



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN INGENIERÍA MECÁNICA

T E S I S

**REDUCCIÓN DE LOS COSTOS DE
MANTENIMIENTO MEDIANTE LA MODIFICACIÓN
DE LA FRECUENCIA DE INSPECCIÓN, EN EL
COMPONENTE Y EQUIPO CRÍTICO DE LA
EMPRESA C&M VIZCARRA, MOQUEGUA, 2018.**

PRESENTADA POR

ING. YURY VASQUEZ CHARCAPE

ASESOR

MGR NILTON JUAN ZEBALLOS HURTADO

PARA OPTAR GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN:

INGENIERÍA MECÁNICA

CON MENCIÓN EN GESTION DE MANTENIMIENTO

MOQUEGUA – PERÚ

2019

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| PORTADA | |
| Página de jurado..... | i |
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimientos..... | iii |
| Contenido..... | iv |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | vii |
| ÍNDICE DE APÉNDICES..... | viii |
| RESUMEN..... | ix |
| ABSTRACT..... | x |
| INTRODUCCIÓN..... | xi |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 1 |
| 1.1. Descripción de la realidad del problema..... | 1 |
| 1.2. Definición del problema..... | 1 |
| 1.2.1. Problema general..... | 2 |
| 1.2.2. Problemas específicos..... | 2 |
| 1.3. Objetivos de la investigación..... | 2 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 2 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.4. Justificación..... | 4 |
| 1.5. Alcances y limitaciones..... | 5 |
| 1.6. Variables..... | 6 |
| 1.6.3. Operacionalización de variables..... | 6 |
| 1.7. Hipótesis de la investigación..... | 7 |
| 1.7.1. Hipótesis general..... | 7 |
| 1.7.2. Hipótesis derivadas..... | 7 |

| | |
|--|--------------------------------------|
| CAPÍTULO II | 8 |
| MARCO TEÓRICO | 8 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación..... | 8 |
| 2.2. Bases teóricas | 10 |
| 2.3. Definición de términos..... | 28 |
| CAPÍTULO III..... | 30 |
| MÉTODO | 30 |
| 3.1. Tipo de la investigación | 30 |
| 3.2. Diseño de la investigación | 30 |
| 3.3. Población y muestra | 30 |
| 3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos | 31 |
| 3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos | 32 |
| CAPÍTULO IV | 44 |
| ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 44 |
| 4.1. Presentación de resultados..... | 44 |
| 4.2. Contrastación de hipótesis | 56 |
| 4.3. Discusión de resultados..... | 56 |
| CAPÍTULO V..... | 59 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 59 |
| 5.1. Conclusiones..... | 59 |
| 5.2. Recomendaciones | 60 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 61 |
| APENDICE..... | 62 |
| INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 63 |
| MATRIZ DE CONSISTENCIA | 68 |
| AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN | ¡Error! Marcador no definido. |

ÍNDICE DE TABLAS

| Contenido de tablas | Pág. |
|---|-------------|
| <i>Tabla 1. Operacionalización de variables</i> | 6 |
| <i>Tabla 2. Matriz de criticidad</i> | 23 |
| <i>Tabla 3. División del tiempo, para indicadores de gestión según el método ASARCO</i> | 26 |
| <i>Tabla 4. Resumen de los indicadores de gestión de tiempo a usar</i> | 27 |
| <i>Tabla 5. Valoración del equipo crítico</i> | 35 |
| <i>Tabla 6. Ficha de observación técnica – económica del componente crítico TO-I1006, en la etapa previa</i> | 45 |
| <i>Tabla 7. Ficha de observación técnica – económica del componente crítico TO-I1006, en la etapa posterior</i> | 46 |
| <i>Tabla 8. Reporte de los índices de gestión de mantenimiento en el equipo TO-I1006, antes de las inspecciones</i> | 53 |
| <i>Tabla 9. Reporte de los índices de gestión de mantenimiento en el equipo TO-I1006, después de las inspecciones</i> | 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Contenido de figuras | Pág. |
|---|------|
| <i>Figura 1. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1001 “Motoniveladora CAT 140K”</i> | 37 |
| <i>Figura 2. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1004 “Tractor de Orugas CAT D8T”</i> | 37 |
| <i>Figura 3. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1005 “Tractor de Orugas CAT D8T”</i> | 38 |
| <i>Figura 4. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1006 “Tractor de Orugas CAT D8T”</i> | 38 |
| <i>Figura 5. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1013 “Tractor de Orugas CAT D8T”</i> | 39 |
| <i>Figura 6. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1014 “Tractor de Orugas CAT D8T”</i> | 39 |
| <i>Figura 7. Tasa de fallas acumuladas de todos los tractores a oruga durante todo el periodo de evaluación.</i> | 40 |
| <i>Figura 8. Tasa de fallas acumuladas del tractor a oruga TO-I1006 durante todo el periodo de evaluación.</i> | 41 |
| <i>Figura 9. Distribución de tiempos de operación y mantenimiento en el equipo TO-I1006 antes de las inspecciones.</i> | 48 |
| <i>Figura 10. Distribución de tiempos de operación y mantenimiento en el equipo TO-I1006 después de las inspecciones.</i> | 48 |
| <i>Figura 11. Distribución de ingresos y gastos en el equipo TO-I1006 antes de las inspecciones.</i> | 49 |
| <i>Figura 12. Distribución de ingresos y gastos en el equipo TO-I1006 después de las inspecciones.</i> | 51 |
| <i>Figura 13. Evolución de la tasa de disponibilidad, antes y después de las inspecciones.</i> | 55 |
| <i>Figura 14. Evolución de la tasa de costos de mantenimiento vs producción, antes y después de las inspecciones.</i> | 56 |

ÍNDICE DE APÉNDICES

Contenido de apéndice

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabla A1. Resumen de las funciones de disponibilidad usadas en mantenimiento.....</i> | <i>62</i> |
|--|-----------|

RESUMEN

Esta tesis busca comprobar la reducción de los costos de mantenimiento, al modificar la frecuencia de las inspecciones según criterios matemáticos y estadísticos basados en la tasa de fallas como en los actuales costos de mantenimiento e inspecciones que se observan durante un periodo dado.

Se tomó como caso de estudio a la maquinaria pesada de la empresa C&M Vizcarra, donde las inspecciones se hacen en forma esporádica y los costos de mantenimiento resultan elevados.

Aplicando un análisis de criticidad se determinó como componente crítico a los tractores a orugas, al cuantificar la tasa de fallas se determinó que dentro de estos el más importante es el tractor CAT TO-I1006, en el que se midió los costos anteriores, tasa de fallas, tiempo medio de reparaciones y frecuencia mensual de inspecciones para fijar una frecuencia de inspecciones que permita minimizar los costos de mantenimiento.

Se logró mejorar la disponibilidad de los equipos desde el 52% hasta el 86%, reduciéndose la proporción de los gastos de mantenimiento en relación a los ingresos por producción de 1.72 hasta 0.33 veces; al fijar tres inspecciones mensuales como resultado de la metodología desarrollada.

Palabras clave:

Criticidad, tasa de falla, inspecciones, disponibilidad, costos de mantenimiento.

ABSTRACT

This thesis seeks to verify the reduction of maintenance costs, by modifying the frequency of inspections according to mathematical and statistical criteria based on the failure rate as in the current maintenance costs and inspections that are observed during a given period.

The heavy machinery of the C & M Vizcarra Company was taken as a case study, where inspections are carried out sporadically and maintenance costs are high.

Applying a criticality analysis was determined as a critical component tractors tracked, to quantify the failure rate was determined that among these the most important is the CAT TO-I1006 tractor, which measured the previous costs, rate of failures, average time of repairs and monthly frequency of inspections to set a frequency of inspections to minimize maintenance costs.

It was possible to improve the availability of equipment from 52% to 86%, reducing the proportion of maintenance expenses in relation to production income from 1.29 to 0.33 times; by setting three monthly inspections as a result of the methodology developed.

Keywords:

Criticality, failure rate, inspections, availability, maintenance costs

INTRODUCCIÓN

Esta tesis pretende aplicar los conocimientos de la Gestión de Mantenimiento a un problema que pueda ser aplicado en nuestra localidad, la problemática a resolver se orienta a maquinaria pesada en cuya área se acumuló cierta experiencia que va a ser importante en el desarrollo de la investigación. Así fue que se tomó la decisión de intervenir en alguna empresa dedicada a este rubro, se eligió a C&M Vizcarra, por ser una empresa importante que además presta servicios a la minería y reúne las condiciones mínimas para poder efectuar un trabajo aplicativo para propósitos de obtener el grado de maestría en Gestión de Mantenimiento.

Al efectuar una visita a la empresa C&M Vizcarra, he indagado sobre la gestión de mantenimiento de la flota que presta servicios a la minería se pudo advertir que las inspecciones se realizan en forma esporádica, no planificada, lo que podría tener dos posibles consecuencias: Un gasto excesivo en las actividades de mantenimiento mecánico por falta de inspección, o una excesiva intervención de inspecciones que pueda ser observada por la gerencia de la empresa, al tratar de corregir el problema anterior.

En este sentido, y en aplicación de las estrategias de mantenimiento relacionadas a la optimización de costos se tomó la propuesta de Lyonnet (1991) para establecer la cantidad de inspecciones que minimicen los costos de mantenimiento de tal modo que las tareas de mantenimiento cumplan con su objetivo principal sin afectar la función más importante de la empresa que es generar ingresos.

Lyonnet (1991), quién en su libro Planificación de Mantenimiento, Métodos y Matemáticas, propone que, si en los costos de mantenimiento se incluyen solamente a los que están directamente relacionados a las fallas o desperfectos, es posible minimizar las inspecciones suponiendo que estas tienen una dependencia directa con los gastos efectuados. Lyonnet toma como costos útiles para su modelo a los que están relacionados con las reparaciones, como a los que involucran inspecciones que pueden darse con o sin paralización de los equipos. Resulta interesante que esta función apoyada con los criterios de minimización matemática puede establecer un número de inspecciones que minimice los gastos del área de mantenimiento y que permita de un modo conciliar las áreas administrativas y técnicas que tradicionalmente se ven afectadas por que tienen objetivos diferentes lo cual no debe pasar pues formar parte de una misma empresa a la que deben tratar de sostener en términos de producción y servicios de calidad.

Así, esta tesis resulta de interés pues trata de comprobar que éste modelo creado por Lyonnet es válido además que evalúa la reducción efectiva de los costos de mantenimiento y su impacto en el estado operativo de los equipos mediante indicadores estandarizados (Tasa de costos de mantenimiento vs costos de producción, Disponibilidad, y tasas de utilización) en el componente crítico cuya elección se basa en un análisis de criticidad que según (Pablo Romero Carranza, 2013) es importante en la toma de decisiones para la gestión del mantenimiento en una empresa que la que se dispone de múltiples equipos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

Durante la intervención de las operaciones de mantenimiento, se originan costos que por lo general perjudican los ingresos que se proyecta obtener por el uso de equipos mecánicos durante un proceso productivo. Cuando el responsable de mantenimiento programa intervenciones, el área de producción y la gerencia autorizan con mucha dificultad dichas actividades pues saben que por lo general tendrán que paralizar algún equipo y en ocasiones todo el sistema productivo, lo que atenta con la principal función económica que es la generación de utilidades; lo que se destina a garantizar la continuidad del aparato productivo, elevar la calidad del servicio, para finalmente poder generar el bienestar de las personas que forman parte de la organización laboral.

Por otro lado, es obligatorio mantener el buen estado de los equipos mediante las actividades de mantenimiento para garantizar la actividad de la empresa, las frecuencias de falla de los equipos pueden reducirse en la medida que se incremente una adecuada inspección técnica, una excesiva inspección puede elevar aún más los costos de mantenimiento.

Definir un número óptimo de inspecciones que minimice los gastos de mantenimiento y eleve a su vez la disponibilidad es de interés en toda empresa que usa equipos mecánicos, solución que va a ser verificada en la empresa C&M Vizcarra.

