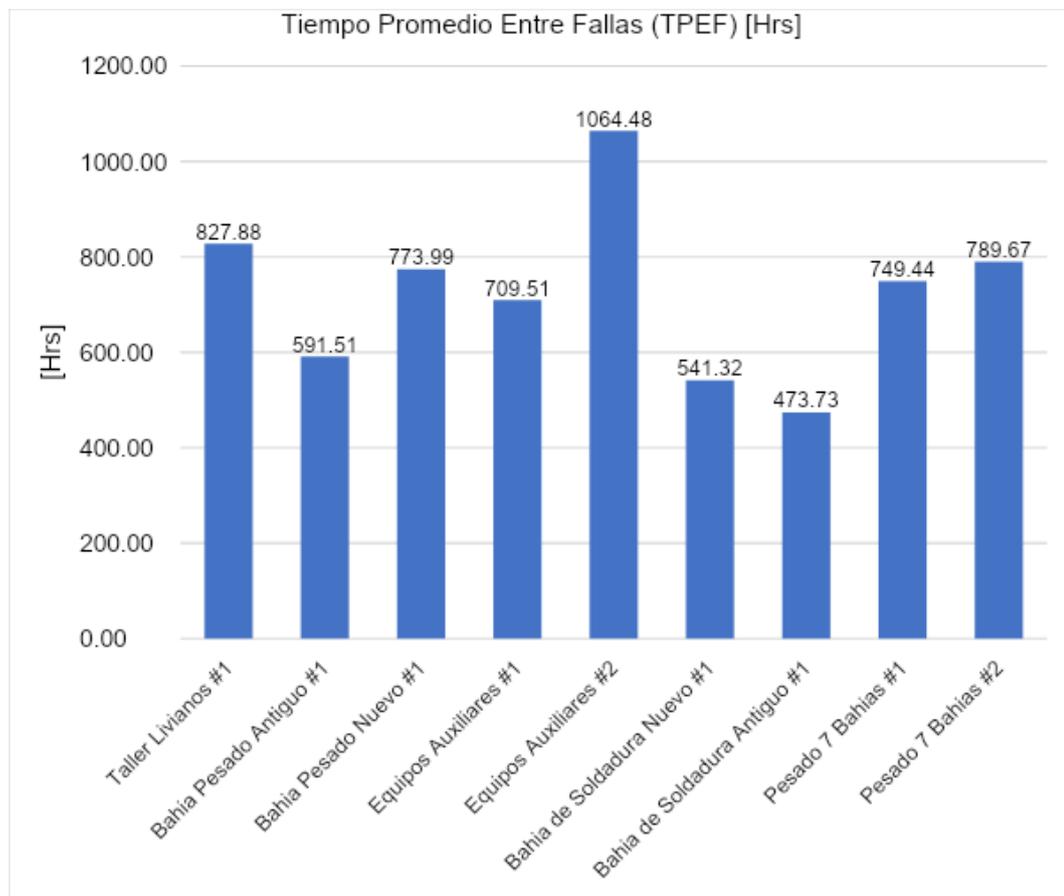
Se continuará tomando datos de la **bahía pesado nuevo #1** para la formulación de los siguientes cálculos, para lo cual:

$$TPEF = (\sum TEF) \text{ Hrs.} / (N^{\circ} \text{ Fallas}) \#fallas)$$

$$TPEF = 8\,402,88 \text{ Hrs} / 10,86 = 773,75 \text{ Hrs.} / \text{Falla}$$

Figura 27

Tiempo Promedio Entre Fallas TPEF



f). Nueva disponibilidad de los puentes grúa.

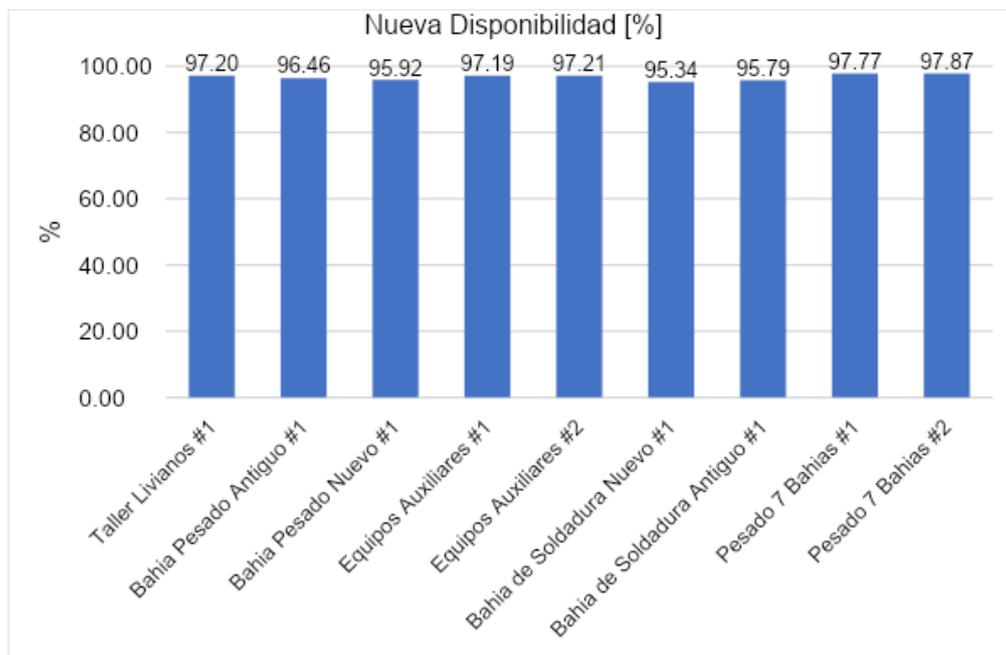
Se continúa realizando los cálculos con los valores de **bahía pesado nuevo #1**.

$$D = ((TPEF) / (TPEF + TPR)) * 100\%$$

$$D = 773,99 / (773,99 + 32,89) * 100 = 95,92 \%$$

Figura 28

Nueva Disponibilidad



g). Nueva confiabilidad de los puentes grúa.

