

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“MANTENIMIENTO PLANIFICADO Y LA DISPONIBILIDAD DE  
LA LÍNEA DE TROZADO EN LA PLANTA DE PERUVIAN  
NATURE S&S SAC”**

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

**BRYAN OLIVARES ALVAREZ**

Callao, 2019

**PERÚ**

**“MANTENIMIENTO PLANIFICADO Y LA DISPONIBILIDAD DE LA LÍNEA DE  
TROZADO EN LA PLANTA DE PERUVIAN NATURE S&S SAC”**

### **DEDICATORIA:**

A mi Dios, el Todopoderoso, por esa mano bondadosa que siempre me sostuvo y no me abandonó. Porque me dio la oportunidad de poder obtener este logro importante en mi vida y compartirlo con mi familia.

A mi madre, Olinda Alvarez, por el apoyo constante. Hoy puedo recordar que cuando inicié este sueño hace algunos años prometió apoyarme hasta el final, y así fue como sucedió, a pesar de lo difícil que fue para ambos hoy podemos decir que lo logramos juntos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi padre, Dino Olivares por el apoyo brindado en los momentos más difíciles. A mis 4 abuelos; Alejandro, María, Pedro (†) y Alejandrina; por el ejemplo y dedicación que me dieron desde pequeño. A mi familia en general, porque son mi principal motivación para seguir adelante.

A mi asesor el ingeniero Arturo Gamarra por el apoyo en esta tesis. A mi casa de estudios, la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, por el desarrollo profesional y personal brindado durante estos años.

A los señores Damián Silva y Gabriela Llontop, por permitir que este trabajo de investigación se pueda desarrollar en la planta de Peruvian Nature. A los señores José Luis Chumpitaz, Nicolás Aguayo, Jean Piero Zucconi y a mis compañeros de mantenimiento; por la confianza e ideas brindadas durante este proceso.

A mis amigos de Emanuel; a los pastores y cada miembro; por el apoyo incondicional y afecto sincero brindado. A mis amigos en general, aquellos que brindaron su apoyo y motivación durante toda mi carrera universitaria.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Objetivos de la investigación.....	16
1.4. Limitantes de la investigación .....	17
1.4.1 Limitante teórico .....	17
1.4.2 Limitante temporal .....	18
1.4.3 Limitante Espacial .....	18
II. MARCO TEÓRICO .....	19
2.1. Antecedentes de estudio.....	19
2.1.1 Antecedentes nacionales .....	19
2.1.2 Antecedentes internacionales .....	20
2.2. Bases teóricas .....	21
2.2.1 Definición y evolución del mantenimiento.....	21
2.2.2 Tipos de mantenimiento .....	22
2.2.3 Ingeniería de la confiabilidad y el análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (CDM) .....	26
2.2.4 Análisis de modos de falla y efectos de fallo (AMEF) de riesgo prioridad número (RPN).....	28
2.2.5 Gestión de Materiales.....	34
2.2.6 Programa de capacitaciones .....	35
2.2.7 Registro de Incidencias en Mantenimiento.....	35
2.2.8 Indicadores de mantenimiento.....	36

2.3.	Definiciones de términos básicos.....	40
III.	VARIABLES E HIPÓTESIS.....	41
3.1.	Hipótesis.....	41
3.2.	Variables de la investigación.....	43
3.3.	Operacionalización de variables.....	43
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	44
4.1.	Tipo y diseño de la investigación.....	44
4.1.1	Tipo de investigación.....	44
4.1.2	Nivel de investigación.....	44
4.1.3	Diseño.....	44
4.2.	Método de investigación.....	44
4.3.	Población y muestra.....	44
4.4.	Lugar del estudio y periodo desarrollado.....	44
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	45
4.5.1	Inspección visual.....	45
4.5.2	Entrevista.....	45
4.5.3	Documentación de contenidos.....	45
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	46
V.	RESULTADOS.....	47
5.1.	Resultados Descriptivos.....	47
5.2.	Resultados Inferenciales.....	60
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	71
6.1.	Contrastación de hipótesis con los resultados.....	71
6.2.	Contrastación de resultados con otros estudios similares.....	72
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes.....	74
	CONCLUSIONES.....	75

RECOMENDACIONES .....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS .....	82

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

<b>Ecuación II-1.</b> RPN .....	29
<b>Ecuación II-2.</b> Severidad .....	29
<b>Ecuación II-3.</b> MTBF .....	37
<b>Ecuación II-4.</b> Tasa Promedio de Fallas .....	37
<b>Ecuación II-5.</b> MTTR .....	37
<b>Ecuación II-6.</b> Tasa de reparaciones .....	37
<b>Ecuación II-7.</b> Disponibilidad .....	38
<b>Ecuación II-8.</b> Confiabilidad .....	39
<b>Ecuación II-9.</b> Mantenibilidad .....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura V-1.</b> Modos de Fallo en la Línea de trozado.....	47
<b>Figura V-2.</b> Evolución del MTBF inherente de la Línea de trozado .....	53
<b>Figura V-3.</b> Evolución del MTTR inherente de la Línea de trozado .....	53
<b>Figura V-4.</b> Evolución de la disponibilidad inherente de la Línea de trozado ..	54
<b>Figura. V-5.</b> Curvas de Confiabilidad a través del tiempo .....	59
<b>Figura. V-6.</b> Curvas de Mantenibilidad a través del tiempo .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla II—I.</b> Parámetros de la severidad .....	30
<b>Tabla II—II.</b> Categorización de fallos ocultos.....	30
<b>Tabla II—III.</b> Categorización de seguridad física .....	31
<b>Tabla II—IV.</b> Categorización de medio ambiente.....	31
<b>Tabla II—V.</b> Categorización de la imagen corporativa.....	32
<b>Tabla II—VI.</b> Categorización de costos de reparación.....	32
<b>Tabla II—VII.</b> Categorización de efectos en clientes .....	32
<b>Tabla II—VIII.</b> Categorización de ocurrencias.....	33
<b>Tabla II—IX.</b> Categorización de detección.....	33
<b>Tabla III—I.</b> Operacionalización de variables.....	43
<b>Tabla V—I.</b> Modos de fallo en la Línea de trozado .....	47
<b>Tabla V—II.</b> Stock de repuestos para la línea de trozado.....	49
<b>Tabla V—III.</b> Capacitaciones realizadas al personal de mantenimiento y producción.....	50
<b>Tabla V—IV.</b> Cumplimiento de las Tareas Programadas .....	51
<b>Tabla V—V.</b> Datos de fallos funcionales.....	52
<b>Tabla V—VI.</b> Evolución de los indicadores de mantenimiento en fallos funcionales.....	52
<b>Tabla V—VII.</b> Plan de Mantenimiento preventivo .....	55
<b>Tabla V—VIII.</b> Costo total de pérdidas por paradas en la Línea de trozado ....	57
<b>Tabla V—IX.</b> Datos de Intervenciones del área de mantenimiento.....	58
<b>Tabla V—X.</b> Cálculo de indicadores operacionales.....	58
<b>Tabla V—XI.</b> Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk .....	60
<b>Tabla V—XII.</b> Prueba de Levene para el MTBF <sub>i</sub> .....	61
<b>Tabla V—XIII.</b> Prueba T-Student para el MTBF <sub>i</sub> .....	62
<b>Tabla V—XIV.</b> Análisis estadístico descriptivo del MTBF <sub>i</sub> .....	62
<b>Tabla V—XV.</b> Prueba U de Mann-Whitney para las horas de mantenimiento correctivo.....	63
<b>Tabla V—XVI.</b> Datos estadísticos descriptivos para las horas de mantenimiento correctivo.....	64

<b>Tabla V—XVII.</b> Prueba de Levene para las horas de parada por negligencia de personal .....	65
<b>Tabla V—XVIII.</b> Prueba T- Student para las horas de paradas por negligencia del personal.....	66
<b>Tabla V—XIX.</b> Análisis estadístico descriptivo de las horas de parada por negligencia .....	66
<b>Tabla V—XX.</b> Prueba de Levene para el cumplimiento del Plan anual de mantenimiento.....	67
<b>Tabla V—XXI.</b> Prueba T de Student de cumplimiento de las Tareas programadas .....	68
<b>Tabla V—XXII.</b> Datos estadísticos descriptivos para porcentaje de cumplimiento de Tareas programadas .....	68
<b>Tabla V—XXIII.</b> Datos estadísticos descriptivos para la disponibilidad inherente .....	69
<b>Tabla V—XXIV.</b> Prueba U de Mann-Whitney para la disponibilidad inherente	70

## RESUMEN

Esta tesis se realizó con el fin de contrastar la implementación de un mantenimiento planificado con el desarrollo de la disponibilidad en una línea de trozado de una planta agroindustrial. Se planteó el problema con la siguiente pregunta: ¿Cómo la estructura del mantenimiento planificado incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC? El propósito de la investigación fue demostrar que la disponibilidad de la línea, conformada por 7 equipos; mejoró a partir de la estructura del mantenimiento planificado basándose en el análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. Esto se pudo demostrar utilizando el método cuasi experimental, descriptivo y correlacional; apoyándose en el registro de datos y luego en el cálculo de indicadores. Al final de la investigación se puede demostrar que, estructurando un análisis de modo y efecto de falla, una gestión de materiales, un programa de capacitaciones y registrando las incidencias de mantenimiento; la disponibilidad de la línea de trozado mejoró desde un promedio de 89.34% antes de la investigación hasta un promedio de 98.53% después de la investigación; logrando una gestión efectiva del mantenimiento y cuidando los intereses de la empresa Peruvian Nature S&S SAC.

*Palabras claves: Mantenimiento planificado/ Confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad/ Gestión del mantenimiento.*

## ABSTRACT

This thesis was carried out in order to contrast the implementation of a planned maintenance with the development of availability in a cutting line of an agroindustrial plant. The problem statement that consisted of the question was seen: How does the planned maintenance structure improve the availability of the cutting line at the Peruvian Nature S&S SAC plant? The purpose of the investigation was to demonstrate that the availability of the line, consisting of 7 machines; improved from the maintenance structure based on the analysis of reliability, availability and maintainability. This was demonstrated using a quasi-experimental, descriptive and correlational method; relying on data recording and then on the calculation of indicators. At the end of the investigation it can be demonstrated that structuring a failure mode and effect analysis, a material management, a training program and recording maintenance incidents; it can be shown that the availability of the cutting line improved from an average of 89.34% before the investigation to an average of 98.53% after the investigation; achieving effective maintenance management and taking care of the interests of Peruvian Nature S&S SAC.

*Keywords: Planned maintenance / Reliability, availability and maintainability / Maintenance management.*

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es un pilar fundamental en cualquier industria del mundo, a través del desarrollo de nuevas tecnologías, inminentemente también se desarrollan nuevos niveles de mantenerlas en un estado eficiente, es por ello que su evolución se viene dando a pasos agigantados alrededor del mundo.

El Perú, al ser un país principalmente importador de nuevas tecnologías, se ve obligado a estar a la vanguardia de conocimientos de nivel extranjero para que la industria y el mercado nacional mantengan la línea de crecimiento estable. En los últimos años, el país se ha visto favorecido con conferencias internacionales con una fijación exclusiva al área de mantenimiento.

La planta de Peruvian Nature S&S SAC está ubicada en Lurín, Lima. Ésta es una empresa agroindustrial dedicada a la deshidratación de súper alimentos, con 18 años en el mercado, se ha convertido en uno de los principales exportadores del país en el rubro abasteciendo sus productos a diferentes países del mundo. En el proceso de crecimiento de la empresa, ésta ha adoptado nuevos equipos y líneas de producción que vayan en armonía con la visión de mejora, desarrollo sostenible y bajo la creencia del CONSCIOUSLY WELL DONE®.

El área de mantenimiento tiene a cargo la optimización del tiempo de operación de cada máquina que haya en la planta, este trabajo se debe llevar a cabo bajo un programa de mantenimiento. El problema central del trabajo es ¿Cómo elaborar el mantenimiento planificado para incrementar la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?

Aplicando el Mantenimiento planificado de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature mejoró la disponibilidad de la línea de trozado.

La presente investigación aplicó un estudio del programa y su mejora a través de una naturaleza aplicada, debido a que se utilizó los principios del mantenimiento planificado para incrementar la disponibilidad de la línea de trozado. Utilizando técnicas de recolección como la inspección visual, entrevistas y documentación de contenidos durante el lapso de 9 meses.

Luego del tiempo de estudio de la información se alcanzó los objetivos planteados, analizando los fallos críticos, teniendo una mejor intervención de los equipos, capacitando al colaborador y mejorando la gestión del mantenimiento.

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción de la realidad problemática

A partir de la revolución industrial, las empresas comenzaron a requerir de tipos de mantenimiento más sofisticados conforme a la complejidad de las máquinas y el desarrollo de nuevas tecnologías de las mismas. Actualmente empresas del rubro alimenticio en todo el mundo innovan a partir de las crecientes necesidades de producción, creando nuevas líneas de producción y maquinarias modernas que permitan cumplir con las expectativas y necesidades de la empresa.

En el Perú, el sector agropecuario representó el 7.54% del PBI en el 2018 (ANDINA, 2019), y su mayor crecimiento se dio en la última década según datos del BCRP (BCRP, 2019). Por ende, las empresas agroindustriales llegaron a la necesidad de tomar consigo el reto de crecer junto con su nivel de producción, tomando nuevos retos en todas sus áreas y minimizando costos de producción, obviamente el área de mantenimiento no es ajena a los retos de la empresa; esto conlleva consigo la responsabilidad de mejorar la calidad de la producción aplicando recursos cada vez más eficientes que armonicen con los intereses de la empresa.

El equipo de mantenimiento de la empresa Peruvian Nature, dedicada al rubro agroindustrial, está conformado por el supervisor de mantenimiento, el asistente y los técnicos de mantenimiento que cubren los 3 turnos de producción, trabajando bajo un programa de mantenimiento entre preventivos y correctivos. Según el historial de reportes de mantenimiento antes de este estudio primaba el mantenimiento correctivo, bajo este programa, en el cual se consideran 25 equipos mantenibles de los cuáles la línea de trozado tiene 7 equipos, existe una deficiencia en el control de tiempos de mantenimiento y el incumplimiento del programa de

mantenimiento preventivo, los cuales solo se desarrollaban en un 30%.

Se propuso implementar la estrategia del mantenimiento planificado con una duración de 6 meses para incrementar la disponibilidad de los equipos en esta línea.

## **1.2. Formulación del problema**

- Problema general.

PG: ¿Cómo la estructura del mantenimiento planificado incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?

- Problemas específicos.

P1: ¿Cómo el análisis de las fallas funcionales incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?

P2: ¿Cómo la implementación de una gestión de materiales incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?

P3: ¿Cómo la elaboración un programa de capacitaciones incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?

