

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO PARA INCREMENTAR LA  
DISPONIBILIDAD DE MÁQUINAS EN UNA  
EMPRESA CONSTRUCTORA. TRUJILLO, 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniera industrial**

**Autor:**

Elisa Cecilia Rojas Avalos

**Asesor:**

Mg. Lic. Miguel Enrique Alcalá Adrianzén

<https://orcid.org/0000-0002-5478-5910>

Trujillo - Perú

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Avendaño Delgado Enrique Martin</b>	<b>18087740</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Santos Gonzales César Enrique</b>	<b>41458690</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Alfaro Caballero Mario Alberto</b>	<b>07752467</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## **DEDICATORIA**

A Dios por estar conmigo en cada paso que doy y permitirme hoy ver los frutos de mi esfuerzo. “Dad gracias al Señor, porque Él es bueno; porque para siempre es su misericordia”

(1 Crónicas 16:34).

A mis padres Víctor y Elia y a mi hermana Rosa, por su apoyo incondicional, por creer en mí y por enseñarme a perseverar y nunca rendirme.

A mi querido sobrino Iktan, mi mayor motivación en la vida, mi pedacito de cielo.

A mi amiga Jubitza por incentivarne a seguir adelante

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis Padres, por ser los autores principales de mi vida, por sus consejos, su amor, dedicación, cuyo esfuerzo logrado dan resultado a un proyecto más que culmino.

A mi hermana por ayudarme a no darme por vencida, es uno de los pilares de mi vida, además de ser mi hermana ha sido una amiga que está ahí por si quiero rendirme.

A mis amigos y compañeros por los buenos momentos que hemos compartido. Creo que todos hemos aprendido y aprendemos continuamente de todos y de nosotros mismos, tanto profesional como personalmente. Y eso es enriquecedor en ambos ámbitos.

A mis profesores de la carrera, por enseñarme todo lo que sé y más que eso, guiarme para ser una mejor persona y profesional. En especial al Ing Miguel Alcalá, por su gran apoyo y entusiasmo en el desarrollo de la tesis.

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Antecedentes	13
1.3. Bases Teóricas	17
1.3.1. Mantenimiento de Equipos	17
1.3.2. Tipos de Mantenimiento	18
1.3.3. Disponibilidad de máquinas	21
1.3.4. Fallas	22
1.3.5. Herramientas para el análisis de fallas	22
1.4. Definición de términos	24
1.5. Problema	25
1.6. Objetivos	25
1.7. Hipótesis	26
1.8. Justificación	26
1.9. Aspectos éticos	26
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	28
2.1 Tipo de investigación	28
2.2. Población y muestra	28
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	29
2.4. Procedimiento	29
2.5 Operacionalización de las variables	31

2.6 Diagnóstico de la empresa	33
2.7 Cadena de valor	334
2.8 Disponibilidad antes de las propuesta	337
2.8.1 Diagnóstico de la dimensión planificación	38
2.8.2 Diagnóstico de la dimensión verificación	38
2.8.3 Diagnóstico de la dimensión funcionamiento	39
2.8.4 Diagnóstico de la dimensión operatividad	41
2.8.5 Diagnóstico de la disponibilidad	42
2.8.6 Diagrama de Ishikawa	43
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>	<b>51</b>
3.1 Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo y estimaciones de mejora	51
3.2 Disponibilidad después de la implementación de la propuesta	52
3.2.1 Estimación de las mejoras en la dimensión planificación	52
3.2.2 Estimación de las mejoras en la dimensión verificación	53
3.2.3 Estimación de las mejoras en la dimensión funcionamiento	54
3.2.4 Estimación de mejoras en la operatividad	55
3.2.5 Estimación de mejoras en la disponibilidad	56
3.3. Comparación de resultado	52
3.3.1 Comparación de gastos antes y después de la propuesta	57
3.3.1 Comparación de indicadores antes y después de la propuesta	57
3.4. Viabilidad de la propuesta	61
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>65</b>
4.1 Discusión	65
4.2 Conclusiones	69
<b>REFERENCIAS</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Operacionalización de las variables .....	32
<b>Tabla 2</b>	Mantenimientos programados .....	38
<b>Tabla 3</b>	Mantenimientos realizados .....	39
<b>Tabla 4</b>	Tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo promedio para la falla (MTTF) .....	40
<b>Tabla 5</b>	Diagnóstico de la operatividad.....	41
<b>Tabla 6</b>	Diagnóstico de la disponibilidad de máquinas.....	42
<b>Tabla 7</b>	Pérdidas monetarias relacionadas con CR1 (Métodos): Falta de mantenimientos preventivos .....	45
<b>Tabla 8</b>	Pérdidas monetarias relacionadas con CR2 (Medio ambiente): Desorden en áreas de trabajo .....	45
<b>Tabla 9</b>	Pérdidas monetarias relacionadas con CR3 (Materiales): Demoras en las entregas de los repuestos .....	46
<b>Tabla 10</b>	Pérdidas monetarias relacionadas con CR4 (Mano de obra): La empresa no realiza capacitaciones .....	46
<b>Tabla 11</b>	Pérdidas monetarias relacionadas con CR5 (Mediciones): Incumplimiento de mantenimientos programados.....	47
<b>Tabla 12</b>	Pérdidas monetarias relacionadas con CR6 (Maquinaria): Exceso de fallas en máquinas.....	47
<b>Tabla 13</b>	Matriz AMEF de procesos .....	50
<b>Tabla 14</b>	Estimaciones en mantenimientos programados .....	53
<b>Tabla 15</b>	Estimación de los mantenimientos realizados.....	53
<b>Tabla 16</b>	Estimación en el tiempo medio entre fallas (MTBF) y en el tiempo promedio para la falla (MTTF).....	54
<b>Tabla 17</b>	Estimación de la operatividad .....	56
<b>Tabla 18</b>	Estimación de la disponibilidad .....	57

<b>Tabla 19</b>	Comparación en gastos por causa raíz antes y después de la propuesta.....	58
<b>Tabla 20</b>	Comparación de resultados actuales con estimaciones.....	59
<b>Tabla 21</b>	Costos por llevar a cabo la propuesta (Montos en soles) .....	61
<b>Tabla 22</b>	Costos por no llevar a cabo la propuesta (Montos en soles) .....	61
<b>Tabla 23</b>	Flujo de caja neto proyectado (Montos en soles) .....	62
<b>Tabla 24</b>	Indicadores financieros.....	62



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Participación según tipo de publicación.....	17
<b>Figura 2</b>	Actividades de la cadena de valor de la empresa DHP ROCK DRILL S.A.C. ....	34
<b>Figura 3</b>	Plano de ubicación de la empresa.....	35
<b>Figura 4</b>	Layout actual de la empresa .....	36
<b>Figura 5</b>	Mapa general de procesos .....	37
<b>Figura 6</b>	Ishikawa de la ineficacia de los mantenimientos preventivos en la empresa.....	44
<b>Figura 7</b>	Diagrama de Pareto de las causas raíz de la baja disponibilidad de máquinas antes de implementación de propuesta.....	48
<b>Figura 8</b>	Diagrama de Pareto de las causas raíz de la baja disponibilidad de máquinas después de implementación de propuesta .....	58
<b>Figura 9</b>	Comparación de mantenimiento preventivo – antes y después.....	60
<b>Figura 10</b>	Comparación de disponibilidad de máquinas – antes y después.....	60
<b>Figura 11</b>	Comparación de costos con y sin propuesta.....	62

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar en qué medida el diseño de un mantenimiento preventivo aumenta la disponibilidad de las máquinas de una empresa constructora de Trujillo, en el año 2022. La investigación se desarrolló bajo una metodología de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, de tipo aplicada y diseño pre-experimental considerando a todas las actividades de mantenimiento preventivo que contempló el diseño del sistema como población y muestra. Se recolectaron datos a través de una ficha de observación en visitas a la empresa en coordinación previa con el gerente. Se diseñó el sistema de mantenimiento preventivo a las 8 máquinas de mayor utilización en la empresa y se encontró que la disponibilidad aumenta de 55% a 96% con la implementación del sistema diseñado, lo que representa una variación del 41% de los índices actuales. En el análisis costo-beneficio de la implementación se encontró que:  $B/C=1.20$ ,  $VAN >0$ ,  $TIR=134\%$ ,  $IR=6.01$  y  $PRI= 7.6$  meses por lo que la propuesta es viable. Se concluye afirmando que el sistema de mantenimiento preventivo diseñado aumenta la disponibilidad de las máquinas en la empresa analizada y es económicamente viable, generando beneficios para la empresa.

**PALABRAS CLAVES:** *Análisis de fallas, AMEF, maquinaria pesada.*

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

#### **Contexto actual:**

La competitividad en las grandes empresas surgió de las altas demandas y exigencias del mercado que las llevó a mejorar en todas sus áreas constantemente; sin embargo, se descuidaron ciertas áreas, como las de mantenimiento (Bellido et al., 2018). Internacionalmente, solo las empresas grandes y de renombre emplearon mantenimientos predictivos y planificaron en base a posibles deficiencias en su producción, pero la realidad de las empresas de menor tamaño fue que consideraron lo anterior como un gasto innecesario generando paradas por daños en las maquinarias (García, 2017).

En el sector de la construcción, generalmente las empresas tienen sus propias máquinas o las alquilan a otras. Esto comprende tanto a las máquinas que se utilizan para la construcción, como para las que utilizaron en trabajos mineros, obras públicas y otros. Este rubro se reparte entre países importadores de maquinarias y los exportadores de las mismas, siendo pocos los que por excelencia distribuyeron máquinas a nivel mundial (Palomino et al., 2017).

En todas las empresas del sector de construcción del mundo, la presencia de averías en las máquinas es virtualmente imposible que no suceda debido al uso prolongado de dichos activos (Yagual et al., 2018); por lo tanto, la implementación de estrategias aporta beneficios en su preservación de manera reactiva, predictiva o preventiva, siendo crucial para alargar la vida útil y alcanzar funciones óptimas. Ello conlleva consecuencias favorables para las organizaciones, facilitando la generación superior de un retorno sobre la inversión.

En el ámbito nacional, el mercado de las máquinas destinadas para la construcción, el mercado minero y la realización de obras públicas están estrechamente relacionados. El mercado de estas máquinas es principalmente el de la construcción y la minería, siendo totalmente dependiente de estos, por lo que el comportamiento de este mercado no es posible separarlo de quienes son sus principales fuentes de ingresos (Palomino et al., 2017). A lo largo de la historia, la industria minera y de la construcción son una de las principales fuentes de la economía del Perú que aportan en gran medida al PBI y son las actividades que han mantenido a lo largo del tiempo su aporte (INEI, 2021). De allí que, ante la paralización de maquinarias por fallas, las pérdidas económicas para el país son considerables.

En las empresas que presta servicios a estos sectores a través del alquiler de maquinaria, el gran nivel de uso de las mismas genera que constantemente presenten fallas (Vargas et al., 2017); por lo tanto, deberán implementarse estrategias que conlleven la preservación de las máquinas y a un crecimiento de producción constante, logrando con ello el crecimiento de la empresa.

La empresa DHP Rock Drill, S.A.C. ubicada en Trujillo, con operaciones desde hace 12 años está dedicada al rubro de la construcción civil, obras civiles y alquiler de maquinarias con una cartera de clientes considerable, principalmente empresas constructoras y mineras. Gracias a ello, al paso del tiempo han adquirido mayor cantidad de maquinarias para sus operaciones y en la actualidad dispone de 32 entre cargadores frontales, motoniveladoras, rodillos, retroexcavadoras, excavadoras, entre otras, para las cuales no dispone de mantenimientos planificados y generalmente se realizan mantenimientos correctivos.

Debido a esto, se originan paralizaciones en plena producción y una cantidad importante de mantenimientos correctivos. En años anteriores hubo pérdidas económicas considerables y de horas de trabajo debido a las fallas inesperadas, lo que genera baja confiabilidad y disponibilidad de las máquinas, además de altos costos por mantenimientos. Por lo tanto, la empresa requiere que actualmente tener mejores índices de eficiencia, que repercutan en la productividad y maximicen el rendimiento de sus equipos, para así atenuar los costes y optimizar los procesos productivos.

Adicionalmente, se evidencia que el planificador tiene una sobrecarga de labores ya que en ocasiones debe suplir el cargo de supervisor de relevo y el trabajo es planificado de emergencia, obviando aspectos importantes que generan fallas en las máquinas. De no solventarse esta situación, en la empresa se seguirán teniendo pérdidas que la hará insostenible y poco podrán aprovechar las oportunidades que brinda actualmente el mercado para su crecimiento.

## **1.2. Antecedentes**

### **A nivel internacional:**

En investigaciones previas se han estimado las consecuencias de no realizar mantenimientos preventivos y su afectación a la disponibilidad de las máquinas. En el ámbito internacional, Olivo (2018), se propuso como finalidad desarrollar un plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada en una empresa de Ecuador aplicando la normativa establecida por entes gubernamentales como la COVENIN 2500-93 y NTP 679 logrando mejorar los procesos de disponibilidad de maquinaria con un aumento de la misma en un 3,01%, reduciendo notablemente los costos destinados a mantenimientos, así

como una aceptación significativa del plan, ya que fue una ayuda técnica importante para los planes de gestión y de operación de las maquinas.

Por su parte, Montoya (2017), presentó el diseño de un mantenimiento preventivo a la maquinaria de una empresa siderúrgica en Colombia, teniendo como finalidad mantener la vida útil de las mismas basándose en los requerimientos y normativas propias de la empresa bajo parámetros establecidos de acuerdo a la finalidad de cada maquinaria. En el estudio se logró el desarrollo de fichas técnicas que permitieron la obtención de certificación ISO9001, seleccionar equipos críticos influyentes en los procesos de producción, desarrollar el plan de acción de dichos equipos, establecer normativas adecuadas dirigidas a los operarios de los equipos, mejorar la gestión de órdenes de trabajo que permitieron a cualquier persona la ejecución de las actividades operarias, llevando a que los encargados cumplieran con un mayor control las actividades ejecutadas garantizando productos de calidad disponibles al público consumidor.

Alarcón y Romero (2021), presentaron un diseño enfocado en la mejora del desempeño operacional en una empresa de Ecuador, determinando que el diseño de un plan de mantenimiento preventivo es necesario para los procesos fundamentales de una empresa productora, ajustándose los conocimientos y capacitaciones del personal para alargar la vida útil de la maquinaria, así como la necesidad de establecer un mantenimiento semestral de los componentes que intervienen directamente en los procesos de producción, sustentándose tanto en documentación vigente como en personal especializado, agregando que la estructuración de una normativa en torno al mantenimiento con fechas, horarios y procesos es necesaria para la mejora de la productividad de la empresa.

Rubio (2019), presentó un plan de mantenimiento para la maquinaria pesada y vehículos administrativos utilizados por el gobierno regional de una localidad en Colombia considerando que no existía un plan de mantenimiento preventivo para estos. Se determinó que al 67% les han practicado mantenimiento correctivo, 32% preventivo y 11% se encontró inoperativo. El autor concluyó que la implementación del plan de acción redujo significativamente los niveles con reducción del 60% en el mantenimiento preventivo y un 30% en el correctivo que conllevó mejoras en la productividad de la empresa.

Freire (2019), presentó un plan de mantenimiento basado en Weibull enfocado en inyectoras horizontales de polímeros en una empresa en Ecuador, determinando el estado de las maquinas bajo NTP 69, los parámetros para el mantenimiento de acuerdo a NTP331 y la fiabilidad de Weibull. Bajo estos parámetros estableció las gamas y momentos de mantenimiento preventivo en un tiempo mensual para mantener un control adecuado de la maquinaria, con lo que se evitó el retraso en los procesos de producción.

### **A nivel nacional**

Alba y Chingay (2019) realizaron una investigación con la finalidad de brindar una mejoría en la disponibilidad de equipos médicos en un centro hospitalario estatal de la municipalidad de Huaraz. Determinaron la inexistencia de planes de mantenimientos preventivos específicos o propios; tras el análisis situacional inicial la disponibilidad promedio fue del 86%; posteriormente de las acciones e implementación de un plan de mantenimiento preventivo acorde a las necesidades observadas, se incrementó la disponibilidad de los equipos biomédicos a un 94%.

Asimismo, Suárez (2018) se propuso mejorar la disponibilidad de equipos en una corporación de manejo de residuos sólidos peligrosos en Lima mediante la implementación

de un plan de mantenimiento preventivo; identificó antes de la mejora la baja disponibilidad de los equipos, aplicando el mantenimiento preventivo mejoró la disponibilidad, pasando de un 6,31% a 93,43%.

Igualmente, Talabera (2019) se propuso implementar estrategias de mantenimiento preventivo para la mejoría de disponibilidad de maquinarias textiles para una organización con sede en la capital del país. Sus resultados mostraron el incremento de un 15,63% en la disponibilidad de dos máquinas críticas, alcanzando el 98,60%, además, obtuvieron un valor actual neto (VAN) de proyecto de 51.553 soles y una tasa de retorno (TIR) igual al 24%, dejando a la vista la utilidad de las labores realizada en la organización.

Finalmente, Obeso y Yaya (2018) desarrollaron un estudio basado en el mantenimiento productivo total (TPM) en una empresa productora de harina de pescado en Chimbote. Luego de 12 días de la aplicación del TPM, el tiempo de producción bajó 6 minutos, disminuyendo las fallas y tiempos muertos en la producción, por lo que se incrementó la producción de sacos de harina de 15 a 17 por hora y la productividad se incrementó en 16.32% luego de un año de implantado el proceso de mantenimiento.