1.2. Definición del problema

Se ha establecido que en la empresa C&M Vizcarra, las actividades de mantenimiento pueden estar originado costos excesivos dada una falta de inspección planificada, estos costos de mantenimiento pueden darse debido a fallas mal reportadas, averías con origen oculto, incluso por una afectación del tipo de repuestos que se estén instalando, los que posiblemente no son los más adecuados.

Incrementar las inspecciones en un periodo de tiempo (Semanal, Mensual, Trimestral, etc.) es un riesgo pues en lugar de reducir los costos de mantenimiento los puede más bien elevar.

De esta manera, el problema a resolver es establecer un número de inspecciones mensuales que minimice los costos de mantenimiento sin perjudicar la disponibilidad mecánica de los equipos y que cuente con la satisfacción de las áreas de mantenimiento como administrativa.

1.2.1. Problema general

¿Será posible la reducción de los costos de mantenimiento mediante la modificación de la frecuencia de inspección, en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra, Moquegua, 2018?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Es posible elegir el equipo y componente crítico de la empresa C&M Vizcarra?
- ¿Es factible evaluar los costos de mantenimiento y las actuales frecuencias de inspección en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra?
- ¿Es posible establecer una frecuencia económica de inspección, en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra?
- ¿Es posible verificar la reducción de los costos de mantenimiento en el componente crítico, después de establecer una frecuencia económica de inspección?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Reducir los costos de mantenimiento mediante la modificación de la frecuencia de inspección, en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra, Moquegua, 2018.

1.3.2. Objetivos específicos

- Elegir el equipo y componente crítico de la empresa C&M Vizcarra.
- Evaluar los costos de mantenimiento y las actuales frecuencias de inspección en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra
- Establecer una frecuencia económica de inspección, en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra
- Verificar la reducción de los costos de mantenimiento en el componente crítico, después de establecer una frecuencia económica de inspección.

1.4. Justificación

Actualmente las tareas de mantenimiento se han tornado obligatorias dentro de las exigencias de disponibilidad de máquinas, seguridad y calidad que se exigen mediante estándares para toda empresa competitiva. Sin embargo, no se ha resuelto plenamente el conflicto entre mantenimiento y producción pues cada área tiene aparentemente diferentes prioridades.

De todas las labores de mantenimiento, la inspección es una tarea fundamental pues permite identificar a tiempo condiciones de riesgo que pueden poner en peligro la operatividad y seguridad de un equipo o sistema, un adecuado programa de inspecciones no solo minimiza riesgos, sino que también reduce pérdidas al elevar la disponibilidad de los equipos, maquinas e instalaciones inspeccionadas.

Es preciso aplicar nuevos criterios de planificación de las labores de mantenimiento que permitan tomar decisiones basadas en criterios económicos como técnicos, en este punto es que radica la importancia y justificación de la realización de la presente investigación.

1.5. Alcances y limitaciones

Esta tesis tiene como alcance a los equipos de maquinaria pesada de la empresa C&M Vizcarra, de los que se determinará al equipo crítico considerando datos de valorizaciones como tasas de falla desde junio del 2018 hasta marzo del 2019. En el equipo crítico, los costos de mantenimiento a reducirse serán únicamente los costos por falla y los de inspecciones con o sin paralización de equipos. Para determinar el periodo óptimo de inspecciones solo se tomará como datos de la gestión de mantenimiento la tasa de fallas, el número anterior de inspecciones y el tiempo medio entre reparaciones.

Las limitaciones que se tomarán para minimizar los costos de mantenimiento no incluyen a los costos de adquisición, la depreciación, los costos financieros, entre otros pues según la revisión bibliográfica, para el criterio de minimización de gastos, solo se incluyen a aquellos que están afectados por la tasa o frecuencia de fallas. Tampoco se tiene acceso total a la gestión directa del mantenimiento, por lo que las tareas propias de supervisión de mantenimiento, compras de repuestos y accesorios, contrato de personal técnico como operadores e incluso responsables técnicos, quedan fuera de la decisión o control por parte del investigador y de los propósitos de la tesis.

1.6. Variables

1.6.1. Variable Dependiente

Costo de mantenimiento

1.6.2. Variable Independiente

Frecuencia de inspección

1.6.3. Operacionalización de variables

Tabla 1.

Operacionalización de variables

| VARIABLE | DEFINICION | INDICADORES | INSTRUMENTOS |
|---|---|--|-----------------------|
| Variable Independiente: Frecuencia de inspección | Número de inspecciones realizadas en un lapso o intervalo de tiempo establecido | Número de inspecciones mensuales | Observación Directa |
| Variable Dependiente: Costo de Mantenimiento | Costos de la gestión de mantenimiento que pueden ser medidas durante un periodo de gestión | Costos por detención Costos por inspección asociados a la atención de falla Costos por intervención directa para solucionar las fallas | Registro documentario |
| Variable interdependiente: Criticidad | Condición de un activo por el que se valora su importancia dado el impacto y su frecuencia de falla | Producto del impacto y las frecuencias de falla. Se hará una valoración cuantitativa, en la escala de Likert, de los aspectos cualitativos evaluados | Encuesta |

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general

Los costos de mantenimiento se reducen significativamente mediante la modificación de la frecuencia de inspección, en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra, Moquegua, 2018.

1.7.2. Hipótesis derivadas

- Es posible elegir el equipo y componente crítico de la empresa C&M Vizcarra.
- Es factible evaluar los costos de mantenimiento y las actuales frecuencias de inspección en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra.
- Es posible establecer una frecuencia económica de inspección, en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra.
- Es posible verificar la reducción de los costos de mantenimiento en el componente crítico, después de establecer una frecuencia económica de inspección

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Los costos de mantenimiento están ligados a la mayor o menor frecuencia de las actividades de mantenimiento que se hagan, estas actividades están en dependencia directa de la tasa de fallas de los componentes, de su vida útil y un adecuado programa de inspecciones. Estos factores que aquí tratamos de combinar en dependencia de los criterios económicos, tienen como investigaciones preliminares, los siguientes antecedentes:

Sobre el modelo económico y el costo acumulado Chau (2010) establece que:

La comparación del Modelo Económico versus el costo acumulado en un determinado instante del tiempo de un equipo, es una versátil metodología que permite pronosticar la tendencia del equipo con respecto al plan inicial de inversión, porque disgrega el análisis de las actividades de mantenimiento con detalles útiles para diferentes usuarios, los que son coherentes y fáciles de interpretar.

Según Castro (2017) la estimación del tiempo medio entre fallas, es posible realizando ajustes de confiabilidad usando la distribución de Weibull, este investigador uso dicha distribución a fin de determinar la vida útil de dos componentes mecánicos específicos, cuyo valor es prácticamente el mismo que fija el fabricante. A su vez concluye que el mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) debe ser aplicado a fin de medir los indicadores de gestión, y así poder

tomar medidas correctivas según se requiera. Castro Irrarazabal recomienda identificar los componentes críticos y su conveniente reposición.

En esta tesis se analizaron aspectos de confiabilidad, el tiempo medio de falla, y de una u otra manera sugieren que debe compararse con el costo acumulado, de modo que en base a estas investigaciones preliminares se ha tomado la decisión de vincular costos y periodos de inspección en la maquinaria de movimientos de tierra a fin de ayudar a la gestión de mantenimiento sobre una base de criterio económico, esta metodología además podrá ser usada como base para tomar acciones en la gestión estratégica de mantenimiento a fin de mejorar la calidad y optimizar los costos de los servicios brindados, mediante una medición continua de costos, tasas de falla; para evaluar un periodo pertinente de inspección, estas variables son de variación dinámica en el tiempo y están sujetas a una mejora continua.

2.2. Bases teóricas

Las bases teóricas que son necesarias en este trabajo de investigación son:

- Estadística aplicada al mantenimiento.
- Conceptos de costos de mantenimiento.
- Cálculo diferencial aplicado a la ingeniería.

El marco conceptual se detalla en forma de contenidos preliminares que van a desarrollarse, según las bases teóricas, durante la ejecución del trabajo de tesis.

2.2.1. Estadística Aplicada al Mantenimiento

El aporte de la estadística aplicada al mantenimiento nos permite aplicar los siguientes conceptos:

- Probabilidad y tasa de fallas.
- Funciones de densidad.
- Funciones de distribución acumulada.
- Modelos de distribución de confiabilidad.
- Definiciones de confiabilidad.

2.2.1.1. Probabilidad (p) y tasa de fallas (λ)

” La probabilidad (p) es la razón entre el número de los resultados favorables para la ocurrencia de un suceso y el número total de los resultados” (Maibaum, 1987, p.29)

Las mediciones en confiabilidad y mantenibilidad se hacen en términos probabilísticos (Alberto Mora Gutiérrez G, “Mantenimiento

Industrial Efectivo”, 2012). Por tanto, la tasa de fallas se puede definir como “la cantidad de componentes que han dejado de funcionar en un dado intervalo de tiempo” (Miguel Angel Apolinario Gabriel, “Estimación de la confiabilidad mediante el análisis de Weibull”, tesis, Lima-Peru, 2008, p 27-28).

$$\lambda(t) = \frac{\text{Numero de fallas}}{\text{Tiempo de observacion}} \dots [1]$$

2.2.1.2. Funciones de densidad f(t)

En el análisis de probabilidades para variables continuas, la función de densidad establece la frecuencia de ocurrencia de algún evento a lo largo del dominio del tiempo. Las funciones de densidad pueden tomar formas de funciones conocidas, resumimos las más importantes que nos serán útiles, en las siguientes formulas. Función normal o Gaussiana:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2} \dots [2]$$

Función Exponencial:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \dots [3]$$

Función de Weibull:

$$f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \dots [4]$$

Hay algunas versiones diferentes de esta fórmula, llevada al dominio del tiempo en la que el término $x - \gamma = t$ y de ese modo la función de Weibull queda simplificada así:

$$f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \dots [5]$$

Donde:

x - Dominio sobre el que se evalúa la probabilidad

t - Dominio del tiempo.

σ - Desviación estándar.

m - Media

λ - Número promedio de ocurrencias por unidad de tiempo.

β - Parámetro de forma.

η - Parámetro de escala.

γ - Parámetro de localización.

2.2.1.3. Funciones de Distribución

Estas funciones se conocen en forma completa como funciones de distribución acumuladas, y nos permiten conocer la probabilidad de ocurrencia de un conjunto de sucesos dentro de un intervalo en el dominio que se evalué la función. Matemáticamente podemos definirla como:

$$F(x) = P[a \leq x \leq b] = \int_a^b f(x) dx \dots [6]$$

Para cada función de densidad, existe su respectiva función de distribución.

2.2.1.4. Modelos de Distribución de Confiabilidad

Cuando se toman modelos probabilísticos para estudios de confiabilidad, se evalúa la probabilidad de falla y se toma como dominio el tiempo

Walpole (2012) indica que “En las aplicaciones a la ingeniería de mantenimiento mecánico, los modelos de distribución usados con más frecuencia son las distribuciones exponencial y Weibull” (p.197).

En adelante, tomaremos a $f(t)$ como función de densidad de fallas, y $F(t)$ como su respectiva función de distribución.

2.2.1.5. Definiciones de Confiabilidad

Confiabilidad $R(t)$: Es la probabilidad de que un ítem no falle en el intervalo $(0,t)$, dado que era nuevo o como nuevo en el instante $t=0$.

$$R(t) = \frac{n(t)}{N} \dots [7]$$

Donde:

N - Componentes idénticos que se someten a una observación de falla.

$n(t)$ - Componentes en los que no se ha observado la ocurrencia de falla.

Distribución acumulada de fallas F(t):

Probabilidad de que un ítem falle en el intervalo (0, t).

$$F(t) = \frac{N - n(t)}{N} \dots [8]$$

Note que la suma de confiabilidad con la probabilidad acumulada de falla es igual a la unidad.