P4: ¿Cómo el registro de las incidencias del área de mantenimiento incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

- Objetivo general.

OG: Estructurar el mantenimiento planificado para el incremento de la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

- **Objetivos específicos.**
  - O<sub>1</sub>: Analizar las fallas funcionales para el incremento de la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.
  - O<sub>2</sub>: Implementar una gestión de materiales para el incremento de la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.
  - O<sub>3</sub>: Elaborar un programa de capacitaciones para el incremento de la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.
  - O<sub>4</sub>: Registrar las incidencias del área de mantenimiento para el incremento de la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

#### **1.4. Limitantes de la investigación**

##### **1.4.1 Limitante teórico**

Falta de datos confiables previos a la investigación, al comenzar el estudio se tuvo que lidiar con la falta de un registro de horas y la identificación de Órdenes de Trabajo. Los datos de estos equipos en los primeros meses del 2019 eran registrados por tiempo de intervención más no por tiempo de máquina parada, lo que dificulta el estudio de disponibilidad de la máquina.

La forma de recolección de datos del tiempo de paradas era unilateral. Solo se contemplaba los datos del área mantenimiento y no había opiniones ni conformidad por parte del área Producción. Esto generaba confusiones debido a que las horas registradas en ambas áreas no coincidían. El estudio a fin de mes tenía vacíos, además de dificultades al momento de las comparaciones y evolución de resultados.

#### 1.4.2 Limitante temporal

El tiempo de desarrollo de la tesis es corta, debido a que son solo 12 semanas, se debe de acelerar los procesos siendo conciso y puntual, así como certero evitando cometer errores.

#### 1.4.3 Limitante Espacial

La investigación se realiza solo en la planta de Peruvian Nature, específicamente en el área de trozado en el cual operan las máquinas, por ello el estudio sólo se concentrará en esta área en específico.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de estudio

En la base de este estudio, se revisó los siguientes trabajos de investigación referentes al estudio de la Disponibilidad y el Mantenimiento planificado en la industria:

#### 2.1.1 Antecedentes nacionales

- El autor (CARDENAS Loardo, 2018 pág. 111) de la Universidad Nacional del Centro del Perú, en su tesis para optar el título de ingeniero mecánico: Influencia del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la disponibilidad mecánica de los equipos Scaler en la unidad minera Yauli, concluye que: “En el análisis modal de fallos y efectos AMEF se ha podido identificar sistema y subsistemas de fallo. Por esto antes de aplicar el RCM el sistema hidráulico tenía un promedio de 164 horas en promedio de paradas y después de hacer el AMEF se pudo disminuir a 27 horas de promedio de paradas por fallas del sistema hidráulico”.
- Según (ALAVEDRA Flores, y otros, 2016 pág. 23), en su artículo de revista: Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013, recomienda que: “Determinar las causas del problema en el proceso; realizar un estudio de análisis de fallas y determinar las más críticas; implementar un plan de mantenimiento preventivo, con la finalidad de aumentar la disponibilidad y la confiabilidad de la flota de camiones 730e y disminuir sistemáticamente las paradas imprevistas de los equipos; disminuir los costos de inventarios y los costos de mantenimiento innecesarios”.
- Según (ESPINOZA Cadenas, 2014 pág. 158) de la Universidad Nacional del Callao, en su tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico: Diseño de un plan

de gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la vida nominal de los equipos: vehículos livianos y máquinas-herramientas. Empresa Coopsol Minería y Petróleo S.A., concluye en que “El registro de las actividades de mantenimiento preventivo en formatos específicos, facilitan las labores de control puesto que en el levantamiento de información pudimos encontrar equipos operando que requerían mantenimiento correctivo urgente, poniendo en riesgo la integridad física de los operadores”.

#### 2.1.2 Antecedentes internacionales

- Según (RIVERA Estay, 2015 pág. 38) de la Universidad de Chile, en su tesis: Modelo de toma de decisiones de Mantenimiento para evaluar impactos en Disponibilidad, Mantenibilidad, Confiabilidad y costos, concluye en lo siguiente:  
“Se consiguió organizar el ingreso de información en los sistemas de información de la superintendencia donde se desarrolló el estudio, pero esta actividad evidenció la necesidad de disponer de una fuerte carga de trabajo en el control de la prolijidad con que se registran los eventos de falla, su reporte a los interesados y un cierre con registro de los resultados. Lo anterior se debe a que estas nuevas prácticas vienen a contravenir el uso y costumbre que llevaba una organización durante varios años”.
- Según (ESPINOZA Velásquez, 2014 pág. 75) de la Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador en su tesis de grado para optar el título de ingeniero de mantenimiento: Implementación de un plan de mantenimiento preventivo planificado mediante software en el taller del municipio del Cantón Otavalo, recomienda lo siguiente: “Concientizar al personal y autoridades sobre la

importancia del mantenimiento en la economía de la institución” (ESPINOZA Velásquez, 2014 pág. 75).

- Según (BOTERO Gutiérrez, 2013 pág. 60) de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, Envigado, en su trabajo de pregrado para optar el título de ingeniero industrial: Plan de implementación del pilar mantenimiento planificado bajo mantenimiento productivo total en una empresa productora del sector cerámico, concluye en lo siguiente: “El pilar mantenimiento planificado no solo es una herramienta útil para mejorar y preservar la vida útil y el funcionamiento de los equipos de un área de trabajo, también puede utilizarse como una forma para evaluar la forma de realizar los procesos dentro del área y así mejorar la calidad de estos”.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1 Definición y evolución del mantenimiento**

Se puede definir como mantenimiento a todo acto o técnica utilizada con el objetivo de que un sistema, subsistema o grupo de sistemas se mantengan en funcionamiento por un plazo de tiempo máximo. En dicho proceso es necesario tener una serie de implementos que permitan la optimización del tiempo utilizado como personal, herramientas, repuestos y registros.

El mantenimiento, a lo largo de la historia se ha desarrollado a gran magnitud en proporción al gran crecimiento de la industria y la complejidad de la misma, por ende “Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción” (GARCÍA Garrido, 2015 pág. 1). Es decir, que a lo largo de

las etapas primitivas de producción se utilizaban los propios operarios para dar solución a los problemas de las máquinas, pero debido a la complejidad con la que se desarrollaron las mismas, hubo una necesidad de especializar un área para que se dedique netamente a temas de reparaciones, utilizando técnicas y métodos diferentes. Hoy en día, podemos hablar de la gestión y análisis del mantenimiento con un equipo cuya labor es mucho más profunda a tal punto de hablar de filosofías y sistemas de mantenimiento que apoyados por la labor misma de mantenimiento, son capaces de tener un alto índice de operatividad en elementos de gran complejidad.

Hoy en día, el total de las exigencias del mantenimiento no son solo debido a las máquinas en sí; sino que engloba campos más especializados como los de seguridad, cuidado del medio ambiente, calidad y mejora continua. Estos campos permiten a la gestión del mantenimiento hacer un trabajo focalizado en pilares estructurados por la visión de la organización o empresa que opera las máquinas a mantener.

### 2.2.2 Tipos de mantenimiento

Como ya se mencionó, conforme la industria fue evolucionando, la forma de mantenimiento también, dando lugar a tipos de mantenimiento que permiten al área en sí a categorizar cada trabajo a desarrollarse. Entre estos tipos se describen:

#### **MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Es aquel mantenimiento que sucede una vez que el equipo haya fallado, es decir cuando alguna de las partes que la componen dejó de cumplir la función para la cual fue diseñada.

Antes de la revolución industrial, este era el tipo de mantenimiento predominante, debido a la poca atención que se les prestaba a las fallas de los equipos. Hoy en día la labor de las áreas de mantenimiento (en su gran mayoría), está centrada en minimizar la frecuencia de este tipo de mantenimiento o en reducir el impacto que genere en valores económicos.

Este tipo de mantenimiento, a su vez se puede categorizar según el momento de acción del mismo. Para este trabajo de investigación se utilizó dos tipos de mantenimiento correctivo.

- **Mantenimiento correctivo programado**

Es aquel mantenimiento correctivo que cuando se genera, su incidencia no implica intervenir la máquina en operación, es decir el equipo sigue operando a pesar de que uno de sus componentes está fallando. Generalmente este tipo de fallos son menores y solo afectan elementos secundarios de la máquina.

Pongamos el ejemplo de que un visor de una caldera se rajó debido a una mala manipulación durante el chequeado de encendido en una caldera, si bien es cierto se va a mirar con dificultad el encendido, pero esto no es un motivo para parar la producción de toda la caldera, que traería pérdidas económicas bastante significativas para una empresa.

- **Mantenimiento correctivo ordinario**

Se define como aquel mantenimiento correctivo que detiene la operación de la máquina. Esta situación obliga a optimizar el tiempo eficientemente, dividiéndolo entre la identificación de la falla y su resolución.

Por ejemplo, si se quemara el motor de transmisión de una faja transportadora, no habría forma de hacer funcionar el equipo completo sin una transmisión de por medio. En

situaciones como estas es la labor del área de mantenimiento priorizar los tiempos y analizar cada punto de acción para que las pérdidas económicas sean lo menor posible, porque atacan directamente a la función principal de la máquina.

Claro que las acciones pueden variar de acuerdo a la criticidad o el grado funcional del equipo, en todo caso es necesario hacer la gestión adecuada remarcando el análisis integral del equipo.

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Se refiere a todo aquel mantenimiento planificado y estructurado antes de que se suceda el fallo. Su principal objetivo es prevenir que fallos funcionales vuelvan a suceder, para que esto pueda realizarse se tiene que basar en programas, estudios y experiencias vividas durante el uso de la máquina.

Según su acción y frecuencia, el mantenimiento preventivo puede tener muchos tipos: rutinario, diario, quincenal, mensual, anual, etc.

Durante la proyección del plan de mantenimiento es necesario enfatizar los requerimientos de operación del equipo, la garantía del equipo y el récord de fallas.

A pesar de lo que se pueda pensar, un problema muy común con este tipo de mantenimiento es que al desarrollar el plan de mantenimiento no hay un estudio económico y muchas veces se hacen cambios innecesarios e intervenciones insustentables. “Al alcanzarse la vida útil de un elemento se procede a su cambio, encontrándose muchas veces que el elemento que se cambia permitiría ser utilizado durante un tiempo más prolongado” (MUÑOZ Abella, 2017 pág. 6), esto

puede generar consecuencias negativas para los intereses de la empresa.

## MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Se llama mantenimiento predictivo a aquel mantenimiento que estudia el momento en que la máquina va a fallar, es un sistema más sofisticado que los otros antes mencionados debido a que realiza un análisis de mayor profundidad y se requieren herramientas de lectura que dan una visión del estado de la máquina. Según (GARCÍA Garrido, 2015) “El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre- alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera medir y gestionar”. Esto detalla la funcionabilidad del mantenimiento predictivo, la filosofía de solo actuar cuando sea necesario y ocupar más tiempo en análisis que en cambio de repuestos.

Para este caso se utilizan elementos de medición que sustentan el fallo de la máquina, manejando parámetros que van desde lo considerado normal hasta lo que se considera deficiente. Estos parámetros pueden ser temperatura, presión, densidad, acidez, etc.

Debido a la complejidad del método, requiere muchas veces de elementos considerados de alto coste, por ello algunas empresas prefieren evitarlos. Es necesario hacer un análisis costo-beneficio y proyectarse si es que el cambio es productivo para el área donde se va a utilizar.

### 2.2.3 Ingeniería de la confiabilidad y el análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (CDM)

La ingeniería de Confiabilidad se refiere al estudio de las operaciones diarias del mantenimiento, basado en la identificación de fallas para describir el comportamiento del objeto a estudiar a través del tiempo. Según (Reliabilityweb.com, 2019), “es un proceso que busca caracterizar el estado actual y predecir el comportamiento futuro de equipos, sistemas y/o procesos, mediante el análisis del historial de fallas, los datos de condición y datos técnicos, con la finalidad de identificar las acciones correctivas y proactivas que puedan efectivamente optimizar costos a través de la sistemática reducción de la ocurrencia de fallas y eventos no deseados, y minimizar en consecuencia, su impacto en el negocio medular.”

(ZAPATA, 2011), asegura que “En la definición de confiabilidad aparece el aspecto temporal durante el cual se requiere que el componente cumpla su función. Las condiciones operativas especificadas incluyen el rango de utilización (capacidad nominal, condiciones ambientales, etc.) y los requerimientos de calidad y seguridad”. Es decir que la ingeniería de confiabilidad abarca temas mucho más amplios que la simple operación de una máquina, es una proyección más detallada con un análisis exhaustivo.

Para este estudio es necesario tener sistemas, metodologías, filosofías y características de operación definidas en un esfuerzo de obtener resultados favorables para los intereses de la organización. Estos resultados favorables se pueden verificar en términos económicos como en tiempo de operatividad y efectividad de acciones. Sin duda el análisis a fondo del sistema puede ofrecer una

visión clara de la esperanza de operación de la máquina a lo largo del año.

Para la mayoría de técnicas aplicadas se utilizan los 3 indicadores pilares del mantenimiento, el análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (CDM), pero por sus siglas en inglés también es conocido como RAM (Realibility, Avialability and Mantainability); “éste permite pronosticar la producción perdida y la indisponibilidad de un proceso de acuerdo a su configuración, a la confiabilidad de sus componentes, política de mantenimiento, recursos disponibles y filosofía operacional”. (PÁEZ, 2017).

En la mayoría de las técnicas conocidas como TPM, RCM, proactiva, reactiva, clase mundial, PMO, RCM Score card, centrada en objetivos, basada en riesgos, etc. se observa que fundamentan su establecimiento a partir de los indicadores CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad), los cuales proveen los principios básicos estadísticos y sirve de medida como está caminando el mantenimiento en una organización y proyecta las dos manifestaciones magnas de mantenimiento: fallas y reparaciones. (MORA Gutierrez, 2012). Esto indica que este nivel de estudio trae consigo una visión extendida de la máquina no solo a nivel de mantenimiento sino también en producción.

Según (MESA Grajales, y otros, 2006), “Las reparaciones en el mantenimiento, son vistas de forma diferente. Las reparaciones no son esperadas, son vistas como casos excepcionales y resultantes de alguna deficiencia en la política de mantenimiento o descuido de la gerencia de mantenimiento. Un análisis detallado del problema, acompañado por un programa sólidamente estructurado de

mejora de la confiabilidad, es la base para la eliminación de mucho trabajo innecesario. La organización es dimensionada para gerenciar un sistema de monitoreo basado en la condición y fija una alta prioridad para eliminar fallas”. Por ello es un trabajo exhaustivo para la gerencia el mantener una política de máquinas confiables.