### **A nivel local**

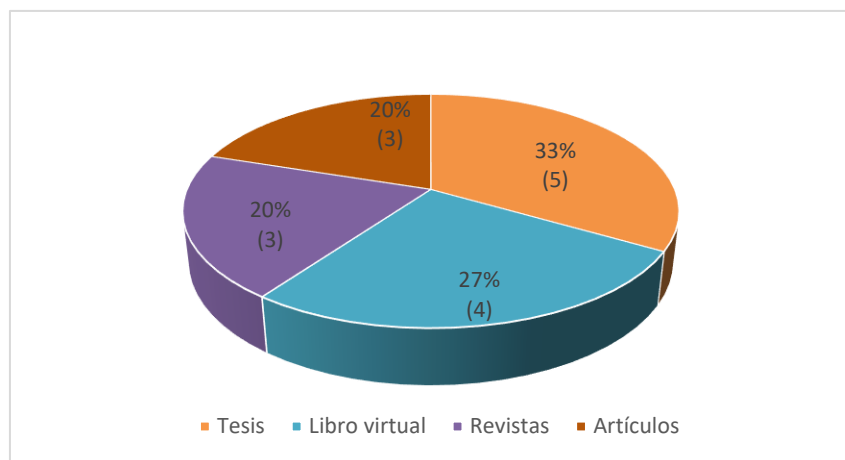
Ramos (2017), realizó un estudio donde sostuvo el propósito de incrementar la disponibilidad de maquinarias mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo en una corporación de metalurgia en Trujillo. Determinó el nivel de criticidad en la maquinaria, hallando que los críticos son el torno vertical, fresadora, torno paralelo y mandrinadora. Posterior a ello, esquematizó el programa adecuado y aplicó la matriz AMFE. En el estudio se logró el incremento de la disponibilidad de la mandrinadora en un 96,96%, de la fresadora en 94,79% y del torno un 93.84%.



Angulo y Orellana (2021) realizaron un estudio basado en la revisión sistemática de la literatura sobre la importancia del mantenimiento para aumentar la disponibilidad de la maquinaria durante el período 1991 – 2020 a través de buscadores académicos confiables que les brinde información relevante sobre el tema, encontrando registros en tesis, libros virtuales, artículos y revistas siendo 15 publicaciones entre el 2001 y 2019 las que cumplieron con los criterios de investigación de su estudio, teniendo las tesis una participación de 33% (5), los libros virtuales 27% (4), los artículos 20% (3) y las revistas 20% (3); confirmando que “sin mantenimiento en las máquinas no hay producción en una empresa”.

**Figura 1**

*Participación según tipo de publicación*



*Nota.* Adaptado de % *Participación según tipo de publicación*, de Angulo y Orellana (2021), Tesis pregrado. Mantenimiento para aumentar la disponibilidad de máquinas.

### 1.3. Bases Teóricas

#### 1.3.1. Mantenimiento de Equipos

El mantenimiento de equipos garantiza la operatividad de una maquinaria de tal forma que la actividad productiva continúe y no se suspenda a causa de alguna falla en la maquinaria. Se caracteriza por ser un procedimiento útil para conservar los

equipos empresariales de tal forma que puedan estos ejecutar las funciones propias de su naturaleza, siendo su objetivo principal prevenir o eludir el deterioro de máquinas y equipos y restablecer su productividad. Su concepto incorpora actividades como reparación, reemplazo de piezas y servicio (Medina, 2022).

Todas las actividades que se llevan a cabo para preservar y cuidar la maquinaria de una empresa, de tal forma que operen en buenas condiciones, forman parte del mantenimiento, que busca que los equipos y/o instalaciones tenga una óptima ejecución de sus funciones. Actualmente, va más allá de reducir las fallas de los equipos y se orienta no solo a cuidar y mantener los equipos operativos extendiendo su vida útil, sino también mejorar la productividad con un menor costo teniendo en cuenta de que se desarrolle en un marco que preserve el medio ambiente (Villajulca, 2021).

Asimismo, según afirma García son todos los procedimientos que se realicen para preservar y extender en el tiempo el buen funcionamiento de los equipos con miras a obtener la mayor productividad (como se citó en Arévalo, 2021).

### **1.3.2. Tipos de Mantenimiento**

#### **Mantenimiento Correctivo:**

Son las actividades realizadas con la finalidad de arreglar o mejorar un equipo que presenta un desperfecto, deterioro o falla, de tal forma que garantice su operatividad (Villajulca, 2021)

### **Mantenimiento Predictivo:**

Este tipo de mantenimiento es programado y se sustenta en la evaluación técnica, la observación y el seguimiento de la maquinaria de la empresa permitiendo detectar posibles averías. Se realiza siempre que el diagnóstico así lo amerite (Valdiviezo, 2017 como se citó en Nureña, 2022).

Además, permite conocer algunos elementos definidos que caracterizan el buen estado y funcionamiento de la maquinaria a través del permanente monitoreo de los equipos e instalaciones (Arévalo. 2021)

### **Mantenimiento Preventivo:**

El mantenimiento preventivo incluye una serie de supervisiones o inspecciones planificadas con la finalidad de advertir sobre el estado de la maquinaria y encontrar oportunamente posibles inconvenientes en su ejecución que podrían representar fallas que provoquen una mayor avería en la maquinaria con la consecuente de la paralización de la misma (Mora, 2019 según se citó en Nureña, 2020). Tratándose de equipos que necesiten estar operativos continuamente, es imprescindible e irremplazable realizar este tipo de mantenimiento, dado que permitirá reducir tanto los riesgos de fallas como el tiempo que el equipo tenga que parar sus funciones (Nureña, 2022).

Según Arévalo (2021), este tipo de mantenimiento busca sostener un determinado grado de servicio en los equipos de la empresa para lo cual planifica las reparaciones en el momento más adecuado.

La teoría expone que los mantenimientos preventivos son las actividades de preservación realizadas con periodicidad a cierta maquinaria, lo cual reduce las probabilidades de que la misma funcione de manera inadecuada o se detenga; esto se conoce como mantenimientos de rutina y son programados de acuerdo al conocimiento que se tenga sobre la misma y sus requerimientos. Los mantenimientos preventivos son realizados mientras los equipos se encuentren operativos para así evitar que presenten averías de forma inesperada y dé lugar a periodos de inoperatividad no programada (Moreano y Pérez, 2020).

El mantenimiento preventivo es comprendido como la totalidad de esfuerzos y actuaciones que son adoptadas por las áreas gerenciales de mantenimiento, con el propósito de preservar las maquinarias y equipamiento en condiciones óptimas de función, con esto evadiendo fallas y desajustes imprevistos, es decir, es el abordaje de deficiencias de cualquier índole previo a la llegada de fallas o paradas (Vargas et al., 2017).

El modelo teórico planteado por Palencia (2012) expone que los mantenimientos preventivos deben ser, en principio, planificados, considerando a la planificación como primer factor. Esta planificación debe ser registrada y programada para adecuar al personal, materiales y paradas de las máquinas en torno a ello, considerando el compromiso por parte de los responsables para que esto se cumpla (Palencia, 2012).

El segundo factor es la verificación, ya que los responsables deben rectificar que lo programado se haya cumplido llevando registro de ello y de los tiempos requeridos para cada acción de mantenimiento preventivo; cuando una acción

programada no fue realizada, debe reprogramarse buscando evitar lo que ocasionó que no se realizara (Palencia, 2012).

### 1.3.3. Disponibilidad de máquinas

Asimismo, la disponibilidad puede ser comprendida como la proporción de tiempo en la que una maquinaria o equipamiento es competente para la realización de sus funciones. Esta difiere del concepto de confiabilidad, el cual es el tiempo de reparación, es decir un particular de una maquinaria podría ser poco confiable, pero si es posible repararlo de manera rápida al instante que presente el fallo, la disponibilidad puede traducirse como alta (Flores y Vargas, 2020).

De acuerdo a Mora (2009) se deben considerar indicadores de disponibilidad que permiten la evaluación de la misma básicamente agrupados en dos factores. El primero relacionado con el funcionamiento y el segundo con la operatividad.

El funcionamiento se refiere a la cantidad de fallas que hacen que la máquina se detenga quedando improductiva y la cantidad de fallas que se presentan sin representar que la máquina se detenga; en cuanto a la operatividad, esta abarca los tiempos que se utilizan para la atención y reparación de las fallas que se producen en las máquinas calculándose los promedios de esto para buscar mejorar la productividad (Mora, 2009). Así, la fórmula de disponibilidad ( $A$ ) planteada por este autor es la siguiente:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

Por lo tanto, se debe calcular el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de las reparaciones (MTTR) considerándose el tiempo medio para que se

presenten las fallas (MTTF) (Mora, 2009). Siguiendo lo indicado por el autor, las fórmulas planteadas son las siguientes:

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ paradas correctivas}}$$

$$MTTF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparaciones}}{N^{\circ} \text{ reparaciones correctivas}}$$

#### 1.3.4. Fallas

Hablamos de falla cuando un equipo o maquinaria no puede realizar su función e interrumpe su tiempo de operatividad y por ende de producción. En dicho caso, es posible que la maquinaria aún funcionando, no lo hace a plenitud y puede incluso representar riesgos (Villajulca,2021).

Gómez ratifica que, si un equipo no es capaz de realizar la función para la que está programado, eso representa una avería consecuencia de una falla del equipo producida en alguna de etapa del ciclo de vida del mismo, ya sea en su especificación, diseño, fabricación, mantenimiento o mal uso (como se citó en Arévalo, 2021).

Para Bernasconi evaluar una falla no es una tarea simple, implica descubrir o detectar la causa que la genera y eliminarla y demanda una serie de pasos, metodologías y elementos involucrados (como se citó en Villajulca, 2021).

#### 1.3.5. Herramientas para el análisis de fallas

Según Anaguano (2018), las técnicas gráficas permiten reconocer una falla y facilitar su interpretabilidad, razón por la cual son las de mayor uso en el análisis de

fallas. En esta investigación abordaremos el problema y sus posibles causas y soluciones, a través de las siguientes herramientas:

### **Diagrama de Pareto**

Esta herramienta permite analizar la problemática estableciendo prioridades según la importancia de los problemas dentro de un determinado sistema, de tal forma que a los de mayor relevancia se les pueda prestar mayor atención y urgencia. Es una gráfica sencilla en el que a través de un sistema de barras se puede visualizar los problemas según el orden de importancia (Anahuano, 2018)

Tal como lo reafirma Villajulca (2021), la regla 80/20 de Pareto expresa que el 80% de los efectos de un problema se deben al 20% de las causas involucradas.

### **Diagrama de Ishikawa**

También conocido como diagrama causa-efecto, esta herramienta sintetiza en un esquema las posibles causas de una falla y de esta forma permite determinar los planes a seguir para eliminar y/o controlar la falla, siendo ampliamente utilizada.

En la gráfica con forma de espina de pescado, los problemas o fallas se anotan en el lado derecho y en el lado izquierdo se indican todas las causas que estarían generando la falla y se van agrupando según su semejanza. Su utilidad se extiende a las fases de diagnóstico, corrección y solución de un problema o falla (Villajulca, 2021)

### **Análisis de modo y efecto de falla (AMEF)**

La NASA desarrolla esta metodología con el objeto de determinar la confiabilidad de los equipos a través del conocimiento de las fallas y su implicancia en la operatividad de los mismos. Según Villajulca (2021) esta herramienta permite

analizar y evaluar las fallas a través del exhaustivo conocimiento de los equipos, sus sistemas y componentes que integran, el conocimiento del diseño, de los procesos y materiales de fabricación. La recopilación y clasificación de esta información permite evitar que la falla vuelva a ocurrir y disponer de un método de prevención debidamente documentado.

Asimismo, se basa en cuatro principios:

- Función del sistema: establecer el estándar de operatividad del equipo o sistema
- Falla funcional del sistema: determinar cuando el equipo o sistema deja de operar según el estándar establecido
- Modo de falla: conocer los errores que causan que el equipo o sistema tenga un resultado no esperado al no realizar su función.
- Efectos de la falla: consecuencia de la falla.

#### **1.4. Definición de términos**

- Mantenimiento: Actividades que se ejecutan para conservar en óptimas condiciones la maquinaria, equipo e instalaciones de una empresa, para que ésta opere con la mayor eficiencia, seguridad y economía (Villajulca, 2021).
- Falla: Cuando un equipo no presenta la función prevista (Villajulca, 2021).
- Mantenimiento preventivo: Intervención del activo de producción antes de que se presente la falla (Sánchez, 2021).
- Disponibilidad mecánica: Indicador que muestra la probabilidad en el tiempo de garantizar la operación de un equipo o sistema y está dada por la relación de la fiabilidad MTBF y mantenibilidad MTTR (Anahuano, 2018).



- MTBF (Tiempo Medio entre Fallas): Es la frecuencia promedio de eventos de paradas de los equipos expresadas en horas y se obtiene dividiendo el total de horas operadas sobre el número de paradas (Sánchez, 2021).
- MTTF (Tiempo Promedio para la Falla): Tiempo promedio que un equipo o máquina cumple su función sin interrupción debido a interrupciones por fallos. Resulta de dividir el tiempo total de operación entre el número de fallos (Arévalo, 2021).
- MTTR (Tiempo Medio de Reparación): Tiempo en el que la máquina se encuentra inoperativa para cumplir sus funciones. Su valor indica el tiempo promedio que tarda la reparación a una maquinaria por causa mecánicas (Huidobro, 2017, como se citó en Medina, 2022).

### 1.5. Problema

¿En qué medida el diseño de un sistema de mantenimiento preventivo influye en la disponibilidad de máquinas en una empresa constructora, Trujillo 2022?

### 1.6. Objetivos

#### **Objetivo general:**

Determinar en qué medida el diseño de un sistema de mantenimiento preventivo influye en la disponibilidad de máquinas en una empresa constructora, Trujillo 2022.

#### **Objetivos específicos:**

- Determinar la disponibilidad de máquinas antes de la propuesta y las causas raíz.
- Elaborar el diseño del sistema de mantenimiento preventivo.
- Determinar la disponibilidad después de la propuesta.
- Evaluar a través de la metodología costo-beneficio la viabilidad de la propuesta a través de los indicadores flujo de caja y VAN, TIR, IR.

### **1.7. Hipótesis**

El diseño de un sistema de mantenimiento preventivo incrementa en más de 96% la disponibilidad de máquinas en una empresa constructora, Trujillo 2022.

### **1.8. Justificación**

La realización del estudio se justificó en el aspecto teórico por el aporte a los conocimientos sobre los mantenimientos preventivos y disponibilidad de máquinas, la actualización de datos respecto a dichas variables y la reafirmación de teorías existentes sobre los beneficios de los mantenimientos preventivos. Asimismo, en el aspecto metodológico se aportó con instrumentos de medición válidos y confiables que son útiles para futuros estudios y para que la empresa evalúe constantemente este factor y puedan corregir fallas a tiempo. En el aspecto práctico, las evidencias de las fallas encontradas en la maquinaria de la empresa sirven de base para la toma de decisiones correctivas relacionadas con los mantenimientos; además, con la viabilidad costo-beneficio se conoce el beneficio del sistema de mantenimiento preventivo diseñado en la solución de problemas que se presentan a diario.

### **1.9. Aspectos éticos**

Es necesario indicar que el trabajo fue auditado por el supervisor de la empresa en estudio para la comprobación de que los datos no fueron adulterados y que los resultados son de utilidad. De igual forma, se espera que el estudio sea considerado como una guía para otras investigaciones. Como la investigación involucra a seres humanos como participantes se trataron con respeto, fraternidad y dignidad, se siguieron estos principios consignados en la declaración Universal de los Derechos Humanos de 1948, encargada de guiar las investigaciones de todas las disciplinas. Se respetó la propiedad intelectual de diversos

autores realizando la debida referencia de las obras utilizadas para el basamento teórico del estudio. Se declara la completa autenticidad de la investigación desarrollada libre de plagio.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Según el propósito, es considerada aplicada puesto que el estudio busca abordar un problema y de acuerdo a ello plantear soluciones (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), en este caso, soluciones de mantenimiento que mejoren la disponibilidad de máquinas planteando una hipótesis y los objetivos de estudio.

Según el enfoque, se trata de datos cuantificables, por ello es un estudio cuantitativo, procesando la información de manera numérica y utilizando la estadística a fin de responder a los objetivos (Hernández et al, 2014).

El alcance se enmarca dentro del tipo descriptivo, a lo que Hernández et al. (2014) indican que se utilizan para la descripción del comportamiento de los fenómenos que se analizan.

El diseño de estudio será pre experimental debido a que una de las variables fue manipulada, es decir, se aplican estímulos en una variable para evaluar el comportamiento de la otra por esa variación (Hernández et al., 2014), en este caso, se midió la reacción de la variable disponibilidad de máquinas ante el sistema de mantenimiento preventivo.

### 2.2. Población y muestra

#### **Población:**

En palabras de Bernal (2010) la población es un conjunto de individuos, objetos o fenómenos con similares características o propiedades que son incluidas en un estudio. Por esa razón, la población estuvo compuesta por todas las actividades del área de mantenimiento que son realizadas de acuerdo a la máquina como las inspecciones,

limpiezas, verificaciones/chequeos, revisiones, evaluaciones, reemplazo de piezas preventivos, comprobación de estado de los componentes, ajustes, configuraciones, depuración de filtros y drenajes.

### **Muestra:**

Es el grupo de elementos que realmente será incluido para el estudio, caracterizado por ser un reflejo fiel del universo (Bernal, 2010). En la investigación, la muestra fue censal debido a que se consideraron la totalidad de las actividades del área de mantenimiento que forman parte de la población.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **Técnicas:**

- Observación directa: visitas a la empresa constructora para verificación de base de datos

### **Instrumentos:**

- Ficha de datos área de mantenimiento (anexo 3), para el registro de cada uno de los indicadores.

Con el soporte de la estadística, se recopilaron, organizaron e interpretaron los datos a fin de tener una mayor claridad y conocimiento de los mismos. Las representaciones gráficas de los datos estadísticos, se usaron para destacar las características más relevantes de la investigación a fin de que sean más comprensibles.

## **2.4. Procedimiento**

Para dar respuesta a cada uno de los objetivos, se siguieron los siguientes procedimientos:

- Se determinó la disponibilidad de máquinas antes de la propuesta y las causas raíz de pérdidas monetarias. Se realizaron visitas en la empresa para verificar los registros de

enero a junio de 2022 sobre las fallas de las máquinas. Esta información fue ordenada en una hoja de cálculo de Excel para agruparlos y aplicar las fórmulas de los indicadores que reflejan la disponibilidad de las máquinas mostrados en tablas resumidas por meses. Asimismo, se realizó un diagrama de Ishikawa para establecer los elementos del problema a través de conversaciones con gerentes y trabajadores a fin de establecer las razones de las pérdidas monetarias que genera la disponibilidad de las máquinas de la empresa.