Vida media MTBF: Es el valor del tiempo esperado para que un componente falle.

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \dots [9]$$

Tasa de falla λ: Es la probabilidad de que se produzca una falla del sistema o componente en el intervalo (t, t + dt). Se mide en fallas por unidad de tiempo:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots [10]$$

Un resumen de las funciones de densidad, confiabilidad, tasa de falla, tiempo medio entre fallas y su campo de aplicación se ilustra en la siguiente tabla.

Observar en los apéndices la tabla A1. Resumen de las funciones de disponibilidad usadas en mantenimiento.

Conceptos de Costos de Mantenimiento

Los conceptos económicos aplicados al mantenimiento que van a ser revisados y aplicados son:

- Costos por detención de equipos.
- Costos de fallas asociado a las inspecciones.
- Costos por intervención en las reparaciones.
- Costo global de mantenimiento.

2.2.2. Generalidades de los Costos de Mantenimiento

Para una breve explicación del costo total de mantenimiento citare las palabras de Tavares (2014) que lo define como:

El costo total de mantenimiento, está compuesto por cinco elementos (personal, material, terceros, depreciación, perdida/reducción en la facturación), cada uno de ellos con tres subdivisiones (costos directos, costos indirectos y costos administrativos); difícilmente es hecha esta composición, limitándose las empresas a considerar dos o tres elementos (personal, material y eventualmente terceros) y de igual manera, una o dos de sus subdivisiones (costos directos y eventualmente, costos indirectos). (p.58)

De todos estos costos, incluiremos los que estén asociados al mantenimiento en el plazo inmediato del efecto económico, este criterio no incluye a los costos por depreciación y va de acuerdo a los que establece Lyonnet (1991).

Los costos a los que nos referimos son:

2.2.2.1. Costos por detención de equipos

Son los costos que se originan por la detención del equipo y terminan afectando a la producción.

2.2.2.2. Costos de fallas asociado a las inspecciones

Incluye los costos asociados a las inspecciones, incluye los costos por materiales, equipos y mano de obra. También se incluyen los costos por inspección que puedan interrumpir o no a la producción.

2.2.2.3. Costos por intervención en las reparaciones

Incluye los gastos de reparación: se debe incluir los gastos directos, indirectos y administrativos asociados a las reparaciones.

2.2.2.4. Costo global de mantenimiento

Este costo es la suma de todos los costos asociados al mantenimiento, para poder evaluar este costo como una función derivable, se tomará en función de los costos unitarios temporales que están afectados por la tasa promedio de fallas (λ), el número de inspecciones (n), tiempo medio para inspeccionar (i), tiempo medio de reparación (μ). Así, la relación del costo global de mantenimiento ($c_g(n)$) tomado en cuenta esta consideración viene dada por:

$$c_g(n) = C_f \frac{\lambda(n)}{\mu} + C_f \frac{n}{i} + C_{i,r} \frac{\lambda(n)}{\mu} + C_{i,i} \frac{n}{i} \dots [11]$$

Donde:

C_f - Costos asociado a la falla.

$C_{i,r}$ - Costo de la inspección por paralización del equipo.

$C_{i,i}$ - Costos de inspección sin paralización del equipo.

λ - Tasa promedio de fallas

μ - Tiempo promedio de reparación.

i - Tiempo medio para inspeccionar.

2.2.3. Cálculo Diferencial Aplicado a la Ingeniería

Se usará el cálculo diferencial para determinar el periodo en el cual se produce un costo mínimo global, para lo cual será preciso desarrollar:

- Definición e interpretación de la derivada.
- Maximización y minimización de funciones.
- Minimización del costo global de mantenimiento.

2.2.3.1. Definición e interpretación de la derivada

La derivada, como función matemática viene dada por *el coeficiente o tasa de variación instantánea de una variable en relación a otra que se toma como dominio*. Su interpretación es el *grado instantáneo de inclinación o pendiente de la primera variable cuando evoluciona en relación a la segunda*. Véase la expresión gráfica y su formulación analítica en términos matemáticos:

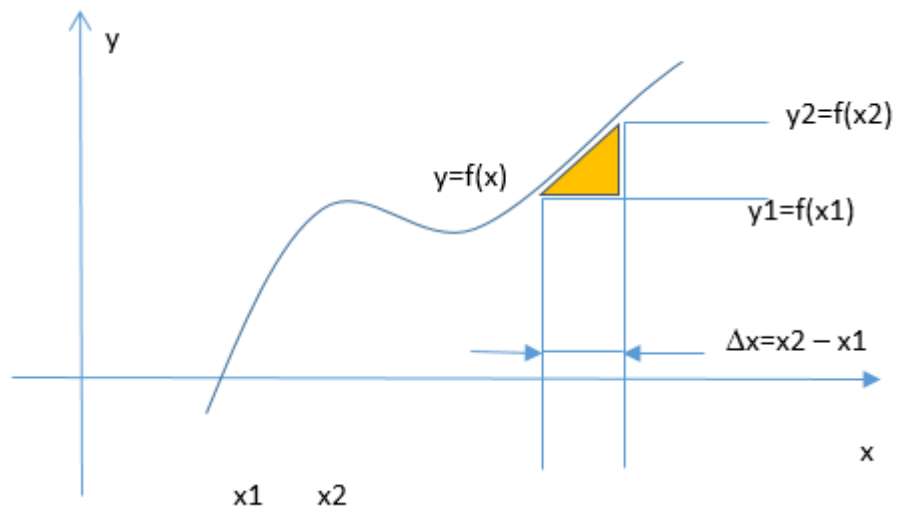


Figura 1. Esquema Bidimensional para visualizar el concepto de derivada.

$$Pendiente = m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \dots [12]$$

En términos formales, la derivada se define como:

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} \dots [13]$$

(Piskunov, 1977, p.70)

2.2.3.2. Maximización y minimización de funciones

“Los valores máximos y mínimos de una función son una particularidad del Teorema de los Puntos Críticos”

El Teorema de los puntos críticos se enuncia así:

“Sea f definida en un intervalo I , que contiene al punto c . Si $f(c)$ es un valor extremo c debe ser un punto crítico; es decir, c es alguno de los siguientes:

- (i) Un punto fronterizo de I .
- (ii) Un punto estacionario de f , es decir, un punto en donde $f'(c)=0$;
o
- (iii) Un punto singular de f ; esto es, un punto en donde $f''(c)$ no existe”.

(Purcell, 2007, p.152).

Si c es un punto estacionario, estamos pues ante un punto máximo o mínimo, debido a que $f(c)$ tiene una pendiente instantánea nula.

Si evaluamos $f(c)$ podremos verificar si la función en c es máxima o mínima, en comparación a cualquiera de sus valores vecinos.

Otra forma de evaluar si estamos ante un mínimo es verificando que la pendiente o derivada cambia de un valor negativo a otro positivo al pasar por c , caso contrario el punto estacionario sería más bien un máximo.

2.2.3.3. Minimización del costo global de mantenimiento

Véase que, con estos fundamentos matemáticos, podemos conocer el costo mínimo asociado de mantenimiento, aplicando la derivada de dicho costo e igualándolo a cero. Este procedimiento se desarrolla a continuación:

Conocida la función del costo global de mantenimiento:

$$c_g(n) = C_f \frac{\lambda(n)}{\mu} + C_f \frac{n}{i} + C_{i,r} \frac{\lambda(n)}{\mu} + C_{i,i} \frac{n}{i} \dots [14]$$

Tomando en cuenta que la tasa de fallas varía inversamente con el número de inspecciones:

$$\lambda(n) = \frac{k}{n} \dots [15]$$

Efectuamos su derivación, en relación al número de inspecciones para determinar la posición de un punto estacionario mínimo (n^*), este valor es el número de inspecciones que minimiza los costos de mantenimiento y está dado por:

$$n^* = \sqrt{k \frac{i}{\mu} \left(\frac{C_f + C_{i,r}}{C_f + C_{i,i}} \right)} \dots [16]$$

k puede ser interpretada como la tasa de fallas cuando se realiza una inspección por unidad de tiempo ($n=1$).

El valor de n^* obtenido en forma analítica, se va a contrastar con los costos reales de mantenimiento que se originan al programar

frecuencias de inspección sin la restricción económica impuesta. Los datos recopilados y su análisis se detallarán en el informe final de la tesis.

2.2.4. Definiciones de criticidad e índices de gestión de mantenimiento:

La gestión de mantenimiento se efectúa en base a decisiones estratégicas técnico administrativas, cuando la gestión de mantenimiento se apoya de evaluaciones concretas mediante indicadores, se puede identificar las causas que ayudan o perjudican a la funcionalidad, mantenibilidad, riesgos y costos totales, con el fin de mejorar las tareas administrativas, técnicas u operacionales.

Dentro de este enfoque el análisis de criticidad es muy importante pues identifica el equipo o área más importante de la empresa esto ayuda a tomar acciones que mejoren la confiabilidad gestionando los riesgos de un modo que se mantengan bajo control y que en lo posible no sucedan.

En cuanto a los indicadores de gestión de mantenimiento que comúnmente ahora se llaman KPI(s) vamos a elegir unos cuantos de la gran cantidad que existen de ellos, se elegirán los más pertinentes en relación a la medición del uso de los equipos y los que nos permitan medir el impacto de los costos de mantenimiento.

Para poder entender los criterios e indicadores que vamos a usar en ésta investigación, vamos a desarrollar los siguientes conceptos.

2.2.4.1. Criticidad

Indicador proporcional al riesgo, que permite establecer la jerarquía o prioridad de los procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita tomar decisiones acertadas y efectivas para direccionar el esfuerzo como recursos a las áreas donde es más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad y administrar el riesgo. (Pablo Romero Carranza, 2013)

2.2.4.1.1 Análisis de Criticidad

La criticidad se determina por la evaluación conjunta de la frecuencia y consecuencia de falla.

Se puede medir la criticidad en varios aspectos de la gestión de mantenimiento y estos están vinculados a la severidad de la falla física, a la capacitación, a la oportuna atención de proveedores, a los requerimientos del cliente, entre otros que deben ser considerados para identificar al área, sistema, equipo o componente crítico.

Para poder valorar la criticidad, existe una metodología simplificada mediante una matriz bidimensional que mide dos aspectos:

- La frecuencia
- El impacto o consecuencia.

El valor de la criticidad viene dado por el producto de los factores que miden ambos aspectos, que

se correlacionan en la matriz de criticidad mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 2.

Matriz de criticidad

| | | | | | | |
|-------------------------|---|----------------------------|---|---|---|---|
| Categoría de frecuencia | 5 | M | M | A | A | A |
| | 4 | M | M | A | A | A |
| | 3 | B | M | M | A | A |
| | 2 | B | B | M | M | A |
| | 1 | B | B | B | M | A |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | Categoría de consecuencias | | | | |
| A: Criticidad alta | | | | | | |
| B: Criticidad media | | | | | | |
| C: Criticidad baja | | | | | | |

Fuente: Romero (2013)

2.2.4.2. Disponibilidad

Este indicador establece la relación entre el tiempo que un equipo está disponible durante el tiempo total que debe operar.

Se calcula al dividir la diferencia entre el total de las horas en el periodo considerado con el total de horas usadas para mantenimiento (HTMN), con las horas totales programadas en el periodo considerado (HCAL)

$$Disponibilidad = \frac{\sum HCAL - \sum HTMN}{\sum HCAL} \dots [17]$$

Si llamamos:

TO – Tiempo de operación

TR – Tiempo de reserva o parada de máquina disponible.

TM – Tiempo de mantenimiento o reparación.

TT – Tiempo total contabilizado en un periodo de tiempo, o suma de los tiempos anteriores.

Podemos luego redefinir la disponibilidad como:

$$Disponibilidad = \frac{\sum TT - \sum TM}{\sum TT} \dots [18]$$

(Tavares).

