

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN
LA CONFIABILIDAD (RCM) A LA CALDERA DE 200 BHP
PARA REDUCIR COSTOS, PLANTA PESQUERA HAYDUK”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO**

**FLORES OSORIO, GERSON ANIBAL FELIPE
GAMARRA INFANTE, ELMER ROLANDO**

Callao, junio 2018

PERU

DEDICATORIA

Nuestra tesis la dedicamos a nuestros padres por su sacrificio y esfuerzo, por darnos una carrera para nuestro futuro y por creer en nuestra capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado brindándonos su comprensión, cariño y amor. A nuestros amigos presentes y pasados, quienes sin esperar algo a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y estuvieron a nuestro lado apoyándonos y lograron que este sueño se haga realidad.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecemos a Dios porque cada día bendice nuestras vidas con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar a lado de las personas que más nos aman.

Agradecemos a la Universidad Nacional del Callao por habernos aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar nuestra carrera, así como también a los diferentes docentes que nos brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradecemos también a nuestro asesor de Tesis el Ing. Jaime Gregorio Flores Sánchez por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico para guiarnos durante el desarrollo de la tesis.

INDICE

TABLAS DE CONTENIDO.....	3
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.1 Identificación del Problema.....	7
1.2 Formulación del Problema.....	7
1.2.1 Problema General.....	9
1.2.2 Problemas Específicos.....	9
1.3 Objetivos de la Investigación.....	9
1.3.1 Objetivo General.....	9
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 Justificación.....	10
1.4.1 Económica.....	10
1.4.2 Tecnológica.....	10
1.4.3 Social.....	10
II. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 Antecedentes del Estudio.....	11
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	11
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	12
2.2 Base Teórica.....	16
2.2.1 Bases Culturales.....	16
2.2.2 Fundamento Teórico.....	17
2.3 Definiciones de Términos Básicos.....	40
III. VARIABLES E HIPOTESIS.....	42
3.1 Variables de la Investigación.....	42

3.1.1 Variable Independiente.....	42
3.1.2 Variable Dependiente.....	42
3.2 Operacionalización de Variables.....	42
3.3 Hipótesis.....	42
3.3.1 Hipótesis General.....	42
3.3.2 Hipótesis Específicas.....	43
IV. METODOLOGIA.....	44
4.1 Tipo de Investigación.....	44
4.2 Diseño de la Investigación.....	44
4.3 Población y Muestra.....	44
4.3.1 Población.....	44
4.3.2 Muestra.....	44
4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	45
4.5 Procedimientos de recolección de datos.....	45
4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	46
V. RESULTADOS.....	47
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados.....	65
6.1.1 Contrastación de hipótesis General.....	65
6.1.2 Contrastación de hipótesis Específicas.....	65
VII. CONCLUSIONES.....	66
VIII. RECOMENDACIONES.....	67
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	68
X. ANEXOS.....	70

TABLAS DE CONTENIDO

TABLA DE FIGURAS

Figura N° 2.1.....	19
Figura N° 2.2.....	19
Figura N° 2.3.....	29
Figura N° 2.4.....	30
Figura N° 2.5.....	30
Figura N° 2.6.....	33
Figura N° 2.7.....	39
Figura N° 2.8.....	39

TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica N° 2.1.....	21
Gráfica N° 2.2.....	22
Grafica N° 2.3.....	22
Gráfica N° 2.4.....	23
Gráfica N° 2.5.....	23
Gráfica N° 2.6.....	24
Grafica N° 2.7.....	25
Gráfica N° 2.8.....	25
Gráfica N° 2.9.....	26
Gráfica N° 2.10.....	27
Gráfica N° 2.11.....	27
Grafica N° 2.12.....	28
Grafica N° 5.1.....	52
Gráfica N° 5.2.....	56
Gráfica N° 5.3.....	56