- Se elaboró el diseño del sistema de mantenimiento preventivo: Fue elaborado el sistema preventivo a las 8 máquinas de mayor uso en la empresa considerando las diferentes actividades de mantenimiento requeridos en sus manuales de usos y consultando a sus operarios los mantenimientos que más requieren las mismas. Se programaron de forma diaria, semanal, mensual, trimestral o anual de acuerdo a las necesidades reflejadas en los mantenimientos ya realizados de cada una.
- Se determinó la disponibilidad después de la propuesta: Siguiendo la información del sistema de mantenimiento diseñado, se estimó la cantidad de fallas y correcciones que podrían presentarse y el tiempo que la maquinaria estaría sin operatividad y se aplicaron nuevamente las fórmulas de los indicadores de la disponibilidad. Finalmente, se compararon estos datos con los obtenidos en el diagnóstico de la situación actual de la empresa y se reflejaron las mejoras que se tendrían luego de la aplicación del sistema de mantenimiento preventivo diseñado.
- Se evaluó a través de la metodología costo-beneficio la viabilidad de la propuesta: Principalmente, se calcularon los costos por llevar a cabo la propuesta considerando todos los elementos necesarios para su ejecución. También, se calcularon los

beneficios de que las máquinas estuviesen operativas el tiempo reflejado en los indicadores y se calculó el VAN y TIR para dar respuesta a este objetivo.

## **2.5 Operacionalización de las variables**

En la siguiente tabla se muestra la operacionalización de las variables a través de dimensiones e indicadores:

**Tabla 1***Operacionalización de las variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
<b>Variable independiente: Sistema de mantenimiento preventivo</b>	Conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos (Palencia, 2012)	Planificación	Sumatoria de horas mensuales programadas	
		Verificación	Sumatoria de horas mensuales realizadas	
		Funcionamiento	MTBF (Tiempo medio entre fallas)	$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ paradas correctivas}}$
			MTTF (Tiempo promedio para la falla)	$MTTF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$
		Operatividad	MTTR- (Tiempo medio de reparación)	$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparaciones}}{N^{\circ} \text{ reparaciones correctivas}}$
<b>Variable dependiente: Disponibilidad de máquinas</b>	Probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables (Mora, 2009)	Disponibilidad	$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$	



## 2.6 Diagnóstico de la empresa

DHP ROCK DRILL S.A.C. es una empresa con experiencia en la prestación de servicios de perforación, inyecciones, voladuras, sostenimiento y reforzamiento de taludes y alquiler de equipos de perforación. Tiene su sede principal en la Zona industrial – La Esperanza.

Actualmente la empresa se dedica prioritariamente al alquiler de equipos de perforación y realiza mantenimiento correctivo de su maquinaria, lo cual al ser ineficiente no satisface el cumplimiento de sus funciones, provocando paralizaciones no programadas, generando una menor disponibilidad de lo esperado y mayor costo de mantenimiento.

Cabe destacar que, dentro de las fortalezas de la empresa, ésta cuenta con recursos financieros adecuados, sus recursos tangibles (maquinaria) son propios y relativamente nuevos y existe apertura de los propietarios, para realizar mejoras en la productividad de la empresa. Sin embargo, las máquinas inoperativas, el mantenimiento inadecuado de la maquinaria, el exceso de mantenimiento correctivo y el desconocimiento del tiempo de reparación y operatividad de las máquinas, constituyen algunas de sus debilidades.

Asimismo, existen oportunidades que pueden ser aprovechadas por la empresa si se considera optimizar el recurso humano, material y financiero, asistencia técnica virtual, repuestos originales y similares de buena calidad y apoyo técnico profesional, no sin antes, considerar, además, que algunas amenazas estarían dadas por la situación política, la legislación por accidentes de trabajo, la inasistencia técnica y los competidores con personal técnico capacitado.

## 2.7 Cadena de Valor

La cadena de valor de DHP ROCK DRILL S.A.C. está dada por las actividades primarias y actividades de apoyo considerando en el primer grupo a logística, equipos y maquinarias y proyectos, y en el segundo grupo a provisionamiento, gestión de recursos humanos e infraestructura de la empresa.

### Figura 2

*Actividades de la cadena de valor de la empresa DHP ROCK DRILL S.A.C.*

ACTIVIDADES DE LA CADENA DE VALOR	
ACTIVIDADES PRIMARIAS	ACTIVIDADES DE APOYO
Logística	Provisionamiento
Equipos y Maquinarias	Gestión de Recursos Humanos
Proyectos	Infraestructura de la empresa

Logística es el área a cargo del acceso a clientes y la recepción de propuestas sobre requerimientos de equipos y/o maquinarias en alquiler, así como el desarrollo y ejecución de proyectos, que son las actividades principales de la empresa, aun cuando en el último año ésta última está limitada. Asimismo, se hace cargo de la validación de la ejecución de la solicitud, la cotización, el procesamiento del pedido y la orden de servicio.

Equipos y Maquinarias se encarga de recepcionar la orden de servicio y atender la solicitud de logística habiendo previamente verificado la funcionalidad y disponibilidad de la maquinaria.

Proyectos planifica, ejecuta, monitorea y cierra la obra de tal forma que cumpla con las especificaciones del contratante dentro de los tiempos establecidos y acordados previamente.

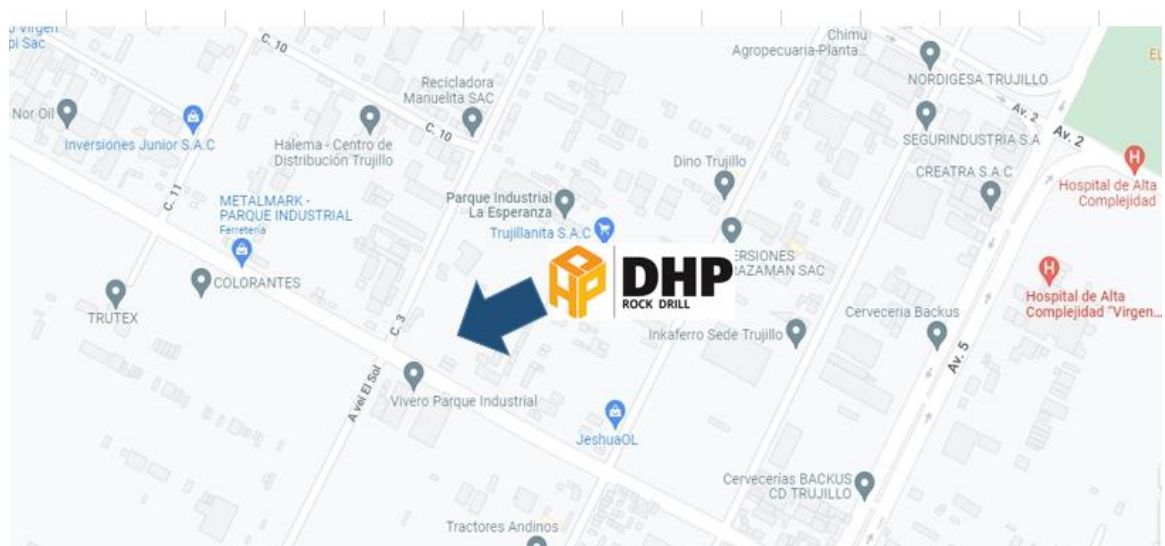
Provisionamiento tiene como responsabilidad la adquisición de equipos, maquinaria, materiales e insumos y esta función es coordinada por logística y gerencia comercial.

Gestión de recursos humanos tiene a su cargo la contratación del personal y la coordinación para la realización de los exámenes médicos ocupacionales de todos los empleados que ingresen a obra.

La infraestructura de la empresa convoca a la gerencia, finanzas y contabilidad, así como el área legal de la empresa.

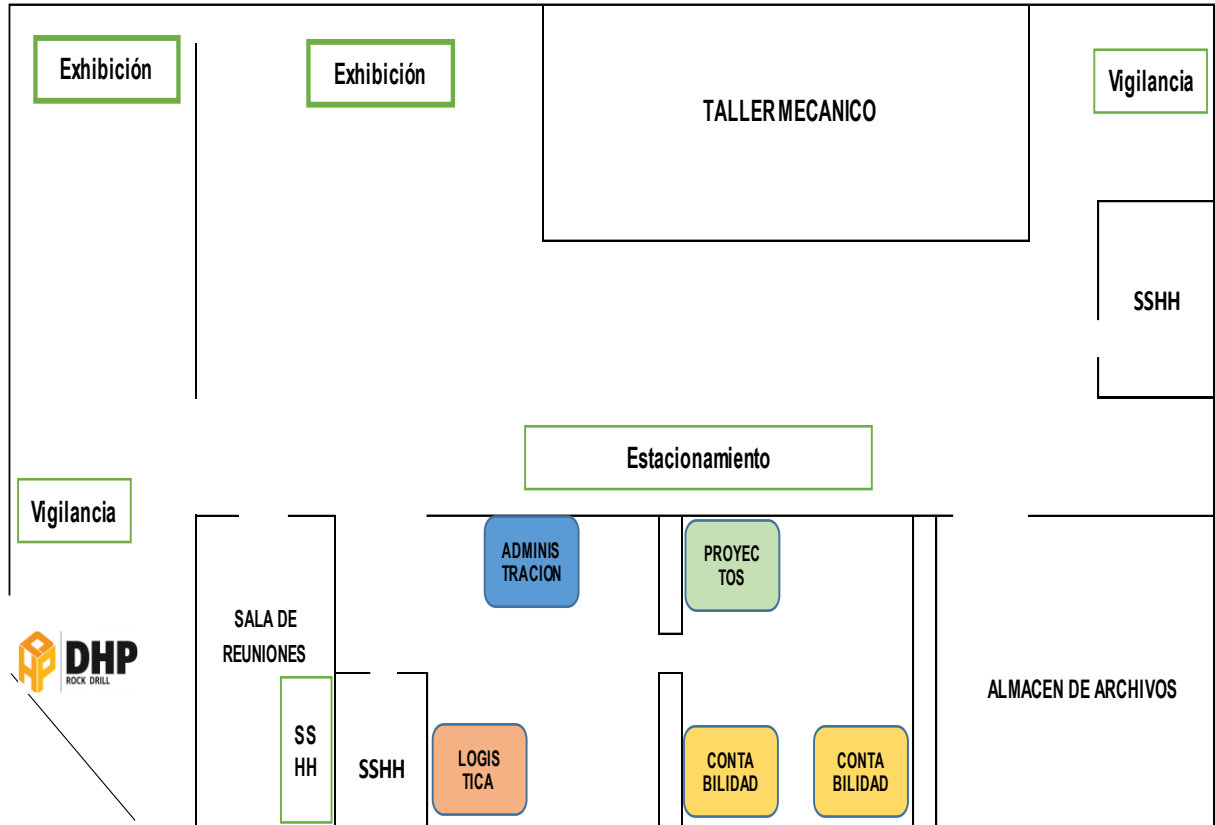
### Figura 3

*Plano de ubicación de la empresa*



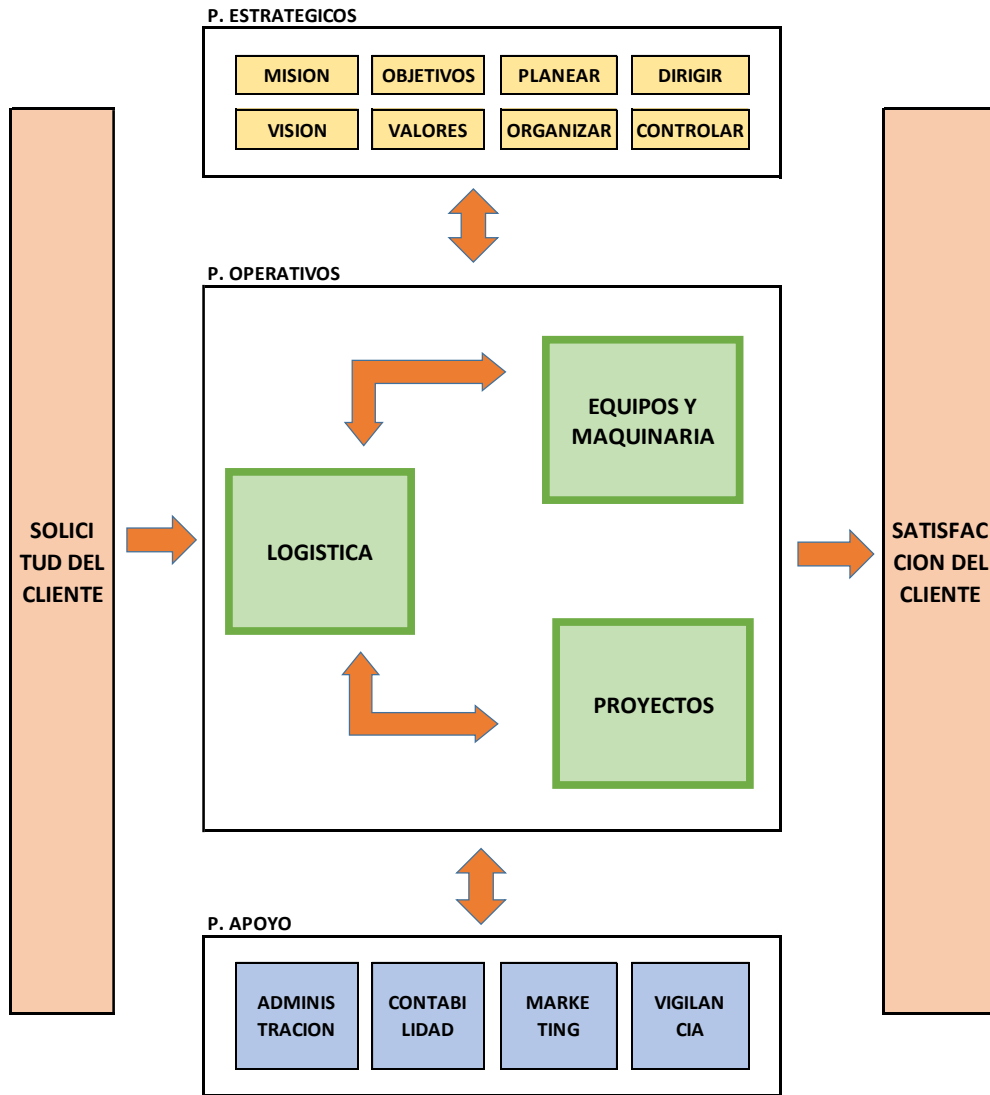
**Figura 4**

*Layout actual de la empresa*



**Figura 5**

*Mapa General de procesos*



## 2.8 Disponibilidad antes de la propuesta

Se presenta el análisis de la situación actual de las 8 máquinas de la empresa que tienen mayor utilización, evaluando los indicadores tanto del mantenimiento preventivo como de la disponibilidad para lo cual fueron considerados 6 meses de operaciones de la empresa.

### 2.8.1 Diagnóstico de la dimensión planificación

La planificación de los mantenimientos preventivos toma en consideración las horas que se programaron para los manteamientos, sumando el total de todas las máquinas.

**Tabla 2**  
*Mantenimientos programados*

Meses	Máquina	Horas de mantenimiento programadas
Enero	Grúa	7
	Cribadora	6
	Pavimentadora	8
Febrero		
Marzo	Excavadora hidráulica	7
	Rodillo neumático	7
Abril	Bomba de tornillo con mezclador	5
Mayo	Compresor	6
Junio	Motoniveladora	7
Total		53

*Planificación = Sumatoria de horas de mantenimiento programado*

*Planificación = 53 horas*

Considerando el indicador, la empresa realizó una programación de 53 horas de mantenimiento en los 6 meses analizados.

### 2.8.2 Diagnóstico de la dimensión verificación

La verificación de los mantenimientos preventivos toma en consideración la suma de las horas de los mantenimientos programados que sí fueron realizados.

**Tabla 3**  
*Mantenimientos realizados*

Meses	Máquina	Horas de mantenimiento programadas	Mantenimientos realizados
Enero	Grúa	7	
	Cribadora	6	X
Febrero	Pavimentadora	8	X
Marzo	Excavadora hidráulica	7	
	Rodillo neumático	7	X
Abril	Bomba de tornillo con mezclador	5	X
Mayo	Compresor	6	
Junio	Motoniveladora	7	X
Total		53	33

*Verificación = Sumatoria de horas de mantenimiento realizado*

$$Verificación = 33 \text{ horas}$$

Como se observa en la tabla anterior, la empresa programó un total de 53 horas de mantenimiento preventivo y realmente realizaron 33, siendo el principal motivo por el que hubo paradas en las máquinas. La cantidad de horas de los mantenimientos realizados representa en 62,2% de los mantenimientos programados.

### 2.8.3 Diagnóstico de la dimensión funcionamiento

Para determinar el funcionamiento de las máquinas se consideran los indicadores de tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo promedio para la falla (MTTF) considerando los datos obtenidos en 6 meses de registro (Ver anexo 4) y las siguientes fórmulas:

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ paradas correctivas}}$$

$$MTTF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$$

**Tabla 4**  
*Tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo promedio para la falla (MTTF)*

Máquina	Horas de operación	Paradas correctivas	Cantidad de fallas	Resultado MTBF	Resultado MTTF
Grúa	459	85	16	$MTBF = \frac{459}{85} = 5.4$	$MTTF = \frac{459}{16} = 28.6$
Cribadora	433	79	17	$MTBF = \frac{433}{79} = 5.4$	$MTTF = \frac{433}{17} = 25.4$
Paviment.	518	110	18	$MTBF = \frac{518}{110} = 4.7$	$MTTF = \frac{518}{18} = 28.7$
Exacav.	484	102	17	$MTBF = \frac{484}{102} = 4.7$	$MTTF = \frac{484}{17} = 28.4$
Rodillo	503	117	15	$MTBF = \frac{503}{117} = 4.2$	$MTTF = \frac{503}{15} = 33.5$
Bomba	472	98	16	$MTBF = \frac{472}{98} = 4.8$	$MTTF = \frac{472}{16} = 29.5$
Compresor	521	123	17	$MTBF = \frac{521}{123} = 4.2$	$MTTF = \frac{521}{17} = 30.6$
Motoniv.	468	87	15	$MTBF = \frac{468}{87} = 5.3$	$MTTF = \frac{468}{15} = 31.2$

Con los datos anteriores se determinó el promedio de ambos indicadores tal como se muestra a continuación:

$$Prom\ MTBF = \frac{5.4 + 5.4 + 4.7 + 4.7 + 4.2 + 4.8 + 4.2 + 5.3}{8} = 4.8$$

$$Prom\ MTTF = \frac{28.6 + 25.4 + 28.7 + 28.4 + 33.5 + 29.5 + 30.6 + 31.2}{8} = 29.4$$

De acuerdo a lo obtenido, en un promedio de cada 4.8 horas hay una falla que lleva a una parada correctiva en cada una de las máquinas de la empresa, mientras que aproximadamente cada 29.4 horas se presenta una falla importante en todas las máquinas. Lo anterior, permite indicar la poca confiabilidad de los equipos, ya que cada día deben realizarse mantenimientos correctivos o paralizar la maquinaria hasta solventar la situación.