2.2.4.3. Tasa de utilización operacional (TUO)

La tasa de utilización operacional, mide el tiempo efectivo en que opera un equipo. Se diferencia de la disponibilidad, porque en el caso anterior mide el tiempo en que el equipo está disponible se use o no. Este índice es útil cuando se desea evaluar cuál es la tasa operacional después de haber descontado el tiempo en que la máquina no se ha usado, por causas varias, pese a estar disponible. Se mide al dividir el tiempo de operación, entre el tiempo que el equipo pudo haber sido operado al descontar las horas que estuvo en mantenimiento u operación.

$$TUO = \frac{\sum TO}{\sum TT - \sum TM} \dots [19]$$

2.2.4.4. Tasa de utilización global

Esta tasa o indicador nos mide el tiempo que el equipo se opera en relación al tiempo total durante un periodo de evaluación.

$$TUG = \frac{\sum TO}{\sum TT} \dots [20]$$

Ambos índices se han deducido del método ASARCO que se usa en la gestión de mantenimiento de plantas, una ilustración de la división de tiempos para la gestión de mantenimiento se puede observar en la siguiente figura, donde el tiempo total aparece como tiempo programado.

Tabla 3.

División del tiempo, para indicadores de gestión según el método ASARCO.

| PERIODO MENSUAL | | | | | |
|--|-------------------|--|-------------------|------------------------------------|--|
| | | | Tiempo programado | Tiempo de días festivos y feriados | Tiempo de mantenimiento programado mayor |
| Tiempo de operación | Tiempo de reserva | Tiempo de mantenimiento | | | |
| Tiempo efectivo de operación Tiempo de pérdidas de operación Tiempo de revisión de equipo Tiempo sin operador Otros tiempos de reserva Tiempo sin postura | | Tiempo de mantenimiento imprevisto Tiempo de mantenimiento programado | | | |

Fuente: Bonzi (2016)

Como resumen, citaremos los tres indicadores de gestión de tiempo que vamos a usar en esta tesis:

Tabla 4.

Resumen de los indicadores de gestión de tiempo a usar.

| INDICADOR | FÓRMULA |
|-----------------------------------|---|
| | <i>Disponibilidad</i> |
| DISPONIBILIDAD | $= \frac{\sum TT - \sum TM}{\sum TT}$ |
| TIEMPO DE UTILIZACIÓN OPERACIONAL | $TUO = \frac{\sum TO}{\sum TT - \sum TM}$ |
| TIEMPO DE UTILIZACIÓN GLOBAL | $TUG = \frac{\sum TO}{\sum TT}$ |

2.2.4.5. Tasa Costos de Mantenimiento vs Costos de Producción

Llamado también costo de mantenimiento por facturación. Esta tasa se mide en un periodo de tiempo considerado (Mensualmente, Anualmente, etc). (Tavares)

% Costo de Mant. vs Producción

$$= \frac{\text{Costo total de Mantenimiento}}{\text{Facturación por Producción}} \times 100 \dots [21]$$

2.3. Definición de términos

- a) **Gestión de mantenimiento**, la gestión del mantenimiento consiste en mantener los recursos de la empresa para que la producción avance de manera efectiva y que no se desperdicie dinero en ineficiencia. Hay muchos programas de software que ayudan con este proceso, y hay algunos objetivos que un gerente de mantenimiento debe buscar. Estos objetivos son controlar los costos, programar el trabajo de manera adecuada y eficiente, y asegurar que la compañía cumpla con todas las regulaciones.

- b) **Disponibilidad**; es la confianza de que un equipo, componente, o sistema que ha pasado por mantenimiento, realice su función de manera eficaz en un determinado tiempo. Normalmente expresado en porcentaje de tiempo en el que el equipo está listo para operar.

- c) **KPI**, (Key performance indicator) Es un indicador utilizado para medir el grado de rendimiento de una acción o estrategia de un proceso en general.

- d) **Mantenimiento correctivo**, es el conjunto de acciones realizadas para solucionar los defectos que se presentan en los equipos.

- e) **Mantenimiento preventivo**, es el mantenimiento que tiene como objetivo mantener un equipo trabajando a un nivel de servicio determinado, interviniendo sus partes más críticas periódicamente.

f) **Mantenimiento predictivo**, es el mantenimiento que busca conocer e informar continuamente el estado del equipo a través de la toma de valores de determinadas variables cuyas variaciones indiquen posibles fallas que están apareciendo en el equipo.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

Investigación explicativa, en la que buscamos determinar cómo se afectan los costos de mantenimiento en base a un escenario específico que va a ser analizado en forma amplia según la relación que se establezca entre el periodo de inspección y los costos asociados al mantenimiento.

3.2. Diseño de la investigación

El tipo de diseño corresponde a una investigación pre experimental, dado que se evaluará la influencia de la manipulación de una variable sobre otra, pero no se contempla el muestreo ni una recopilación amplia de datos. El objetivo es establecer el grado de influencia en los costos de mantenimiento según la alteración del periodo programado de la inspección, para un elemento identificado como crítico.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

- Maquinaria pesada de la empresa C&M Vizcarra, que serán agrupados por tipos a fin de establecer la máquina y componente crítico

3.3.2. Muestra

- Equipo y componente crítico a identificar.

3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Instrumentos Cualitativos.

- Análisis documentario.

Para obtener información de los tipos de maquinaria pesada que posee la empresa.

- Entrevista.

Para poder identificar el equipo y componente crítico sobre el cual aplicaremos el trabajo de investigación.

3.4.2. Instrumentos Cuantitativos

- Fichas de observación

Para facilitar la recopilación de la información vinculada al registro de los periodos de inspección y de los costos de mantenimiento.

- Encuestas

Para facilitar la recopilación de la información vinculada a la identificación del equipo crítico.

3.5. Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos

3.5.1. Técnica de procesamiento

- El procesamiento de los datos se efectuará usando tablas de registros y análisis con ayuda de software para base de datos. Usaremos el Excel a fin de poder procesar los datos en forma de tablas y gráficos que permitan su posterior análisis.

3.5.2. Análisis de datos

En este apartado se incluirá la información recopilada como su respectivo análisis según los instrumentos de recolección de datos y las herramientas ya descritas, de manera cronológica según el procedimiento seguido.

La información a analizar proveniente de la información recolectada, la misma que se ha organizado en formatos diseñados para tal fin y son:

- Ficha de identificación de equipos (Anexo A1)
- Encuestas para identificar al equipo crítico, en base a una evaluación técnica y económica (Apéndice A2)
- Formato de valoración de la criticidad media, según encuestas aplicadas.
- Formato de inspección de operación y gestión del equipo crítico identificado (Anexo A3).
- Reporte de valorización y gastos de mantenimiento de equipos mayo 2018 - marzo 2019.
- Reporte de paralización de equipos por mantenimiento de equipos mayo 2018 - marzo 2019.
- Reporte de fallas específicas según cada uno de los equipos analizados,
- Diagramas de tasas de falla acumuladas.
- Ficha de observación de gestión técnica y económica del equipo crítico identificado, antes de la aplicación de la ficha de inspección.
- Ficha de observación de gestión técnica y económica del equipo crítico identificado, después de la aplicación de la ficha de inspección.
- Reporte de los índices de gestión de mantenimiento antes y después de la investigación.

De toda esta información, pasaremos a analizar los datos relevantes presentando primero la información recolectada y/o los gráficos estadísticos derivados para poder determinar la frecuencia de inspección óptima en el equipo crítico y sus efectos en los indicadores de inspección elegidos sobre todo en los costos de mantenimiento, para ver si estos se redujeron.

De los Anexos (01) y (02) se deriva la siguiente tabla

Tabla 5.

Valoración del equipo crítico.

| FORMATO DE VALORACION DE LA CRITICIDAD MEDIA, SEGÚN ENCUESTAS APLICADAS | | | | | | | |
|--|------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| IDENTIFICACION DE EQUIPOS: | | TR (Tractor con ripper) | E (Excavadora) | CF (Cargador Frontal) | R (Retroexcavadora) | M (Motoniveladora) | RV (Rodillo Vibratorio) |
| <u>INFORMACIÓN:</u> | | | | | | | |
| A- RELACIONADOS AL IMPACTO: | | | | | | | |
| 1 SIN IMPORTANCIA | 2 DE POCA IMPORTANCIA | 3 MODERAMENTE IMPORTANTE | 4 IMPORTANTE | 5 MUY IMPORTANTE | | | |
| B- RELACIONADO A LA FRECUENCIA DE FALLAS: | | | | | | | |
| 1 NUNCA | 2 RARAMENTE | 3 OCASIONALMENTE | 4 FRECUENTEMENTE | 5 MUY FRECUENTEMENTE | | | |
| C- RELACIONADO A LA CRITICIDAD: | | | | | | | |
| 1-9 BAJA | 12-15 MEDIA | 16-25 ALTA | | | | | |
| MATRIZ DE RESUMEN DE LA VALORACIÓN DE CRITICIDAD POR CADA EQUIPO, SEGÚN ENCUESTAS APLICADAS | | | | | | | |
| ITEM | ASPECTO A VALORAR | | | | | | |
| | | TR | E | CF | R | M | RV |
| 1 | VALOR MEDIO DEL IMPACTO | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| 2 | VALOR MEDIO DE LA FRECUENCIA | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 3 | CRITICIDAD MEDIA | 20 | 16 | 12 | 9 | 9 | 4 |

De los equipos que tiene la empresa, todos los trabajadores coinciden en promedio que el equipo crítico es el CARGADOR FRONTAL, indagando donde están trabajando nos informaron que éstos, en conjunto a otra maquinaria, estaban alquiladas a la empresa STRACON, por contrato de Movimientos de Tierras Masivos Área Planta – QUELLAVECO. Esta condición se tornó favorable para los efectos de los objetivos trazados y se tomó la decisión de incluir a todos los demás equipos para analizar sus tasas de fallas como las valorizaciones por alquiler de cada uno de ellos. Esta condición originó una dificultad por parte de la empresa contratista debido al nivel de confidencialidad de la información solicitada, lo que fue afortunadamente superado, por lo que pasamos a detallar las tasas de fallas acumuladas por cada uno de éstos equipos, las mismas que provienen de los Anexos (04) y (05)

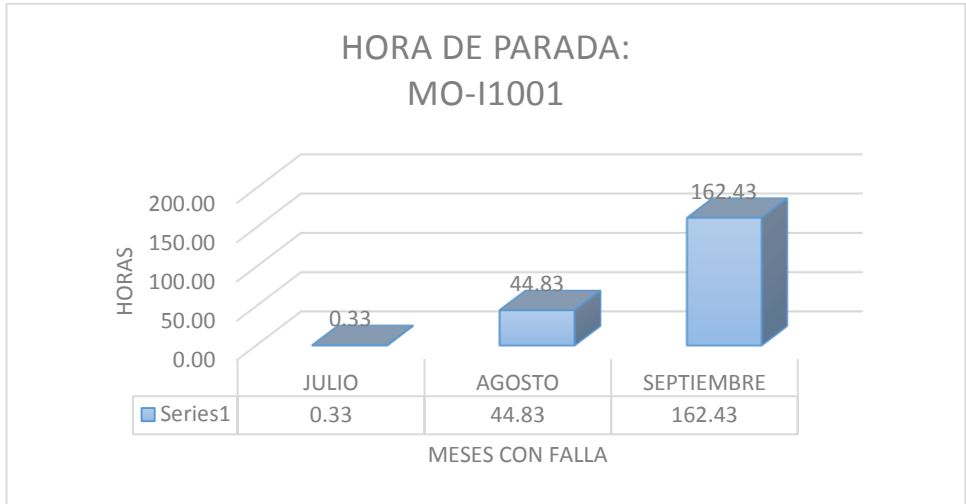


Figura 1. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1001 “Motoniveladora CAT 140K”