#### 2.2.4 Análisis de modos de falla y efectos de fallo (AMEF) de riesgo prioridad número (RPN)

Según (MORA Gutierrez, 2012) “El método procedimental AMEF parte del concepto de que ya se conocen todas las fallas reales y potenciales, se sabe de los modos de fallas en que se pueden presentar y se tiene un perfecto dominio de todas las funciones principales y auxiliares de los elementos o máquinas por evaluar con el procedimiento. Por su parte, lo que hace el RPN es jerarquizar cada una de las tareas por realizar en los diferentes elementos o equipos, con el fin de priorizar los esfuerzos en los equipos que más lo requieran, de acuerdo con su grado de criticidad”. Este tipo de análisis parte del procedimiento de identificación de fallas para llegar a categorizar prioridades de acción. Es una técnica efectiva que se aplica en sistemas de mantenimiento con el fin de disminuir las fallas y por ende aumentar la confiabilidad de los equipos.

Podría decirse que este estudio es único y categoriza las fallas para evitarlas en un futuro, pero es más profundo que eso, actúa cíclicamente recalculándose conforme van actuando las medidas correctivas utilizadas. Es decir que si es que tuvo una falla y se actuó respecto a esta, en el futuro esta falla tendría que ser recalculada eliminándose o

disminuyendo el efecto de la misma en la operación de la máquina.

Este sistema tiene como objetivo calcular el indicador RPN que se considera como el principal indicador de criticidad. Dicho valor se calcula a través de la siguiente fórmula:

**Ecuación II-1. RPN**

$$RPN = S \times O \times D$$

Donde:

S: Severidad

O: Posibilidad de Ocurrencia

D: Probabilidad de detección

Estos tres valores vienen determinados por una calificación tipo kantiana. Cada autor tiene un rango distinto de calificación, pero generalmente estos comienzan desde el valor 0.

Para este trabajo de investigación nos basaremos según las fórmulas de (MORA Gutierrez, 2012).

Para este autor, la severidad tiene una fórmula especial que se define por un cuadro propio:

**Ecuación II-2. Severidad**

$$\begin{aligned} \text{Severidad} = FO \times K_{FO} + SF \times K_{SF} + MA \times K_{MA} + IC \times K_{IC} \\ + OR \times K_{OR} + OC \times K_{OC} = S_1 \end{aligned}$$

Cuyos datos se explican en el siguiente cuadro:

**Tabla II—I. Parámetros de la severidad**

CRITERIOS		COEFICIENTES DE FACTORES	
FO	Fallas ocultas	K <sub>FO</sub>	0.05
SF	Impacto de seguridad física	K <sub>SF</sub>	0.02
MA	Impacto de medio ambiente	K <sub>MA</sub>	0.1
IC	Impacto en imagen corporativa	K <sub>IC</sub>	0.3
OR	Costos de reparaciones o mantenimientos	K <sub>OR</sub>	0.3
OC	Efectos en clientes	K <sub>OC</sub>	0.05

*Fuente: (MORA Gutierrez, 2012)*

Asimismo, se determinan los factores a partir de los siguientes cuadros:

**Tabla II—II. Categorización de fallos ocultos**

FO -FALLOS OCULTOS	
No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores	0
Existe una baja posibilidad de que la falla NO sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	1
En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteriores	2
Existe una baja posibilidad de que la falla SI sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	3
La falla siempre es oculta y ocasionará fallas múltiples graves en el sistema	4

*Fuente: (MORA Gutierrez, 2012)*

**Tabla II—III. Categorización de seguridad física**

SF- SEGURIDAD FÍSICA	
No afecta a personas ni equipos	0
Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad temporal	1
Afecta de dos a cinco personas y se puede generar incapacidad temporal	2
Afecta a más de cinco personas y puede generar incapacidad temporal o permanente	3
Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o más personas	4

*Fuente: (MORA Gutiérrez, 2012)*

**Tabla II—IV. Categorización de medio ambiente**

MA - MEDIO AMBIENTE	
No afecta al medio ambiente	0
Afecta el MA pero se puede controlar. No daña el ecosistema	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de seis meses con un valor inferior a 5,000 dólares	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de tres años con un valor inferior a 50,000 dólares	3
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en más de tres años con un valor superior a 50,000 dólares	4

*Fuente: (MORA Gutiérrez, 2012)*

**Tabla II—V. Categorización de la imagen corporativa**

IC - IMAGEN CORPORATIVA	
No relevante	0
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos	1
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión inferior a 1,000 dólares	2
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión entre 1,000 y 10,000 dólares	3
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión mayor a 10,000 dólares. Puede ser irreversible	4

*Fuente: (MORA Gutierrez, 2012)*

**Tabla II—VI. Categorización de costos de reparación**

OR - COSTOS DE REPARACIÓN	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5,000 dólares	2
Mayor a 50,001 dólares	4

*Fuente: (MORA Gutierrez, 2012)*

**Tabla II—VII. Categorización de efectos en clientes**

OC - EFECTOS EN CLIENTES	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5,000 dólares	2
Mayor a 50,001 dólares	4

*Fuente: (MORA Gutierrez, 2012)*

Así también para hallar la Posibilidad de Ocurrencia y Probabilidad de detección se requieren de las siguientes tablas:

**Tabla II—VIII. Categorización de ocurrencias**

OCURRENCIA	
Frecuente - 1 falla en 1 mes	4
Ocasional - 1 falla en 1 año	3
Remota - 1 falla en 5 años	2
Poco Probable - 1 falla en 20 años	1

*Fuente: (MORA Gutierrez, 2012)*

**Tabla II—IX. Categorización de detección**

DETECCIÓN	
Nula - No se puede detectar una causa Potencial / Mecanismos y modo de falla subsecuente	4
Baja - Baja probabilidad para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallas subsecuentes	3
Media - Mediana probabilidad para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallas subsecuentes	2
Seguro - Siempre se detectarán causas potenciales / mecanismos y modos de fallas subsecuentes	1
Poco probable - 1 falla en 20 años	1

*Fuente: (MORA Gutierrez, 2012)*

### 2.2.5 Gestión de Materiales

Hoy en día las tareas de mantenimiento vienen enlazadas directamente a la demanda de materiales requeridos para mantener los diversos equipos que componen una planta industrial. Es así como la necesidad de una gestión proactiva de los materiales es muy necesaria en la industria de la actualidad.

“Para que el mantenimiento se transforme en una actividad gestora de activos, es necesario que sus acciones sean responsables por la generación de inversiones para la empresa, esto es que, al actuar, se esté provocando un aumento en la capacidad de producir y nunca la reducción de esa capacidad” (TAVARES, y otros, 2007 pág. 20).

La racionalización de los costos debe ser la correcta, observando cuidadosamente la necesidad de ciertos materiales a utilizar. Cabe resaltar que la evaluación de los costos de adquisición de repuestos y la frecuencia de cambios de los mismos deben de contrastarse con los costos de producción y tiempos de paradas de los mismos. Es así como nace la necesidad de evaluar tanto los costos directos (mano de obra, materiales y subcontratos) como los costos indirectos (pérdida de producción, reorganización de proceso y pérdidas de materia prima).

Una correcta gestión de materiales trae consigo una variedad de resultados positivos para la empresa, según (TAVARES, y otros, 2007 pág. 26), los resultados que se esperan son: reducción continua de costos, aumento de la disponibilidad y confiabilidad de las instalaciones, rápida atención de las solicitudes de servicio, mejoras en el planeamiento del servicio y un programa de disminución de fallas y efectos en el equipo.

### 2.2.6 Programa de capacitaciones

Se refiere al plan que se genera a partir de varios precedentes con el fin de que los colaboradores puedan ejercer un trabajo más eficiente.

Según (TAVARES, 2000 pág. 110) se debe planificar la capacitación de los operadores, mantenedores e ingenieros de producción (operación y mantenimiento) con el objetivo de alcanzar lo siguiente:

**OPERADORES:** Profesionales con la capacidad de realizar actividades de mantenimiento espontáneamente (limpieza, lubricación, inspección, mínimos ajustes y medición)

**MANTENEDORES:** Profesionales con la capacidad de realizar actividades integras de mantenimiento (mecánica, electricidad y electrónica),

**INGENIEROS DE PRODUCCIÓN:** Profesionales con la capacidad de evaluar, revisar y proyectar equipos con reducida necesidad de intervención y alta mantenibilidad.

### 2.2.7 Registro de Incidencias en Mantenimiento

Se llama registro de incidencias a la base de datos evaluados durante la gestión del mantenimiento. Esta base de datos debe ser la más confiable posible para llegar a obtener resultados favorables, diversas empresas en diferentes rubros manejan sus propios porcentajes de datos según la política que se tenga y la evaluación del personal que llena dichos datos.

Según (TAVARES, 2000), algunos de los datos necesarios a utilizar deberían de ser los siguientes: incidencia de funcionamiento irregular de instrumentos de supervisión, mantenimientos correctivos por equipo, ocurrencias de igual naturaleza en los equipos, ocurrencias de varias naturalezas

por fabricante, valores por encima de ciertos límites en los medidores, mantenimientos correctivos entre mantenimientos preventivos. A partir de los datos brindados, podemos hallar indicadores que representen la evolución del mantenimiento y el cumplimiento de los planes en la industria.

#### 2.2.8 Indicadores de mantenimiento

Los indicadores en general son datos estadísticos que miden los parámetros de sucesos a partir de experiencias anteriores a la presentación de los mismos. Los indicadores de mantenimiento son aquellos datos probabilísticos que brindan una visión clara de las intervenciones de mantenimiento en la máquina.

Según la norma UNE EN 15341 (AENOR, 2008), estos indicadores miden: el estado, realizan comparaciones, realizan diagnósticos, identifican objetivos y definen metas a alcanzar, planifican acciones de mejoras y miden cambios de manera continua.

Según (YAÑEZ Medina, y otros, 2004)“El término “probabilidad” es comúnmente utilizado por las personas para describir su percepción sobre el nivel de posibilidad (alto, medio o bajo) de ocurrencia de un evento en particular”. Esta probabilidad incluye los riesgos que ocurren en cada aspecto a estudiar. Según (YAÑEZ, y otros, 2003) “El diagnóstico, basado en el “riesgo”, puede entenderse entonces como un proceso que busca caracterizar el estado actual y predecir el comportamiento futuro de equipos y sistemas”. Lo que permite concebir el comportamiento a futuro del fenómeno a estudiar.

En general existen muchos indicadores de mantenimiento, algunos de los cuales se mencionan en la norma UNE-EN

15341 (AENOR, 2008), para este trabajo de investigación se destacan los siguientes:

- Tiempo medio entre fallos MTBF (Mid Time Between Failure)

Se define como la probabilidad de espacio en el que una máquina falla luego de la anterior avería. Su fórmula está dada por:

**Ecuación II-3. MTBF**

$$MTBF = \frac{\text{Número de horas totales de análisis}}{\text{Número de fallas del equipo}}$$

Adicionalmente a esta fórmula se puede definir la tasa promedio de fallas ( $\lambda$ ) como:

**Ecuación II-4. Tasa Promedio de Fallas**

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

(MESA Grajales, y otros, 2006) Definen la tasa de Fallas como número total de fallas por período de operación

- Tiempo medio de reparación MTTR (Mid Time To Repair)  
Se define como el tiempo promedio que se demora en solucionar el problema. Su fórmula está dada por:

**Ecuación II-5. MTTR**

$$MTTR = \frac{\text{Número de Horas Paradas por fallas}}{\text{Número de fallas del equipo}}$$

Para efectos de estudio de la mantenibilidad, se define la tasa de reparaciones ( $\mu$ ) como:

**Ecuación II-6. Tasa de reparaciones**

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

- Disponibilidad

Según (AENOR, 2017), “la disponibilidad es el estado en el cual se desempeña una función requerida bajo condiciones dadas en un instante o intervalo determinado de tiempo, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos”. Esto quiere decir que es el índice de tiempo en la cual la máquina está en condiciones de operar.

(MORA Gutierrez, 2012) Asume que “Disponibilidad es una relación que muestra la proporción de tiempo efectivo frente al tiempo total disponible; la relación está gobernada por parámetros y metodologías de cálculo de orden mundial”. La fórmula de la disponibilidad viene dada por:

***Ecuación II-7. Disponibilidad***

$$Disponibilidad = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

Cabe resaltar que la disponibilidad puede ser operacional o inherente. La disponibilidad inherente se restringe estrictamente a los datos de paradas por fallas funcionales; mientras que la disponibilidad operacional, toma los tiempos contados tanto de las fallas funcionales como de los mantenimientos programados.

- Confiabilidad

Según (AENOR, 2017), “La confiabilidad se define como la capacidad de un ítem de desempeñar una función requerida bajo condiciones dadas y por un intervalo de tiempo definido. Nota: también se emplea como una medida de la confiabilidad del desempeño y se puede definir como una probabilidad”. Es decir que es la certeza de que la máquina va a funcionar durante el tiempo establecido. La fórmula para la confiabilidad está dada por:

**Ecuación II-8. Confiabilidad**

$$\text{Confiabilidad} = R(t) = e^{-\lambda t}$$

- **Mantenibilidad**

(AENOR, 2017) Asegura que la mantenibilidad “es la capacidad de un ítem bajo condiciones dadas de uso, de ser conservado o restaurado a un estado en el cual realice una función requerida, cuando se realiza mantenimiento bajo condiciones dadas y empleando procedimientos y recursos determinados”. La mantenibilidad mide el tiempo que se consume en el mantenimiento ya sea con parada o sin parada de máquina, en general el tiempo que la máquina debe ser intervenida para conservar sus características.

Según (MUÑOZ Abella, 2017), existen 3 factores que intervienen en el comportamiento de este indicador:

\*Factores personales: Habilidad, motivación, experiencia, capacidad física, etc.

\*Factores condicionales: Representan la influencia del entorno operativo y las consecuencias que ha producido el fallo en la condición física, geometría y forma del elemento en recuperación.

\*El entorno: Temperatura, humedad, ruido, iluminación, vibración, momento del día, viento, etc.

La fórmula matemática dada para la mantenibilidad es la siguiente:

**Ecuación II-9. Mantenibilidad**

$$\text{Mantenibilidad} = M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

### **2.3. Definiciones de términos básicos**

#### **FALLA**

Se refiere al defecto de un equipo que impide cumplir con sus funciones tanto fundamentales como secundarias.

#### **GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO**

Se refiere al conjunto de estrategias y formas de cumplir con los objetivos y la visión del mantenimiento.

#### **LÍNEA DE PRODUCCIÓN**

Es el conjunto secuencial de equipos que permiten realizar la producción de un producto en especial.

#### **MANTENIMIENTO PLANIFICADO**

Es la estrategia de un sistema estructurado en requerimientos y actividades del mantenimiento.

### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1. Hipótesis

- Hipótesis General

$H_{G_1}$ : Si se estructura el mantenimiento planificado, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{G_0}$ : Si se estructura del mantenimiento planificado, entonces no incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

- Hipótesis Específicas

$H_{1_1}$ : Si se analiza las fallas funcionales, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{1_0}$ : Si se analiza las fallas funcionales, entonces no incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{2_1}$ : Si se implementa una gestión de materiales, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{2_0}$ : Si se implementa una gestión de materiales, entonces no incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{3_1}$ : Si se elabora un plan de capacitaciones, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{3_0}$ : Si se elabora un plan de capacitaciones, entonces no incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{4_1}$ : Si se registra las incidencias del área de mantenimiento, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{4_0}$ : Si se registra las incidencias del área de mantenimiento, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

### 3.2. Variables de la investigación

- Variable independiente:  
Para este estudio la variable independiente es el **MANTENIMIENTO PLANIFICADO**.
- Variable dependiente:  
Para este estudio la variable dependiente es la **DISPONIBILIDAD DE LA LÍNEA DE TROZADO**.

### 3.3. Operacionalización de variables

Tabla III—I. Operacionalización de variables

	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADORES
VARIABLE DEPENDIENTE	DISPONIBILIDAD DE LA LÍNEA DE TROZADO	Como disponibilidad se define la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estable (MORA Gutierrez, 2012 pág. 67)	Confiabilidad	MTBF (Hr)
			Mantenibilidad	MTTR (Hr)
VARIABLE INDEPENDIENTE	MANTENIMIENTO PLANIFICADO	El objetivo del mantenimiento planificado es el de eliminar los problemas del equipamiento a través de acciones de mejora, prevención y predicción (GÓMEZ Santos, 2010 pág. 9).	Análisis de fallas funcionales	Modos de falla Costos de falla (\$/mes)
			Gestión de materiales	Stock de repuestos
			Capacitaciones	Personal especializado
			Incidencias de mantenimiento	Cumplimiento del Plan anual de mantenimiento (%)

Fuente: Elaboración Propia

## **IV. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1. Tipo y diseño de la investigación.**

#### 4.1.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo tecnológica, debido a que se utilizaron los principios y fórmulas descritas en el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, se basó en el proceso del mismo para determinar la aceptación o el rechazo de la hipótesis.

#### 4.1.2 Nivel de investigación

Este trabajo es de nivel aplicativo, la estrategia del mantenimiento planificado se utilizó con el fin de ver su influencia en la disponibilidad.

#### 4.1.3 Diseño

Descriptivo- Correlacional

### **4.2. Método de investigación**

Este trabajo utilizó el método Cuasi experimental- Transversal- Correlacional.

### **4.3. Población y muestra**

- Población.  
7 Equipos de la línea de Trozado.
- Muestra.  
7 Equipos de la línea de Trozado.

### **4.4. Lugar del estudio y periodo desarrollado**

El lugar de estudio es la planta de Peruvian Nature S&S SAC que está situado en el distrito de Lurin donde se realizan las labores de selección, proceso, empaque y carga de producto.

Este trabajo se desarrolló entre los meses de marzo y septiembre del 2019.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

La política de intervención y recolección del área de mantenimiento de la Empresa Peruvian Nature S&S SAC se requieren de las siguientes técnicas:

##### **4.5.1 Inspección visual**

Se utiliza la observación para captar el modo de falla a priori y así apreciar los fallos recurrentes, asimismo se utilizarán las dos formas de observación:

- Observación directa  
Cuando el supervisor está en el lugar de la falla observando y analizando el problema.
- Observación indirecta  
Cuando se basa la opinión externa, en este caso las observaciones de los operarios en el momento preciso donde sucederán las fallas.

##### **4.5.2 Entrevista**

Para este caso se utilizará la entrevista en profundidad, debido a que es necesario tener el punto de vista de todo el personal involucrado con las máquinas a estudiar. Estas preguntas se deben elaborar de modo que se refieran a los aspectos más importantes de las máquinas y sus fallos comunes. El instrumento requerido en este caso es la guía de mantenimiento, la cual contiene un cuestionario a desarrollarse en este proceso.

##### **4.5.3 Documentación de contenidos**

En esta parte se detalla cada carácter realizado como manejo de tiempos, control de repuestos y procedimientos aplicados para la resolución de la falla.

En esta técnica se requieren formatos como ordenes de trabajo, actas de mantenimiento, solicitud de mantenimiento, requerimiento de materiales y computadora para llevar los registros.

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

- Una vez identificadas las variables y el objeto a estudiar, se registró sistemáticamente la información brindada durante el mantenimiento. Es claro que la información tuvo que estar al alcance de la mano y con datos concisos que tengan la mayor información posible.
- Luego de este proceso de análisis se generó los indicadores, esto dio un panorama más claro de cómo se desarrolla el programa de mantenimiento a través del tiempo.
- Con este proceso completo, se calculó la criticidad y el análisis AMEF de cada equipo para determinar así la importancia y prioridades de operación de mantenimiento. Este análisis arrojó todas las fallas funcionales de los equipos de la línea mostrando una jerarquización de intervención.
- Luego de esto se procedió a reestructurar el mantenimiento planificado que terminó en un plan preventivo según la magnitud de efecto que provoca la parada en las máquinas y su incidencia en los intereses de la empresa. A la par se realizó capacitaciones al personal que estuvo en contacto directo con la máquina para que haya una relación directa entre las funciones del operario y la máquina.
- Con esto completo, se puede estimar el número de repuestos que se necesitan para que las atenciones de mantenimiento se agilicen.
- Por último, se tuvo que recalcular los indicadores mensualmente para ver el desarrollo del mismo y se comparó si es que los objetivos trazados se cumplieron conforme se desarrolló la investigación.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados Descriptivos

#### Análisis AMEF

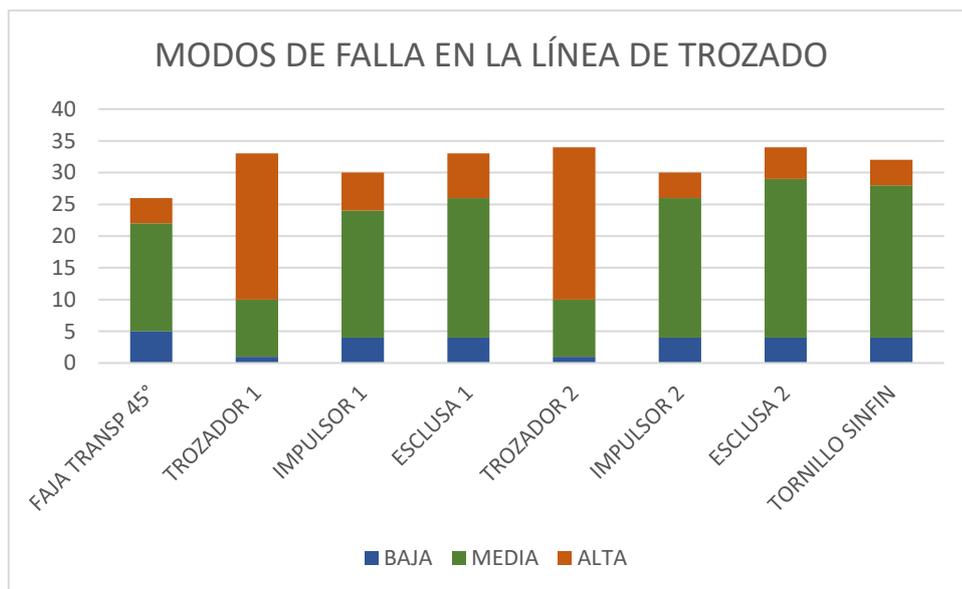
Se analizó cada falla funcional de los sistemas que conforman la línea de trozado y se separó la distribución de estos modos de fallos por equipos. El siguiente cuadro muestra los resultados obtenidos a partir del AMEF en esta línea:

**Tabla V—I.** Modos de fallo en la Línea de trozado

	FAJA TRANSP 45°	TROZADOR 1	IMPULSOR 1	ESCLUSA 1	TROZADOR 2	IMPULSOR 2	ESCLUSA 2	TORNILLO SINFIN
BAJA	5	1	4	4	1	4	4	4
MEDIA	17	9	20	22	9	22	25	24
ALTA	4	23	6	7	24	4	5	4
TOTAL	26	33	30	33	34	30	34	32

Fuente: Elaboración propia

Luego de determinada la cantidad de modos de fallo, se graficó la Tabla V—I de la siguiente manera:



**Figura V-1.** Modos de Fallo en la Línea de trozado

En la Figura V-1 se observa como los equipos con mayor número de modos de fallo con alto nivel de criticidad son los Trozadores 1 y 2, mientras el impulsor 2 y la faja transportadora son los equipos que tienen menor número de modos de fallo con alto nivel de criticidad.

### **Gestión de materiales**

Para este trabajo de investigación se realizó un registro de los materiales requeridos para poder tener una intervención más rápida de los equipos al momento de realizar cualquier actividad de mantenimiento.

El objetivo de realizar una gestión de materiales correcta fue para que las máquinas tengan un funcionamiento correcto, por ende, se buscó obtener los repuestos con un material confiable y de modelos comerciales para su fácil acceso. La ubicación de los mismos también deberá ser estratégica con el fin de obtenerlos fácilmente en caso de emergencias. El cuadro de los materiales a utilizar y el stock requerido para estos procedimientos fue el siguiente:

**Tabla V—II. Stock de repuestos para la línea de trozado**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	STOCK	EQUIPO	PREFERENCIAS
1	Chumacera SY 511 M	UNIDAD	2	Trozador 2	Material acero inoxidable
2	Amperímetro analógico 0-100A	UNIDAD	1	Trozador 1 y 2	TF-96
3	Chumacera F-205	UNIDAD	2	Faja 45°	Material acero inoxidable
4	Chumacera FSQ-205	UNIDAD	2	Faja 45°	Material acero inoxidable
5	Contactador 12 A 220V	UNIDAD	2	Tablero de control	Schneider LC1D12M7
6	Contactador 18 A 220V	UNIDAD	2	Tablero de control	Schneider LC1D18M8
7	Contactador 9 A 220V	UNIDAD	2	Tablero de control	Schneider LC1D09M7
8	Eje porta martillos de trozador 2	UNIDAD	1	Trozador 2	Material acero inoxidable
9	Faja tipo V B-84	UNIDAD	2	Trozador 1 y 2	Marca Optibelt
10	Faja modular con paletas	UNIDAD	1	Faja 45°	
11	Interruptor automático 100A	UNIDAD	2	Tablero General	Schneider EZC100N3100
12	Ligas industriales	Global	Variedad	General	Variedad de medidas
13	Llave termomagnética C16 3φ	UNIDAD	2	Faja 45°	Schneider A9F84316
14	Llave termomagnética C4 1φ	UNIDAD	2	Tablero de control	Schneider A9F84204
15	Llave termomagnética C50 3φ	UNIDAD	2	Tablero de control	Schneider A9F84350
16	Manga industrial 2.4mx0.5	UNIDAD	20	General	
17	Martillos para Trozador 1	JUEGO	1	Trozador 1	Material acero chronit
18	Martillos para Trozador 2	UNIDAD	70	Trozador 2	Material acero inoxidable
19	Motor 3φ 1.5HP60 Hz	UNIDAD	1	Transporte 1 y 2	EPLI MS-803-4BS
20	Motor 3φ 3HP 3408 RPM 60 Hz	UNIDAD	1	Impulsor 1 y 2	Delcrosa YD 90SA2
21	Perno tipo socket 1/2"x3"	UNIDAD	50	General	Material acero inoxidable
22	Perno tipo socket 1/4"x1 1/2"	UNIDAD	50	General	Material acero inoxidable
23	Pernos hexagonales + tuerca+ arandela 1/2"x3"	JUEGO	50	General	Material acero inoxidable
24	Pernos hexagonales + tuerca+ arandela 3/8"x2"	JUEGO	50	General	Material acero inoxidable
25	Plancha de jebe	Plancha	1	General	Color rojo por estándar de empresa
26	Pre filtro 24"x24"x1 1/2"	UNIDAD	20	Inyección y Extracción	Marca Tecfil
27	Pulsador de parada de emergencia NC	UNIDAD	2	General	Schneider XB4BS8442
28	Pulsador rojo NC	UNIDAD	5	General	Schneider XB4BA42
29	Pulsador verde NO	UNIDAD	5	General	Schneider XB4BA31
30	Reductor 1:10	UNIDAD	1	Transporte 1 y 2	EPLI FCNDK50
31	Relé tripolar de protección 4-6A	UNIDAD	2	Tablero de control	Schneider LRD10
32	Relé tripolar de protección 7-10A	UNIDAD	2	Tablero de control	Schneider LRD14
33	Relé tripolar de protección 9-13A	UNIDAD	2	Tablero de control	Schneider LRD16
34	Rodamiento 6204 RS	UNIDAD	20	General	Marca SKF
35	Rompedores para Trozador 1	JUEGO	1	Trozador 1	Material acero chronit
36	Sellos sanitarios tipo clamp 6"	UNIDAD	20	General	
37	Tolva Receptora Trozador 1	UNIDAD	1	Trozador 1	Según medida
38	Toma industrial hembra tipo espiga 220V 16A 3p+T	UNIDAD	3	General	Schneider PKF16F724
39	Toma industrial macho tipo espiga 220V 16A 3p+T	UNIDAD	3	General	Schneider PKE16M724
40	Variador de velocidad 1.5 HP	UNIDAD	1	Faja 45°	Delta VFD-EL
41	Varilla cuadrada para chaveta 1/2"x1/2"	Metros	1	General	Material acero inoxidable
42	Voltímetro analógico 0-300V	UNIDAD	1	Trozador 1 y 2	TF-96

*Fuente: Elaboración propia*

## Programa de Capacitaciones

Una vez analizado los datos existentes, se notó problemas cuya responsabilidad estuvo directamente relacionada al personal de operación. Así también se mostró que el tiempo de intervención de las máquinas se extendía principalmente por desconocimiento de problemas puntuales por el personal de mantenimiento.

Así fue como se desarrolló un programa de capacitaciones basado en los problemas funcionales de la línea de Trozado. A partir de dicho análisis se tuvo el siguiente cuadro:

**Tabla V—III.** Capacitaciones realizadas al personal de mantenimiento y producción

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Personal de mantenimiento					1		2	2	1
Personal de producción			5	3	2	15	2	10	15
Total de personas capacitadas	0	0	5	3	3	15	4	12	16

*Fuente: Elaboración propia*

Como se muestra en la Tabla V—III hubo un total de 32 capacitaciones que se brindaron al personal de producción y mantenimiento.

## Registro de Incidencias

Una correcta gestión del mantenimiento, lleva consigo un registro correcto de las incidencias, en este caso se registró cada incidencia a partir de formatos que permitieron conocer los tiempos, recursos utilizados y personal que intervino directa e indirectamente en las tareas de mantenimiento.