Se continúa realizando los cálculos con los valores de **bahía pesado nuevo #1**.

$$\lambda = (1) / (TPEF)$$

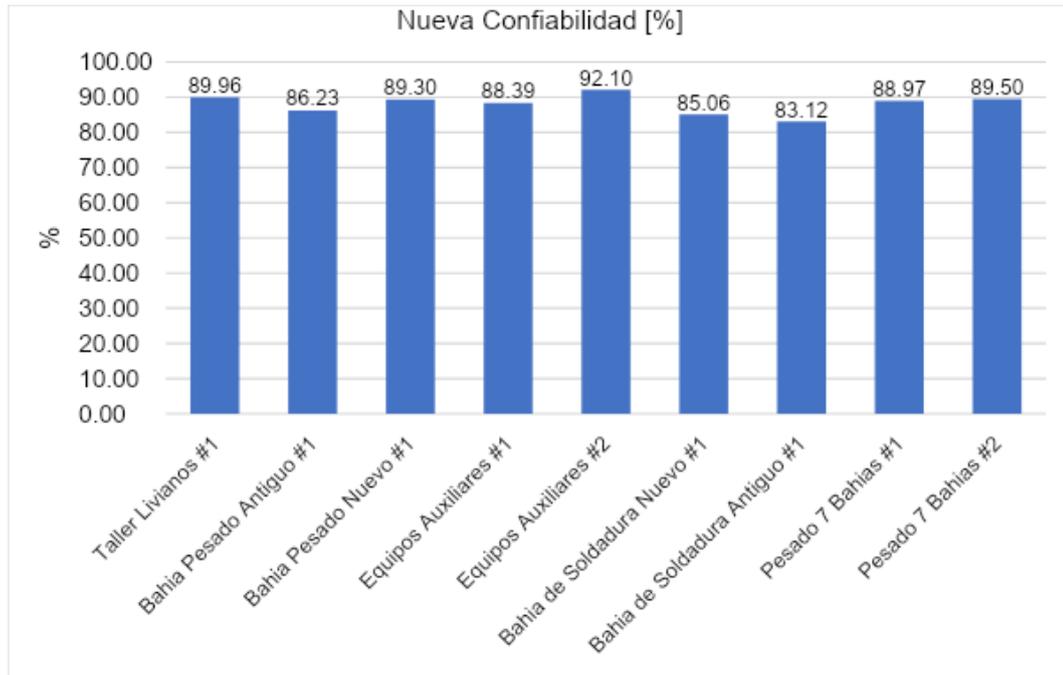
$$\lambda = 1 / 773,99 = 0,001292 \text{ Hrs/ Falla}$$

$$C = e * [((-\lambda * t) / 100)]$$

$$C = e^{((-0,001292*8760)/100)} = 89,299\%$$

Figura 29

Nueva Confiabilidad



h). Nueva disponibilidad global de los puentes grúa.

$$TPEF (total) = (\Sigma TEF TOTAL) / (N^{\circ} fallas totales)$$

$$TPEF (total) = 76\,277,27 \text{ [Hrs]} / (110,85)$$

$$TPEF (total) = 688,11 \text{ [Hrs]}$$

$TPPR (total) = (\Sigma TPR \text{ TOTAL } \Sigma \text{ MTTO programado}) [\text{Hrs}] / \text{N}^\circ \text{ fallas totales}$
[Veces]

$TPPR (total) = 2\,562,73 + 1\,278 [\text{Hrs}] / 110,85$

$TPPR (total) = 23,12 [\text{Hrs}]$

Por lo tanto:

$D = TPEF / TPEF + TPPR$

$D = 688,11 / (688,11 + 23,12)$

$D = 96,75\%$

i). Nueva confiabilidad global de los puentes grúa

$TPEF (total) = 255,1 [\text{Hrs}]$

$\lambda = 1 / 688,11 \Rightarrow \lambda = 0,001453$

$T (total) = 78840 [\text{Hrs}]$

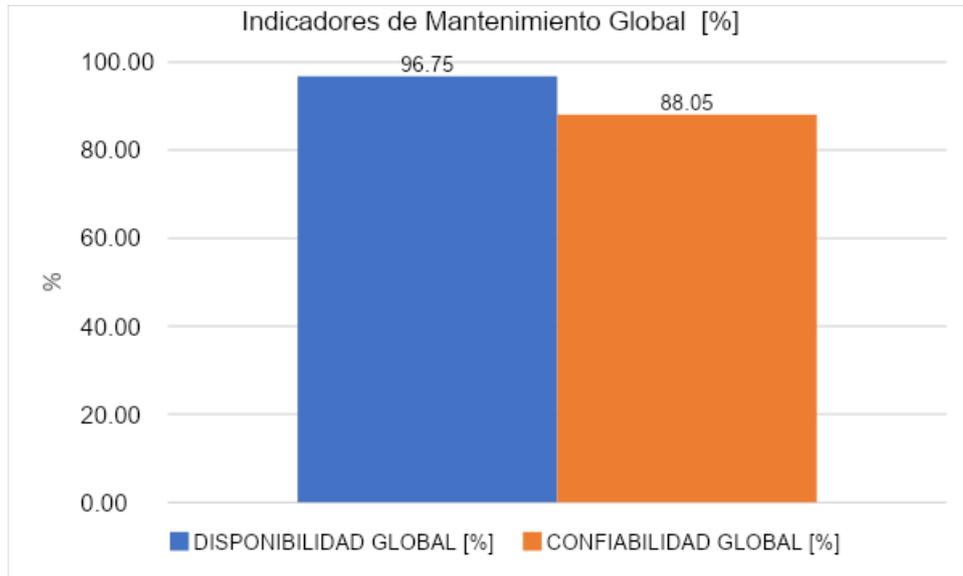
$C = e^{(-0,001453 \cdot 78840) / 100 \cdot 9}$