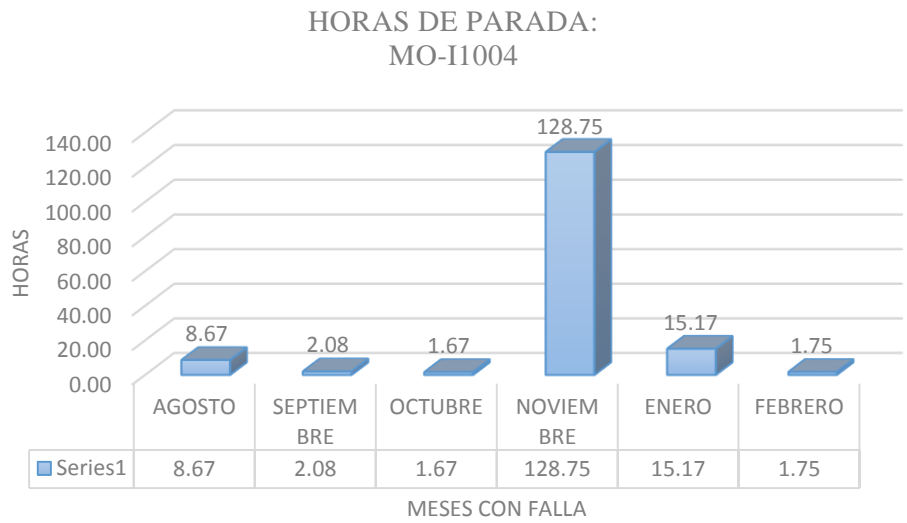


Figura 2. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1004 “Tractor de Orugas CAT D8T”

HORAS DE PARADA:
TO-I1005

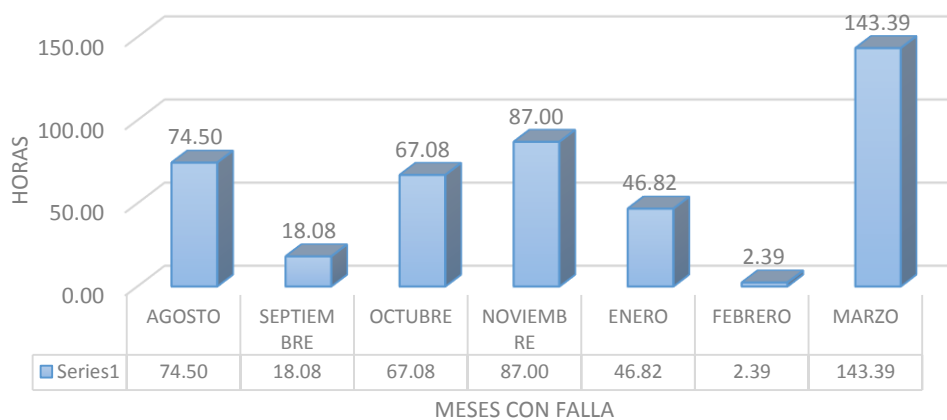


Figura 3. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1005 “Tractor de Orugas CAT D8T”

HORAS DE PARADA:
TO-I1006

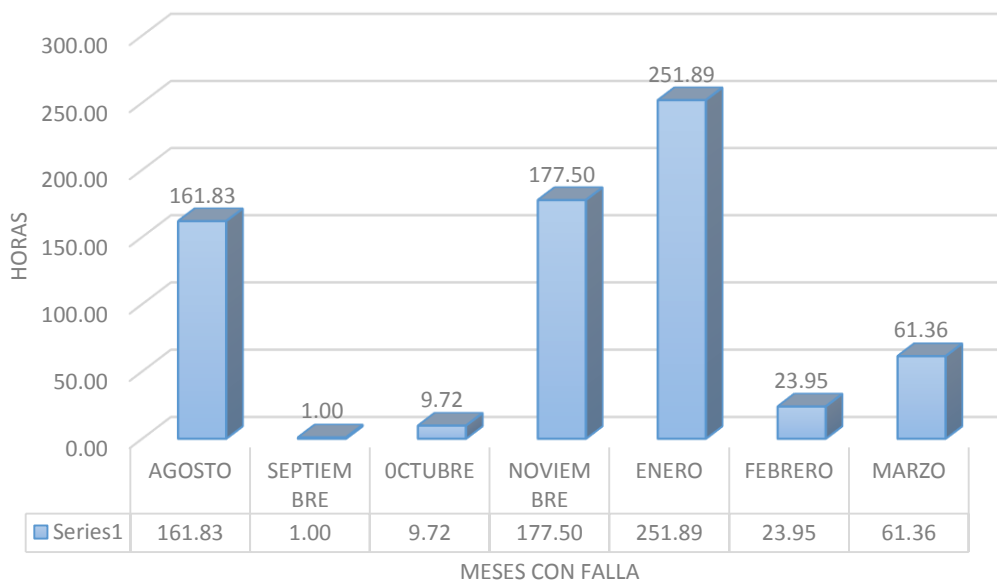


Figura 4. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1006 “Tractor de Orugas CAT D8T”

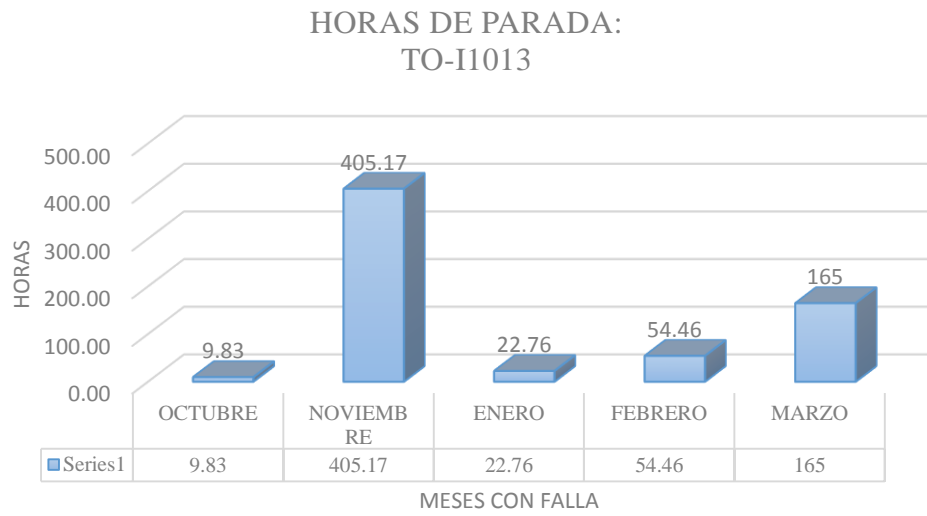


Figura 5. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1013 “Tractor de Orugas CAT D8T”

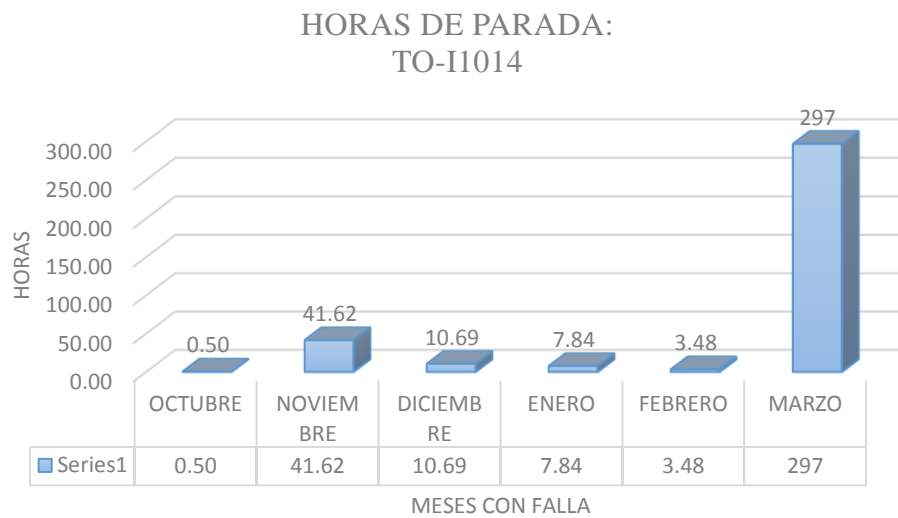


Figura 6. Horas de paralización mensuales del equipo MO – I1014 “Tractor de Orugas CAT D8T”

Observando los diagramas anteriores, se aprecia con claridad que el equipo crítico es el MO – I1006, que ya en el mes de agosto, según el histórico de fallas reportaba un total de 161,83 en ese momento aún se desconocía la tasa de fallas de los meses posteriores al de octubre del 2018.

Es importante observar además que la elevación de las fallas es muy repentina y además excesiva en todos los equipos, aspecto que deberá ser analizado oportunamente.

En lo sucesivo se analizará las tasas de fallas acumuladas en la familia de los tractores a oruga durante el periodo 2018 a marzo 2019 para verificar que la elección del equipo crítico haya sido la correcta.

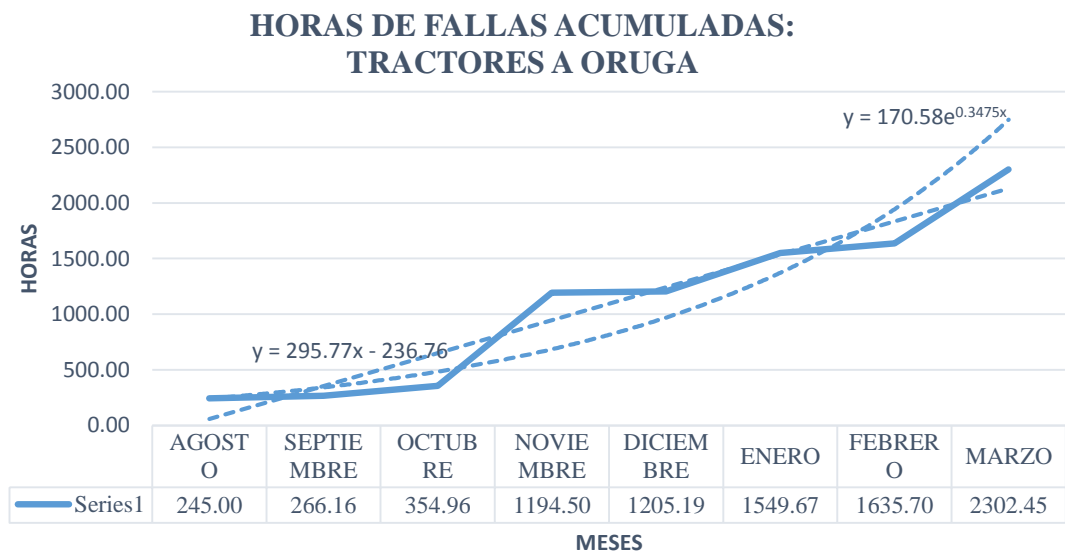


Figura 7. Tasa de fallas acumuladas de todos los tractores a oruga durante todo el periodo de evaluación.