Así fue como se midió el cumplimiento del plan de mantenimiento, esto consistió en realizar un contraste entre las tareas programadas (preventivos y correctivos programados) y las tareas realizadas.

Los datos brindados de este estudio son los siguientes:

**Tabla V—IV.** *Cumplimiento de las Tareas Programadas*

	TAREAS PROGRAMADAS	TAREAS CUMPLIDAS	CUMPLIMIENTO DE LAS TAREAS PROGRAMADAS (%)
ENERO	13	4	30.8%
FEBRERO	7	2	28.6%
MARZO	15	5	33.3%
ABRIL	9	5	55.6%
MAYO	19	16	84.2%
JUNIO	22	18	81.8%
JULIO	27	20	74.1%
AGOSTO	41	40	97.6%
SEPTIEMBRE	41	40	97.6%

*Fuente: Elaboración propia*

En la Tabla V—IV se muestra el desarrollo del cumplimiento de tareas programadas va variando a través de los meses. Se observa como cada mes se incrementan las tareas debido a las necesidades que brinda este estudio.

### **Cálculo de la Disponibilidad Inherente**

Se realizó un análisis de los KPI's para la disponibilidad inherente del área de mantenimiento, evidenciando la evolución del área de trozado en cada mes. Cabe resaltar que los modos de fallas son variados en cada mes y conforme ocurrían fallas funcionales nuevas, se iba desarrollando acciones correctivas con el fin de que no vuelvan a ocurrir y si ocurren, que sean de menor impacto.

En la siguiente Tabla V—V se observa como el desarrollo de esta investigación generó resultados positivos con respecto a los primeros meses en los cuáles no hubo intervención alguna. Esta investigación comienza en el mes de marzo con la toma de decisiones y los resultados de dichas decisiones comienzan a mostrarse en el mes de abril. El análisis de los indicadores de la disponibilidad inherente fue el siguiente:

**Tabla V—V. Datos de fallos funcionales**

	HORAS DE PARADA			EVENTOS
	Mala Manipulación	Correctivos Ordinarios	TOTAL	
ENERO	12.30	27.20	39.50	20
FEBRERO	11.50	36.00	47.50	25
MARZO	13.00	137.95	150.95	33
ABRIL	2.23	2.83	5.07	8
MAYO	4.08	8.33	12.42	14
JUNIO	6.02	14.00	20.02	12
JULIO	0.50	2.25	2.75	5
AGOSTO	4.08	12.95	17.03	5
SEPTIEMBRE	8.23	0.00	8.23	4

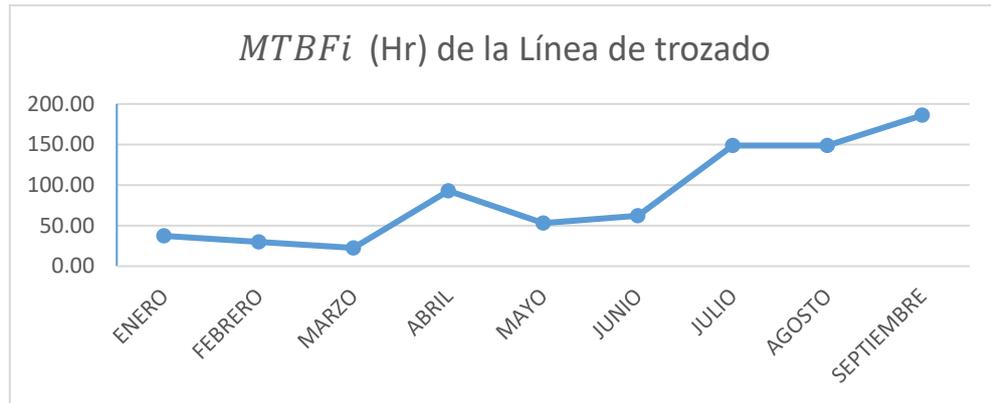
Fuente: Elaboración propia

**Tabla V—VI. Evolución de los indicadores de mantenimiento en fallos funcionales**

	FALLOS FUNCIONALES	$MTBF_i$ (Hr)	$MTTR_i$ (Hr)	DISPONIBILIDAD (INHERENTE)
ANTES DEL ESTUDIO	ENERO	37.20	1.98	94.69%
	FEBRERO	29.76	1.90	93.62%
	MARZO	22.55	4.57	79.71%
DESPUÉS DEL ESTUDIO	ABRIL	93.00	0.63	99.32%
	MAYO	53.14	0.89	98.33%
	JUNIO	62.00	1.67	97.31%
	JULIO	148.80	0.55	99.63%
	AGOSTO	148.80	3.41	97.71%
	SEPTIEMBRE	186.00	2.06	98.89%

Fuente: Elaboración propia

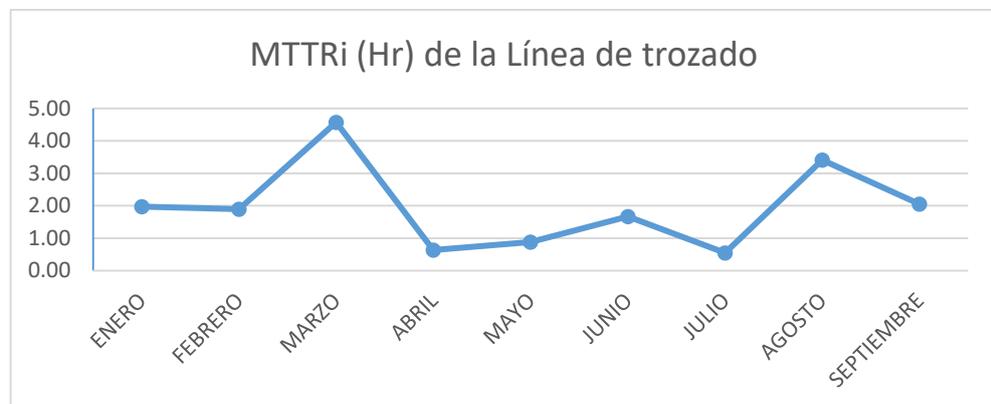
En base a los datos obtenidos se detalla la evolución mes a mes del MTBF inherente, esto permitió conocer qué tan confiable es la máquina y cada cuánto tiempo se registra una falla.



**Figura V-2.** Evolución del MTBF inherente de la Línea de trozado

La Figura V-2 muestra como las máquinas cada vez se hacen más confiables, hay algunas caídas en la gráfica, pero se puede apreciar como la tendencia es a crecer lo que es un buen indicador para demostrar la mejoría en el tema de tiempo entre fallas.

Luego, al igual que el  $MTBF_i$ , se analizó el  $MTTR_i$ , y su evolución en los meses estudiados durante la investigación. El resultado de la evolución del  $MTTR_i$ , fue el siguiente:

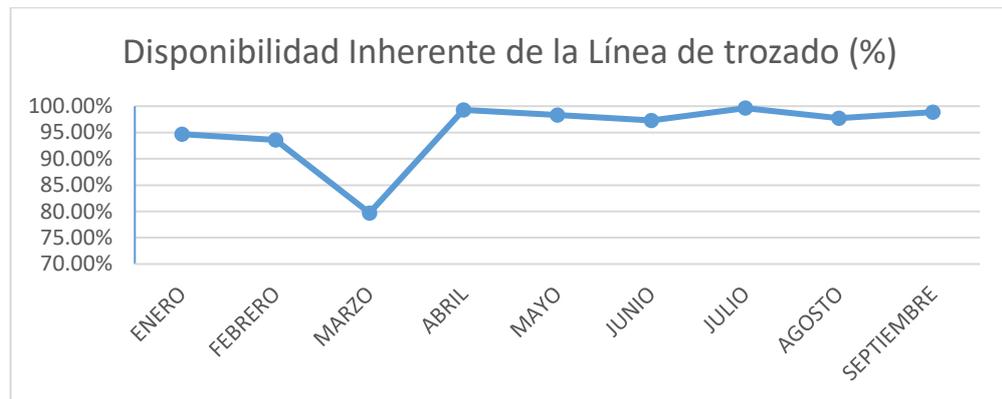


**Figura V-3.** Evolución del MTTR inherente de la Línea de trozado

La Figura V-3, muestra como los tiempos de reparación de las máquinas ha mejorado con respecto a los de los primeros meses del año, a excepción del mes de agosto, mes en el cual hubo tiempos extendidos en las reparaciones. Este mes tuvo un alto  $MTTR_i$  debido a modificaciones que se hizo en la línea de trozado, lo acontecido tiene respaldo en la teoría de la curva de la bañera, que indica que los equipos tienen tendencia a

fallar en la etapa prematura de su vida y en la etapa final. Por el resto de meses se muestra como mejoró el  $MTTR_i$  de esta investigación.

La disponibilidad como sí, está relacionada ampliamente con la evolución de estos dos indicadores, debido a que su valor se desprende de ambos. Por ello, como en términos generales se mejoró en ambos indicadores, se puede apreciar como la disponibilidad se ve beneficiada a la par del  $MTBF_i$  y el  $MTTR_i$ .



**Figura V-4.** Evolución de la disponibilidad inherente de la Línea de trozado

Lo reflejado en la Figura V-4, no es más que la confirmación de que el  $MTBF_i$  y el  $MTTR_i$  mejoraron a través del estudio, se aprecia como antes se tenía una disponibilidad inherente por debajo del 95%, teniendo un declive en el mes de Febrero por una serie de paradas imprevistas y largas, pero también se observa el pico más alto en Julio donde ambos indicadores ya mencionados tuvieron su mejor performance con respecto a los otros meses.

Asimismo, debido a las fallas funcionales ocurridas en los meses de estudio, se tuvo que diseñar un nuevo plan de mantenimiento preventivo adecuado a la necesidad vista en la línea de Trozado. Dicho plan preventivo estuvo más adecuado a la realidad de la empresa, todo esto con el objetivo de reducir las fallas que causaban paradas muy largas.

El plan fue el siguiente:

Tabla V—VII. Plan de Mantenimiento preventivo

LÍNEA DE TROZADO																									
TROZADOR 30 HP	ACTIVIDAD / FRECUENCIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
		1Q	2Q	1Q	2Q	1S	3S																		
	Lubricación chumaceras		o				o				o				o				o				o		
	Revisión de fajas		o				o				o				o				o				o		
	Cambio de fajas										o				o				o				o		
	Pintura de tablero, motor y soporte														o										o
	Mantenimiento motor														o										o
	Limpieza interna de tablero eléctrico		o				o				o				o	o	o		o						o
Revisión de martillos y ajustarlos	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
TROZADOR 40HP	ACTIVIDAD / FRECUENCIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
		1Q	2Q	1Q	2Q	1S	3S																		
	Mantenimiento de motor														o										o
	Revisión de faja	o		o		o		o		o		o		o		o		o		o		o		o	
	Revisión de rompedores	o		o		o		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Revisión de mallas	o		o		o		o		o		o		o		o		o		o		o		o	
	Limpieza interna de tablero eléctrico	o				o				o				o				o					o		
Pintado de tablero eléctrico														o										o	
FAJA SELECCIONADOR 45°	ACTIVIDAD / FRECUENCIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
		1Q	2Q	1Q	2Q	1S	3S																		
	Revisión de faja y pernos	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Mantenimiento de moto reductor														o										
	Lubricación de chumaceras	o				o				o				o				o					o		
Mantenimiento y pruebas eléctricas		o				o				o				o				o				o			

TRANSPORTE 1	ACTIVIDAD / FRECUENCIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC			
		1Q	2Q	1Q	2Q	1S	3S																				
		Medición de amperaje de impulsor y esclusa																	o		o		o		o		o
Revisión de tablero eléctrico																		o		o		o		o		o	
Revisión de estructura interna y externa																									o		
Lubricación de chumaceras																	o		o				o			o	
Mantenimiento de motores																								o			

TRANSPORTE 2	ACTIVIDAD / FRECUENCIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC			
		1Q	2Q	1Q	2Q	1S	3S																				
		Medición de amperaje de impulsor, esclusa y sinfín																	o		o		o		o		o
Revisión de tablero eléctrico																	o		o		o		o		o		
Revisión de estructura interna y externa																									o		
Lubricación de chumaceras																	o			o			o				
Mantenimiento de motores																							o				

Fuente: Elaboración propia

Este nuevo plan de mantenimiento ayudó a que se disminuyeran las fallas funcionales de los equipos de la línea de trozado.

Finalmente, con los datos de la disponibilidad inherente se puede calcular el total de pérdidas por parada en cada mes.

El costo de pérdida por mes se muestra en el siguiente cuadro:

**Tabla V—VIII. Costo total de pérdidas por paradas en la Línea de trozado**

	HORAS DE PARADAS	EVENTOS	COSTOS DIRECTOS			COSTOS INDIRECTOS			TOTAL (S)	TOTAL (\$)
			Mano de obra del personal	Materiales	Subcont ratos	Pérdida de producción	Reorganización de proceso	Pérdida de materia prima		
ENERO	39.50	20	S/. 355.50	S/. 1,058.00	S/. -	S/. 185,033.80	S/. 46,844.00	S/. 468.44	S/. 232,346.24	\$ 69,357.09
FEBRERO	47.50	25	S/. 427.50	S/. 2,003.00	S/. -	S/. 222,509.00	S/. 58,555.00	S/. 585.55	S/. 281,649.55	\$ 84,074.49
MARZO	150.95	33	S/. 1,358.55	S/. 866.21	S/. -	S/. 707,110.18	S/. 77,292.60	S/. 772.93	S/. 785,175.71	\$ 234,380.81
ABRIL	5.07	8	S/. 45.60	S/. 67.00	S/. -	S/. 23,734.29	S/. 18,737.60	S/. 187.38	S/. 42,659.27	\$ 12,734.11
MAYO	12.42	14	S/. 111.75	S/. 586.25	S/. 800.00	S/. 58,164.63	S/. 32,790.80	S/. 327.91	S/. 91,283.34	\$ 27,248.76
JUNIO	20.02	12	S/. 180.15	S/. 2,572.80	S/. -	S/. 93,766.07	S/. 28,106.40	S/. 281.06	S/. 122,153.54	\$ 36,463.74
JULIO	2.75	5	S/. 24.75	S/. 871.00	S/. -	S/. 12,882.10	S/. 11,711.00	S/. 117.11	S/. 24,710.21	\$ 7,376.18
AGOSTO	17.03	5	S/. 153.30	S/. 117.25	S/. -	S/. 79,790.95	S/. 11,711.00	S/. 117.11	S/. 91,619.06	\$ 27,348.97
SEPTIEMBRE	8.23	4	S/. 74.10	S/. 23.45	S/. -	S/. 38,568.23	S/. 9,368.80	S/. 93.69	S/. 48,030.71	\$ 14,337.53

Fuente: Elaboración propia

## Modelo de la Disponibilidad Operacional

Con los resultados del nuevo programa de mantenimiento se puede observar cómo se desarrolla la disponibilidad operacional. Para esta parte se tendrán que contar con las intervenciones por mantenimiento preventivo, correctivos programados, mejoras en el sistema.