$C = 88,05\%$

A continuación, los nuevos indicadores globales:

Figura 30

Nuevos Indicadores Globales de Mantenimiento



Por lo cual con lo estimado en la figura 30, se puede visualizar el incremento de la disponibilidad del 2,44% y la confiabilidad del 8,48%.

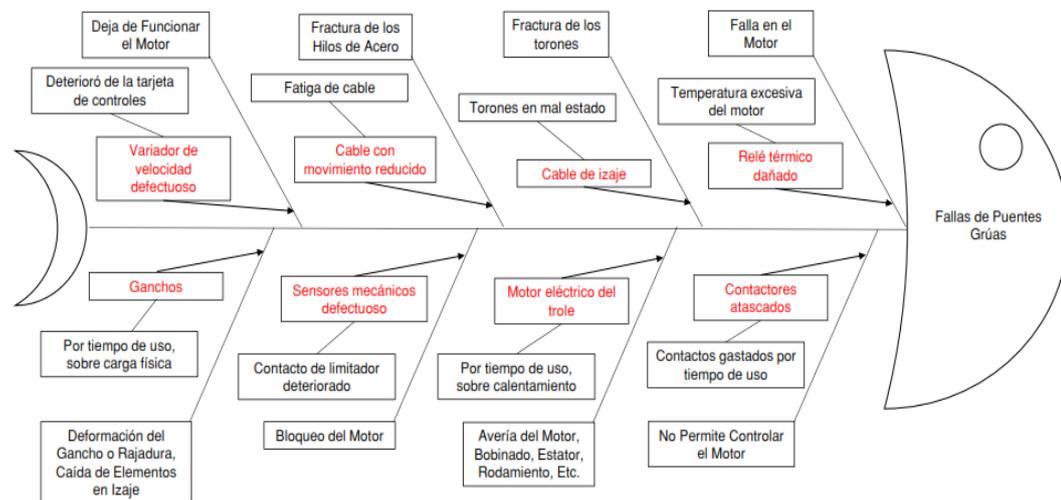
1.8.3. Actividades de mejora.

1.8.3.1. Identificación de causa raíz de las fallas de los equipos Puentes Grúa.

Para este estudio se utilizó la herramienta del diagrama de Ishikawa como apoyo para identificar los principales problemas.

Figura 31

Análisis de causales críticos “Diagrama de Ishikawa”



Cuadro de priorización causa raíz según estudio en el diagrama de Ishikawa realizado con su registro de número de fallas de Octubre del 2021 a Octubre de 2022.

Tabla 7*Cuadro de Priorización y Respectivas Cantidades de Nro. de Fallas*

Ítem	Causa Raíz	Nro. De Fallas
1	Relé térmico dañado	17
2	Contactores atascados	18
3	Cable de izaje	15
4	Motor eléctrico del trole	19
5	Cable con movimiento reducido	18
6	Variador de velocidad defectuoso	17
7	Sensores mecánicos defectuoso	20
8	Ganchos	15
9	Luz estroboscópica	13
10	Alarma sonora	14
11	Controladores	16
12	Aros Guiadores	12
13	Otros	0
Total		194

A continuación, se muestra el cálculo según la ley de Pareto 80/20 donde se difiere que el 80% de consecuencias se originan del 20% de las causas.

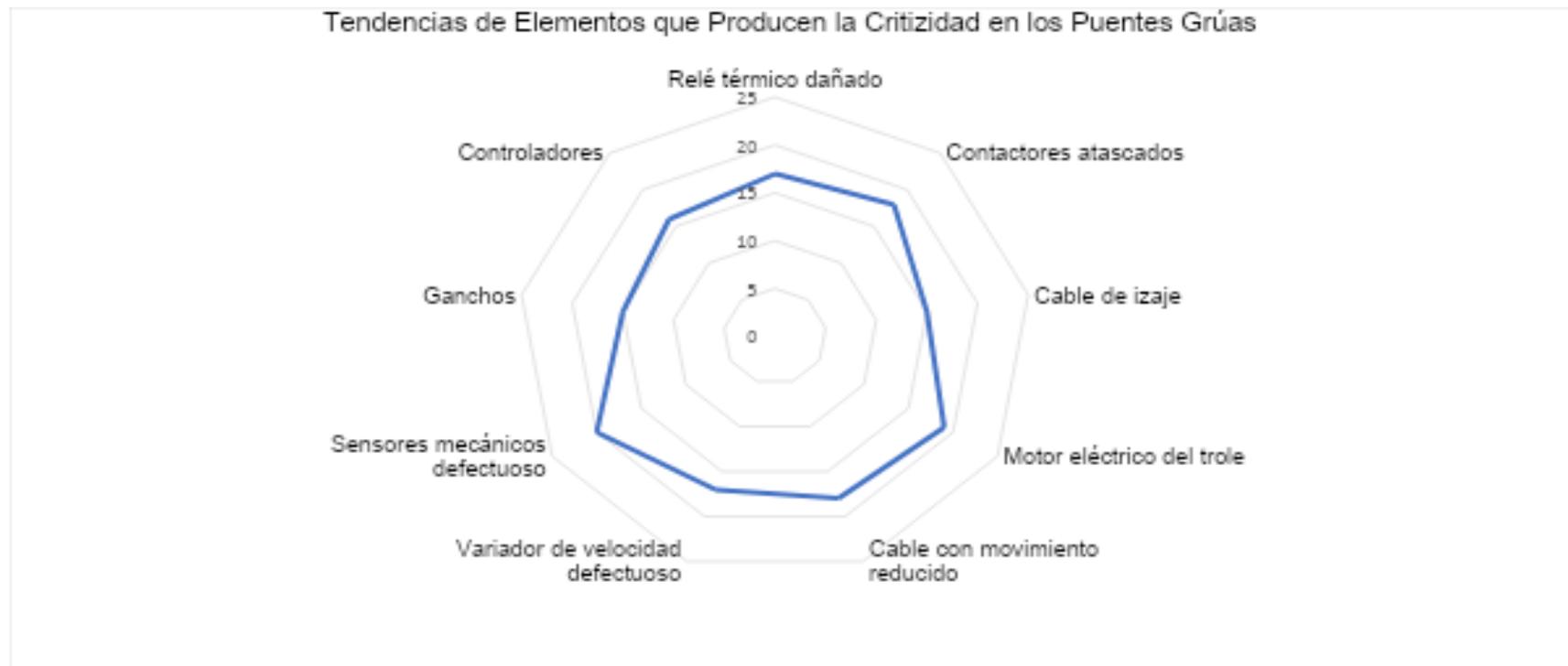
Tabla 8*Cuadro de Priorización Causa Raíz*