Gráfica N° 5.4	57
Gráfica N° 5.5	57
Gráfica N° 5.6	62
TABLA DE CUADROS	
Cuadro N° 3.1	42
Cuadro N° 5.1	47
Cuadro N° 5.2	48
Cuadro N° 5.3	50
Cuadro N° 5.4	52
Cuadro N° 5.5	52
Cuadro N° 5.6	53
Cuadro N 5.7.....	54
Cuadro N° 5.8	55
Cuadro N° 5.9	58
Cuadro N° 5.10	59
Cuadro 5.11	60
Cuadro N° 5.12	61
Cuadro N° 5.13	62
Cuadro N° 5.14	63
Cuadro N° 5.15	63
Cuadro N° 5.16	64
Cuadro N° 5.17	64

RESUMEN

El presente trabajo de investigación contempla la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicada a la caldera de 200 BHP de la planta de harina de pescado de la empresa HAYDUK, esta metodología ha ido adaptándose al sector industrial, desarrollándose hasta lograr ventajas importantes sobre otras técnicas.

En el Capítulo I: "Planteamiento del problema", se desarrolla un análisis para fundamentar el problema, objetivos, hipótesis y justificación de la investigación.

En el Capítulo II: "Marco teórico", se explica la definición de la metodología centrado en la confiabilidad, además se aborda el tema del mantenimiento, sobre cómo ha cambiado al pasar de los años y ha tomado una importancia relativa para las empresas.

En el capítulo III: "Variables e Hipótesis", se muestran las variables de la investigación y los indicadores para cada una de ellas.

En el Capítulo IV: "Metodología" se explica acerca del método utilizado, el tipo y nivel de la investigación, además se explica a detalle las técnicas y las fuentes de recolección de datos.

En el Capítulo V: "Resultados", se muestran los resultados alcanzados por la investigación y presentamos tablas de criticidad, análisis de modo de falla y confiabilidad de la caldera.

En el capítulo VI: "Discusión de resultados" se muestra un cuadro de resultados obtenidos.

En el capítulo VII y VIII: Presentamos las conclusiones y recomendaciones que se desprenden de la implementación del RCM a la caldera de 200 BHP.

Como resultado de la aplicación de la metodología se espera reducir los costos de mantenimiento así como aumentar la disponibilidad de la caldera de 200 BHP al disminuir sus fallas.

ABSTRACT

The present research project contemplates the implementation of a maintenance plan based on the reliability applied to the 200 BHP boiler of the fishmeal plant of the company HAYDUK, this methodology has been adapted to the industrial sector, developing to achieve important advantages over other techniques.

In Chapter I: "Problem Statement", an analysis is developed to substantiate the problem, objectives, hypothesis and justification and importance of the investigation.

In Chapter II: "Theoretical Framework", the definition of the methodology based on reliability is explained, in addition to addressing the issue of maintenance, how time has changed over the years and has taken on a relative importance for companies.

In chapter III: "Variables and Hypotheses", see the variables of the research and the indicators for each of them.

In Chapter IV: "Methodology" is explained about the method used, the type and level of the research, in addition a detailed description of the techniques and sources of data collection is explained.

In Chapter V: "Results", the results achieved by the investigation are shown and we present criticality tables, mode analysis of failure and reliability of the boiler.

In chapter VI: "Discussion of results" a table of obtained results is shown.

In Chapter VII and VIII: We present the conclusions and recommendations that emerge from the implementation of the RCM to the 200 BHP boiler.

As a result of the application of the methodology, it is expected to reduce maintenance costs as well as increase the availability of the 200 BHP boiler by reducing its faults.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del Problema

La industria de la harina y aceite de pescado ha crecido bastante en los últimos años y esto se ve reflejado en el crecimiento de la capacidad de las plantas instaladas a nivel nacional. Siendo La empresa Hayduk una empresa peruana posicionada en el quinto lugar dentro de las empresas pesqueras a nivel nacional. Teniendo sedes en distintas parte del país como por ejemplo en Paita, Malabrigo, Vegueta, Ilo, Coishco, Lima y Tambo de Mora. Siendo Tambo de Mora una planta que produce aproximadamente 120TM/Hr.