### 2.8.4 Diagnóstico de la dimensión operatividad

Esta dimensión evalúa el tiempo medio de reparación (MTTR) midiendo las probabilidades de que una máquina que presenta fallas se pueda reparar empleando la menor cantidad de tiempo posible.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparaciones}}{\text{N}^\circ \text{ reparaciones correctivas}}$$

**Tabla 5**  
*Diagnóstico de la operatividad*

Máquina	Tiempo de reparaciones	Reparaciones correctivas	Resultado MTTR
Grúa	89	19	$MTTR = \frac{89}{19} = 4.6$
Cribadora	78	21	$MTTR = \frac{78}{21} = 3.7$
Paviment.	83	20	$MTTR = \frac{83}{20} = 4.1$
Exacavad.	79	21	$MTTR = \frac{79}{21} = 3.7$
Rodillo	81	18	$MTTR = \frac{81}{18} = 4.5$
Bomba	84	23	$MTTR = \frac{84}{23} = 3.6$
Compresor	77	21	$MTTR = \frac{77}{21} = 3.6$
Motoniv.	88	25	$MTTR = \frac{88}{25} = 3.5$

En el cálculo del promedio del MTTR se obtuvo:

$$Prom \text{ MTTR} = \frac{4.6 + 3.7 + 4.1 + 3.7 + 4.5 + 3.6 + 3.6 + 3.5}{8} = 3.9$$

De esta forma se puede indicar que el promedio del tiempo de reparación de las fallas es de 3.9 horas.

### 2.8.5 Diagnóstico de la disponibilidad

Para determinar la situación actual de las maquinarias de la empresa en cuanto a la disponibilidad, se consideró el tiempo medio de las reparaciones (MTTR) analizando los datos registrados en el periodo de 6 meses para determinar la operatividad de la maquinaria y se consideró el MTBF calculado en la tabla anterior utilizando la fórmula que se muestra a continuación:

$$\text{Disponibilidad (A)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

**Tabla 6**

*Diagnóstico de la disponibilidad de máquinas*

Máquina	MTBF	MTTR	Disponibilidad (A)
Grúa	5.4	4.6	$A = \frac{5.4}{5.4 + 4.6} * 100 = 54\%$
Cribadora	5.4	3.7	$A = \frac{5.4}{5.4 + 3.7} * 100 = 59\%$
Paviment.	4.7	4.1	$A = \frac{4.7}{4.7 + 4.1} * 100 = 53\%$
Exacavad.	4.7	3.7	$A = \frac{4.7}{4.7 + 3.7} * 100 = 56\%$
Rodillo	4.2	4.5	$A = \frac{4.2}{4.2 + 4.5} * 100 = 48\%$
Bomba	4.8	3.6	$A = \frac{4.8}{4.8 + 3.6} * 100 = 57\%$
Compresor	4.2	3.6	$A = \frac{4.2}{4.2 + 3.6} * 100 = 54\%$
Motoniv.	5.3	3.5	$A = \frac{5.3}{5.3 + 3.5} * 100 = 60\%$

$$\text{Prom A} = \frac{54 + 59 + 53 + 56 + 48 + 57 + 54 + 60}{8} = 55\%$$

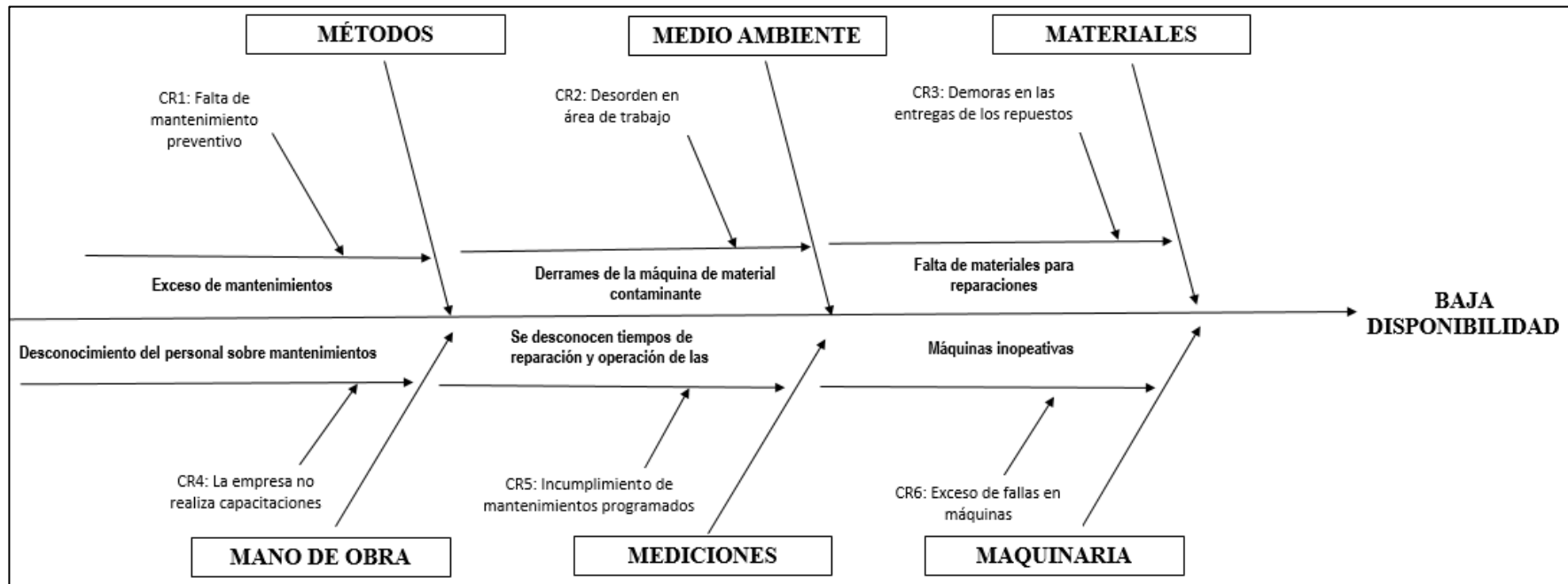
De esta forma, se pudo determinar que el promedio de la disponibilidad resultó en 55%, por lo que se puede indicar que la probabilidad de que las máquinas trabajen satisfactoriamente es de 55%.

### **2.8.6 Diagrama de Ishikawa**

Se muestra diagrama de Ishikawa mostrando las causas de las pérdidas monetarias por la ineficacia de los mantenimientos preventivos de la empresa, seguido de los detalles de las pérdidas monetarias que esto genera diagnosticando su relevancia en cuadros AMEF y graficándolo en un diagrama de Pareto:

**Figura 6**

*Ishikawa de la ineficacia de los mantenimientos preventivos en la empresa*



**Tabla 7**

*Pérdidas monetarias relacionadas con CR1 (Métodos): Falta de mantenimientos preventivos*

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad de medida
Mano de obra	Número de personas	4	Personas
	Costo horas-hombre	15	Soles/persona
	Total ítem	60	Soles
	Tiempo en procedimientos	20	Horas
	Pérdida mensual	1.200	Soles/mes
	Pérdida anual	11.400	Soles/año
Total pérdida causa-raíz		11.400	Nuevos soles/año

**Tabla 8**

*Pérdidas monetarias relacionadas con CR2 (Medio ambiente): Desorden en áreas de trabajo*

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad de medida
Material	Consumo real	4	Galones real/mes
	Consumo planificado	2	Galones/mes
	Costo por galón	150	Soles
	Pérdida mensual	300	Soles/mes
	Pérdida anual	3.600	Soles/año
Mano de obra	Número de personas	1	Persona
	Costo horas-hombre	15	Soles
	Tiempo de parada	5	Horas
	Pérdida mensual	75	Soles/mes
	Pérdida anual	900	Soles/año
	Total perdida causa-raíz	4.500	Nuevos soles/año

**Tabla 9**

*Pérdidas monetarias relacionadas con CR3 (Materiales): Demoras en las entregas de los repuestos*

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad de medida
Inoperatividad de máquina	Horas-máquina que puede operar	150	Horas/mes
	Horas máquina inoperativa	20	Horas/mes
	Producción-hora	100	Soles/hora
	Pérdida mensual	2.000	Soles/mes
	Pérdida anual	24.000	Soles/año
Total pérdida causa-raíz		24.000	Nuevos soles/año

**Tabla 10**

*Pérdidas monetarias relacionadas con CR4 (Mano de obra): La empresa no realiza capacitaciones*

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad de medida
Personal con poco interés	Número de personas	5	Personas
	Costo horas-hombre	15	Soles
	Horas trabajadas	192	Horas/hombre/mes
	Pérdida mensual	14.400	Soles/mes
	Pérdida anual	172.800	Soles/año
Total pérdida causa-raíz		172.800	Nuevos soles/año

**Tabla 11**

*Pérdidas monetarias relacionadas con CR5 (Mediciones): Incumplimiento de mantenimientos programados*

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad de medida
Inspecciones ineficientes	Responsable de inspecciones	1	Persona
	Costo horas-hombre	25	Soles
	Horas trabajadas	20	Horas/mes
	Pérdida mensual	500	Soles/mes
	Pérdida anual	6.000	Soles/año
Total pérdida causa-raíz		6.000	Nuevos soles/año

**Tabla 12**

*Pérdidas monetarias relacionadas con CR6 (Maquinaria): Exceso de fallas en máquinas*

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad de medida
Exceso de reparaciones en máquinas	Número de repuestos por falla	2	Repuestos/falla
	Número de fallas mensuales	8	Fallas/mes
	Costo	350	Soles/repuesto
	Repuestos-falla	16	Repuestos/mes
	Pérdida mensual	700	Soles/mes
	Pérdida anual	5.600	Soles/año
	Total pérdida causa-raíz	5.600	Nuevos soles/año

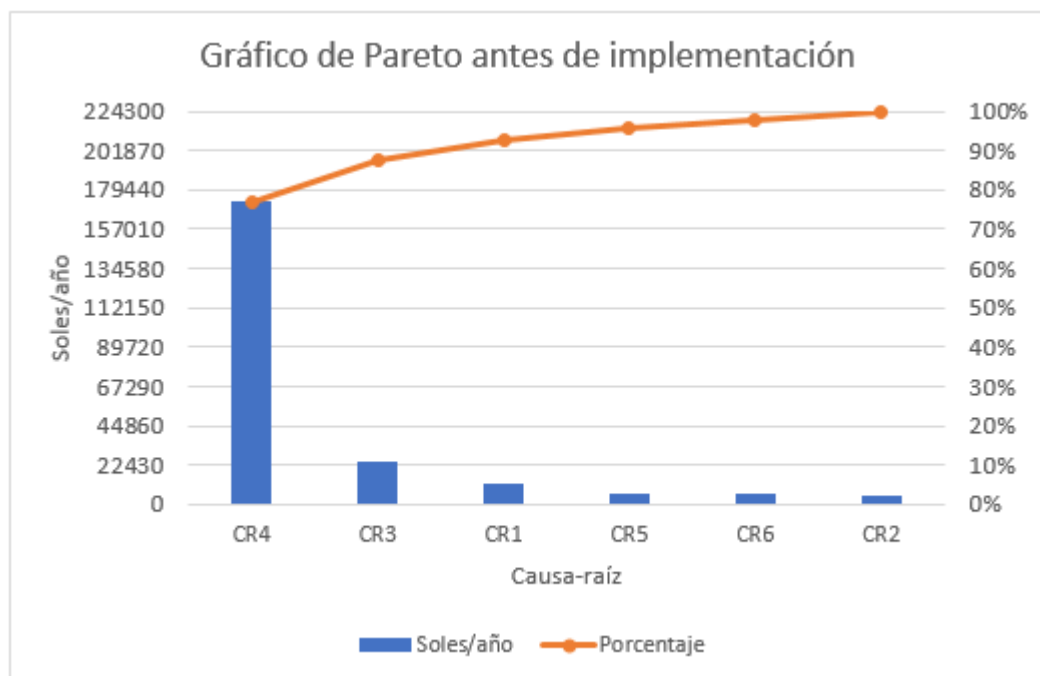
De acuerdo a la información reflejada desde las tablas 7 hasta la 12, se observa que las pérdidas económicas más repetitivas son las vinculadas con la causa-raíz 4 que suma un total de S/ 172.800 pagado al personal que no muestra interés en aprender sobre mantenimientos preventivos y porque la empresa no realiza capacitaciones.

Seguido se encuentra la causa-raíz 3 vinculada a la pérdida de materiales por las

demoras en las entregas de los repuestos que alarga el tiempo en que las máquinas están inoperativas por sumar una pérdida anual de S/ 24.000. La causa-raíz 1 vinculada a los métodos suman una pérdida anual de S/ 11.400 por el pago de mano de obra que no realiza los mantenimientos. En cuanto a las mediciones, la causa-raíz 4 relacionada con las inspecciones ineficientes generan una pérdida anual de S/ 6.000 por el pago al responsable de estas actividades, mientras que las pérdidas por la inoperatividad de una máquina que es la causa-raíz 6 relacionada con las maquinarias suman un total de S/ 5.600 al año. A continuación, lo explicado se representa gráficamente en un diagrama de Pareto para mejor visualización:

**Figura 7**

*Diagrama de Pareto de las causas raíz de la baja disponibilidad de máquinas antes de implementación de propuesta*



Siguiendo lo anterior, el diagrama permite priorizar las causas de la baja disponibilidad según pérdidas económicas, observándose que cerca del 80% de las



mismas son causadas por la CR4 (Mano de obra) por el pago que se realiza a trabajadores que no muestran interés en aplicar los conocimientos y aprendizajes sobre mantenimientos preventivos y casi el 100% de las pérdidas son por esta razón más la CR3 y CR1 vinculadas a las demoras en las entregas de los materiales que genera más tiempo de inoperatividad en las máquinas y la mano de obra que la empresa paga que no realiza los mantenimientos preventivos, mientras que CR5, CR6 y CR2 representan menores pérdidas.

En base a esto, se realizó el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF) que se muestra a continuación:

**Tabla 13**

*Matriz AMEF de procesos*

Análisis			Probabilidad			Gravedad			Control			Probabilidad			Gravedad			Control		
Ítem	Función	M.F. Potencial	Casusa posible	P	Efecto potencial	G	Controles	D	IPR	Acciones de mejora	Responsable	P2	G2	D2	IPR2					
Falta de mantenimientos preventivos	Prevenir paralización de máquinas	Máquinas sin producir	No se utilizan los métodos adecuados	6	Baja disponibilidad de máquinas	6	Correctivo	5	180	Implementación de sistema de mantenimientos preventivos	Supervisor de mtto	6	6	1	36					
Desorden en las áreas de trabajo	Trabajar con mayor organización	Accidentes laborales	Derrames de material contaminantes de las máquinas en las áreas de trabajo	3	Pérdida de material y personal que no realiza sus funciones adecuadamente	3	Correctivo	4	36	Supervisión constante y sustitución de piezas antes de fallas	Supervisor de mtto	2	2	1	4					
Demoras en las entregas de repuestos	Máquinas operativas	Falta de materiales para reparaciones	Personal sin experiencia para la selección de proveedores	7	Máquinas que pasan mucho tiempo sin producir	6	Correctivo	6	252	Personal capacitado para coordinaciones con proveedores	Supervisor de mtto	6	5	1	30					
La empresa no realiza capacitaciones	Personal con mayores conocimientos sobre operación de máquinas	Personal con poco interés en el trabajo	La empresa presta poca atención al mantenimiento preventivo	9	Pérdidas monetarias en pago de personal	9	Correctivo	8	648	Realización de capacitaciones sobre mantenimientos preventivos	Supervisor de mtto	5	5	1	25					
Incumplimiento de mantenimientos programados	Cubrir el cronograma de mantenimientos	Desconocimientos sobre tiempos de reparación y producción de máquinas para realizar las mediciones	Personal incapacitado para esta función	3	Pérdidas económicas en pago de personal innecesario	3	Correctivo	4	36	Contratación de personal capacitado para el cumplimiento de los mantenimientos programados	Supervisor de mtto	2	2	1	4					
Exceso de fallas en máquinas	Mantener operativas la totalidad de máquinas	Máquinas inoperativas	Ineficacia en mantenimiento preventivo	6	Pérdidas económicas por no tener máquinas operativas	5	Correctivo	7	210	Aplicación del cronograma de mantenimientos preventivos	Supervisor de mtto	2	2	1	4					

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1 Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo y estimaciones de mejora

Se realizó una planificación de mantenimiento preventivo que abarcó cada una de las máquinas analizadas. Se presupuesta la contratación de un ingeniero mecánico encargado de realizar las actividades planificadas en los tiempos establecidos (Ver anexo 4).

Se aplicó la ingeniería de métodos tomando tiempos de las actividades del asistente de almacén que lleva actualmente y se estimaron las mejoras calculando los tiempos ante los cambios que se diseñaron en el sistema de mantenimiento preventivo.

Las actividades del asistente de almacén son: recepcionar solicitudes de repuestos, verificar su disponibilidad en sistema, dirigirse a almacén, buscar los repuestos, dirigirse a la zona de despacho, espera de clave y despachar y corroborar los repuestos dados. Dichas actividades conforman el tiempo total que lleva despachar repuestos necesarios para los mantenimientos preventivos. Se tomaron los tiempos de todo el procedimiento cronometrando con vuelta a cero, lo que permitió la toma de tiempo por cada actividad, obteniendo lo que se muestra en el anexo 8, siendo necesario considerar la siguiente información:

Muestra: Se ajusta a  $\pm 20\%$  lo que lleva a que no se consideren los tiempos fuera de ese rango para determinar el tiempo observado, que es el tiempo promediado luego de los ajustes.