Ítem	Causa Raíz	Nro. De Fallas	% Impacto	Acumulado %
7	Sensores mecánicos defectuoso	20	10%	10%
4	Motor eléctrico del trole	19	10%	20%
2	Contactores atascados	18	9%	29%
5	Cable con movimiento reducido	18	9%	39%
1	Relé térmico dañado	17	9%	47%
6	Variador de velocidad defectuoso	17	9%	56%
11	Controladores	16	8%	64%
3	Cable de izaje	15	8%	72%
8	Ganchos	15	8%	80%
10	Alarma sonora	14	7%	87%
9	Luz estroboscópica	13	7%	94%
12	Aros Guiadores	12	6%	100%
13	Otros	0	0%	100%
TOTAL		194		

Mediante el gráfico del radar se identifica las tendencias del grupo de Puentes Grúa en calidad de estudio con sus diferentes causas raíces que ocasionan sus paradas no programadas. Se muestra la criticidad por cada equipo en la tabla Nro. 18. *Ver Anexo 16*

Figura 32

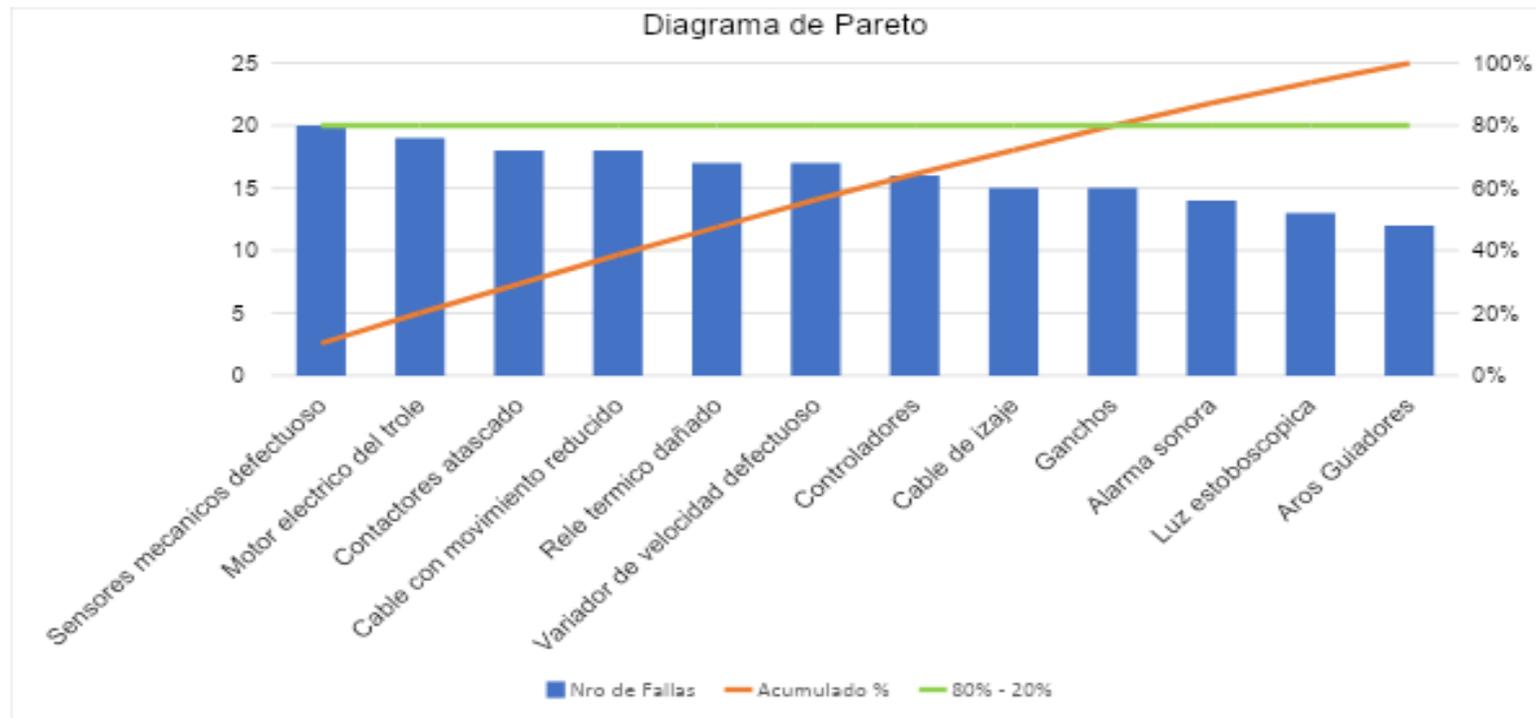
Tendencias de Elementos que Producen la Criticidad en los Puentes Grúas