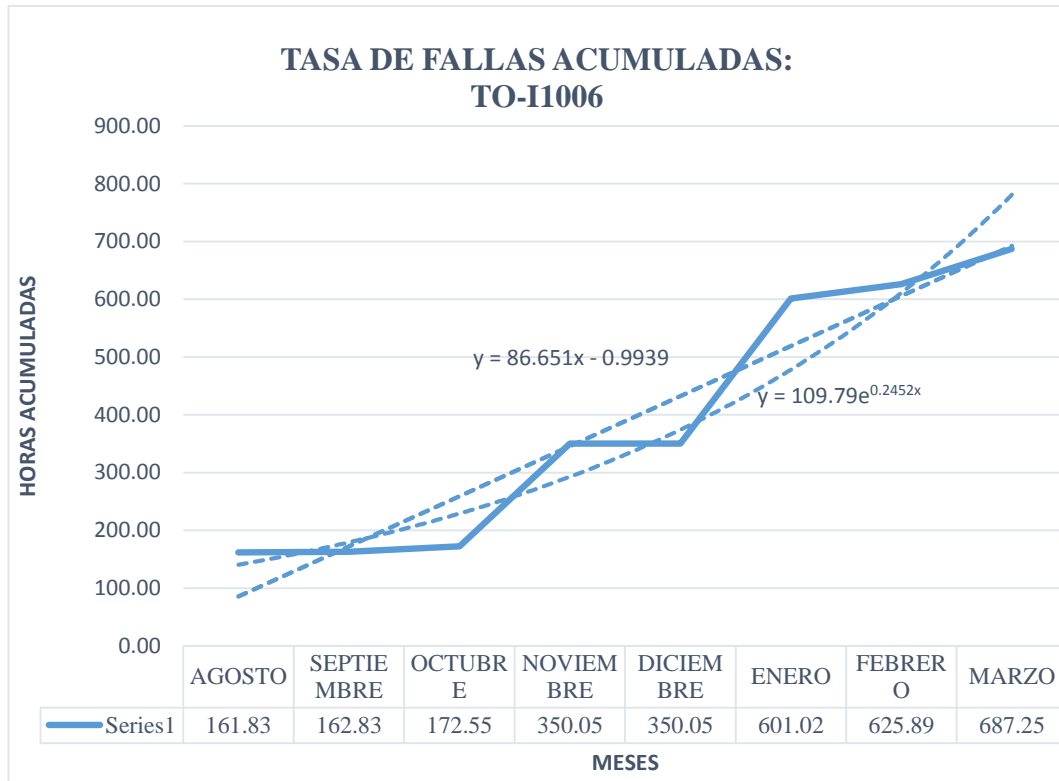


Figura 8. Tasa de fallas acumuladas del tractor a oruga TO-I1006 durante todo el periodo de evaluación.

La observación de las gráficas anteriores, refuerzan la elección de que el equipo crítico es justamente el TO-I1006, dado que su tendencia de la curva de tasa de fallas acumuladas es bastante similar al de todo el grupo de tractores, es decir que este equipo marca la tendencia de la acumulación de fallas y paralización de equipos similares, y por tanto de toda su área de trabajo.

Justificada la elección adecuada del componente crítico, vamos a exponer el cálculo de los periodos de inspección que establece la propuesta de esta tesis y que está planteada en la base de la revisión bibliográfica revisada:

Como ya se dijo el periodo de inspección económicamente óptimo para la gestión del mantenimiento, viene dado por;

$$n^* = \sqrt{k \frac{i}{\mu} \left(\frac{C_f + C_{i,r}}{C_f + C_{i,i}} \right) \dots} \quad [22]$$

Esta fórmula lo aplicaremos al componente crítico identificado según los datos que se disponían hasta el mes de octubre del 2018.

Estos datos son:

Cf – 14088.81 (Costo promedio mensual, originado por fallas)

Cir – 4226.64 (Costo promedio mensual de inspecciones c/parada)

Cii – 2113.32 (Costo promedio de inspecciones sin paradas)

k – 10/3 (Número de fallas promedio, al realizarse una inspección)

i – 1 (Número de inspecciones mensuales antes de la intervención)

μ – 73,14 hrs (Tiempo medio de reparaciones mensuales)

Sustituyendo valores obtenemos que la cantidad de inspecciones mensuales a aplicar para reducir los costos de mantenimiento es;

$$n^* = \sqrt{\frac{10}{3} \frac{1}{73.14 \text{ hrs} * \frac{1 \text{ mes}}{200 \text{ hrs}}} \left(\frac{14088.81 + 4226.64}{14088.81 + 2113.32} \right)} = 3.21$$

Vea que el equipo trabaja 200 horas al mes según la facturación normal cuando el equipo no presenta fallas.

De esto se concluye que, para el caso, debe aplicarse tres inspecciones mensuales al equipo crítico, a fin de reducir los costos de mantenimiento.

Estos datos se le suministran a la empresa para que pueda aplicar sus inspecciones (como parte del trabajo de tesis se realizó una inspección asistida en taller), dado que es una labor básica que bien se puede encargar al personal de mantenimiento autorizado,

Se ha hecho llegar un formato sugerido de inspección para el componente crítico, el mismo que aparece en el Anexo A3.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Conocida la frecuencia mensual que en supuesto debe reducir los costos de mantenimiento, se ha efectuado el comparativo de los indicadores de costos y disponibilidad, mostrando los siguientes resultados:

Los datos se obtuvieron según las fallas y costos mensuales para el equipo crítico elegido hasta el mes de octubre del 2018, que se muestran en la tabla siguiente, seguida de la data posterior a la aplicación de las inspecciones cuya frecuencia ya se estableció.

Tabla 6.

Ficha de observación técnica – económica del componente crítico TO-I1006, en la etapa previa.

| FICHA DE OBSERVACIÓN DE GESTIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL EQUIPO CRÍTICO IDENTIFICADO, ANTES DE LA APLICACIÓN DE LA FICHA DE INSPECCIÓN | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| PERIODOS MENSUALES DE CONTROL | TIEMPO DE OPERAC (H) | TIEMPO DE RESERVA (H) | TIEMPO DE MANT (H) | FALLAS Y REPARACIONES (CANT) | | CONTROL DE COSTOS DE MANTENIMIENTO: (S/) | | | | |
| | TO (1) | TR(2) | TM (3) | CANT. DE FALLAS CF(4) | CANT. DE REPARAC CR (5) | COSTOS AFECTADOS POR FALLA DEL EQUIPO CFE (6) | COSTOS POR INSPECC CON PARADA CICP(7) | COSTOS POR INSPECC SIN PARADA CISP(8) | COSTOS GLOBALES POR MANTENIM CGM (9) | INGRESOS MENSUALES POR PRODUCCIÓN IMP (10) |
| MAYO | 200.00 | NO CONTROLA | 0.00 | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | 15600.00 |
| JUNIO | 200.00 | NO CONTROLA | 0.50 | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | 15600.00 |
| JULIO | 398.80 | NO CONTROLA | 80.16 | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | NO REPORTA | 31106.40 |
| AGOSTO | 252.40 | NO CONTROLA | 82.67 | NO REPORTA | 8.00 | 9755.06 | 2926.52 | 1463.26 | 14144.84 | 19687.20 |
| SEPTIEMBRE | 304.10 | NO CONTROLA | 89.30 | NO REPORTA | 1.00 | 10537.40 | 3161.22 | 1580.61 | 15279.23 | 23719.80 |
| OCTUBRE | 237.80 | NO CONTROLA | 186.22 | NO REPORTA | 1.00 | 21973.96 | 6592.19 | 3296.09 | 31862.24 | 18548.40 |
| TOTAL | 1593.10 | 0.00 | 438.85 | 0.00 | 10.00 | 42266.42 | 12679.93 | 6339.96 | 61286.31 | 124261.80 |

Tabla 7.

Ficha de observación técnica – económica del componente crítico TO-I1006, en la etapa posterior.

| FICHA DE OBSERVACION DE GESTION TECNICA Y ECONOMICA DEL EQUIPO CRITICO IDENTIFICADO, DESPUES DE LA APLICACIÓN DE LA FICHA DE INSPECCIÓN | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|---|--|--|---|--|
| PERIODOS MENSUALES DE CONTROL | TIEMPO DE OPERACIÓN (H) | TIEMPO DE RESERVA (H) | TIEMPO DE MANT (H) | FALLAS Y REPARACIONES (CANT) | | CONTROL DE COSTOS DE MANTENIMIENTO: (\$/) | | | | |
| | TO (1) | TR(2) | TM (3) | CANT. DE FALLAS CF(4) | CANT. DE REPARACIONES CR (5) | COSTOS AFECTADOS POR FALLA DEL EQUIPO CFE (6) | COSTOS POR INSPECCION CON PARADA CICP(7) | COSTOS POR INSPECCION SIN PARADA CISP(8) | COSTOS GLOBALES POR MANTENIMIENTO CGM (9) | INGRESOS MENSUALES POR PRODUCCIÓN IMP (10) |
| NOVIEMBRE | 239.80 | NO CONTROLA | 0.00 | 10.00 | 10.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18704.40 |
| DICIEMBRE | 241.20 | NO CONTROLA | 225.51 | 0.00 | 0.00 | 17589.78 | 5276.93 | 1407.18 | 24273.90 | 18813.60 |
| ENERO | 86.60 | NO CONTROLA | 52.37 | 7.00 | 7.00 | 4084.86 | 1225.46 | 490.18 | 5800.50 | 6754.80 |
| FEBRERO | 373.00 | NO CONTROLA | 62.26 | 6.00 | 6.00 | 7346.68 | 2204.00 | 440.80 | 9991.48 | 29094.00 |
| MARZO | 386.20 | NO CONTROLA | 61.36 | 7.00 | 7.00 | 7240.48 | 2172.14 | 579.24 | 9991.86 | 30123.60 |
| TOTAL | 1326.80 | 0.00 | 401.50 | 30.00 | 30.00 | 36261.80 | 10878.54 | 2917.40 | 50057.74 | 103490.40 |

En la tabla anterior los parámetros de gestión obedecen según su numeración a las siguientes descripciones:

1. Tiempo empleado en la revisión del equipo, y el uso efectivo en operaciones de producción
2. Periodos de tiempo no usados, estando el equipo disponible en el frente de trabajo.
3. Tiempo en el que se aprovecha para realizar las tareas de mantenimiento, cuenta desde que se retiran los equipos hasta su reposición para que entren en producción
4. Número de fallas ocurridas en el periodo de observación, se define como falla la falta de funcionalidad del equipo dentro de las condiciones establecidas para producir adecuadamente
5. Numero de reparaciones que se han atendido durante el periodo de observación
6. Costos ocasionados por las fallas de los equipos, se incluye mano de obra, repuestos, traslados, servicios de reparación, costo de oportunidad y otros costos directos
7. Costos de inspecciones que obligan a la paralización del equipo
8. Costos de inspecciones que se hacen sin paralización del equipo, puede ser por que se hacen fuera de horario o por intervención remota
9. Suma de los costos de mantenimiento anteriores, considerados como relevantes durante los periodos de inspección
10. Es la recaudación económica durante un periodo mensual, dada la actividad de los equipos evaluados

En base a la información anterior se puede extraer datos para una visualización en diagramas que nos ilustren de una mejor manera la distribución de las diversas variables en el tiempo que se evaluaron:

DISTRIBUCION DE TIEMPOS CONTROLADOS , EN EL EQUIPO TO-I1006, ANTES DE LAS INSPECCIONES

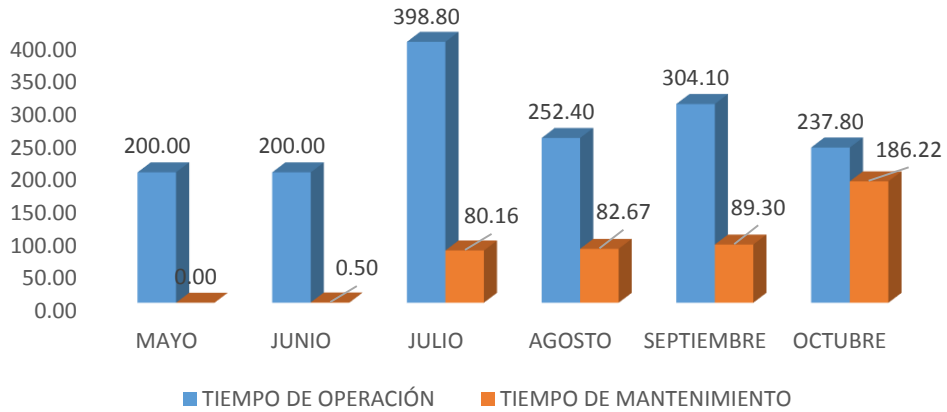


Figura 9. Distribución de tiempos de operación y mantenimiento en el equipo TO-I1006 antes de las inspecciones.