La harina de pescado es reconocida como un alimento de gran calidad y adaptable a la mayoría de dietas para el desarrollo de actividades, como la acuicultura, avicultura, ganadería, entre otros. Siendo el mayor importador de este producto China, además nuestro país es uno de los mayores abastecedores de este producto a nivel mundial, generando a su vez fuentes de divisas, debido a que una tonelada de este tipo de harina es pagada entre \$900.00 a \$1500.00.

Ante esta realidad es muy necesario evitar paradas de planta pues representaría pérdidas económicas significativas para la empresa.

Es por ello que se realizó la implementación de un programa de mantenimiento centrado en RCM en la empresa HAYDUK, mediante la recopilación de las necesidades que tenía la planta ubicada en el departamento de Ica, reuniones con los proveedores de los diferentes servicios de infraestructura que se tienen, reuniones semanales con los supervisores de mantenimiento de la planta y las criticidades de operatividad basado en el servicio de la misma.

1.2 Formulación del Problema

La planta de Harina de Pescado de la Pesquera HAYDUK, está ubicada en la ciudad de Tambo de Mora, en el departamento de Ica, contando con la caldera de 200 BHP que está dividida en 8 sistemas, los cuales están divididos en subsistemas y componentes.

Lo que significa que cada uno de ellos es indispensable para la caldera, por lo cual todos los sistemas, subsistemas y componentes deben estar en óptimas condiciones o por lo menos realizar su trabajo bajo ninguna limitación o percance, ya que de lo contrario ocasionaría pérdidas en la producción debido a la carencia de metodología o plan de mantenimiento de los equipos.

Cada componente o elemento de cada sistema está en constante funcionamiento y ese es la razón por la que el mantenimiento en ellos es trascendental, motivo por el cual se ve necesario la actualización o revisión de la metodología RCM o plan de mantenimiento para los equipos del sistema.

No solo se requiere diseñar un plan o estrategia de mantenimiento a un grupo de componentes de un sistema, se necesita un plan que incluya cada sistema con sus respectivos subsistemas, y un plan para cada subsistema y sus respectivos componentes, y un plan para cada componente y sus respectivas partes o elementos que lo integren.

Dicha metodología debe ser de carácter preventivo, basado en el tiempo, predictivo basado en el riesgo, e indicativo basado en confiabilidad.

Además de lo anterior, se debe contar con equipos tecnológicos que ayuden a realizar un mantenimiento predictivo, equipos relacionados con las tecnologías de Ultrasonido, Termografía, Infrarrojo, Vibraciones etc. Sin embargo es necesario tener listado aquellos equipos, elementos o componentes que requieran un mantenimiento por ultrasonido, tener listado de aquellos que requieran de termografía

y aquellos que le sea aplicable la tecnología de infrarrojo pues de esa manera el trabajo se hace más eficiente y en el menor tiempo.

1.2.1 Problema General

¿De qué manera la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a la caldera de 200 BHP permitirá reducir costos en la planta pesquera HAYDUK?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Con el RCM se podrá disponer de equipos confiables que permita reducir costos de mantenimiento?
- ¿Con el análisis de criticidad se podrá identificar el equipo crítico en la línea de producción para mejorar su confiabilidad?
- ¿Con la elaboración del AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) podremos conocer las prioridades de atención de los equipos usando los procedimientos adecuados?

1.3 Objetivos de la Investigación

La presente tesis persigue los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivo General

Implementar el RCM a la caldera de 200 BHP para reducir costos en la planta pesquera HAYDUK.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Disponer de equipos confiables basado en el RCM que permita reducir costos de mantenimiento.
- Identificar el equipo crítico con el análisis de criticidad en la línea de producción para mejorar su confiabilidad en la planta de harina de pescado de la empresa HAYDUK.
- Elaborar el AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) que definirá la prioridad de atención de componentes.

1.4 Justificación

1.4.1 Económica

La planta de harina de pescado HAYDUK, opera de forma constante las 24 horas del día durante todo el año, de modo que una parada de planta representa pérdidas considerables para la empresa. Es por ello que es sumamente importante que todos los sistemas operen de forma eficiente.

1.4.2 Tecnológica

La implementación del RCM generara un plan de mantenimiento preventivo confiable alargando el ciclo de vida de los activos.