1.8.3.2. Representación en el diagrama de Pareto y aplicación de la ley de Pareto 80/20.

Figura 33

Diagrama de Pareto



CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Explicación de la relación entre la teoría y la práctica

Del diagrama de Pareto realizamos la clasificación de la criticidad según la zona en la que se ubican teniendo tres clases:

- i) Clase A: Elementos de más importantes, son los que se ubican desde la intersección entre línea de Acumulado % y la ley de Pareto del 80% - 20% hacia la izquierda, siendo estos los elementos más críticos que se deberá identificar en el plan de mantenimiento de Puentes Grúas y realizar las medidas preventivas necesarias y correctivas de ser necesario para aumentar los indicadores de mantenimiento, siendo los siguientes elementos:
 - Sensores mecánicos defectuoso
 - Motor eléctrico del trole
 - Contactores atascados
 - Cable con movimiento reducido
 - Relé térmico dañado

- Variador de velocidad defectuoso
- Controladores
- Cable de izaje
- Ganchos

ii) Clase B: Elementos de importancia media, se encuentran ubicados desde la intersección entre línea de Acumulado % y la ley de Pareto del 80% - 20% hacia la derecha hasta el acumulado del 95%.

iii) Clase C: Elementos de menor importancia, se identifican por ser del valor acumulado % mayor al 95%. (Bonet, 2005).

Causa raíz de la criticidad de los sensores mecánicos defectuosos; se ha identificado que el contacto de los limitadores se ha encontrado deteriorados y como consecuencia se ha tenido bloqueos de los motores, por lo cual se propone implementar el plan de mantenimiento preventivo el realizar inspecciones visuales de los sensores y programar cambios por condición independiente de las fechas programadas.

Causa raíz de la criticidad de motor eléctrico del trole; se ha identificado que durante tiempo de trabajo prolongado se produce un sobrecalentamiento que conlleva como consecuencia la avería del motor, del bobinado, del estator, rodamiento, etc. por lo cual se propone implementar el plan de mantenimiento preventivo el estudio de las vibraciones, monitoreo de la temperatura del motor y limpieza interior debido a las condiciones climáticas y de trabajo con equipos que contienen polución.

Causa raíz de la criticidad de los contactores atascados; se produce por el desgaste por tiempo de uso, se cuenta con atenciones de emergencia que no se consideran al momento de proyectar los tiempos de cambios y como consecuencia de esta falla no se puede controlar el motor, para lo cual se propone implementar el plan de mantenimiento la actividad de limpieza de los contactores de manera mensual.

Causa raíz de la criticidad de los cables con movimiento reducido; es debido a la fatiga a la que se expone a los cables, realizar maniobras fuera del estándar de trabajos de izaje con Puentes Grúas, que generan como consecuencia la fractura de los hilos del acero, para lo cual se propone implementar en el plan de mantenimiento preventivo la lubricación de los tambores en la cual se almacenan los cables después de haber realizado una actividad rutinaria de manera mensual.

Causa raíz de la criticidad de los relés térmicos dañados; debido a la temperatura excesiva del motor y uso prolongado que como consecuencia produce fallas en el funcionamiento del motor, por lo cual se propone implementar en el plan de mantenimiento la evaluación de temperatura a la que los relés se encuentran expuestos en un trabajo prolongado para mejorar la capacidad o programar los cambios por condición y no esperar a fechas programadas, esta actividad se tiene que realizar cada tres meses.

Causa raíz de la criticidad de los variadores de velocidad defectuosos; se da estas fallas por el deterioro de la tarjeta de controles y como consecuencia deja de funcionar el motor, aquí también se propone implementar el plan de mantenimiento

el estudio de las vibraciones y limpieza del interior cada tres meses para obtener controlado el estado de los variadores de velocidad.

Causa raíz de la criticidad de los controladores; producido por componentes deteriorados por el tiempo de uso y que como consecuencia dejan fuera de servicio todo el equipo del puente grúa, por lo cual se propone implementar el plan de mantenimiento realizar una inspección del estado en el cual se encuentra cada controlador por un periodo de cada tres meses y manejando un registro de estado.

Causa raíz de la criticidad de los cables de izaje; es debido a la fatiga a la que se expone a los cables, torones en mal estado y falta de experiencia por parte de los operadores que realizan los trabajos de izaje con Puentes Grúas, que generan como consecuencia la fractura de los torones, para lo cual se propone implementar en el plan de mantenimiento preventivo la lubricación de los tambores en la cual se almacenan los cables después de haber realizado una actividad rutinaria de manera mensual.

Causa raíz de la criticidad de los ganchos; se debe al desgaste por uso, sobrecarga o mal uso de los estobos que producen deformación del gancho, rajadura o caídas de elementos suspendidos, para esto se propone implementar el plan de mantenimiento la inspección visual de ganchos y cambio por condición, la inspección se deberá de realizar de manera mensual.