Valoración: En los estudios de tiempo debe evitarse a trabajadores que realizan sus labores con gran velocidad y los que las realizan muy lento. Se seleccionó a un trabajador que en este aspecto sea intermedio para la realización del análisis. Se consideró el ritmo de trabajo promedio con la finalidad de que todos los trabajadores alcancen este ritmo y se

cumpla con lo establecido. Se califica el ritmo del trabajador considerando puntuaciones hasta 75, lo que lleva a indicar que el 75/100 permite determinar el tiempo normal.

Suplementos: Se consideraron complementos para tomar los tiempos como constante, variables y por contingencia. Los constante (9) que abarca las necesidades personales (5) y básicos por fatiga (4); los variables (5) que abarca por trabajo de pie (2) y uso de trabajo (3); y por contingencia (0), lo que da como resultado 14, teniendo que agregar 14% al tiempo normal. Los resultados de este cálculo se muestran en el anexo 9.

Una vez realizados los cálculos que se muestran en el anexo 9, se determinó que el tiempo estándar para que el asistente de almacén realice sus actividades de despacho de repuestos para el mantenimiento preventivo es de 3,48 minutos. Al implementarse el sistema de mantenimiento preventivo diseñado se agilizan las actividades del asistente de almacén, estimándose que se obtengan los resultados mostrados en el anexo 10.

Se consideró el mismo porcentaje de muestra, la misma valoración y los mismos suplementos con las mismas puntuaciones, obteniendo los datos mostrados en el anexo 11 que arrojaron un tiempo posterior estándar de 3,31 minutos obteniéndose mejoras en los tiempos de estas actividades con el sistema de mantenimiento programado.

### **3.2 Disponibilidad después de la implementación de la propuesta**

#### **3.2.1 Estimación de las mejoras en la dimensión planificación**

Una vez aplicado este sistema de mantenimiento preventivo, los valores de la planificación serían los que se muestran a continuación:

**Tabla 14**
*Estimaciones en mantenimientos programados*

Meses	Máquina	Horas de mantenimiento programadas
Enero	Grúa	13
	Cribadora	14
Febrero	Pavimentadora	16
Marzo	Excavadora hidráulica	13
	Rodillo neumático	13
Abril	Bomba de tornillo con mezclador	10
Mayo	Compresor	13
Junio	Motoniveladora	15
Total		107

*Planificación = 107 horas*

### 3.2.2 Estimación de las mejoras en la dimensión verificación

Se prevé el desarrollo de todos los mantenimientos programados, con las actividades que conlleva cada uno. De esta forma, se estiman los siguientes resultados:

**Tabla 15**
*Estimación de los mantenimientos realizados*

Meses	Máquina	Horas de mantenimiento programadas	Mantenimientos realizados
Enero	Grúa	13	X
	Cribadora	14	X
Febrero	Pavimentadora	16	X
Marzo	Excavadora	13	X
	Rodillo	13	X
Abril	Bomba	10	X
Mayo	Compresor	13	X
Junio	Motoniveladora	15	X
Total		107	107

*Verificación = 107 horas*

De esta forma, se obtiene una efectividad del 100% de los mantenimientos programados que permiten que el resto de indicadores mejoren notablemente.

### 3.2.3 Estimación de las mejoras en la dimensión funcionamiento

Se prevee que, cumpliendo todos los lineamientos del diseño, cronograma y actividades propuestas, las máquinas tengan 2 paradas correctivas mensuales y 4 fallas mensuales, consiguiendo entonces los siguientes valores en los indicadores MTBF y MTTF.

**Tabla 16**

*Estimación en el tiempo medio entre fallas (MTBF) y en el tiempo promedio para la falla (MTTF)*

Máquina	Horas de operación	Paradas correctivas	Cantidad de fallas	Resultado MTBF	Resultado MTTF
Grúa	459	10	4	$MTBF = \frac{459}{10} = 45.9$	$MTTF = \frac{459}{4} = 114.7$
Cribadora	433	10	4	$MTBF = \frac{433}{10} = 43.3$	$MTTF = \frac{433}{4} = 108.2$
Paviment.	518	10	4	$MTBF = \frac{518}{10} = 51.8$	$MTTF = \frac{518}{4} = 129.5$
Excav.	484	10	4	$MTBF = \frac{484}{10} = 48.4$	$MTTF = \frac{484}{4} = 121$
Rodillo	503	10	4	$MTBF = \frac{503}{10} = 50.3$	$MTTF = \frac{503}{4} = 125.7$
Bomba	472	10	4	$MTBF = \frac{472}{10} = 47.2$	$MTTF = \frac{472}{4} = 118$
Compres.	521	10	4	$MTBF = \frac{521}{10} = 52.1$	$MTTF = \frac{521}{4} = 130.2$
Motoniv.	468	10	4	$MTBF = \frac{468}{10} = 46.8$	$MTTF = \frac{468}{4} = 117$

De acuerdo a los nuevos valores, los promedios de MTBF y MTTF son los que se muestran a continuación:

$$Prom\ MTBF = \frac{45.9 + 43.3 + 51.8 + 48.4 + 50.3 + 47.2 + 52.1 + 46.8}{8} = 48.2$$

$$Prom\ MTTF = \frac{114.7 + 108.2 + 129.5 + 121 + 125.7 + 118 + 130.2 + 117}{8} = 120.5$$

Llevando a cabo el diseño propuesto, las paradas correctivas se presentarían aproximadamente cada 48.2 horas en todas las máquinas. Las fallas importantes se presentarían en aproximado cada 120.5 horas, lo que da mayor confiabilidad a las máquinas con mayores tiempos para la producción.

### 3.2.4 Estimación de mejoras en la operatividad

Considerando los indicadores calculados que se obtendrán con la aplicación a cabalidad del sistema de mantenimiento preventivo diseñado, se calculó la operatividad de las máquinas estimada. En el cálculo del MTTR fue considerada la reducción del tiempo para las reparaciones de las fallas debido a que se deben implementar manuales que expliquen detalladamente los pasos a seguir ante las fallas, seguir la propuesta de contratación de un ingeniero mecánico que esté disponible constantemente y seguir las recomendaciones de las capacitaciones al personal que se proponen. Con lo anterior, se estimó que el tiempo para las reparaciones sea la mitad de lo que se lleva reparar una falla actualmente. La cantidad de fallas para el cálculo del MTTR se mantuvieron a los valores actuales. En la siguiente tabla se muestran lo obtenido:

**Tabla 17**  
*Estimación de la operatividad*

Máquina	Tiempo de reparaciones	Reparaciones correctivas	Resultado MTTR
Grúa	45	19	$MTTR = \frac{45}{19} = 2.3$
Cribadora	39	21	$MTTR = \frac{39}{21} = 1.9$
Paviment.	42	20	$MTTR = \frac{42}{20} = 2.1$
Excav.	40	21	$MTTR = \frac{40}{21} = 1.9$
Rodillo	41	18	$MTTR = \frac{41}{18} = 2.3$
Bomba	42	23	$MTTR = \frac{42}{23} = 1.8$
Compres.	39	21	$MTTR = \frac{39}{21} = 1.9$
Motoniv.	44	25	$MTTR = \frac{44}{25} = 1.8$

El promedio de la estimación del MTTR y es el siguiente:

$$Prom\ MTTR = \frac{2.3 + 1.9 + 2.1 + 1.9 + 2.3 + 1.8 + 1.9 + 1.8}{8} = 2$$

De esta forma se puede indicar que el tiempo promedio de reparación de fallas es de 2 horas al implementarse la propuesta.

### 3.2.5 Estimación de mejoras en la disponibilidad

Utilizando los indicadores calculados en las tablas anteriores en base a las estimaciones, se calculó la estimación de las mejoras a la disponibilidad como se muestra en la siguiente tabla:



**Tabla 18**  
*Estimación de la disponibilidad*

Máquina	MTBF	MTTR	Disponibilidad (A)
Grúa	45.9	2.3	$A = \frac{45.9}{45.9 + 2.3} * 100 = 95\%$
Cribadora	43.3	1.9	$A = \frac{43.3}{43.3 + 1.9} * 100 = 96\%$
Paviment.	51.8	2.1	$A = \frac{51.8}{51.8 + 2.1} * 100 = 96\%$
Excav.	48.4	1.9	$A = \frac{48.4}{48.4 + 1.9} * 100 = 96\%$
Rodillo	50.3	2.3	$A = \frac{50.3}{50.3 + 2.3} * 100 = 96\%$
Bomba	47.2	1.8	$A = \frac{47.2}{47.2 + 1.8} * 100 = 96\%$
Compres.	52.1	1.9	$A = \frac{52.1}{52.1 + 1.9} * 100 = 96\%$
Motoniv.	46.8	1.8	$A = \frac{46.8}{46.8 + 1.8} * 100 = 96\%$

$$Prom A = \frac{95 + 96 + 96 + 96 + 96 + 96 + 96 + 96}{8} = 96\%$$

El promedio de la disponibilidad resulta en 96% aplicando el diseño del sistema de mantenimiento que se propone.

### 3.3 Comparación de resultados

#### 3.3.1 Comparación de gastos antes y después de la propuesta

Se muestran los resultados comparativos de lo gastado por la empresa con motivo de cada causa raíz luego de la implementación de las mejoras, obteniendo como resultados que, al compararlo con el gasto actual, la empresa ahorra lo detallado en la siguiente tabla y se realizó un diagrama de Pareto para establecer las diferencias en costos:

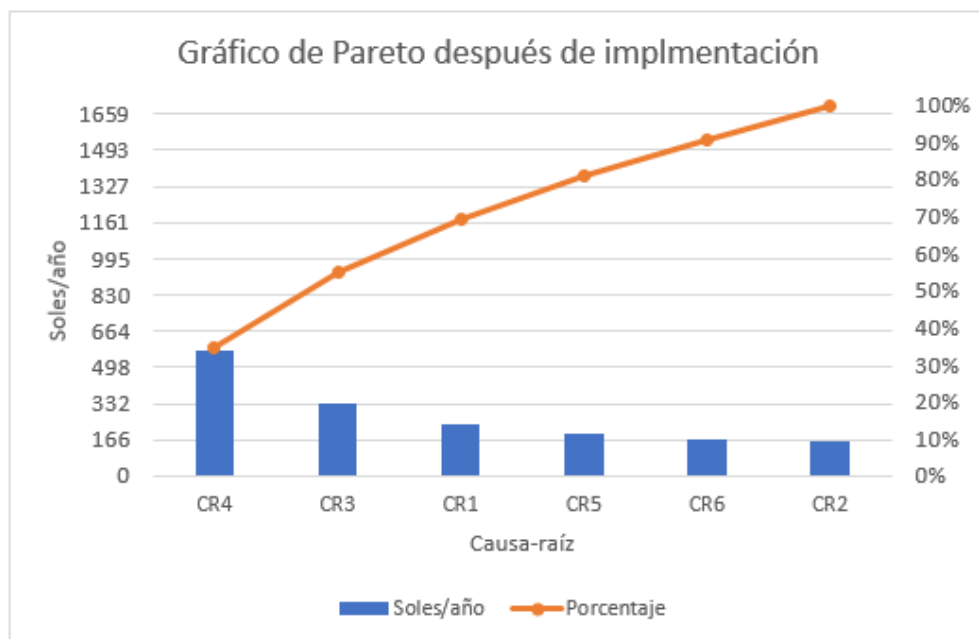
**Tabla 19**

*Comparación en gastos por causa raíz antes y después de la propuesta*

Causa-raíz	Gastos antes de la propuesta	Gastos después de la propuesta	Ahorro
CR1 (Métodos): Falta de mantenimientos preventivos	S/. 11.400	S/. 236	S/. 11.164
CR2 (Medio ambiente): Desorden en áreas de trabajo	S/. 4.500	S/. 155	S/. 4.345
CR3 (Materiales): Demoras en las entregas de los repuestos	S/. 24.000	S/. 332	S/. 23.668
CR4 (Mano de obra): La empresa no realiza capacitaciones	S/. 172.800	S/. 576	S/. 172.224
CR5 (Mediciones): Incumplimiento de mantenimientos programados	S/. 6.000	S/. 196	S/. 5.804
CR6 (Maquinaria): Exceso de fallas en las máquinas	S/. 5.600	S/. 164	S/. 5.436
<b>Total</b>	<b>S/. 224.300</b>	<b>S/. 1.659</b>	<b>S/. 222.641</b>

**Figura 8**

*Diagrama de Pareto de las causas raíz de la baja disponibilidad de máquinas después de implementación de propuesta*



Se observa que los costos actuales suman un total de S/. 224.300 e implementando la propuesta los costos se reducirían a S/. 1.659 considerando imprevistos en cada causa-raíz de la baja disponibilidad de máquinas, lo que representa un ahorro de S/. 221.641 para la empresa. Al analizar los diagramas de Pareto de ambos momentos, se determinó que el orden de las causas-raíz que generan más gastos a la empresa se mantiene antes y después de las estimaciones.

### 3.3.2 Comparación de indicadores antes y después de la propuesta

**Tabla 20**

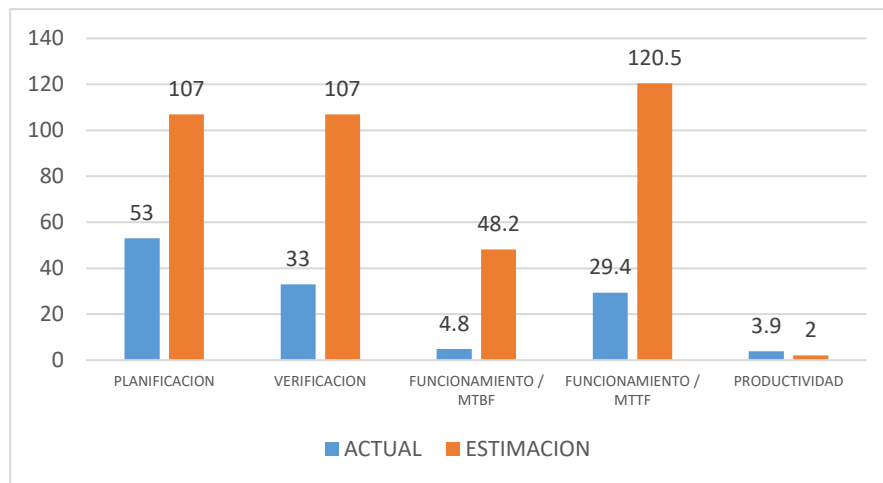
*Comparación de resultados actuales con estimaciones*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Actuales	Estimaciones	Variación
Mantenimiento preventivo	Planificación	Horas de mantenimiento programadas	53 hrs	107 hrs	54 hrs
	Verificación	Horas de mantenimiento realizadas (Cumplimiento)	33 hrs (62.2%)	107 hrs (100%)	74 hrs (37.8%)
	Funcionamiento		MTBF	4.8 hrs	48.2 hrs
		MTTF	29.4 hrs	120.5 hrs	91.1 hrs
Disponibilidad de máquinas	Operatividad	MTTR	3.9 hrs	2 hrs	1.9 hrs
	Disponibilidad	A	55%	96%	41%

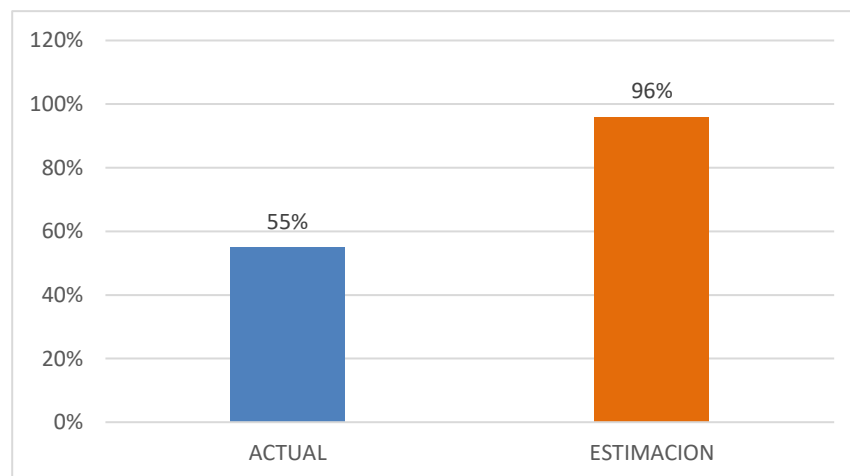
Con la implementación de la propuesta diseñada, en la planificación habrá una variación considerable, pasando de 53 horas de mantenimiento programado que llegará a 107 horas, lo que representa una mejora con 54 horas más planificadas para mantenimientos. La verificación sería al 100% cumpliéndose a cabalidad lo propuesto, llevando a que se cumplan 37.8% más la planificación. El tiempo medio entre fallas (MTBF) mejoraría notablemente pasando de 4.8 horas a 48.2 horas, así

como el tiempo para la falla (MTTF) pasaría de 29.4 horas a 120.5 lo que permite que se presenten menos paradas correctivas o fallas considerables que detengan la producción. En cuanto a la operatividad, con la implementación de la propuesta se mejorarían los tiempos para las reparaciones (MTTR) pasando de 3.9 a 2 horas en promedio y la disponibilidad de las máquinas pasará de 55% a 96% con una mejora de 41% que permiten mayor producción y fiabilidad de las máquinas.

**Figura 9**  
*Comparación de mantenimiento preventivo – antes y después*



**Figura 10**  
*Comparación de disponibilidad de máquinas – antes y después*



### 3.4. Viabilidad de la propuesta

Se realizó el análisis costo-beneficio para determinar la viabilidad de la propuesta con la evaluación de indicadores financieros. A continuación, se detallan los costos por llevar a cabo la propuesta y los costos por no llevarla a cabo considerando los ingresos que se generarían al incrementar la disponibilidad de las máquinas. Finalmente, se muestra el flujo neto de caja al implementar la propuesta diseñada y los indicadores financieros considerando dicho valor. El desglose de cada ítem se muestra en el anexo 6.