DISTRIBUCION DE TIEMPOS CONTROLADOS , EN EL EQUIPO TO-I1006, DESPUES DE LAS INSPECCIONES

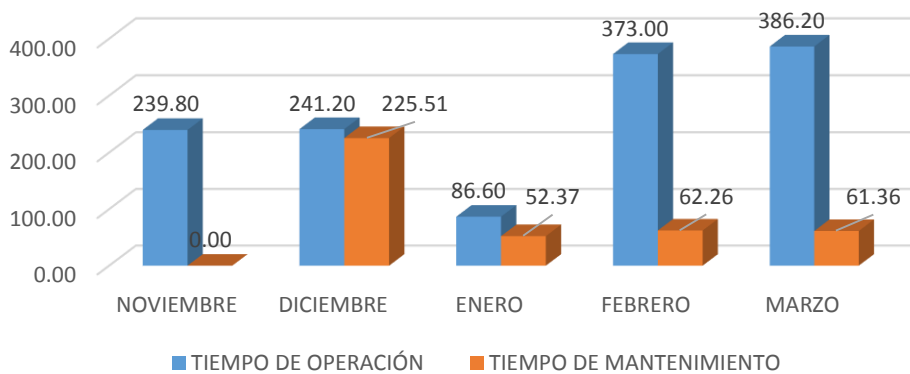


Figura 10. Distribución de tiempos de operación y mantenimiento en el equipo TO-I1006 después de las inspecciones.

**DISTRIBUCION DE INGRESOS Y GASTOS CONTROLADOS
, EN EL EQUIPO TO-I1006, ANTES DE LAS INSPECCIONES**

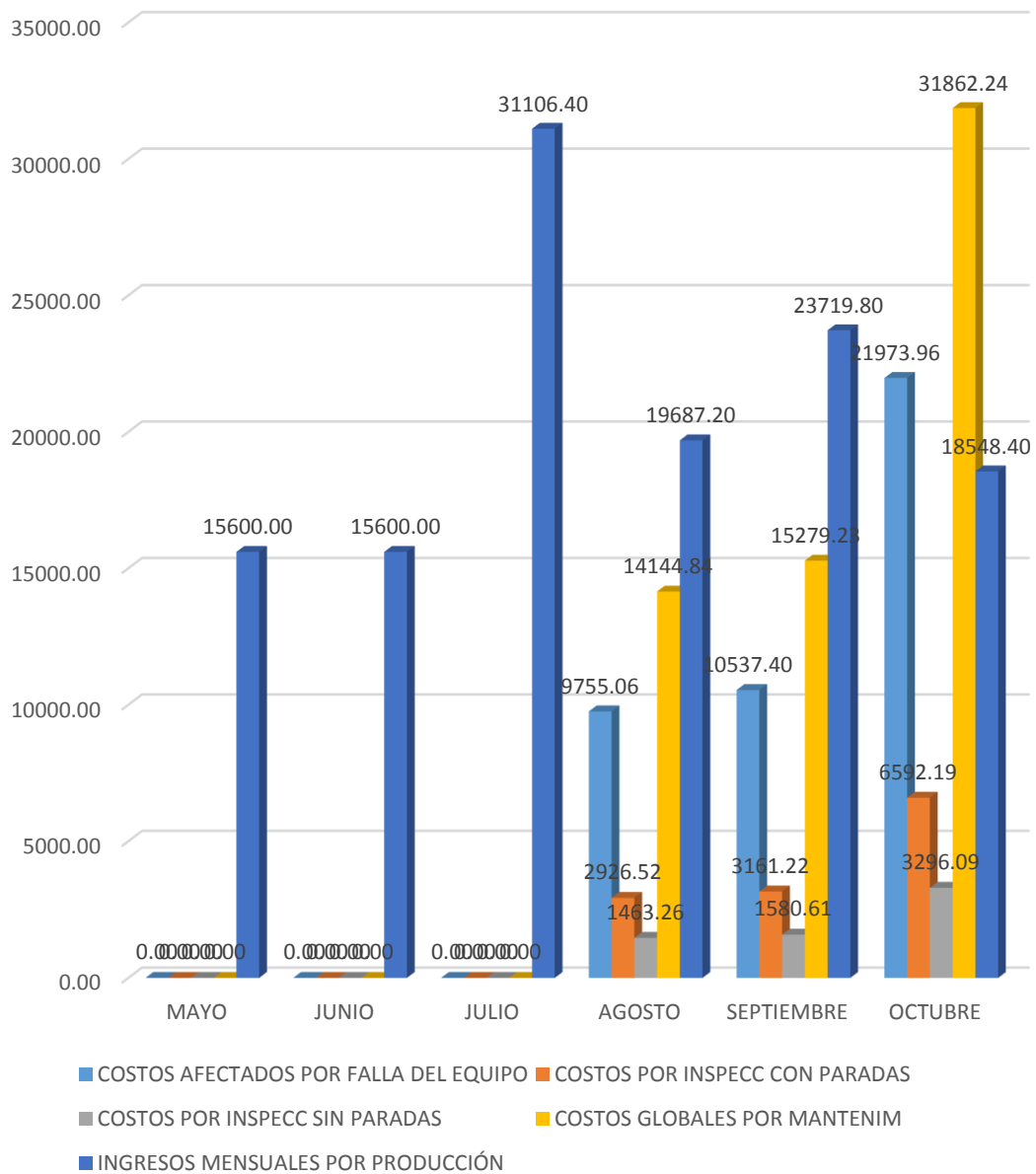


Figura 11. Distribución de ingresos y gastos en el equipo TO-I1006 antes de las inspecciones.

Como se observa, inicialmente el cargador frontal reportó un alto nivel de ingresos con una casi nula paralización de equipo, durante los tres primeros meses; pero luego las fallas fueron en ascenso originando un gasto por mantenimiento que llegó a superar incluso a la recaudación por producción.

DISTRIBUCION DE INGRESOS Y GASTOS CONTROLADOS , EN EL EQUIPO TO-I1006, DESPUES DE LAS INSPECCIONES

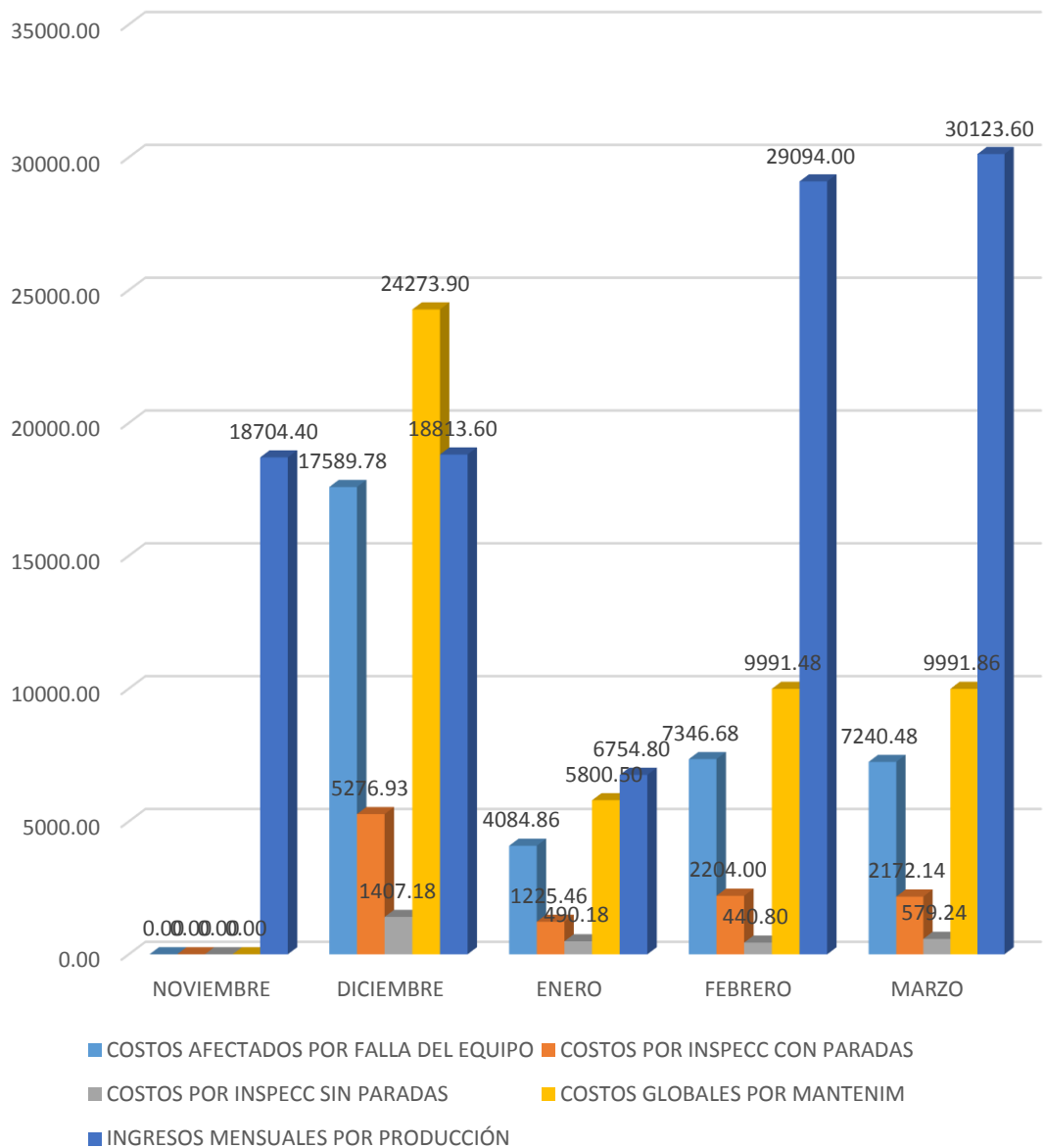


Figura 12. Distribución de ingresos y gastos en el equipo TO-I1006 después de las inspecciones.

En este gráfico se puede observar que, en el primer mes, después del periodo anterior, el equipo recuperó su nivel de producción con gastos nulos por mantenimiento. Esto debido al anterior mantenimiento correctivo efectuado que además fue costoso, pasado el segundo mes los costos por mantenimiento se elevaron otra vez lo que sí se puede relacionar con las inspecciones mensuales efectuadas. Véase que a partir del tercer mes los costos de mantenimiento tienden a crecer, pero de manera controlada y en general éstos no llegan a superar a los costos de producción como si sucedió cuando no se aplicaban las inspecciones con la frecuencia adecuada.

Podemos por tanto afirmar que el criterio de la frecuencia económica de inspecciones si ha suministrado resultados favorables, para cuantificar éste aparente beneficio vamos a analizar los indicadores de gestión antes y después de haber recomendado y aplicado este criterio.

Tabla 8.

Reporte de los índices de gestión de mantenimiento en el equipo TO-II006, antes de las inspecciones.

| Reporte de los índices de mantenimiento antes de la investigación | | | | | |
|---|-------------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------|--|
| Fase | Periodos mensuales de control | Tasa de disponibilidad | Tasa de utilización operacional | Tasa de utilización global | Tasa costos de mantenimiento/ costos de producción |
| Antes (2018) | MAYO | 1 | 1 | 1 | No reporta |
| | JUNIO | 1 | 1 | 1 | No reporta |
| | JULIO | 0.88 | 1 | 0.88 | No reporta |
| | AGOSTO | 0.75 | 1 | 0.75 | 0.72 |
| | SEPTIEMBRE | 0.77 | 1 | 0.77 | 0.64 |
| | OCTUBRE | 0.56 | 1 | 0.56 | 1.72 |
| | Valor promedio | 0.82 | 1 | 0.82 | 1.05 |
| Desviación estándar | 0.17 | 0 | 0.17 | 0.6 | |

Tabla 9.