2.2. Acciones para la evaluación de costos y brindar una mejora en la propuesta del plan de mantenimiento

2.2.1. Cálculo costo de mantenimiento correctivo.

Al no contar con una metodología de trabajo para ejecutar el plan de mantenimiento a cabalidad, por lo cual se realizaron los siguientes gastos en el año 2 019.

Personal involucrado:

Tabla 9

Personal Involucrado y Costo Hora Hombre

Personal a Cargo de Mantenimiento Correctivo	Cantidad	Costo Hora / Hombre
Técnico Mecánico	1	S/11,67
Técnico Electricista	1	S/13,33
Supervisor	1	S/23,33

Nota. Laser S.R.L. (2022)

Tabla 10*Cálculo de Costos por Mantenimiento Correctivo*

Sección	Tiempo Total de Reparación [Hrs]	Costo de Mano de Obra al Año por Mantenimiento Correctivo	Costo por Materiales e Insumos
Taller Livianos #1	429	S/20 733,57	S/30 490,54
Bahía Pesado Antiguo #1	543	S/26 243,19	S/38 592,93
Bahía Pesado Nuevo #1	625	S/30 206,25	S/44 420,96
Equipos Auxiliares #1	431	S/20 830,23	S/30 632,69
Equipos Auxiliares #2	428	S/20 685,24	S/30 419,47
Bahía De Soldadura Nuevo #1	715	S/34 555,95	S/50 817,57
Bahía De Soldadura Antiguo #1	645	S/31 172,85	S/45 842,43
Pesado 7 Bahías #1	342	S/16 528,86	S/24 307,15
Pesado 7 Bahías #2	327	S/15 803,91	S/23 241,04
Total	4485	S/216,760.05	S/318,764.78

Nota. Laser S.R.L. (2022)

Teniendo un total por costo de mantenimiento correctivo de S/ 535 524,83 anual.

2.2.2. Costos por mantenimiento preventivo basado en la metodología last planner system.

Teniendo en cuenta las horas de reparación por fallas y horas programadas para mantenimiento preventivo calculadas se realiza el cálculo del costo estimado.

Tabla 11*Costos por Reparación y Mantenimiento Preventivo*

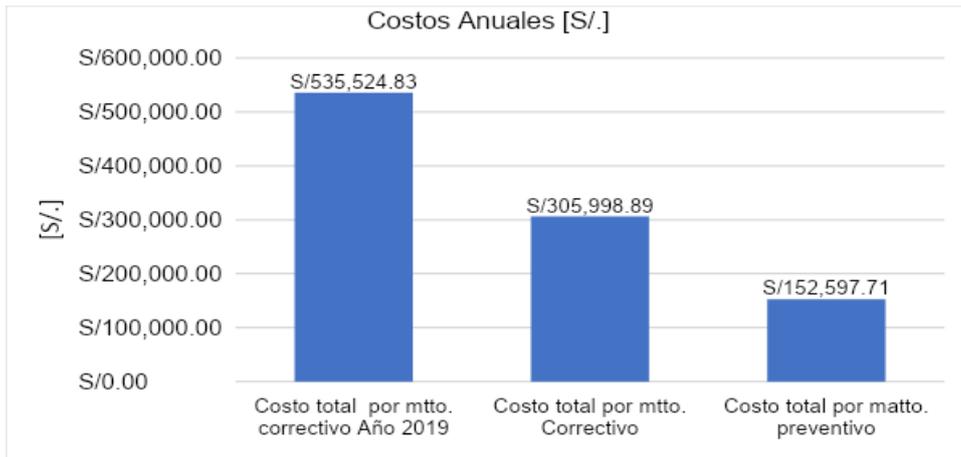
Sección	Tiempo de Reparación por Mtto. Correctivo [Hrs]	Costo de Mano de Obra al Año por Mtto. Correctivo	Costo por Materiales e Insumos por Mtto. Correctivo	Tiempo de Reparación por Mtto. Programado [Hrs]	Costo de Mano de Obra al Año por Mtto. Preventivo	Costo por Materiales e Insumos por Mtto. Preventivo
Taller Livianos #1	245	S/11 847,16	S/17 422,30	102	S/4 929,66	S/7 249,50
B. Pdo. Antiguo #1	310	S/14 995,36	S/22 052,00	102	S/4 929,66	S/7 249,50
B. Pdo. Nuevo #1	357	S/17 259,85	S/25 382,13	246	S/11 889,18	S/17 484,09
Eq. Auxiliares #1	246	S/11 902,39	S/17 503,52	174	S/8 409,42	S/12 366,79
Eq. Auxiliares #2	245	S/11 819,55	S/17 381,69	102	S/4 929,66	S/7 249,50
B. De Sold. Nuevo #1	409	S/19 745,27	S/29 037,16	198	S/9 569,34	S/14 072,56
B. De Sold. Antiguo #1	369	S/17 812,17	S/26 194,36	150	S/7 249,50	S/10 661,03
Pesado 7 Bahías #1	195	S/9 444,59	S/13 889,10	102	S/4 929,66	S/7 249,50
Pesado 7 Bahías #2	187	S/9 030,35	S/13 279,93	102	S/4 929,66	S/7 249,50
Total	2563	S/123 856,69	S/182 142,19	1278	S/61 765,74	S/90 831,97

Nota. Laser S.R.L. (2022)

El costo total anual por mantenimiento preventivo es S/ 152 597,71 y costo total por mantenimiento correctivo aceptables S/ 305 998,88.