**Tabla 21**

*Costos por llevar a cabo la propuesta (Montos en soles)*

Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costos por procedimientos	195	195	195	195	195	195
Costo por capacitaciones	12.000	-	-	12.000	-	-
Costo por implementos	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Costo en material de registro	540	540	540	540	540	540
Costos en cuidado a la salud	6.420	6.420	6.420	6.420	6.420	6.420
Costos en higiene	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304
Costos en botiquín	90	90	90	90	90	90
Costos en mano de obra	50.400	64.800	64.800	64.800	64.800	64.800
Costo por mantenimientos	13.437	13.437	13.437	13.437	13.437	13.437
<b>Total</b>	<b>86.586</b>	<b>87.786</b>	<b>87.786</b>	<b>100.986</b>	<b>87.786</b>	<b>87.786</b>

**Tabla 22**

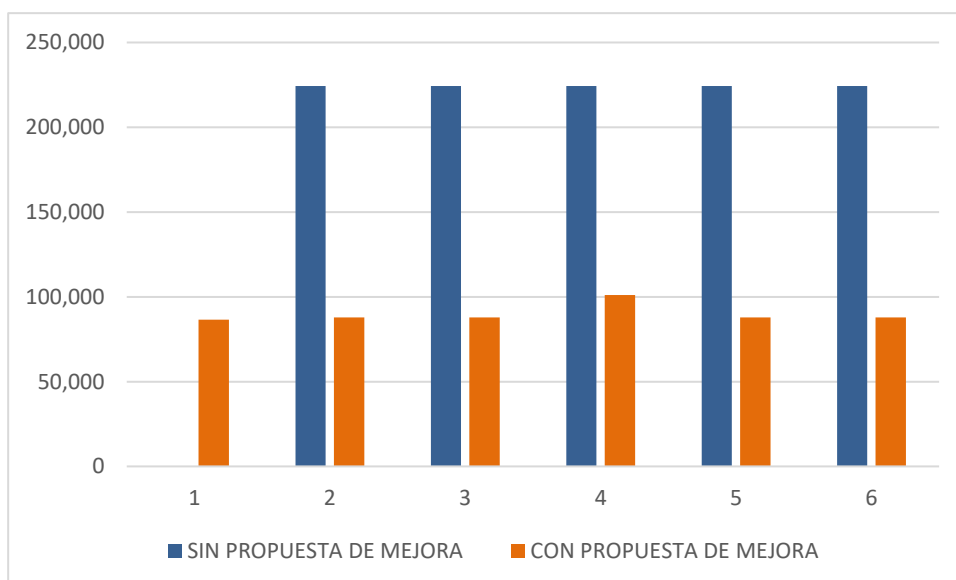
*Costos por no llevar a cabo la propuesta (Montos en soles)*

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
224.300	224.300	224.300	224.300	224.300

**Tabla 23**  
*Flujo de caja neto proyectado (Montos en soles)*

Año	Monto
0	- 86.586
1	136.514
2	136.514
3	123.314
4	136.514
5	136.514

**Figura 11**  
*Comparación de costos con y sin propuesta*



**Tabla 24**  
*Indicadores financieros*

Tasa	VAN	TIR	IR
9%	S/. 434,212.92	134%	6.01

En el cálculo del valor actual neto (VAN) se obtuvo que está muy por encima de cero, por lo que llevar a cabo la propuesta es conveniente para la empresa, teniendo una tasa interna de retorno (TIR) del 134% y un retorno de inversión (IR) de 6.01. Lo anterior muestra que por cada sol que invierta la empresa en la propuesta, obtiene un retorno de

6.01 soles. Esto le genera una rentabilidad de 5.01 soles por cada sol invertido. Por lo tanto, la propuesta es económicamente viable.

### **TMAR (Tasa mínima aceptable de rendimiento o costo de oportunidad)**

Según la proyección de los panelistas del Focus Economics Consensus Forecast Latin Focus, en su informe de julio, se estima que la tasa de inflación para el Perú será de 3.54% (*Perú tendrá segunda inflación más baja de AL*, 01 de agosto de 2022).

**TMAR= Tasa de inflación + Riesgo de inversión (lo que piensa ganar)**

$$\text{TMAR} = 3.54\% + 30\%$$

$$\text{TMAR} = 33.54\%$$

El valor de 33.54% es la tasa mínima que se obtendría en la inversión antes que deje de ser rentable.

### **TIR (Tasa Interna de Retorno)**

Según la tabla 22, el valor de la TIR es 134% que significa que el proyecto es factible.

Para validar la rentabilidad del proyecto, comparamos la TIR y el TMAR:

$$\text{TIR} > \text{TMAR}$$

$$134\% > 34\%$$

Siendo la TIR mayor que TMAR, podemos afirmar que el proyecto es rentable.

### **PRI (Periodo de recuperación de la inversión)**

Considerando que los flujos son uniformes, se utilizó la siguiente fórmula:

$$PRI = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujo efectivo por periodo}}$$

$$PRI = \frac{86,586}{136,514}$$

$$PRI = 0.63 \text{ años (7.6 meses)}$$

El tiempo de recuperación de la inversión será 7.6 meses

**B/C Relación Beneficio – Costo)**

$$B/C = \frac{\text{Beneficios netos}}{\text{Costos de inversión}}$$

$$B/C = \frac{\text{VAN ingreso}}{\text{VAN egresos + inversión}}$$

$$B/C = \frac{520,799.03}{438,235.75}$$

$$B/C=1.20$$

La relación B/C es 1.20, por lo tanto, al ser mayor a 1, el proyecto es viable.



## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

Existe la necesidad de mantener la operatividad de la maquinaria de la empresa DHP Rock Drill S.A.C, por lo cual, de implementarse el diseño de un sistema de mantenimiento preventivo, se logrará reducir los costos con un ahorro de S/ 222.641 tal como se observa en la Tabla 19 después de comparar los gastos por cada causa raíz antes y después de la propuesta. La ejecución del diagrama de Ishikawa ha permitido la identificación de la causa raíz de la baja disponibilidad de las máquinas en la empresa, teniendo una mejor visibilidad de los problemas (causa) que están afectando la disponibilidad de la maquinaria. Villajulca (2021) destaca que el diagrama de Ishikawa indica todas las causas que generan un problema y las agrupa, siendo de vital importancia tanto para el diagnóstico como para la corrección y solución de un problema o falla.

Los planes de mantenimiento preventivo traen beneficios considerables para las empresas de acuerdo a lo referenciado por diferentes investigaciones y lo encontrado en este estudio. Según la Tabla 20 las horas de mantenimiento preventivo programado mejoran al pasar de 53 horas a 107 horas, con un cumplimiento de 100% dejando a vista la utilidad de una planificación, verificación y funcionamiento adecuados enfocados en la productividad idónea de la maquinaria de la empresa. En este sentido, Freire (2019) refirió que, de acuerdo a la implementación de NTP331 y la fiabilidad de Weibull, el mantenimiento preventivo en un tiempo mensual mantiene un control adecuado de la maquinaria, con lo que se evita el retraso en los procesos de producción y se aumenta la productividad de la maquinaria y de la empresa. Por su parte, Obeso y Yaya (2018), quienes basándose en el mantenimiento productivo total (TPM) de una empresa productora

de harina de pescado, llevaron a que los tiempos de producción se redujeran 6 minutos, disminuyendo las fallas y tiempos muertos en la producción, por lo que se incrementó la producción de sacos de harina de 15 a 17 por hora y la productividad se incrementó en 16.32%.

Siguiendo lo anterior, Montoya (2017), quien diseñó un mantenimiento preventivo a la maquinaria de una empresa siderúrgica basado en los requerimientos y normativas propias de la empresa bajo parámetros establecidos, donde obtuvo certificación ISO9001 luego de desarrollo de fichas técnicas, refirió que establecer normativas adecuadas dirigidas a operarios de los equipos mejora la gestión de órdenes de trabajo, lo cual permite a cualquier persona la ejecución de las actividades operarias, cumpliendo con un mayor control las actividades para la ejecución idónea del mantenimiento de la maquinaria.

En la investigación también se encontró que la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo para la empresa DHP Rock Drill S.A.C. mejoraría notablemente el funcionamiento de la maquinaria donde el MTBF pasaría de 4.8hrs a 48.2hrs, es decir que ocurriría una falla cada 48.2 horas y por ende se estaría reduciendo el número de fallas. El aumento de este indicador está relacionado al incremento de la disponibilidad de la maquinaria, tal como lo demuestra Rojas (2019) cuando al implementar planes de mantenimiento preventivo en una planta de chancado consigue reducir las fallas no previstas con un ahorro por costos de mantenimiento extendiendo la vida útil de los equipos con el consiguiente aumento de la productividad. Asimismo, el valor del indicador MTTF se incrementa de 29.4 horas a 120.5 horas tal como se indica en la tabla de comparación de resultado (Tabla 20), es decir que después de la propuesta se registraría

una falla cada 120.5 horas lo cual representa un aumento significativo tanto de la vida útil como de la productividad de las máquinas.

Con la implementación del plan de mantenimiento preventivo el MTTR se reduciría de 3.9 horas a 2 horas (Tabla 20), mejorándose el tiempo de reparación de la maquinaria lo cual disminuye la inactividad de los equipos. La literatura reporta la importancia de utilizar indicadores de mantenimiento que incluso son aplicables a sectores industriales, agrícolas y mineros, además, su importancia permite una mejor toma de decisiones para el logro de los objetivos de la empresa. (Yáñez, 2017, como se citó en Pacheco, 2018) En su investigación acerca de los indicadores de mantenimiento de mayor relevancia para gestionar maquinaria del sector minero, Pacheco (2018) afirma que los indicadores MTBF, MTTR y la disponibilidad son los indicadores usados más frecuentemente en todo el mundo y “garantizan el éxito o fracaso en el mantenimiento”.

El sistema de mantenimiento preventivo diseñado en esta investigación, permite el incremento de la disponibilidad de sus máquinas de 55% actual a 96% estimado (Tabla 20). Estos resultados coinciden con lo obtenido en la investigación de Olivo (2018), quien desarrolló un plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada aplicando la normativa establecida por entes gubernamentales como la COVENIN 2500-93 y NTP 679 y logró la mejora de los procesos de disponibilidad de maquinaria con un aumento de la misma en un 3,01%.

Igualmente, se coincide con Ramos (2017), quien encontró que con la implementación de un plan de mantenimiento preventivo y la esquematización del programa adecuado y aplicando la matriz AMFE, se logró el incremento de la disponibilidad de la mandrinadora en un 96,96%, de la fresadora en 94,79% y del torno un 93.84%. Asimismo, se coincide

con Suárez (2018) al determinar que mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejoró la disponibilidad de la maquinaria, pasando de un 6,31% a 93,43%. También, se coincide con Alba y Chingay (2019), en su estudio enfocado en la mejora de disponibilidad de equipos médicos en un centro hospitalario, posterior a las acciones e implementación de un plan de mantenimiento preventivo acorde a las necesidades observadas, incrementó la disponibilidad de los equipos biomédicos de 86% a un 94% y se coincide con Talabera (2019) quien luego de la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo, refirió que mostraron el incremento de un 15,63% en la disponibilidad de dos máquinas críticas, alcanzando el 98,60% de manera similar a los resultados de esta investigación.

La implementación del mantenimiento preventivo es económicamente viable ya que la empresa en la propuesta, obtiene un IR de 6.01 soles. Esto le genera una rentabilidad de 5.01 soles por cada sol invertido, además, el TIR se ubicó en 134% y el VAN fue mayor a cero (Tabla 24). Estos resultados coinciden con los encontrados por Talabera (2019) luego de la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo, por encontrar un VAN de proyecto de 51.553 soles y un TIR de 24%, dejando a la vista la utilidad de las labores en torno al mantenimiento preventivo. Asimismo, Rubio (2019) presentó un plan de mantenimiento para la maquinaria pesada y vehículos administrativo y determinó que redujo significativamente los costos. Por su parte, Olivo (2018), refirió que el plan de mantenimiento preventivo redujo notablemente los costos destinados a mantenimientos, así como una aceptación significativa del plan, sentenciando que el mismo es una ayuda técnica importante para los planes de gestión y de operación de las máquinas que deriva en un aumento significativo de la productividad.

Como parte de las implicaciones del estudio, es importante mencionar que el mismo parte como proceso dinámico, ya que el desarrollo de las actividades se determina partiendo de las condiciones reales de los sistemas y maquinaria para su evaluación. Por lo tanto, el control de forma dinámica de las actividades de mantenimiento de acuerdo al diseño planteado confiere que cada sistema se realice de forma individual debido a las funciones requeridas, considerando las probabilidades de fallo, como en el caso de los mantenimientos preventivos basados en la vida operativa de la maquinaria, reduciendo de forma tangible los costos operacionales y de producción.

## 4.2 Conclusiones

Finalizada la investigación, se establecen las siguientes conclusiones:

- La disponibilidad de las máquinas de una empresa constructora, Trujillo, 2022 se incrementa con el sistema del mantenimiento preventivo diseñado, obteniendo una influencia positiva al incrementarse en más del 90%.
- La disponibilidad de máquinas de una empresa constructora de Trujillo se ubicó en 55% antes de la propuesta, reconociéndose como causa-raíz la falta de mantenimiento preventivo (métodos), el desorden en las áreas de trabajo (medio ambiente), las demoras en las entregas de repuestos (materiales), que la empresa no realiza capacitaciones (mano de obra), el incumplimiento a los mantenimientos preventivos programados (mediciones) y el exceso de fallas en las máquinas (maquinaria).
- Se diseñó un sistema de mantenimiento preventivo que abarca las actividades a realizar con su respectivo intervalo de tiempo a realizarse considerando cada una de las máquinas de una empresa constructora ubicada en Trujillo, 2002.

- Luego de la propuesta se determinó que la disponibilidad de las máquinas de una empresa constructora, Trujillo, 2022 se ubica en 96% lo que representa un incremento del 44% en la disponibilidad,
- La propuesta es económicamente viable y beneficiosa para una empresa constructora, Trujillo, 2022 por encontrarse un VAN mayor a cero, una tasa interna de retorno (TIR) de 134% y un retorno de inversión (IR) de 6.01. Por lo que, cada sol invertido genera un beneficio de 5.01 soles de retorno.

## REFERENCIAS

- Alarcón, B. y Romero, D. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una empresa productora y comercializadora de harina y aceite de pescado ubicada en la ciudad de Santa Elena*. (Tesis de Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20080>
- Alba, F y Chingay, W. (2019). *Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos biomédicos - unidad cuidados intensivos, Hospital Víctor Ramos Guardia, Huaraz, 2018*. (Tesis de Pregrado) Universidad César Vallejo. Perú.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/41227>
- Anaguano, R. (2018). *Modelo de un plan de mantenimiento basado en procesos para el área de Preparación Hilatura Caso Empresa Vicunha Ecuador* (Tesis de Maestría) Universidad Andina Simón Bolívar. Ecuador.  
<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6344/1/T2690-MBA-Anaguano-Modelo.pdf>
- Angulo, E. y Orellana, G. (2021). *Mantenimiento para aumentar la disponibilidad de máquinas*. (Tesis de Pregrado) Universidad Privada del Norte. Perú.  
Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/25690>
- Arévalo, H. (2021). *Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la productividad en la línea de producción de la empresa de fideos PERUPAST S.R.L.* (Tesis de Maestría) Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Perú.

[https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4286/1/TM\\_ArevaloFernandezHeinz.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4286/1/TM_ArevaloFernandezHeinz.pdf)

Bellido, Y., La Rosa, A., Torres, C., Quispe, G. y Raymundo, C. (2018). Modelo de optimización de desperdicios basado en Lean Manufacturing para incrementar la productividad en micro y pequeñas empresas del rubro textil. *Memorias de la Octava Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética (CICIC 2018)*. <https://www.iiis.org/CDs2018/CD2018Spring/papers/CB929FT.pdf>

Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Tercera Ed. Bogotá: Pearson. [https://www.academia.edu/42188286/Metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_Cesar\\_Bernal](https://www.academia.edu/42188286/Metodologia_de_la_investigacion_Cesar_Bernal)

Flores, M. y Vargas, D. (2020). Asignación de modelos de mantenimiento basada en la criticidad y disponibilidad del equipo. *Cienciamerica*, 9(4), 10-21. <https://cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/340>

Freire, F. (2019). *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo mediante la distribución de WEIBULL para las Inyectoras horizontales de polímeros en la empresa Ingeniería Diseño de Suelas*. (Tesis de Pregrado) Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30012>

García, M. (2018). Una polémica trascendental sobre el mantenimiento preventivo y predictivo. *Revista de investigaciones sociales*, 3(8), 1-11. [https://www.ecorfan.org/republicofnicaragua/researchjournal/investigacionessociales/journal/vol3num8/Revista\\_de\\_Investigaciones\\_Sociales\\_V3\\_N8.pdf#page=8](https://www.ecorfan.org/republicofnicaragua/researchjournal/investigacionessociales/journal/vol3num8/Revista_de_Investigaciones_Sociales_V3_N8.pdf#page=8)

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta Ed. México: McGraw Hill Interamericana. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>



Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2021). *Perú: Producto Bruto Interno por años, según actividades económicas 2007-2020*. Publicación PBI de los departamentos según actividades económicas. Perú.  
<https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/pbi-de-los-departamentos-segun-actividades-economicas-9110/>

Medina, R. (2022). *Estrategias de Gestión de mantenimiento para mejorar los dinciadores de mantenimiento de equipos de transporte de carga* (Tesis de Pregrado) Universidad San Ignacio de Loyola. Perú.  
<https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9ec5068f-d387-4ac7-a607-70b52b06873f/content>

Montoya, S. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa estructuras del Kafee*. (Tesis de Pregrado) Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.  
<https://repositorio.utp.edu.co/items/e1511aea-90fd-4225-adf3-081abd946094>

Mora, L. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. México, D.F.: Alfaomega S.A.