1.4.3 Social

Al implementar esta filosofía se reducirá los costos de mantenimiento que permite aumentar la rentabilidad de la empresa y beneficiara a los colaboradores involucrados.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Estudio

Como antecedente relacionado al estudio que se está realizando, se tiene lo siguiente:

2.1.1 Antecedentes Internacionales

- PINZÓN ÁVILA, Alexander. **“Diseño de un plan de gestión para el mantenimiento centrado en la confiabilidad para el centro de generación eléctrica a base de gas de la empresa Copower LTDA”** Tesis Título Profesional. Universidad Industrial de Santander. Facultad Ingeniería Mecánica, Colombia 2011.

De cuyo trabajo se deduce la siguiente conclusión final:

“Un plan de mantenimiento deberá estar basado en un análisis de criticidad de los equipos, y ser un punto de partida para realizar un buen plan de mantenimiento, ya que al tener identificado los equipos críticos dentro de planta es donde se deberá enfocar el mayor esfuerzo del departamento de mantenimiento en hacer un plan de mantenimiento”.

- CAJAS MALDONADO, Carlos Alberto, JANETA MELO, Alberto Darwin. **“Planificación de mantenimiento basado en el método de la confiabilidad RCM para motores estacionarios de la planta Termopichincha S.A”**. Tesis Título Profesional. Escuela Politécnica Nacional. Facultad Ingeniería Mecánica, Ecuador 2009

Resumen

El presente proyecto desarrolla una aplicación práctica del mantenimiento centrado en confiabilidad, basado en las Normas

SAE JA1011 y SAE JA1012, sobre los motores estacionarios de la Central Termoeléctrica Guangopolo Termopichincha S.A.

Actualmente, el mantenimiento es uno de los pilares fundamentales de la industria junto con la calidad de los productos y servicios. Pero suele ser descuidado por las políticas administrativas y financieras e incluso puede llegar ser considerado un gasto.

Para la aplicación del proceso RCM se ha recolectado datos de modos y efectos de falla de manuales, registros y del personal de mantenimiento. Se ha elaborado una base de datos que en adelante facilitara la recolección de este tipo de información. Para valorar las consecuencias de falla se ha programado un algoritmo que determina el tipo de tarea de mantenimiento a realizarse, pero siempre la tarea como tal es elaborada por el ingeniero mecánico.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

- DA COSTA BURGA, Martín. **“Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores de gas de dos tiempos en pozos de alta producción”**. Tesis Título Profesional. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima 2010, de cuyo trabajo se tiene las siguientes conclusiones:

Del estudio realizado en base al AMEF y a través del número de prioridad de riesgo, de donde se analizaron 124 modos de falla, y se obtuvo 26 fallas inaceptables, 43 fallas de reducción deseable y 55 fallas aceptables. Durante el análisis de criticidad de las 40 partes se obtuvo lo siguiente; 21 partes críticas, 10 partes semicríticas y 9 partes no críticas. Por lo que se determinó que el 52.5% de partes del equipo son críticas, por tanto se tiene un mayor control de acuerdo al estado de

conservación de los mismos así como el stock de repuestos necesarios.

Hasta el momento no se cuenta con ningún trabajo de investigación de implementación de un sistema de gestión del mantenimiento en ERM de gas natural centrados en confiabilidad en Centrales Termoeléctricas del sector peruano. Lo único apreciable hasta el momento en la ERM de la empresa en estudio, es lo siguiente:

El área de operaciones cuenta con una estrategia inicial de mantenimiento autónomo que les permite a los operadores de campo realizar rutas de actividades sencillas de mantenimiento (Inspecciones). Adicionalmente estas rutinas no alimentan los planes de mantenimiento preventivo para lograr una integración entre operaciones y mantenimiento.

Se tiene reuniones entre operaciones y mantenimiento a primera hora, todos los días de la semana, donde se prioriza las actividades de mantenimiento, sin embargo no existe un programa mensual de mantenimiento correctivo que permita al planificador generar Ordenes de trabajo (OT) por las solicitudes de trabajo (ST) generadas por operaciones.