Figura 34

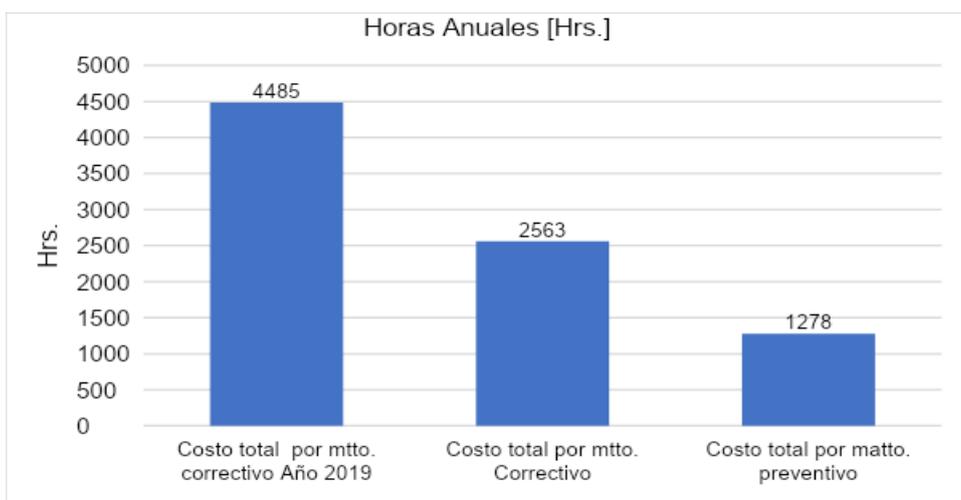
Costos Anuales



Nota. Laser S.R.L. (2022)

Figura 35

Horas Anuales



Nota. Laser S.R.L. (2022)

El ahorro económico estimado lo obtenemos de realizar la diferencia entre el costo total por mtto. Correctivo del año 2019 y la suma de los costos estimados por mtto. Correctivo estimado y costo por mtto. Preventivo.

Siendo: $S/ 535 524,83 - (S/ 305 998,89 + S/ 152 597,71) = S/ 76 928,23$

2.3. Representación de resultados

- Se pudo lograr un incremento en la disponibilidad del 2,44% y la confiabilidad del 8,48%, estos resultados se lograron al implementar la metodología last planner system.
- Los resultados obtenidos se asemejan al trabajo realizado por Silva (2020), en la fábrica de curtiembre dedicados al trabajo con pieles en la cual realizó un plan de mantenimiento preventivo que logró incrementar la disponibilidad al 5% y la confiabilidad al 12,74% de los equipos del proceso de fabricación.
- Al implementar plan de mantenimiento en la metodología last planner system, se realizó unos formatos de seguimientos en los cuales se plasmó la programación del plan y de manera encadenada se relaciona entre sí para tener un mejor control de las actividades, las cuales serán medidas por porcentaje de planes cumplidos PPC y causas de no cumplimiento CNC, en tal sentido podemos observar en la tesis de Parra & Paredes (2019) al cumplir con el 59,9% del porcentaje de planes cumplidos incrementó la productividad de al 10% en tal sentido podríamos proyectar el cumplimiento del plan de mantenimiento según nuestro cálculo de número prioritario de riesgos siendo semejante al 57,14%

- Se realizó el análisis de criticidad obteniendo 03 equipos de puentes grúa con el grado de alta criticidad, para lo cual se realizó el análisis de modos y efecto de fallas (AMEF) a fin de mitigar los cálculos mediante acciones preventivas y evaluación de criticidad por número prioritario de riesgos (NPR), obteniendo un deseable y reducible del 57,14%, dato con el cual se procedió a realizar un análisis de mantenimiento preventivo, el cual se implantaría dentro de los cuadros de seguimiento de la herramienta Last Planner System.
- Con el estudio del diagrama de Ishikawa se logró realizar un análisis más profundo respecto a las causas de los problemas identificando nueve causales de las fallas de los equipos.
- El diagrama de radar fue muy útil para la representación de los que tienen valores anormales e identificarlos para el siguiente análisis por la ley de Pareto y su diagrama de clasificación 80/20 que nos permite direccionar los esfuerzos de manera eficaz.
- Finalmente se procedió a realizar la evaluación de costo beneficio a través de la deducción de las horas disminuidas en el mantenimiento correctivo dejando un positivo de S/ 76 928,23 anuales.

CAPÍTULO III

APORTES Y DESARROLLOS DE EXPERIENCIAS

3.1. Aportes utilizados

Conocimiento teórico de mantenimientos, cálculo de indicadores de mantenimiento que se complementaron con la experiencia en campo debido a la toma de datos y seguimiento que se realiza para tener el control de los equipos industriales, el estar apto para aprender constantemente como el de la implementación de la metodología last planner system para un proceso de seguimiento y fiel cumplimiento de las metas programadas en un plan de mantenimiento.

3.2. Desarrollo de experiencias

El trabajar de la mano con personal técnico de amplia experiencia es una oportunidad para desarrollarnos como profesionales y aprender a considerar todas las opiniones y que en consenso se logran grandes soluciones a las diversas actividades de mantenimiento que se realizan en campo. El personal de campo es muy importante para nuestras labores de mantenimiento de equipos auxiliares.

CONCLUSIONES

- Primera.** La retroalimentación de conocimientos que ocurre en el proyecto me da la certeza que en el campo es totalmente diferente por las situaciones y problemas que se dan a diario.
- Segunda.** La buena comunicación, representa un rol importante en la seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por incidentes que los trabajadores no comunican en su momento las cuales puede tomar una medida de prevención. También el mantener las áreas y ambientes de trabajo con adecuado orden, limpieza e iluminación.