El siguiente cuadro relata los tiempos de intervención en la máquina por parte del personal de mantenimiento.

**Tabla V—IX.** Datos de Intervenciones del área de mantenimiento

	EVENTOS	MINUTOS
MARZO	67.0	12165
ABRIL	42.0	2580
MAYO	41.0	3685
JUNIO	41.0	3266
JULIO	23.0	1860
AGOSTO	31.0	3874
SEPTIEMBRE	26.0	1969

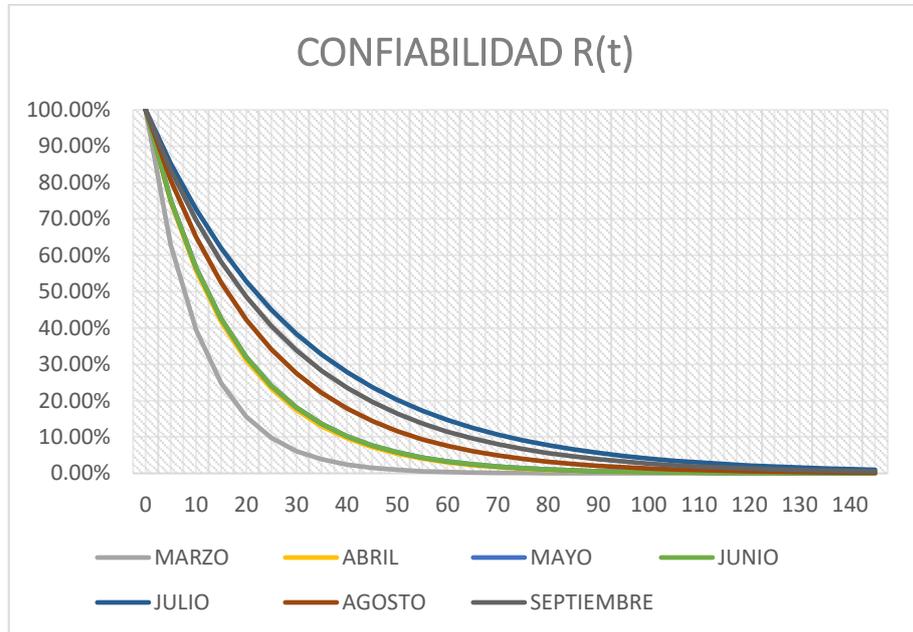
Fuente: Elaboración propia

**Tabla V—X.** Cálculo de indicadores operacionales

INTERVENCIONES DE MANTENIMIENTO	$MTBF_o$ (Min)	$\lambda$	$MTTR_o$ (Min)	$\mu$	DISPONIBILIDAD (Operacional)
MARZO	645	1.55E-03	182	5.51E-03	71.84%
ABRIL	1029	9.72E-04	61	1.63E-02	94.03%
MAYO	1054	9.49E-04	90	1.11E-02	91.47%
JUNIO	1054	9.49E-04	80	1.26E-02	92.44%
JULIO	1878	5.32E-04	81	1.24E-02	95.69%
AGOSTO	1394	7.18E-04	125	8.00E-03	91.03%
SEPTIEMBRE	1662	6.02E-04	76	1.32E-02	95.44%

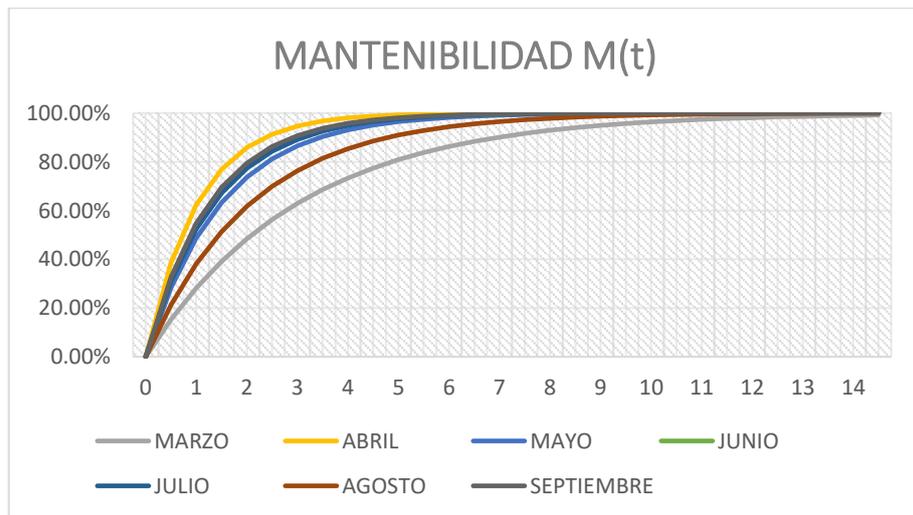
Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la tasa promedio de fallas ( $\lambda$ ) se graficaron las curvas de confiabilidad a través del tiempo (horas) utilizando la Ecuación II-8.



**Figura. V-5.** Curvas de Confiabilidad a través del tiempo

Si evaluamos la tasa de reparaciones ( $\mu$ ) por mes, la curva de mantenibilidad a través del tiempo (horas) utilizando la Ecuación II-9.



**Figura. V-6.** Curvas de Mantenibilidad a través del tiempo

## 5.2. Resultados Inferenciales

Con los resultados obtenidos descriptivamente, se pusieron a prueba las hipótesis utilizando el programa SPSS, verificando la validez o el rechazo de las hipótesis nulas planteadas. Cabe resaltar que para este trabajo se utiliza una confianza de 95%, por lo tanto, el  $\alpha=0.05$ .

Primero, se pusieron a prueba las variables para verificar si es que tienen distribución normal o no. A partir de este estudio se pudo determinar qué tipo de prueba utilizar para demostrar nuestras hipótesis.

Partimos de la siguiente hipótesis para poder realizar la prueba de Shapiro-Wilk:

H<sub>0</sub>: El indicador tiene distribución normal.

H<sub>1</sub>: El indicador no tiene distribución normal

**Tabla V—XI.** Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	p
DISPONIBILIDAD (i)	0.674	9	0.001
MTBF(i)	0.886	9	0.181
CORRECTIVOS	0.633	9	0.000
NEGLIGENCIAS	0.900	9	0.429
CUMPLIMIENTO_TP	0.839	9	0.056

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la Tabla V—XI; los indicadores de disponibilidad y horas de parada por correctivos; rechazan la hipótesis nula; por lo tanto esta posee una distribución asimétrica, la prueba a utilizar para estos casos será la de U de Mann-Whitney. Por otro lado; los indicadores  $MTBF_i$ , las horas de paradas por negligencias y el cumplimiento del Plan anual de mantenimiento; poseen una distribución normal y se deberá poner a prueba las hipótesis mediante la T-Student en los siguientes pasos.

## Prueba de las hipótesis específicas

### Hipótesis específica 1

El análisis de las fallas funcionales tiene un efecto directo en el  $MTBF_i$ , debido que si se analiza cada falla adecuadamente, se pueden evitar las mismas incrementando los tiempo entre parada y parada.

Primero se puso a prueba la semejanza de varianzas mediante la prueba de Levene.

$H_{1_0}$  : Existe semejanza de varianzas.

$H_{1_1}$  : No existe semejanza de varianzas.

**Tabla V—XII.** Prueba de Levene para el  $MTBF_i$

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	p
$MTBF_i$	Se asumen varianzas iguales	12.835	0.009
	No se asumen varianzas iguales		

Fuente: Elaboración propia

Tal como se aprecia, el nivel de significancia para la Tabla V—XII es menor al 5% ( $p < \alpha$ ), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula. Con lo que se puede asumir que las varianzas son distintas.

Por lo tanto, se puso a prueba los valores de estos mediante la prueba T-Student considerando varianzas distintas.

$H_{1_0}$  : Si se analiza las fallas funcionales, entonces no incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{1i}$ : Si se analiza las fallas funcionales, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

**Tabla V—XIII.** Prueba T-Student para el  $MTBF_i$

prueba t para varianzas distintas			
	t	gl	p (bilateral)
MTBF(i)	-3.824	5.360	0.011

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Tabla V—XIII, la significancia p es menor a  $\alpha$  y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, con esto se puede asegurar que si se analizan las fallas funcionales, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

**Tabla V—XIV.** Análisis estadístico descriptivo del  $MTBF_i$

Estadísticas de grupo				
Etapa		N	Media	Desv. Desviación
MTBF	ANTES	3	29.8367	7.32530
	DESPUÉS	6	115.2900	53.74948

Fuente: Elaboración propia

La Tabla V—XIV detalla los valores de la media y varianza antes y después del estudio de esta investigación. Debido a que la media después del estudio es de 115.29 hrs y antes del estudio es de 29.837, se puede deducir que efectivamente mejoró el indicador  $MTBF_i$  y por consiguiente, esto mejoró la disponibilidad de la línea.

## Hipótesis específica 2

Una correcta gestión de materiales, repercute directamente en el tiempo de acción en los correctivos. Por ello se puso a prueba la hipótesis específica 2 para demostrar si es que la gestión de materiales incrementa la disponibilidad o no. Debido a que la distribución para el indicador de

horas de mantenimiento correctivo posee una distribución no paramétrica tal como se muestra en la Tabla V—XI, se utilizó la prueba de U de Mann-Whitney.

Se definen las hipótesis de la siguiente manera:

$H_0$  : Si se realiza una gestión de materiales, entonces no incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_1$  : Si se realiza una gestión de materiales, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

Se puso a prueba la hipótesis nula utilizando el programa SPSS dando los siguientes resultados:

**Tabla V—XV.** Prueba U de Mann-Whitney para las horas de mantenimiento correctivo

Estadísticos de prueba	
	CORRECTIVOS
U de Mann-Whitney	0.000
Sig. asintótica(bilateral)	0.020
Significación exacta [(sig. unilateral)]	,024

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el p para una significancia unilateral es de 0.024 y es menor al  $\alpha$ , se descarta la hipótesis nula quedando como resultado la hipótesis alterna: Si se realiza una gestión de materiales, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

**Tabla V—XVI.** Datos estadísticos descriptivos para las horas de mantenimiento correctivo

CORRECTIVOS	ANTES	DESPUES
Media	67.0500	8.0720
Mediana	36.0000	8.3300
Desv. Desviación	61.55865	5.48582
Mínimo	27.20	2.25
Máximo	137.95	14.00

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la Tabla V—XVI que la media de horas de mantenimiento correctivo ha disminuido drásticamente, con lo que se concluye que una correcta gestión de materiales disminuyó las horas de intervención de mantenimiento correctivo y este a su vez mejoró la disponibilidad de la línea.

### **Hipótesis específica 3**

La implementación de un plan de capacitaciones tiene un impacto en las horas de paradas por negligencia de personal, debido a que este indicador nos da fe de que el personal operativo está capacitado para realizar las labores que se le encomienda.

Debido a que se tiene una distribución normal en este indicador, primero se puso a prueba la semejanza de varianzas mediante la prueba de Levene.

$H_{3_0}'$  : Existe semejanza de varianzas.

$H_{3_1}'$  : No existe semejanza de varianzas.

**Tabla V—XVII.** Prueba de Levene para las horas de parada por negligencia de personal

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
NEGLIGENCIAS	Se asumen varianzas iguales	2.015	0.199
	No se asumen varianzas iguales		

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que el nivel de significancia para la Tabla V—XVII, es mayor al 5% ( $p > \alpha$ ) y por lo tanto aceptamos hipótesis nula. Con lo que se asume que las varianzas son iguales.

Por lo tanto se puso a prueba los valores de estos mediante la prueba T-Student considerando varianzas iguales.

Ahora podremos determinar si la hipótesis específica 3 es significativa o no definiéndola de la siguiente manera:

$H_{3_0}$  : Si se elabora un plan de capacitaciones, entonces no incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{3_1}$  : Si se elabora un plan de capacitaciones, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

**Tabla V—XVIII.** Prueba T- Student para las horas de paradas por negligencia del personal

prueba t para varianzas iguales			
	t	gl	Sig. (bilateral)
NEGLIGENCIAS	4.882	7	0.002

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Tabla V—XVIII, la significancia p es menor a  $\alpha$  y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, con esto se puede asegurar que si se elabora un plan de capacitaciones, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

**Tabla V—XIX.** Análisis estadístico descriptivo de las horas de parada por negligencia

Estadísticas de grupo				
Etapa		N	Media	Desv. Desviación
NEGLIGENCIAS	ANTES	3	12.2667	0.75056
	DESPUÉS	6	4.1906	2.72688

Fuente: Elaboración propia

La Tabla V—XIX, detalla los valores de la media y varianza antes y después del estudio de esta investigación. Debido a que la media después del estudio es de 4.19 hrs y antes del estudio es de 12.2667, se deduce que efectivamente se disminuyeron las horas de paradas por negligencia de personal y por consiguiente esto mejoró la disponibilidad de la línea.

#### **Hipótesis específica 4**

El correcto registro de las incidencias de mantenimiento, repercute directamente en el porcentaje de cumplimiento de las Tareas programadas (TP). Por ello se puso a prueba la hipótesis específica 4 para demostrar si es que el registro de incidencias de mantenimiento

incrementa la disponibilidad o no. Debido a que la distribución para el indicador de porcentaje de cumplimiento del plan de mantenimiento lleva una distribución normal tal como se muestra en la Tabla V—XI, se utilizó la prueba de T de Student como se realizaron con las hipótesis 1 y 3.

Debido a que se tiene una distribución normal en este indicador, primero se puso a prueba la semejanza de varianzas mediante la prueba de Levene.

$H_{3_0}'$  : Existe semejanza de varianzas.

$H_{3_1}'$  : No existe semejanza de varianzas.

**Tabla V—XX.** Prueba de Levene para el cumplimiento del Plan anual de mantenimiento

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
CUMPLIMIENTO_TP	Se asumen varianzas iguales	1.663	0.238
	No se asumen varianzas iguales		

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que el nivel de significancia para la Tabla V—XX, es mayor al 5% ( $p > \alpha$ ) y por lo tanto se acepta la hipótesis nula. Con esto se puede asumir que las varianzas son iguales.

Por lo tanto, se puso a prueba los valores de estos mediante la prueba T-Student considerando varianzas iguales.