Moreano, F. y Pérez, E. (2020). Plan de mantenimiento preventivo para la mejora del índice de falla de un sistema de transporte neumático. *Dominio de las ciencias*, 6(4), 307-323.  
<https://www.dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1469/2684>

Nureña, J. (2022). *Estandarización y control de calidad de trabajo en el mantenimiento periódico en las camionetas 4x4 de la municipalidad Provincial Sánchez Carrión* (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/19615/Nure%C3%B1a%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Obeso, A. y Yaya, J. (2018). *Implementación del Mantenimiento Productivo Total para mejorar la productividad y mantenibilidad del proceso de harina de pescado en la empresa INVERSIONES REGAL - Chimbote 2018*. (Tesis de Pregrado) Universidad Cesar Vallejo. Perú. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27842>

Olivo, J. (2018). *Diseño del plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada del gobierno autónomo descentralizado del cantón Baños de Agua Santa*. (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica Indoamérica. Ecuador. <http://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/1072>

Pacheco, A. (2018). *Indicadores de mantenimiento relevantes para gestionar equipos del sector minero*. (Tesis de Pregrado) Universidad Privada del Norte. Perú. <file:///C:/Users/Rosa/Downloads/Pacheco%20Marcos,%20Anthony%20Guillermo.pdf>

Palencia, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial: Principios fundamentales*. Bogotá: Ediciones de la U.

Palomino, J., Hennings, J. y Echeverría, V. (2017). Análisis macroeconómico del sector construcción en el Perú. *Quipukamayoc*, 25(47), 1-14. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA594832017&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=16098196&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7Eecdea2a0>

Ramos, J. (2017). *Aumento de la disponibilidad mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a las maquinarias de la empresa Atlanta Metal Drill S.A.C*. (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional de Trujillo. Perú. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10142>

Rojas, J. (2019). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos en la planta de chancado de unidad minera en La Libertad, 2019.* (Tesis de Pregrado) Universidad Privada del Norte. Perú.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23695/Rojas%20Gonzales%20Jaime%20Roman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rubio, W. (2019). *Plan de mantenimiento preventivo para la flota de maquinaria pesada y vehículos administrativos del municipio de Motavita.* (Tesis de Pregrado) Universidad Santo Tomas. Colombia. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19188>

Sánchez, E. (2021). *Optimización de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de una flota de semirremolques tipo portacontenedores que transportan concentrado de cobre en Proyecto Minero las Bambas* (Tesis de Pregrado) Universidad Continental. Perú.

[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11550/5/IV\\_FIN\\_111\\_TS\\_P\\_Sanchez\\_Huichi\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11550/5/IV_FIN_111_TS_P_Sanchez_Huichi_2021.pdf)

Suárez, E. (2018) *Mantenimiento Preventivo para mejorar la Disponibilidad de Equipos en la Empresa Petramás SAC –Ate 2018.* (Tesis de Pregrado) Universidad César Vallejo. Perú. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35142>

Talabera, T. (2019). *Implementación del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas críticas en Nuevo Mundo S.A., Cercado de Lima, 2019.* (Tesis de Pregrado). Universidad César Vallejo. Perú. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45403>

Vargas, I., Estupiñán, S. y Díaz, A. (2017). Actualidad mundial de los sistemas de gestión del mantenimiento. *ICIDCA*, 51(2), 10-16.

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251002.pdf>

Villajulca, Y. (2021). *Mantenimiento basado en el AMEF para la flota vehicular de la empresa TRC SAC* (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/17964/Villajulca%20Carbajal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/19615/Nure%C3%B1a%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Yagual, A., López, M., Sánchez, L. y Narváez, J. (2018). La contribución del sector de la construcción sobre el producto interno bruto PIB en Ecuador. *Revista Lasallista de Investigación*, 15(2), 1-8.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492018000200286](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492018000200286)

*Perú tendrá segunda inflación más baja de AL.* (01 de agosto de 2022). Diario El Peruano.

<https://www.elperuano.pe/noticia/174824-peru-tendra-segunda-inflacion-mas-baja-de-al>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Matriz de consistencia

Problema de investigación	Objetivos de la investigación	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Metodología
¿En qué medida el diseño de un sistema de mantenimiento preventivo influye en la disponibilidad de máquinas en una empresa constructora. Trujillo 2022?	<p><b>Objetivo general</b> Determinar en qué medida el diseño de un sistema de mantenimiento preventivo influye en la disponibilidad de máquinas en una empresa constructora, Trujillo 2022.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> - Determinar la disponibilidad de máquinas antes de la propuesta y las causas raíz.</p> <p>- Elaborar el diseño del sistema de mantenimiento preventivo.</p> <p>- Determinar la disponibilidad después de la propuesta.</p> <p>- Evaluar a través de la metodología costo-beneficio la viabilidad de la propuesta a través de los indicadores de flujo de caja y VAN, TIR, IR.</p>	El diseño de un sistema de mantenimiento preventivo incrementa en más de 90% la disponibilidad de máquinas en una empresa constructora, Trujillo 2022.	<p><b>Variable independiente:</b> Sistema de mantenimiento preventivo</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Disponibilidad de máquinas</p>	<p>Planificación</p> <p>Verificación</p> <p>Funcionamiento</p> <p>Operatividad</p> <p>Disponibilidad</p>	<p>Horas mensuales de mantenimiento programado</p> <p>Horas mensuales de mantenimiento realizado</p> <p>- MTBF: Horas de operación y cantidad de paradas correctivas</p> <p>- MTTF: Horas de operación y cantidad de fallas</p> <p>MTTR: Tiempo en reparación y cantidad de reparaciones correctivas</p> <p>MTBF y MTTR</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>3, 4</p> <p>3, 5</p> <p>6, 7</p>	<p><b>- Tipo de investigación:</b> Aplicada.</p> <p><b>- Enfoque de investigación:</b> Cuantitativo.</p> <p><b>- Nivel o alcance de la investigación:</b> Descriptivo.</p> <p><b>- Diseño de investigación:</b> Pre-experimental.</p> <p><b>- Población:</b> Todas las actividades de mantenimiento preventivo</p> <p><b>- Muestra:</b> Todas las actividades de mantenimiento preventivo</p> <p><b>- Muestreo:</b> Censal</p> <p><b>- Técnica de recolección de datos:</b> Observación directa</p> <p><b>- Instrumento de recolección de datos:</b> Ficha de observación</p>

### Anexo 2

### Operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
<b>Variable independiente: Sistema de mantenimiento preventivo</b>	Conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos (Palencia, 2012)	Planificación	Sumatoria de horas de mantenimiento programado de operatividad de equipos	
		Verificación	Sumatoria de horas de mantenimiento realizado de operatividad de equipos	
		Funcionamiento	MTBF (Tiempo medio entre fallas)	$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ paradas correctivas}}$
			MTTF (Tiempo promedio para la falla)	$MTTF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$
Operatividad	MTTR- (Tiempo medio de reparación)	$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparaciones}}{N^{\circ} \text{ reparaciones correctivas}}$		
<b>Variable dependiente: Disponibilidad de máquinas</b>	Probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables (Mora, 2009)	Disponibilidad	MTBF - (Tiempo medio entre fallas) MTTR- (Tiempo medio de reparación) $A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$	

### Anexo 3

Instrumento de recolección de datos

#### FICHA DE DATOS AREA DE MANTENIMIENTO

**Máquina:**

**Semana desde el día:** \_\_\_\_\_ **al día:** \_\_\_\_\_

<b>1. Horas de mantenimiento programado</b>							
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total semana

<b>2. Horas de mantenimiento realizado</b>							
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total semana

<b>3. Horas de producción</b>							
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total semana

<b>4. Cantidad de paradas correctivas</b>							
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total semana

**5. Cantidad de fallas**

<b>5. Cantidad de fallas</b>							
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total semana

**6. Horas en reparación**

<b>6. Horas en reparación</b>							
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total semana

**7. Cantidad de reparaciones correctivas**

<b>7. Cantidad de reparaciones correctivas</b>							
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total semana



## Anexo 4

Sistema de mantenimiento preventivo a las máquinas de la empresa DHP Rock Drill SAC.

Programación de actividades (D=Diario; M=Mensual; T=Trimestral; S= Semestral; A=Anual)																													
Máquina: Grúa																													
	D	M	T	S	A	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Inspección antes de funcionamiento	X																												
Limpieza general	X																												
Verificación de contaminación de aceite, lubricante y refrigerante		X							X				X				X				X				X				X
Revisión de rodamientos del motor			X				X							X															
Revisión del aislamiento del motor			X				X							X															
Verificación del estado del aceite de la caja de velocidades				X						X																			
Revisión y evaluación del sistema eléctrico			X					X											X										
Revisión de sistema hidráulico		X				X			X			X			X		X			X			X		X				
Revisión de estado de las mangueras		X						X			X			X				X			X			X			X		
Revisión de roces entre mangueras y cables		X						X			X			X				X			X			X			X		
Revisión interna de la bobina				X											X														
Revisión de palancas de mando, computadora y monitores de la cabina			X			X									X														
Evaluación de las celdas de las baterías				X				X																					
Revisión de los terminales a tierra				X				X																					
Revisión de la articulación de palancas				X				X																					
Limpieza general después de la operación	X																												



Máquina: Cribadora																														
	D	M	T	S	A	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				
						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Inspección antes de funcionamiento	X																													
Limpieza general	X																													
Revisión y ajuste de las mirillas de inspección		X							X				X				X				X				X					X
Revisión del estado de las abrazaderas			X			X											X													
Inspección de las conexiones eléctricas			X				X													X										
Revisión del estado de los chupones				X										X																
Revisión y evaluación del sistema eléctrico			X			X											X													
Limpieza profunda de las charolas y agujeros de salida		X					X				X				X				X					X					X	
Revisión del motor				X					X																					
Revisión del estado de las fajas			X			X											X													
Evaluación de los contrapesos				X							X																			
Limpieza general después de la operación	X																													

	D	M	T	S	A	Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto			
						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Inspección antes de funcionamiento	X																												
Limpieza general	X																												
Revisión y ajuste de las mirillas de inspección		X						X			X			X			X			X			X			X			
Revisión del estado de las abrazaderas			X			X										X													
Inspección de las conexiones eléctricas			X				X									X													
Revisión del estado de los chupones				X							X																		
Revisión y evaluación del sistema eléctrico			X			X										X													
Limpieza profunda de las charolas y agujeros de salida		X						X			X			X			X			X			X			X			
Revisión del motor				X				X																					
Revisión del estado de las fajas			X			X										X													
Evaluación de los contrapesos				X					X																				
Limpieza general después de la operación	X																												

Máquina: Pavimentadora	D	M	T	S	A	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
						Inspección antes de funcionamiento	X																						
Verificación de las vigas y componentes	X																												
Verificación de fugas	X																												
Revisión del aceite del motor, refrigerante y aceite hidráulico		X				X			X				X				X				X				X				X
Reemplazo del aceite del motor					X			X																					
Reemplazo del aceite lubricante de la caja			X						X												X								
Comprobación de boquilla, tubería de conexión, tanque de gas e interruptores del sistema de calefacción				X				X													X								
Verificación de grietas en la cuchilla del alimentador y de la zapata de goma					X	X																							
Comprobación del circuito eléctrico					X				X																				
Comprobación del abrasión del dispositivo de alimentación					X				X																				
Comprobación de la oxidación de la batería					X								X																
Reemplazo de filtros del aceite					X												X												
Limpieza general después de la operación	X																												









Máquina: Rodillo neumático	D	M	T	S	A	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
						Inspección antes de funcionamiento	X																						
Comprobar presencia de juntas secas	X																												
Reemplazo del aceite del motor			X						X												X								
Verificación de nivel de aceite del motor		X						X				X				X				X				X				X	
Cambio de filtros de aceite			X			X										X													
Chequeo y regulación de válvulas				X					X																				
Verificación de inyectores y bomba inyectora				X				X																					
Verificación y ajuste del estado de correas		X					X		X			X			X		X		X		X			X			X		
Limpieza de respiradero			X					X											X										
Limpieza de tubo de suministro de aceite del motor			X			X									X														
Comprobar nivel de aceite hidráulico	X																												
Comprobar cartucho filtrante de aceite hidráulico	X																												
Limpiar recolector de polvo		X						X			X				X		X		X		X			X			X		
Drenaje separador de agua		X					X		X			X			X		X		X		X			X			X		
Limpieza del condensador del refrigerante				X												X													
Drenaje del sistema completo y cambio de líquido refrigerante					X							X																	
Limpieza general después de la operación	X																												

	D	M	T	S	A	Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto			
						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Inspección antes de funcionamiento	X																												
Comprobar presencia de juntas secas	X																												
Reemplazo del aceite del motor			X						X												X								
Verificación de nivel de aceite del motor		X						X				X				X				X				X				X	
Cambio de filtros de aceite			X			X										X													
Chequeo y regulación de válvulas				X							X																		
Verificación de inyectores y bomba inyectora				X					X																				
Verificación y ajuste del estado de correas		X						X			X				X				X			X				X			
Limpieza de respiradero			X						X												X								
Limpieza de tubo de suministro de aceite del motor			X			X										X													
Comprobar nivel de aceite hidráulico	X																												
Comprobar cartucho filtrante de aceite hidráulico	X																												
Limpiar recolector de polvo		X						X			X				X				X			X				X			
Drenaje separador de agua		X						X			X				X				X			X				X			
Limpieza del condensador del refrigerante				X												X													
Drenaje del sistema completo y cambio de líquido refrigerante					X																								
Limpieza general después de la operación	X																												



Máquina: Compresor						Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				
	D	M	T	S	A	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Inspección antes de funcionamiento	X																													
Limpieza general	X																													
Revisión de niveles de aceite y fluidos en el motor	X																													
Limpieza del filtro de aceite		X				X				X				X				X				X				X				
Drenaje del agua del separador de combustible		X					X				X				X				X				X				X			
Limpieza de colectores de polvo	X																													
Limpieza de enfriadores		X					X				X				X				X				X				X			
Eliminación de contaminantes en los fluidos		X						X				X				X				X				X				X		
Inspección del estado de radiadores y enfriadores			X			X										X					X									
Revisión de filtros y correas del motor			X				X										X													
Verificación de fugas	X																													
Revisión del estado de las cadenas			X					X														X								
Revisión del estado de los rodamientos			X			X											X													
Cambio del filtro de aceite					X										X															
Lubricación		X					X				X				X				X				X				X			
Limpieza general después de la operación	X																													

	D	M	T	S	A	Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto							
						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Inspección antes de funcionamiento	X																																
Limpieza general	X																																
Revisión de niveles de aceite y fluidos en el motor	X																																
Limpieza del filtro de aceite		X				X			X				X				X				X				X				X				X
Drenaje del agua del separador de combustible		X						X				X				X				X				X				X				X	
Limpieza de colectores de polvo	X																																
Limpieza de enfriadores		X					X				X				X				X				X				X				X		
Eliminación de contaminantes en los fluidos		X						X				X				X				X				X				X				X	
Inspección del estado de radiadores y enfriadores			X			X										X																	
Revisión de filtros y correas del motor			X					X												X													
Verificación de fugas	X																																
Revisión del estado de las cadenas			X					X													X												
Revisión del estado de los rodamientos			X			X											X																
Cambio del filtro de aceite					X																												
Lubricación		X					X				X				X				X				X				X				X		
Limpieza general después de la operación	X																																

Máquina: Motoniveladora						Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
	D	M	T	S	A	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Inspección antes de funcionamiento	X																												
Limpieza general	X																												
Verificación de nivel de aceite de eje trasero		X					X				X				X				X				X				X		
Limpieza de filtros de aire		X						X				X				X				X				X				X	
Cambio de filtros de aire					X																X								
Cambio de aceite de motor		X				X			X		X				X				X				X				X		
Revisión de niveles de electrolito de batería		X						X				X				X				X				X				X	
Cambio de filtro de aceite hidráulico				X								X																	
Verificación del sistema eléctrico				X												X													
Cambio de filtro de combustible				X																X									
Ajuste de elementos de desplazamiento de la hoja				X																				X					
Verificación del estado de las mangueras de entrada de aire					X	X																							
Limpieza y verificación de estado de cojinetes de las ruedas					X																							X	
Drenaje del depósito hidráulico					X															X									
Drenaje de caja de transmisión					X											X													
Drenaje de caja de transferencia					X																								
Drenaje del sistema refrigerante					X																								
Limpieza general después de la operación	X																												

	D	M	T	S	A	Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto			
						1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Inspección antes de funcionamiento	X																												
Limpieza general	X																												
Verificación de nivel de aceite de eje trasero		X					X				X				X				X				X				X		
Limpieza de filtros de aire		X						X				X				X				X				X				X	
Cambio de filtros de aire					X																								
Cambio de aceite de motor		X				X			X			X				X				X				X				X	
Revisión de niveles de electrolito de batería		X						X				X				X				X				X				X	
Cambio de filtro de aceite hidráulico				X								X																	
Verificación del sistema eléctrico				X									X																
Cambio de filtro de combustible				X													X												
Ajuste de elementos de desplazamiento de la hoja				X																	X								
Verificación del estado de las mangueras de entrada de aire					X																								
Limpieza y verificación de estado de cojinetes de las ruedas					X																								
Drenaje del depósito hidráulico					X																								
Drenaje de caja de transmisión					X																								
Drenaje de caja de transferencia					X			X																					
Drenaje del sistema refrigerante					X							X																	
Limpieza general después de la operación	X																												

## Anexo 5

### Recolección de datos

PERFIL PRODUCTIVO - MÁQUINA: GRÚA								
Mes	Semana	Horas de mantenimiento programado	Horas de mantenimiento realizado	Horas de operación	Paradas correctivas	Cantidad de fallas	Tiempo de reparación	Reparaciones correctivas
Enero	1	1		18	4	1	5	1
	2	2		20	5		3	
	3	1		16	2		3	1
	4	3		18	4	1	4	2
Febrero	1			19	3	2	3	1
	2			16	3		4	
	3			22	2	1	3	
	4			19	3	1	4	1
Marzo	1			23	2	1	3	2
	2			18	4	2	3	2
	3			17	2	1	3	
	4			21	4		4	2
Abril	1			19	3		5	
	2			23	5	1	4	2
	3			19	5		3	
	4			17	5	1	3	1
Mayo	1			18	4		4	1
	2			22	5	2	4	
	3			18	5		4	1
	4			17	2	1	3	1
Junio	1			17	4		4	
	2			17	4		4	
	3			22	3	1	5	1
	4			23	2		4	