RECOMENDACIONES

- Primera.** Incentivar al personal involucrado al conocimiento de nuevas tecnologías mediante talleres o cursos actualizados.
- Segunda.** La empresa debe tener convenios con las universidades con carreras afines al sector industrial, minero, etc., para que la mejora continua se haga con estudiantes con nuevos preceptos de innovación en sus prácticas preprofesionales y/o profesionales, y puedan obtener una visión más real del trabajo a desarrollar como ingenieros Mecánicos Eléctricos y beneficiarse mutuamente.
- Tercera.** A la empresa la sugerencia es capacitar tanto como el personal de supervisión y trabajadores en cursos de actualización y metodologías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antamina. (2020). *Bases técnicas de licitación*. Lima, Perú: Antamina.
- Basilio, G. & Campos, G. (2021). El uso del diagrama de Ishikawa para identificar las causas de contaminación en la línea de producción de matanza de ganado. *La Técnica - Revista de las Agrociencias*, (26), 13 - 21. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i26.3485
- Bonet, C. (2005). Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad. *Ingeniería Mecánica*, 8(3), 1-9. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225118188010>
- Cabrera, A. & Espín, H. (2018). *El RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) de los equipos del área húmeda y de acabados del cuero de la empresa Tenería Díaz Cía. Ltda.* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28584>
- ContentLab. (2020). *Conoce los Truck shops: talleres para equipos pesados*. Recuperado de <https://especial.elcomercio.pe/mineriasostenible/conoce-los-truck-shops-talleres-para-equipos-mineros-pesados/>
- Diestra, J., Esquivel, L. & Guevara R. (2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. *Ingeniería. Ingeniería: Ciencia, tecnología e innovación*, 4(1), 1-10. <https://doi.org/10.26495/icti.v4i1.530>

- Díez, L. (2006). Vilfredo Pareto y la evolución del pensamiento conservador Europeo. *Revista de Estudios Político (nueva época)*, (132), 133 - 155.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2011759>
- ELROY. (2014). *Metodología Last Planner System*. Santiago, Chile: ELROY Soluciones e Ingeniería.
- IntegraMarkets. (2018). *Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial*. Lima, Perú: IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial.
- García, S. (2013). *Técnicas de elaboración de un plan de mantenimiento*. Recuperado de <http://www.renovetec.com/irim/tecnicas-de-elaboracion-de-un-plan-de-mantenimiento>
- González, V. (2018). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para puentes-grúa ubicadas en las tres naves de producción de la planta Tubex, S.A. El frutal San Miguel Petapa*. (Tesis de pregrado). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUSAC8747>
- Laser S.R.L. (2019). *Reporte de mantenimiento de equipos auxiliares Yanacancha - 2019*. Lima, Perú: Laser S.R.L.
- Laser S.R.L. (2021). *Reporte de equipos del contrato MTE2019*. Lima, Perú: Laser S.R.L.
- Laser S.R.L. (2022). *Reporte de mantenimiento de equipos auxiliares Yanacancha - 2022*. Lima, Perú: Laser S.R.L.

- López, P. (2020). *Complementación del programa de mantenimiento preventivo para los puentes grúa del área de laminación de la empresa Gerdau diaco*. (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás, Boyacá, Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11634/28374>
- Milla, J. (2019). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la confiabilidad de máquinas de la Municipalidad Provincial de Huaraz, 2019*. (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Huaraz, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/51775>
- Minaya, D. (2016). *Implementación de la filosofía lean en la mejora de procesos de construcción en la empresa HTC CONTRATISTAS SRL - Huaraz, 2016*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Ancash, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4218>
- Monsalve, A. (2018). *Ficha técnica del servicio mantenimiento preventivo de equipos de laboratorio no especializados y atención de solicitudes*. SIU Ciencia con alma, pp.1-7.
- Montenegro, G. (2017). *Sistema de gestión de mantenimiento basado en el riesgo para incrementar la confiabilidad de la maquinaria pesada de la empresa chancadora del norte S.A.C*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11091>
- Parra, D. & Paredes Á. (2019). *Efecto del last planner system en la productividad total de los factores en proyectos de obras viales*. (Tesis de pregrado).

Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5431>

Pemex. (2013). *Guía de aprendizaje, metodología y análisis de criticidad*.

Recuperado de <https://pdf4pro.com/view/metodolog-237-a-an-225-lisis-de-criticidad-ac-19a95.html>

Penabad, L., Iznaga, M., Rodríguez, P., & Cazañas, C. (2016). Disposición y disponibilidad como indicadores para el transporte. *Ciencias técnicas Agropecuarias*,

25(4), 64 - 73.

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.16118.19522>

Pons, J. & Rubio, I. (2019). Lean Construction y la planificación colaborativa

Metodología Last Planner System. Recuperado de

<https://www.riarte.es/handle/20.500.12251/1064>

Porras, H., Sánchez, O. & Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para

gestión de proyectos de construcción. *Investigación en ingeniería*, 11(1),

32-53. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.298>

Requejo, G. & Santin, Y. (2018). *Implementación de un sistema de mantenimiento*

productivo total para mejorar la eficiencia global de los equipos de la

empresa IPEFICAL S.A.C. (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo,

Trujillo, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/44862>

Silva, S. (2020). *Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad*

y confiabilidad de los equipos del proceso productivo de una curtiembre.

(Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Piura, Perú. Recuperado de

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/51037>

- Silva, I., Rodríguez, M., Acosta, R. & Gómez, P. (2019). Diseño de plan de mantenimiento preventivo para los talleres del centro CIES Sena Regional Norte de Santander utilizando Metodología AMEF. *MundoFesc*, 9(17), 36-46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7452806>
- Taipe, A. (2018). *Implementación de Lean Construction para incrementar la productividad en una empresa constructora Royal Sun Corporation*. (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/44850>
- Womack, J., Jones, D. & Roos, D. (1992). *La máquina que cambió el mundo*. USA: Mcgraw Hill Editorial.