Se define las hipótesis de la siguiente manera:

$H_0$  : Si se registran las incidencias del área de mantenimiento, entonces no incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_1$  : Si se registran las incidencias del área de mantenimiento, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

Se puso a prueba la hipótesis nula utilizando el programa SPSS dando los siguientes resultados:

**Tabla V—XXI.** Prueba T de Student de cumplimiento de las Tareas programadas

	prueba t para varianzas iguales		
	t	gl	Sig. (bilateral)
CUMPLIMIENTO_TP	-5.751	7	0.001

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el p tiene una significancia de 0.01 y es menor al  $\alpha$ , se descarta la hipótesis nula, quedando como resultado la hipótesis alterna: Si se registran las incidencias del área de mantenimiento, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

**Tabla V—XXII.** Datos estadísticos descriptivos para porcentaje de cumplimiento de Tareas programadas

Estadísticas de grupo				
Etapa		N	Media	Desv. Desviación
CUMPLIMIENTO_TP	ANTES	3	30.80000	2.200000
	DESPUÉS	6	83.83333	15.367715

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la Tabla V—XXII que la media de porcentaje de ha incrementado drásticamente, con lo que se concluye que el registro de incidencias del área de mantenimiento, incrementa el porcentaje de cumplimiento las TP y este a su vez mejoró la disponibilidad de la línea.

### **Hipótesis general**

Finalmente se puso a prueba la hipótesis general para demostrar si es que incrementa la disponibilidad inherente o no. Debido a que la distribución para el indicador de disponibilidad es no paramétrica tal como se muestra en la Tabla V—XI, se utilizó la prueba de U de Mann-Whitney.

Se definen las hipótesis de la siguiente manera:

$H_{G_0}$  : Si se estructura del mantenimiento planificado, entonces no incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

$H_{G_1}$  : Si se estructura el mantenimiento planificado, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

**Tabla V—XXIII.** *Datos estadísticos descriptivos para la disponibilidad inherente*

DISPONIBILIDAD(i)	ANTES	DESPUÉS
Media	89.1000	98.5317
Mediana	93.6200	98.6100
Desv. Desviación	8.77185	0.91263
Mínimo	78.99	97.31
Máximo	94.69	99.63

Fuente: Elaboración propia

Tal como se aprecia en la Tabla V—XXIII la media de porcentaje se ha incrementado, con lo que se concluye que se mejoró la disponibilidad de la línea.

Se puso a prueba la hipótesis nula utilizando el programa SPSS dando los siguientes resultados:

**Tabla V—XXIV.** Prueba U de Mann-Whitney para la disponibilidad inherente

	DISPONIBILIDAD(i)
U de Mann-Whitney	0.000
Sig. asintótica(bilateral)	0.020
Significación exacta [sig. unilateral]	,024

Fuente: Elaboración propia

Debido a que la significancia unilateral es de 0.024 y este a su vez es menor al  $\alpha$ , se descarta la hipótesis nula, quedando como resultado la hipótesis alterna: Si se estructura el mantenimiento planificado, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados

Luego de ver los resultados analizados por la herramienta de Excel se observa como la incrementa de la disponibilidad inherente se pudo comprobar a través de las pruebas de significancia en el software SPSS. Luego se tomará estos resultados para demostrar las siguientes hipótesis:

#### Hipótesis específica 1

Al implementar el análisis de fallas funcionales AMEF, se pudo ver como cada fallo tomaba una acción planificada con el fin de que este no vuelva a suceder o que sus efectos sean menos significativos que los anteriores. Lo mencionado repercutió en el tiempo medio entre reparación ( $MTBF_i$ ), este se vio más alargado mes a mes. Lo que se pudo comprobar con la prueba T-Student fue que el cambio fue significativo y debido a que los valores de las medias indicaban un aumento de horas entre paradas, podemos afirmar que este indicador mejoró durante el desarrollo de esta investigación.

#### Hipótesis específica 2

Cuando se implementó una correcta gestión de materiales se vio como la media de tiempos de reparación por mantenimientos correctivos disminuyó y al ponerlo a prueba con el software SPSS arrojó un cambio significativo unilateral. Al momento de observar las medias, se puede notar claramente como existe una disminución notoria en los resultados.

#### Hipótesis específica 3

El resultado de un correcto plan de capacitaciones arrojó una disminución en la media de las horas de parada por mala manipulación de los operarios. Esto llevado al SPSS y utilizando la

prueba de T-Student arrojó un cambio significativo, lo siguiente indica que el plan de capacitaciones tiene un impacto positivo en las horas de parada por mala manipulación.

#### Hipótesis específica 4

Según el resultado del cumplimiento del plan anual de mantenimiento, las medias antes y después de esta investigación mejoraron drásticamente. Esto se llega a comprobar utilizando la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney, que demuestra el cambio significativo, con lo se puede asegurar que efectivamente se mejoró este indicador al aplicar este trabajo.

#### Hipótesis general

A lo largo de la investigación, se puede ver como la aplicación de cada paso del mantenimiento planificado fue incrementando en todo sentido la disponibilidad inherente. Esto se demostró utilizando la prueba no paramétrica de U de Man-Whitney, que afirma que hubo un cambio unilateral, este mismo contrastado con las medias antes y después, hace notar claramente que la hipótesis general se cumple: Si se estructura el mantenimiento planificado, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.

### **6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares**

La presente investigación demostró que el desarrollo de un análisis de modo y efecto de falla aumentó el  $MTBF_i$  desde un valle de 22.55 Hrs en el mes de marzo hasta el pico máximo de 186 en el mes de septiembre. (ALAVEDRA Flores, y otros, 2016 pág. 24) En su artículo de revista: Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013, llegaron al siguiente resultado: el MTBF del 2013 con respecto al del año 2012 sufrió una caída del 39,51 %, con una varianza de 34,07 horas. Por lo tanto, la línea de tendencia expresa una caída

en el tiempo si se continúa con el proceso. Con todo esto los autores resuelven que los equipos no son confiables debido al incremento de la MTBF.

Según este trabajo, la gestión de materiales redujo las horas de respuesta de mantenimiento correctivo desde 67.05 hrs en promedio en los primeros meses hasta 6.73 hr en promedio en los meses de estudio. (BOTERO Gutiérrez, 2013 pág. 60) De la Escuela de Ingeniería de Antioquia, Envigado, en su trabajo de pregrado para optar el título de ingeniero industrial: “Plan de implementación del pilar mantenimiento planificado bajo mantenimiento productivo total en una empresa productora del sector cerámico” obtiene que el manejo de inventarios redujo los tiempos de respuesta en un 20%.

Esta investigación demostró que con capacitaciones tanto al personal del área de mantenimiento como al personal del área de producción favoreció en la disminución de las horas de parada por negligencias, el autor (ESPINOZA Cadenas, 2014 pág. 158) de la Universidad Nacional del Callao, en su tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico: Diseño de un plan de gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la vida nominal de los equipos: vehículos livianos y máquinas-herramientas. Empresa Coopsol Minería y Petróleo S.A., resuelve que el personal necesitaba capacitación, pero había una predisposición a aprender para realizar un mejor trabajo.

El presente trabajo muestra que el cumplimiento de las tareas programadas incrementó desde un 30.8% en el mes de enero hasta un 97.6% en el mes de septiembre. (RIVERA Estay, 2015 pág. 38) De la Universidad de Chile, en su tesis: “Modelo de toma de decisiones de Mantenimiento para evaluar impactos en Disponibilidad, Mantenibilidad, Confiabilidad y costos”, llega al siguiente resultado: las nuevas prácticas tienen que ver con el cambio en los usos y costumbre de un gran grupo de personas, por

lo que esto explica un poco la no adopción absoluta de la forma de trabajo propuesta. Muestra de ello es el indicador de calidad de la información utilizada para el estudio, en donde hubo que hacer un trabajo extenuante para recién lograr la calidad de un 78 [%], que parece no ser suficiente para elevar a técnicas estadísticas la data obtenida. A comparación de este trabajo de investigación, el autor llega a un 78% de calidad de información debido a que el grupo de trabajo era muy extenso y el relleno de informes más complejo.

Finalmente, la disponibilidad inherente en la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC mejoró hasta un promedio de 98.5%. (CARDENAS Loardo, 2018 pág. 99) De la Universidad Nacional del Centro del Perú, en su tesis para optar el título de ingeniero mecánico: “Influencia del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la disponibilidad mecánica de los equipos Scaler en la unidad minera Yauli”, resuelve que al final de su investigación obtiene un promedio de disponibilidad de 80.25 % con una tendencia a subir. Tal como en este trabajo la tendencia a subir de la disponibilidad se da a través del tiempo, la diferencia se da debido al tiempo de análisis.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes**

Yo, Bryan Olivares Alvarez identificado con DNI: 72260965, declaro bajo juramento que todo el contenido de esta tesis es veraz, auténtica y cumplen estrictamente con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos de Universidad Nacional del Callao.

## CONCLUSIONES

1. Una correcta estructura del mantenimiento planificado de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC, logró incrementar el promedio de la disponibilidad inherente. Durante los tres primeros meses del año, antes de realizado este estudio, se vio como el promedio de la disponibilidad en la línea de trozado era de alrededor de 89.34%. Luego de estructurado el mantenimiento planificado, el promedio de la disponibilidad incrementó hasta 98.53%; esta es una cantidad bastante significativa considerando que en el mes de agosto se tuvo el pico más alto (99.63%). El incremento de la disponibilidad inherente estuvo muy ligado al incremento de Tiempo medio entre fallas (con 186 horas como pico máximo en septiembre) y la disminución del Tiempo medio entre reparación (con un valle de 0.55 horas en el mes de Julio).
2. El análisis de modo y efecto de falla arrojó un total de 27 modos de fallo con bajo nivel de criticidad, para estos modos de fallo se utilizó la estrategia correctiva que consiste en esperar que la falla ocurra para poder intervenir al equipo debido a la poca incidencia en el proceso; 148 modos de fallo con mediano nivel de criticidad, a estas fallas se les aplicó una estrategia preventiva con mediana frecuencia con lo que se pudo controlar la incidencia de estos modos de falla en el proceso y los intereses de la empresa; por último se encontró 77 modos de fallo con alto nivel de criticidad, para estos modos de fallo se utilizó la estrategia preventiva con alta frecuencia con la intención de minimizar al máximo la incidencia de estos modos de fallo en el proceso de la línea y los intereses económicos respecto a la línea de trozado. Ésta evaluación logró alargar la frecuencia de mantenimiento por fallas funcionales.
3. La implementación de una gestión de materiales arrojó como resultado un total de 42 repuestos importantes para las labores de mantenimiento en la línea de trozado. Estos tienen un stock mínimo que permita el feed

constante y deben cumplir con el estándar requerido por la máquina, dicho stock estuvo guardado estratégicamente en un lugar apartado de los demás repuestos para una correcta identificación en caso de emergencias suscitadas por mantenimientos correctivos. Se estableció una frecuencia de cambios para los equipos alta criticidad con el fin de evitar paradas por efectos de estos modos de fallo.

4. La elaboración de un programa de capacitaciones mostró una secuencia de temas a desarrollar para que tanto el personal de mantenimiento como el de producción puedan realizar un trabajo adecuado y con un nivel de especialización acorde a las expectativas propuestas, requerimientos del proceso y los intereses de la empresa. Este programa se aplicó en momentos estratégicos y solo a personal competente para evitar sobrecostos directos e indirectos. A lo largo de esta investigación hubo 72 capacitaciones entre personal de mantenimiento y producción.
5. El registro de las incidencias del área de mantenimiento ayudó a la identificación de las fallas funcionales frecuentes. Toda esta documentación se archiva tanto física como documentalmente con el fin de que se puedan analizar retrospectivamente los modos de falla, los recursos utilizados para solucionar algún problema, las ocurrencias, causas de paradas y el personal que interactuó directa e indirectamente en cada mantenimiento. Con todo ello se pudo conocer que el cumplimiento del Plan de mantenimiento entre mantenimientos preventivos como correctivos programados cada vez fue incrementándose llegando a un pico máximo en los meses de agosto y septiembre con 97.6% de acciones programadas cumplidas.

## RECOMENDACIONES

1. Debido a que este trabajo demostró el funcionamiento de la estructura del mantenimiento planificado como incrementa de la disponibilidad inherente en la línea de trozado, incrementando significativamente los intereses económicos de la planta de Peruvian Nature S&S SAC, se recomienda aplicar este mismo sistema a las demás líneas de producción de la planta. Una investigación a nivel general de la planta podría tomar un tiempo más extenso y con problemas más complejos a partir de las modificaciones que se den a las líneas de producción, por ende, la investigación debe ser cíclica, teniendo auditorias de mantenimiento anualmente como garante de que los procesos sean estrictamente cumplidos.
2. Debido a que los modos de falla con un nivel crítico tienen un fuerte impacto en el proceso de la línea de producción, se recomienda la implementación de un plan de mantenimiento predictivo con el fin de disminuir su ocurrencia hasta llegar a obtener la mínima incidencia posible. El plan de mantenimiento predictivo tomará una inversión fuerte, pero garantizará un mejor control en las incidencias graves de este tipo de problemas.
3. Una correcta gestión de materiales va de la mano del orden y el cuidado de los repuestos, por ello se recomienda la implementación de las 5 S's. Este sistema permitirá la identificación de los repuestos que estén desfasados y así darlos de baja. Para ello se requiere de un especialista que guíe objetivamente este proyecto de mejora.
4. Si bien el programa de capacitaciones ayudó a que tanto el personal de mantenimiento como el de producción tenga un mejor desempeño en sus labores, se recomienda implementar capacitaciones de nivel más técnico dirigido al personal de producción. La idea es crear una política de

mantenimiento autónomo que permita asistir a las máquinas rápidamente e identificar problemas con facilidad. La inversión en este tipo de mantenimiento es rápidamente retribuida teniendo personal con un desempeño mucho mejor, cabe resaltar que el personal se mostró abiertamente apto a seguir conociendo acerca de las máquinas que operan.

5. El apoyo de la herramienta del Excel fue determinante en el proceso de esta investigación, sin embargo tiene ciertas limitantes debido a la poca claridad de los resultados, por ello se propone migrar la data a un software de mantenimiento que permita un nivel más profesional de gestión con resultados claros y concisos. Un software de mantenimiento permitirá dinamismo entre las áreas de producción, logística y mantenimiento; esto ayudará en la reducción de tiempos burocráticos y notificaciones de emergencias en caso las hubiera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AENOR. 2017.** Norma UNE-EN 13306. España : AENOR, 2017.

—. **2008.** UNE-EN 15341:2008. s.l., España : UNE, Septiembre de 2008.

**ALAVEDRA Flores, Carol, y otros. 2016.** *Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013 [en línea]*. Lima : Universidad de Lima, 2016. pág. 26. ISSN: 1025-9929.

**ANDINA. 2019.** Perú: economía creció 4% en 2018 y acumuló 20 años de expansión. *ANDINA: Agencia peruana de noticias*. Diaria, 15 de Febrero de 2019.