Reporte de los índices de gestión de mantenimiento en el equipo TO-I1006, después de las inspecciones.

| Reporte de los índices de mantenimiento después de la investigación | | | | | |
|---|-------------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------|--|
| Fase | Periodos mensuales de control | Tasa de disponibilidad | Tasa de utilización operacional | Tasa de utilización global | Tasa costos de mantenimiento/ costos de producción |
| | NOVIEMBRE | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Después (2018-2019) | DICIEMBRE | 0.52 | 1 | 0.52 | 1.29 |
| | ENERO | 0.62 | 1 | 0.62 | 0.86 |
| | FEBRERO | 0.86 | 1 | 0.86 | 0.34 |
| | MARZO | 0.86 | 1 | 0.86 | 0.33 |
| | Valor promedio | 0.77 | 1 | 0.77 | 0.56 |
| | Desviación estándar | 0.2 | 0 | 0.2 | 0.51 |

Del reporte anterior vamos a extraer información procesada que nos permita cuantificar de manera concreta cual es el efecto de la estrategia aplicada para evaluar el impacto de las inspecciones realizadas con la recaudación y gastos de mantenimiento.

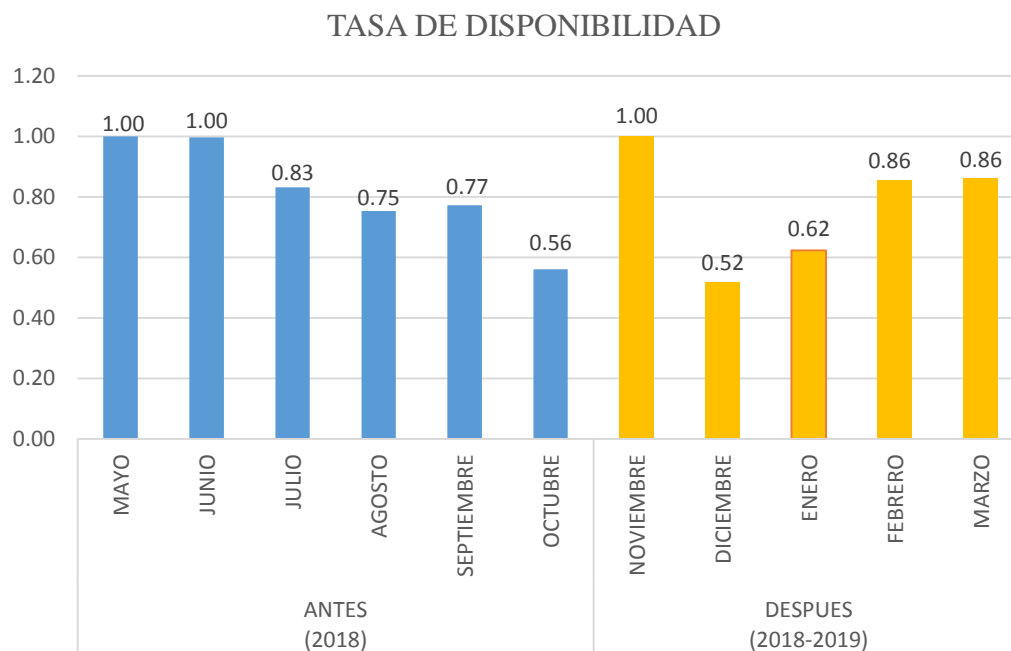


Figura 13. Evolución de la tasa de disponibilidad, antes y después de las inspecciones.

Debido a que los tiempos de reserva no se controlan o no se producen, los índices de utilización operacional llegan a ser el 100% por ello que no se muestran en un diagrama de barras. El índice de utilización global coincide con la tasa de disponibilidad.

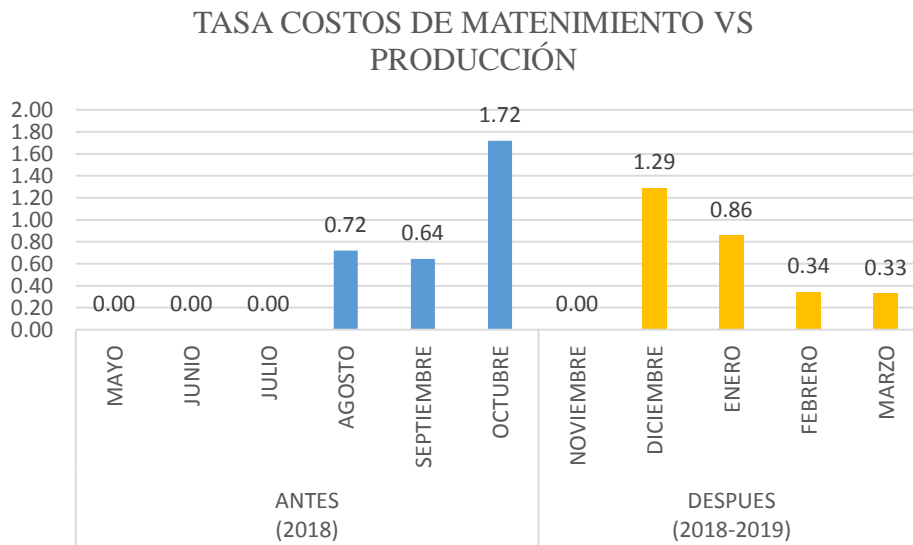


Figura 14. Evolución de la tasa de costos de mantenimiento vs producción, antes y después de las inspecciones.

4.2. Contrastación de hipótesis

La tasa de los costos de mantenimiento en relación a los de producción, se han reducido significativamente, desde un valor medio de 1,03 a 0,56; y los datos muestran una dispersión original del 60% que se ha reducido al 51%, lo que refleja una relación de control incipiente mediante la modificación de la frecuencia de inspección, establecida en tres inspecciones mensuales, en el componente y equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra, Moquegua, 2018.

4.3. Discusión de resultados

Véase que, sin aplicar inspecciones periódicas, la tasa de disponibilidad fue descendiendo desde el 100% hasta el 56%, con un valor medio de 82% esto refleja un estilo de utilización de los equipos con mantenimiento correctivo pues los equipos van acumulando fallas disminuyendo la disponibilidad en forma progresiva.

En la etapa de inspecciones programadas, se observa que la disponibilidad del equipo crítico se recupera después de una caída por acumulación de horas de parada pues al término del periodo evaluado la disponibilidad se mantiene dentro del 86%; con un valor medio de 77% pero que se acompaña con la reducción de los costos de mantenimiento como ya se ha justificado en el párrafo anterior lo cual es beneficioso para los propósitos de la empresa y el bienestar de todo el personal en las áreas de producción, mantenimiento y administración.

Podemos observar que antes de aplicar inspecciones periódicas, en los tres primeros meses no se ha controlado los costos por atención de mantenimiento lo que sí se ha efectuado a partir del mes de agosto. Después del cuarto mes en la primera etapa los costos de mantenimiento se han elevado hasta llegar a superar en el 72% a los costos por producción, esto se explica porque además de los gastos directos hemos contabilizado las pérdidas de percepción de producción durante el tiempo que el equipo permaneció paralizado.

Luego, se ha tenido un costo nulo por mantenimiento lo que es el resultado de la intervención por mantenimiento correctivo cuando se declaró una falla crítica que ha obligado a realizar los correctivos necesarios, véase que en el segundo mes y resultado de las inspecciones los costos de mantenimiento exceden en un 29% a la recaudación por producción, este gasto se adjudica a las inspecciones realizadas y los correctivos que ello ha originado. Pero en los meses siguientes se observa que gracias al programa de inspecciones los costos de mantenimiento se reducen a un valor de la tercera parte de los costos de producción lo que implica un ingreso de los dos tercios de la recaudación bruta.

En la etapa sin programa de inspecciones, en el componente crítico, la tasa de costos de mantenimiento vs producción en promedio llega ser de 1.03 reflejando que prácticamente no se ha tenido utilidades por una falta de gestión adecuada de las fallas; sin embargo, en la etapa posterior esta tasa se ha reducido en promedio al 56% lo que indica que aún hay un trabajo pendiente de seguir mejorando para que la empresa tenga un crecimiento positivo, estas recomendaciones se harán más adelante.

Los datos de la disponibilidad no han logrado una importante mejora según su desviación estándar que varía desde 0,17 a 0.2. Pero si se observa una reducción de los costos de mantenimiento que es aún leve pues la tasa de dichos costos comparados con los de producción se han reducido desde un valor medio de 1.03 hasta 0.56 con una desviación estándar que inicio con 0.6 y disminuyó a 0.51 lo que es un indicador que nos lleva a afirmar que la gestión de mantenimiento ha ingresado a un periodo de mejora.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Mediante las encuestas aplicadas y el uso de la matriz de criticidad se **identificó que los equipos críticos son los tractores a orugas. El componente crítico** se precisó mediante la tasa de fallas, siendo el **tractor TO-I006** el que resultó elegido para establecer los periodos de inspección que ayuden a reducir costos de mantenimiento.
- Los costos anteriores de mantenimiento se han estimado en base a valores promedio considerando los costos por fallas del equipo (14 088,81 soles), los originados por inspección de equipo con paralización (4 226,64 soles) y sin paralización de equipos (2 133,32 soles), cuando solo se realizaba una inspección al mes.
- En base a la tasa de fallas, los costos afectados por fallas de los equipos y los de las inspecciones con y sin paralización del equipo crítico, se ha establecido que deben realizarse **tres inspecciones mensuales** para reducir los costos de mantenimiento.
- **Las tasas de los costos de mantenimiento se han reducido en términos promedio de 1,03 a 0,56 veces en relación a la recaudación por producción**, para el equipo crítico de la empresa C&M Vizcarra, Moquegua, inspeccionado en octubre del año 2018.

5.2. Recomendaciones

Para la empresa u otros trabajos de investigación, se recomienda:

- Debe implementarse documentos (Bitácoras, reportes de fallas, reportes de mantenimiento, etc.) y formatos de gestión de mantenimiento (Historiales de mantenimiento, Gestión de indicadores de mantenimiento, etc.) para elevar aún más la disponibilidad y recaudación de producción por alquiler de equipos pesados en la empresa C&M Vizcarra.
- Medir el tiempo de uso de los equipos (Según el Método ASARCO), para identificar y corregir al componente que podría estar perjudicando las tasas de recaudación, disponibilidad, uso efectivo del equipo, uso global, u otros indicadores de gestión conocidos como KPIs.
- La aplicación de un programa de mantenimiento es urgente y necesario para garantizar la operatividad como disponibilidad de los equipos de la empresa, y aprovechar su condición que son relativamente nuevos.
- Se deja abierta la recomendación de aplicar ésta metodología para mejorar las tasas de disponibilidad, recaudación y reducción de los gastos de mantenimiento, independientemente del rubro o actividad empresarial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apolinario Gabriel, M.A., (2008). *Estimación de la confiabilidad mediante el análisis de Weibull*, tesis. Lima, Perú.
- Bonzi Ríos, J. (2016). *Propuestas de mejora de la utilización efectiva en base a disponibilidad de la flota de carguío y transporte en minera los pelambres*. Tesis de grado. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Castro Irrarazabal, M. (2019). *Método basado en RCM para la gestión de mantenimiento en tractores agrícolas*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Chau Lam, J. (2010). *Gestión del mantenimiento de equipos en proyectos de movimientos de tierra*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Ingenierías, Lima, Perú.
- Lyonnet, P., (1991). *Maintenance Planing, Methods and Mathematicas*. Chapman & Hall.
- Maibaum, G. (1987). *Teoría de Probabilidades y Estadística Matemática*” Edit. Pueblo y Educación.
- Mora Gutiérrez, A.G., (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo*.
- Pablo Romero Carranza, J. L. (2013). Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmontadora de algodón. *e-Reading Trabajos y Proyectos de estudios de la E.T.S.I.*
- Piskunov, N., (1977). *Calculo diferencial e integral*. 3ra Edic, Edit. MIR.
- Purcell Vaberg, R., (2007). *170 Calculo*, 9na Edición, Edit Prentice Hall.
- Tavares, L., (2014). *Administración Moderna de Mantenimiento*. Brasil: Novo Polo Publicaciones.
- Walpole R. & Myers R., (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*, 9na Edic.