PERFIL PRODUCTIVO - MÁQUINA: CRIBADORA SOBRE ORUGAS								
Mes	Semana	Horas de mantenimiento programado	Horas de mantenimiento realizado	Horas de operación	Paradas correctivas	Cantidad de fallas	Tiempo de reparación	Reparaciones correctivas
Enero	1	2	2	19	3	1	3	1
	2	1	1	18	2		2	
	3	2	2	18	3	2	3	1
	4	1	1	16	2	1	3	1
Febrero	1			18	3	1	4	
	2			17	4		5	1
	3			19	5	1	4	1
	4			20	4	1	4	2
Marzo	1			18	4		3	
	2			19	3		2	1
	3			18	3	1	6	1
	4			20	3	1	3	1
Abril	1			19	3	1	4	
	2			19	4	2	3	1
	3			16	4		4	
	4			19	4		3	1
Mayo	1			18	3	1	5	1
	2			17	3	2	5	
	3			16	3		5	1
	4			18	3		4	2
Junio	1			19	4	1	3	
	2			17	4		3	1
	3			18	2		3	2
	4			17	3		5	



PERFIL PRODUCTIVO - MÁQUINA: PAVIMENTADORA DE ASFALTO								
Mes	Semana	Horas de mantenimiento programado	Horas de mantenimiento realizado	Horas de operación	Paradas correctivas	Cantidad de fallas	Tiempo de reparación	Reparaciones correctivas
Enero	1			23	5	1	3	
	2			22	4		4	1
	3			20	4		4	1
	4			22	4	2	3	
Febrero	1	3	3	24	5	1	3	
	2	1	1	21	4		4	1
	3	1	1	18	3		4	2
	4	3	3	21	3	2	5	
Marzo	1			22	6		4	
	2			25	4	2	5	2
	3			22	5	1	3	1
	4			19	5	1	3	
Abril	1			23	4		3	
	2			22	5	1	3	2
	3			19	4	2	3	3
	4			24	4		3	
Mayo	1			23	5		4	2
	2			22	6	2	2	1
	3			25	4		3	
	4			19	5	1	3	
Junio	1			22	6		3	1
	2			20	5	1	3	2
	3			21	4	1	5	
	4			19	6		3	1

PERFIL PRODUCTIVO - MÁQUINA: EXCAVADORA HIDRAÚLICA SOBRE ORUGAS								
Mes	Semana	Horas de mantenimiento programado	Horas de mantenimiento realizado	Horas de operación	Paradas correctivas	Cantidad de fallas	Tiempo de reparación	Reparaciones correctivas
Enero	1			18	5		1	2
	2			17	4	2	4	
	3			16	4		2	
	4			19	3	1	1	2
Febrero	1			18	5		3	
	2			23	5	1	2	
	3			17	6	3	2	2
	4			20	5	2	3	2
Marzo	1	2		18	7		3	
	2	3		22	5	1	4	1
	3	1		23	5		4	2
	4	1		20	4		4	
Abril	1			19	5		3	
	2			24	3		4	2
	3			16	5	1	5	1
	4			20	6		6	
Mayo	1			24	4	2	5	
	2			19	3	1	4	2
	3			21	3		3	
	4			20	4		3	1
Junio	1			20	3	1	4	
	2			25	3		3	1
	3			23	2	2	4	
	4			22	3		2	3

PERFIL PRODUCTIVO - MÁQUINA: RODILLO NEUMÁTICO								
Mes	Semana	Horas de mantenimiento programado	Horas de mantenimiento realizado	Horas de operación	Paradas correctivas	Cantidad de fallas	Tiempo de reparación	Reparaciones correctivas
Enero	1			20	6		4	
	2			19	5		3	2
	3			18	5	2	4	
	4			20	4		3	
Febrero	1			19	5		3	2
	2			23	6	2	4	
	3			20	4	1	4	
	4			19	5		5	2
Marzo	1	4	4	20	6		4	
	2			21	5	2	4	2
	3	2	2	22	4		4	
	4	1	1	20	4		4	2
Abril	1			23	5		4	
	2			21	4	2	1	1
	3			22	3	1	4	1
	4			23	3		3	
Mayo	1			22	6		3	
	2			25	4	1	4	1
	3			23	5	1	4	
	4			22	5		2	2
Junio	1			19	6	2	2	
	2			21	7		3	1
	3			21	5		3	2
	4			20	5	1	2	

PERFIL PRODUCTIVO - MÁQUINA: BOMBA DE TORNILLO CON MEZCLADOR								
Mes	Semana	Horas de mantenimiento programado	Horas de mantenimiento realizado	Horas de operación	Paradas correctivas	Cantidad de fallas	Tiempo de reparación	Reparaciones correctivas
Enero	1			19	5		5	
	2			21	4	2	4	2
	3			22	4		4	1
	4			18	5	2	3	
Febrero	1			19	4		4	
	2			18	5	1	5	2
	3			16	5	1	5	2
	4			17	4		4	
Marzo	1			23	3	2	5	
	2			20	4		5	3
	3			19	4	1	5	2
	4			18	5		4	2
Abril	1	1	1	23	3	1	3	
	2	2	2	22	4	1	4	
	3			22	4		3	2
	4	2	2	19	4		3	
Mayo	1			16	6	1	1	
	2			18	4		1	1
	3			21	3	2	2	2
	4			22	4		3	
Junio	1			20	4		4	2
	2			19	3	1	3	1
	3			23	3	1	2	
	4			17	4		2	1

PERFIL PRODUCTIVO - MÁQUINA: COMPRESOR PORTATIL								
Mes	Semana	Horas de mantenimiento programado	Horas de mantenimiento realizado	Horas de operación	Paradas correctivas	Cantidad de fallas	Tiempo de reparación	Reparaciones correctivas
Enero	1			23	6		3	1
	2			21	5	2	4	2
	3			22	5	1	3	
	4			21	5		2	1
Febrero	1			21	6		2	
	2			24	5	2	3	1
	3			21	5	2	3	2
	4			25	5		4	
Marzo	1			21	6	1	3	1
	2			23	5		3	
	3			22	5	1	4	1
	4			20	5	1	5	1
Abril	1			22	5		3	1
	2			24	6		4	2
	3			22	5	2	3	
	4			20	5	1	3	1
Mayo	1	1		19	5	1	4	1
	2	2		23	4		3	2
	3	2		22	5	1	2	1
	4	1		21	5		3	
Junio	1			23	6		3	
	2			22	5	1	3	2
	3			19	4	1	3	1
	4			20	5		4	

PERFIL PRODUCTIVO - MÁQUINA: MOTONIVELADORA								
Mes	Semana	Horas de mantenimiento programado	Horas de mantenimiento realizado	Horas de operación	Paradas correctivas	Cantidad de fallas	Tiempo de reparación	Reparaciones correctivas
Enero	1			18	3		5	1
	2			17	4		4	
	3			19	4	2	4	1
	4			20	3		5	2
Febrero	1			19	4	1	5	
	2			17	5	2	4	1
	3			19	4	1	4	1
	4			19	4		5	1
Marzo	1			22	3	1	2	1
	2			19	4		3	
	3			24	4	1	4	2
	4			18	5	1	5	2
Abril	1			21	4		2	1
	2			20	4		2	
	3			19	3	1	5	1
	4			18	2	1	2	2
Mayo	1			23	3	1	4	
	2			19	4		4	1
	3			18	4	1	3	2
	4			23	3		3	1
Junio	1	2	2	22	4		3	
	2	3	3	18	4	1	5	2
	3			17	3	1	3	2
	4	2	2	19	2		2	1

## Anexo 6

### Desglose de costos por cada ítem

<b>Costos por procedimientos</b>			
Descripción	Cantidad	Costo	Total anual
Aceite	2	30	60
Galón de pintura	2	22	44
Llaves mixtas	3	10	30
Desarmadores	2	15	30
Llaves exagonales	4	4	16
Gloss	5	3	15
<b>TOTAL</b>			<b>195</b>

<b>Costos por capacitaciones</b>				
Descripción de la capacitación	Cantidad de sesiones	Costo de sesión	Total trimestral	Total anual
Lubricantes y aceites	5	150	750	3000
Engrasado	5	150	750	3000
Detección de fallas	5	150	750	3000
Análisis eléctricos	5	150	750	3000
<b>TOTAL</b>				<b>12000</b>

<b>Costos por implementos</b>				
Implemento	Costo	Cantidad de trabajadores	Total trimestral	Total anual
Videos y diapositivas	25	12	300	1200
<b>TOTAL</b>				<b>1200</b>

<b>Costos por material de registro</b>				
Implemento	Costo	Cantidad	Total mensual	Total anual
Cuadernos	15	3	45	540
<b>TOTAL</b>				<b>540</b>

<b>Costos por cuidado a la salud</b>				
Material	Costo	Cantidad	Total mensual	Total anual
Mascarillas	50	10	500	6000
Caretas	7	5	35	420
<b>TOTAL</b>				<b>6420</b>

<b>Costos por higiene</b>				
Material	Costo	Cantidad	Total mensual	Total anual
Papel de baño	21	4	84	1008
Jabón de baño	15	4	60	720
Papeleras	12	2	24	288
Material de limpieza	12	2	24	288
<b>TOTAL</b>				<b>2304</b>

<b>Costos por botiquín</b>				
Implemento	Costo	Cantidad	Total cuatrimestral	Total anual
Botiquín	30	1	30	90
<b>TOTAL</b>				<b>90</b>

<b>Costos por mano de obra</b>				
Personal	Costo	Cantidad	Total mensual	Total anual
Ingeniero mecánico	3000	1	3000	36000
Planner	1200	2	2400	28800
<b>TOTAL</b>				<b>64800</b>

<b>Costos por mantenimiento preventivo</b>			
Descripción	Cantidad	Costo	Total anual
Mtto a grúa	1	1518	1518
Mtto a cribadora	1	1523	1523
Mtto a pavimenadora	1	1876	1876
Mtto a excavadora	1	1778	1778
Mtto a rodillo	1	1397	1397
Mtto a bomba	1	1298	1298
Mtto a compresor	1	1749	1749
Mtto a motoniveladora	1	2298	2298
<b>TOTAL</b>			<b>13437</b>

## Anexo 7

### Equipo Excavadora Hidráulica



## Anexo 8

Toma de tiempo previa del despacho de repuestos del asistente de almacén

Detalle	Elementos	#Ciclo de observación - Tiempo en minutos																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Recepción de solicitud de repuestos	1	0.10	0.09	0.12	0.12	0.07	0.08	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.10	0.12	0.07	0.09	0.08	0.11	0.07	0.08	0.10	0.11	0.15	0.06	0.07	0.09	0.10	0.06	0.08	0.11	0.14	0.07	0.06
Búsqueda de disponibilidad de los repuestos en el sistema	2	0.31	0.35	0.33	0.37	0.33	0.29	0.40	0.26	0.21	0.32	0.25	0.35	0.31	0.37	0.25	0.28	0.27	0.20	0.38	0.41	0.42	0.40	0.31	0.21	0.31	0.24	0.18	0.34	0.32	0.45	0.34	0.22
Traslado a almacén	3	0.11	0.10	0.11	0.10	0.07	0.08	0.12	0.07	0.08	0.07	0.08	0.10	0.18	0.09	0.08	0.18	0.11	0.07	0.10	0.08	0.15	0.14	0.06	0.07	0.10	0.10	0.07	0.09	0.10	0.12	0.07	0.06
Recolección de repuestos	4	1.19	1.13	1.18	1.13	1.22	1.25	1.18	1.21	1.19	1.33	1.09	1.20	1.38	1.35	1.33	1.25	1.36	1.49	1.31	1.37	1.18	1.78	1.15	1.16	1.39	1.23	1.39	1.17	1.22	1.36	1.26	0.96
Traslado a zona de despacho	5	0.09	0.09	0.08	0.11	0.07	0.11	0.07	0.08	0.10	0.07	0.07	0.11	0.10	0.08	0.12	0.11	0.08	0.09	0.10	0.09	0.07	0.13	0.06	0.10	0.12	0.07	0.08	0.08	0.07	0.13	0.07	0.08
Espera de clave	6	0.10	0.08	0.07	0.12	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.10	0.09	0.05	0.08	0.07	0.08	0.07	0.10	0.09	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.09	0.06	0.09	0.07	0.06	0.14	0.08	0.05
Despacho y corroboración de repuestos entregados	7	2.00	1.77	2.28	2.49	1.60	2.91	1.57	2.98	2.56	1.96	2.16	2.00	1.84	3.02	2.38	1.66	2.57	1.85	2.04	1.68	1.60	2.39	2.59	2.09	1.85	2.34	1.74	1.80	2.31	3.03	1.66	2.24

## Anexo 9

### Tiempo previo estándar del asistente de almacén

Detalle	Promedio (X)	Xmin	Xmax	To	Valoración	Tn	Suplemento	Fs	Ts	Frecuencia	Ts*Fr	Tn* Fr
Recepción de solicitud de repuestos	0.09	0.07	0.11	0.09	0.75	0.07	14	1.14	0.08	1	0.08	0.07
Búsqueda de disponibilidad de los repuestos en el sistema	0.31	0.25	0.37	0.31	0.75	0.23	14	1.14	0.27	1	0.27	0.23
Traslado a almacén	0.10	0.08	0.12	0.09	0.75	0.07	14	1.14	0.08	1	0.08	0.07
Recolección de repuestos	1.26	1.01	1.51	1.26	0.75	0.95	14	1.14	1.08	1	1.08	0.95
Traslado a zona de despacho	0.09	0.07	0.11	0.09	0.75	0.07	14	1.14	0.08	1	0.08	0.07
Espera de clave	0.08	0.07	0.10	0.08	0.75	0.06	14	1.14	0.07	1	0.07	0.06
Despacho y corroboración de repuestos entregados	2.17	1.73	2.60	2.15	0.75	1.61	14	1.14	1.84	1	1.84	1.61



## Anexo 10

### Toma de tiempos posterior del asistente de almacén

Detalle	Elementos	#Ciclo de observación - Tiempo en minutos																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Recepción de solicitud de repuestos	1	0.07	0.09	0.11	0.06	0.08	0.07	0.11	0.06	0.09	0.11	0.13	0.09	0.08	0.07	0.06	0.10	0.07	0.07	0.12	0.07
Búsqueda de disponibilidad de los repuestos en el sistema	2	0.30	0.33	0.28	0.26	0.28	0.26	0.27	0.29	0.36	0.36	0.51	0.26	0.27	0.37	0.22	0.36	0.22	0.18	0.31	0.36
Traslado a almacén	3	0.09	0.09	0.10	0.05	0.07	0.08	0.11	0.07	0.10	0.12	0.14	0.08	0.07	0.07	0.06	0.11	0.06	0.07	0.06	0.09
Recolección de repuestos	4	1.32	1.15	1.27	0.98	1.25	1.18	1.39	1.42	1.25	1.48	1.62	0.92	0.84	1.36	0.96	1.08	1.04	1.29	1.29	1.39
Traslado a zona de despacho	5	0.08	0.10	0.09	0.05	0.11	0.10	0.08	0.08	0.09	0.10	0.13	0.06	0.08	0.07	0.08	0.06	0.07	0.09	0.06	0.08
Espera de clave	6	0.12	0.08	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.09	0.08	0.11	0.11	0.05	0.08	0.09	0.05	0.07	0.06	0.07	0.06	0.12
Despacho y corroboración de repuestos entregados	7	2.63	1.91	1.70	2.19	2.24	1.57	2.64	1.77	1.93	2.43	2.56	1.79	1.85	1.79	2.24	1.45	2.57	2.33	1.91	2.68

Detalle	Elementos	#Ciclo de observación - Tiempo en minutos																			
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Recepción de solicitud de repuestos	1	0.08	0.11	0.06	0.07	0.16	0.13	0.08	0.05	0.15	0.07	0.13	0.06	0.07	0.09	0.08	0.06	0.08	0.14	0.11	0.11
Búsqueda de disponibilidad de los repuestos en el sistema	2	0.31	0.30	0.34	0.21	0.28	0.33	0.24	0.25	0.21	0.27	0.35	0.26	0.22	0.33	0.28	0.19	0.26	0.55	0.31	0.36
Traslado a almacén	3	0.08	0.10	0.07	0.06	0.09	0.13	0.09	0.05	0.06	0.07	0.12	0.05	0.07	0.10	0.08	0.07	0.09	0.15	0.10	0.09
Recolección de repuestos	4	1.05	1.36	1.23	1.15	1.25	1.65	1.78	1.06	1.00	0.95	1.55	0.98	1.16	1.47	1.05	1.46	1.06	1.84	1.17	1.08
Traslado a zona de despacho	5	0.09	0.09	0.07	0.10	0.11	0.09	0.10	0.05	0.05	0.08	0.11	0.05	0.10	0.13	0.06	0.08	0.07	0.14	0.07	0.10
Espera de clave	6	0.07	0.04	0.07	0.06	0.08	0.08	0.12	0.05	0.08	0.07	0.05	0.05	0.06	0.09	0.05	0.09	0.08	0.12	0.06	0.11
Despacho y corroboración de repuestos entregados	7	1.76	1.83	2.77	2.07	1.67	3.15	2.22	1.57	1.91	1.58	2.08	2.19	2.10	1.96	1.99	1.82	1.75	2.87	2.21	2.40

## Anexo 11

Tiempo posterior estándar del asistente de almacén

Detalle	Promedio (X)	Xmin	Xmax	To	Valoración	Tn	Suplemento	Fs	Ts	Frecuencia	Ts*Fr	Tn* Fr
Recepción de solicitud de repuestos	0.09	0.07	0.11	0.09	0.75	0.07	14	1.14	0.08	1	0.08	0.07
Búsqueda de disponibilidad de los repuestos en el sistema	0.30	0.24	0.36	0.29	0.75	0.22	14	1.14	0.25	1	0.25	0.22
Traslado a almacén	0.09	0.07	0.10	0.08	0.75	0.06	14	1.14	0.07	1	0.07	0.06
Recolección de repuestos	1.24	1.00	1.49	1.23	0.75	0.92	14	1.14	1.05	1	1.05	0.92
Traslado a zona de despacho	0.09	0.07	0.10	0.09	0.75	0.07	14	1.14	0.08	1	0.08	0.07
Espera de clave	0.08	0.06	0.09	0.08	0.75	0.06	14	1.14	0.07	1	0.07	0.06
Despacho y corroboración de repuestos entregados	2.10	1.68	2.52	2.01	0.75	1.51	14	1.14	1.72	1	1.72	1.51