**BCRP. 2019.** BCRPData. *Estadísticas BCRP*. [En línea] Agosto de 2019. [Citado el: 11 de Octubre de 2019.] <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/resultados/PN01713AM/html>.

**BOTERO Gutiérrez, David. 2013.** *Plan de implementación del pilar mantenimiento planificado bajo mantenimiento productivo total en una empresa productora del sector cerámico*. Ingeniería industrial, Escuela de ingeniería de Antioquia. Envigado - Colombia : Escuela de ingeniería de Antioquia, 2013. pág. 101, Trabajo de grado de pregrado - Exploratorio.

**CARDENAS Loardo, Nilton. 2018.** *Influencia del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la disponibilidad mecánica de los equipos Scaler en la Unidad Minera Yauli*. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo : Repositorio Institucional - UNCP, 2018. pág. 134, Tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico.

**ESPINOZA Cadenas, Edgar Simeón. 2014.** *Diseño de un plan de gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la vida nominal de los equipos: vehículos livianos y máquinas-herramientas*. Empresa Coopsol Minería y Petróleo S.A. Facultad de Ingeniería Mecánica-Energía, Universidad nacional del Callao. Callao : Universidad nacional del Callao, 2014. pág. 160, Tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico.

**ESPINOZA Velásquez, Luis Humberto. 2014.** *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo planificado mediante software en el taller del municipio del Cantón Otavalo.* Facultad de mecánica, Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador : Escuela superior politécnica de Chimborazo, 2014. pág. 75, Tesis de grado para optar el título de ingeniero de mantenimiento.

**GARCÍA Garrido, Santiago. 2015.** *Ingeniería del mantenimiento.* Madrid : RENOVETEC, 2015. pág. 690. Vol. 2. ISBN: 978-84-616-5618-9.

—. **2015.** *Ingeniería del Mantenimiento.* Madrid : Renovetec, 2015. pág. 322. Vol. 1. ISBN: 978-84-616-5474-1.

*Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013 [en línea].* **ALAVEDRA Flores, Carol, y otros. 2016.** 34, Lima : Universidad de Lima, 26 de Noviembre de 2016, Ingeniería Industrial, pág. 26. ISSN: 1025-9929.

**GÓMEZ Santos, Carola. 2010.** *Mantenimiento productivo total. Una visión global.* La Palmas de Gran Canaria : Ingeniería técnica industrial, 2010.

**GUFFANTE Naranjo, Tania; GUFFANTE Naranjo, Fernando; CHÁVEZ Hernández, Patricio. 2016.** *INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA: El Proyecto de Investigación.* México : s.n., 2016.

**MESA Ggrajales, Darío, ORTIZ Sánchez, Yesid y PINZÓN, Manuel. 2006.** *LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD, DISCIPLINAS.* Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2006.

**MORA Gutierrez, Luis Alberto. 2012.** *MANTENIMIENTO Planeación, ejecución y control.* México : Alfaomega Grupo Editor S.A., 2012.

**MUÑOZ Abella, Belén. 2017.** *Mantenimiento Industrial.* Área de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid. Madrid : Universidad Carlos III de Madrid, 2017. pág. 47.

**PÁEZ, José Manuel. 2017.** *Decisiones para la optimización del mantenimiento. Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad.* 2017.

**Reliabilityweb.com. 2019.** Ingeniería de Confiabilidad; Pilar Fundamental del Mantenimiento. *Reliabilityweb.com*. [En línea] Blue Fish, 2019. <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/ingenieria-de-confiabilidad-pilar-fundamental-del-mantenimiento>.

**RIVERA Estay, José Luis. 2015.** *MODELO DE TOMA DE DECISIONES DE MANTENIMIENTO PARA EVALUAR IMPACTOS EN DISPONIBILIDAD, MANTENIBILIDAD, CONFIABILIDAD Y COSTOS*. SANTIAGO DE CHILE : Universidad de Chile, 2015. pág. 42, Tesis para el grado de magíster.

**TAVARES, Lourival Augusto. 2000.** *Administración Moderna de Mantenimiento*. s.l. : Novo Polo Publicações, 2000. pág. 141.

**TAVARES, Lourival Augusto, y otros. 2007.** *Gestión Estratégica en Activos de Mantenimiento: Una Visión del Mantenimiento Centrado en el Negocio*. [ed.] Marco A. Alcántara. [trad.] Robin Julián López Alarcón. Venezuela : Marco Antonio Alcántara Ediciones Técnicas, 2007. pág. 178.

**YAÑEZ Medina, Medardo, GÓMEZ de la Vega, Hernando y VALBUENA Chourio, Genelín. 2004.** *INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD Y ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE RIESGO*. s.l. : Reliability and Risk Management, S. A., 2004.

**YAÑEZ, Medardo, PERDOMO, José y GÓMEZ de la Vega, Hernando. 2003.** *Ingeniería de Confiabilidad; Pilar Fundamental del Mantenimiento*. s.l. : Reliability and Risk Management S.A, 2003.

**ZAPATA, Carlos J. 2011.** *Confiabilidad en Ingeniería*. Pereira, Colombia : Universidad Tecnológica de Pereira, 2011. pág. 154.

# ANEXOS

## Anexo 1: Matriz de Consistencia

"MANTENIMIENTO PLANIFICADO Y LA DISPONIBILIDAD DE LA LÍNEA DE TROZADO EN LA PLANTA DE PERUVIAN NATURE S&S SAC"					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES
¿Cómo la estructura del mantenimiento planificado incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?	Estructurar el mantenimiento planificado para el incremento de la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.	Si se estructura el mantenimiento planificado, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.	Disponibilidad de la línea de trozado	Confiabilidad	MTBF (Hr)
				Mantenibilidad	MTTR(Hr)
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES
¿Cómo el análisis de las fallas funcionales incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?	Analizar las fallas funcionales para el incremento de la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.	Si se analiza las fallas funcionales, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.	Mantenimiento Planificado	Análisis de fallas funcionales	Modos de falla
					Costos de falla (\$/mes)
¿Cómo la implementación de una gestión de materiales incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?	Implementar una gestión de materiales para el incremento de la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.	Si se implementa una gestión de materiales, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.		Gestión de materiales	Stock de repuestos
¿Cómo la elaboración de un programa de capacitaciones incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?	Elaborar un programa de capacitaciones para el incremento de la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.	Si se elabora un plan de capacitaciones, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.		Capacitaciones	Personal especializado
¿Cómo el registro de las incidencias del área de mantenimiento incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC?	Registrar las incidencias del área de mantenimiento para el incremento de la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.	Si se registra las incidencias del área de mantenimiento, entonces incrementa la disponibilidad de la línea de trozado en la planta de Peruvian Nature S&S SAC.		Incidencias de mantenimiento	Cumplimiento del Plan anual de mantenimiento (%)

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 2: Solicitud de mantenimiento**



**PERUVIAN  
NATURE®**

FECHA GENERADA

HORA DE SOLICITUD

**FORMATO DE  
SOLICITUD DE MANTENIMIENTO**

**SMT-PRD1-**

LLENADO POR EL ÁREA SOLICITANTE

EQUIPO / INFRAESTRUCTURA: \_\_\_\_\_  
PERSONAL SOLICITANTE: \_\_\_\_\_  
PRODUCTO:   
LOTE:   
**DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

LLENADO POR PERSONAL DE MANTENIMIENTO

FECHA DE EJECUCIÓN  HORA INICIO   
HORA FIN   
**CLASE DE SOLICITUD**  
 PREVENTIVO       CORRECTIVO ORDINARIO       CORRECTIVO PROGRAMADO  
 PROYECTOS       MEJORAS       OTROS  
 CON PARADA DE MÁQUINA EN PROCESO       SIN PARADA DE MÁQUINA  
(PROGRAMADO / COORDINADO)  
**DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO**  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

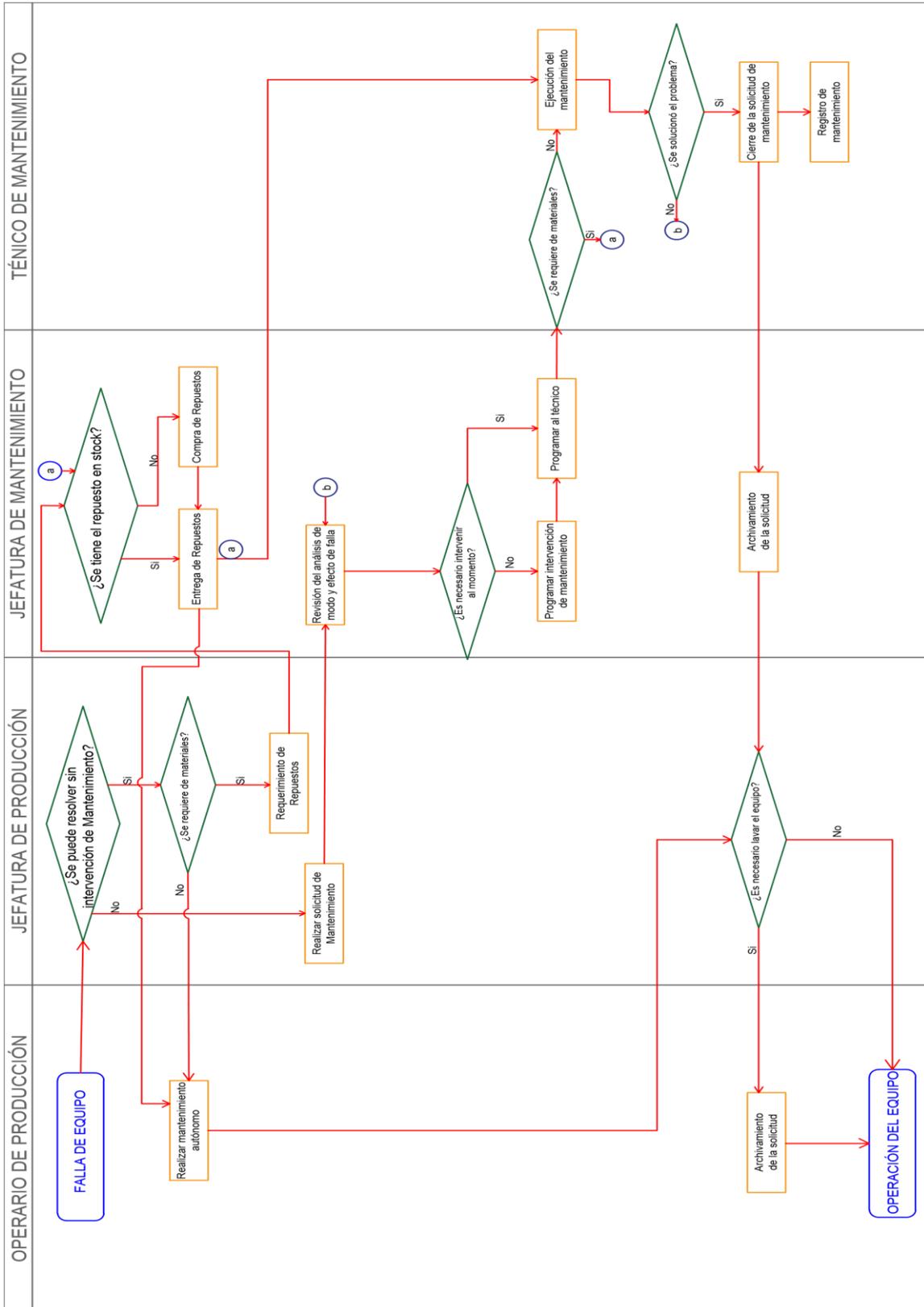
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
NOMBRE DE LOS TÉCNICOS RESPONSABLES DE LA LABOR

\_\_\_\_\_  
FIRMA Y NOMBRE DEL SOLICITANTE  
CARGO:

Fuente: Mantenimiento Peruvian Nature.



**Anexo 4: Diagrama de flujo de mantenimiento**



Fuente: Mantenimiento Peruvian Nature

**Anexo 5: Formato de Orden de mantenimiento**

 <b>PERUVIAN NATURE®</b>		<b>ORDEN DE MANTENIMIENTO</b>
Fecha		
Hora de Inicio:	Hora de Fin:	
Equipo		
Responsable del trabajo		
Mantenimiento preventivo		
Actividades	Corresponde	Efectuado
OBSERVACIONES DEL RESPONSABLE DEL TRABAJO	OBSERVACIONES DEL RESPONSABLE DEL ÁREA	
<b>AUTORIZACION DEL MANTENIMIENTO</b>		
FIRMA DEL RESPONSABLE		
FIRMA DEL JEFE INMEDIATO		
<b>CONFORMIDAD DE SERVICIO DEL AREA</b>		
FIRMA DE RESPONSABLE DE AREA		
F-MAN-10 V1		
Fecha: 18/08/2018		
<b>ELABORADO POR:</b> José Luis Chumpitaz Jefe de Mantenimiento	<b>REVISADO POR:</b> José Noa Jefe de Producción	<b>APROBADO POR:</b> Juan Velasco Gerente de Operaciones







Anexo 9: Autorización para utilizar el nombre de Peruvian Nature



**PERUVIAN  
NATURE**<sup>®</sup>  
CONSCIOUSLY WELL DONE

**Peruvian Nature**  
Las Gardenias Mz I Lte. 12  
Urb. Las Praderas de Lurín, Lima, Perú  
+511 717 8720 | +511 714 9756  
sales@peruviannature.com  
www.peruviannature.com

### CONSTANCIA DE TRABAJO

**PERUVIAN NATURE S & S S.A.C.** con RUC N° 20502203461, domiciliado en Las Gardenias Mz. I Lt. 12 Urb. Industrial Las Praderas - Lurín.

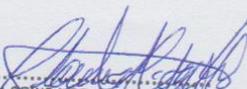
#### AUTORIZA:

Que, **OLIVARES ÁLVAREZ BRYAN**, labora en nuestra empresa, en el área de **MANTENIMIENTO** desempeñándose como **ASISTENTE DE MANTENIMIENTO** desde el **11 de febrero 2019** hasta la actualidad.

Asimismo, Peruvian Nature hace constar que el trabajador en mención cuenta con **autorización** para elaborar su Tesis de Titulación sobre nuestra institución comprometiéndose a guardar absoluta confidencialidad y discreción respecto de la información, Know How, datos, operaciones y documentos a los cuales hubiese accedido como consecuencia de sus servicios cuya publicación perjudique directa o indirectamente a la empresa.

Lima, 13 de junio del 2019.

Atentamente,

  
CLORINDA CEVALLOS DE SILVA  
JEFA DE RECURSOS HUMANOS  
PERUVIAN NATURE S&S S.A.C.

CEVALLOS DE SILVA CLORINDA  
JEFE DE RECURSOS HUMANOS



Control Union  
Fair Choice  
Social and Fair  
Trade Standard