Existe un software de gestión EAM (INFOR), que puede integrar y coordinar las actividades de operación y mantenimiento. También existen manuales de mantenimiento que cada personal de mantenimiento maneja individualmente, de acuerdo a su experiencia realizada. Los activos de la planta son codificados bajo una codificación KKS, pero muchos de ellos tienen errores que es necesario corregir para tener el sistema con codificaciones estándar.

- PALOMARES QUINTANILLA, Elvis David. **“Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al**

sistema de Izaje mineral, de la compañía minera Milpo, unidad “El porvenir”. Tesis de Post Grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad Ingeniería Mecánica. Lima 2015.

Resumen

En la investigación se abordó el siguiente problema ¿Qué técnica y/o metodología se debe aplicar para mejorar el plan de mantenimiento del Sistema de Izaje Mineral de Cía. Milpo, unidad “El Porvenir”? Participaron 18 técnicos pertenecientes al área de Mantenimiento de Izaje de Cía. Milpo, unidad “El Porvenir”, la Empresa Especializado Tiley de Canadá y la Empresa Especializa Peruvians Hydraulic SAC de Perú, se efectuó el desarrollo del plan a partir del 10 de enero del 2011 hasta el 31 diciembre del año 2011 en la Cía. Milpo Unidad: El Porvenir”. Allí se realizaron 6 reuniones presenciales y visitas a campo para finalmente llegar a culminar el plan de mantenimiento basado en la confianza. Se trató de una investigación cuantitativa, cuyas etapas fueron de recolección de datos, evaluación y elaboración del plan aplicando la metodología del RCM. Se ha empleado un análisis de riesgo, aplicando la metodología de análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMEF) con el objetivo de identificar los modos de falla que representan un mayor riesgo, para posteriormente seleccionar la mejor tarea de mantenimiento, ya sea preventiva, predictiva, correctiva o en su caso rediseño de sistemas.

Dentro de esta evaluación se realizó la clasificación de los activos críticos, del sistema de Izaje para seleccionar las clases de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivos a ser aplicados por cada equipo que formar parte el Sistema de Izaje Mineral de Cía. Milpo, unidad “El Porvenir”.

Un aspecto favorable de la filosofía del RCM, es que la misma promueve el uso de las nuevas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento. La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del RCM, nos permiten de forma eficiente, optimizar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente, que traen consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico.

El RCM es también un nuevo método para el planeamiento del mantenimiento que hace uso de las diversas técnicas de mantenimiento existentes, más exige que las prácticas comunes de mantenimiento preventivo sean modificadas.

La metodología del RCM se basa en conceptos de la confiabilidad:

- Preservación de las funciones operacionales del sistema.
- Análisis sistemático de los modos de falla que pueden llevar al sistema a dejar cumplir con las funciones operativas.
- Aplicación de la técnica de Análisis de los Modos de Falla y Efectos-AMEF y del Árbol lógico de decisiones.
- Análisis de las consecuencias de las fallas.
- Definición de los tipos de intervenciones de mantenimiento más eficaces.
- Selección de acciones para la eliminación o disminución de las fallas y sus consecuencias.

El análisis efectuado por este proceso puede minimizar los costos de mantenimiento con el aumento de la disponibilidad, indicando, por ejemplo, cuando la mejor solución es dejar ocurrir una falla y ejecutar una actividad de mantenimiento correctivo, o implantar una actividad preventiva.

2.2 Base Teórica

2.2.1 Bases Culturales

A fines de los años 1950 el sector de la aviación estaba sufriendo muchos accidentes, alrededor de 70 accidentes por cada millón de despegue, es por ello que era fundamental reducir este número, para lo cual se dieron con la sorpresa de que el 66% de las causas se debían a fallas mecánicas de los equipos, eso trajo consigo que reduzcan las horas de mantenimiento preventivo creyendo que solo con eso bastaría para poder solucionar los problemas pero los porcentajes no se reducían y por el contrario se incrementaban. Es por ello que a inicio de los años 1960 el mantenimiento centrado en la confiabilidad tiene sus inicios, pues las aerolíneas entendieron que las filosofías de mantenimiento de esa época les resultaban peligrosas y costosa para su sector. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fue desarrollado en un principio por la industria de la aviación comercial de los Estados Unidos, en cooperación con entidades gubernamentales como la NASA y privadas como la Boeing aplicándolo por primera vez a gran escala para el mantenimiento del Boeing 747, después se usó para el DC-10. Luego del éxito del mantenimiento centrado en confiabilidad en el sector aeronáutico hizo que otros sectores quisieran implementar dicha filosofía de mantenimiento, sectores como las plantas, centrales hidroeléctricas, minería, petroleras y manufactureras lo adecuaron a sus necesidades, a esta nueva modificación se le llama RCM 2. Entendiendo que el RCM es un proceso para determinar cuáles son las operaciones que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional siempre y cuando ellas sean rentables para la empresa.

2.2.2 Fundamento Teórico

a) Evolución del Mantenimiento

La gran cantidad de bibliografía acerca del mantenimiento ha hecho que muchos autores se pongan de acuerdo que existen 3 grandes etapas en la evolución del mantenimiento, la cual no cuenta con una frontera clara desde el punto de vista temporal por distintos factores, siendo tal vez el más importante que cada sector ha evolucionado de una manera distinta. Llamaremos a cada una de estas etapas como Primera, Segunda y Tercera generación.

❖ Primera Generación:

Según Antonio Aguilera (2011): la primera generación cubre el periodo entre 1930 y la segunda guerra mundial y tiene como objetivo la reparación cuando se produce un fallo y como técnica el mantenimiento correctivo.

❖ Segunda generación:

Según Lourival Tavares (2000): En la segunda generación el proceso productivo es el que manda la complejidad de las nuevas máquinas y las pérdidas por tiempo improductivo trayendo consigo la necesidad de prevenir los fallos que se presenten.

A partir de ese periodo se comenzó a implementar el mantenimiento preventivo, así como la necesidad de planificar y programar el mantenimiento en intervalos fijos.

❖ Tercera generación:

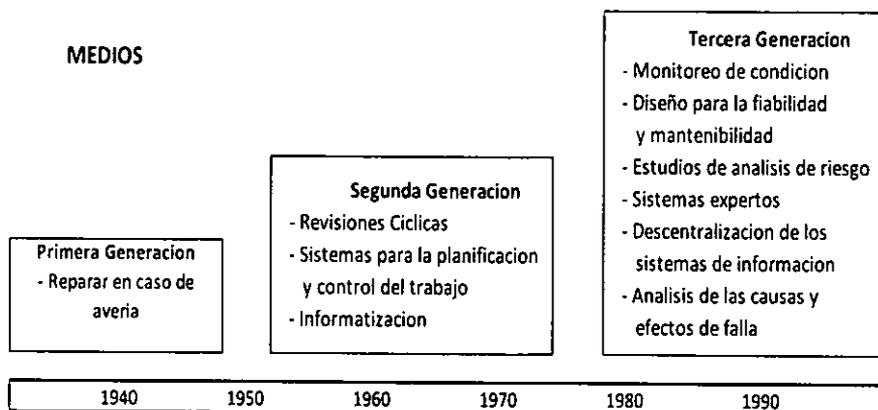
Según John Moubray (1997): Desde mediados de la década 1980 el proceso de cambio en la industria ha adquirido aún más impulso. Los cambios han sido

clasificados en: nuevas expectativas, investigaciones y técnicas.

El tiempo de parada de máquina siempre ha afectado la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales e interferir con el servicio al cliente. En las décadas de los sesenta y setenta esto ya era una preocupación en las áreas de minería, manufacturas y transporte. En la manufactura los efectos del tiempo de parada de máquina fueron agravados por la tendencia mundial hacia sistemas "justo a tiempo", donde los reducidos inventarios de material en proceso hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda la planta. Actualmente el crecimiento en la mecanización y la automatización han tomado a la confiabilidad y a la disponibilidad en factores clave en sectores tan diversos como el cuidado de la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones, la administración de edificios y el manejo de las organizaciones.

Figura N° 2.1

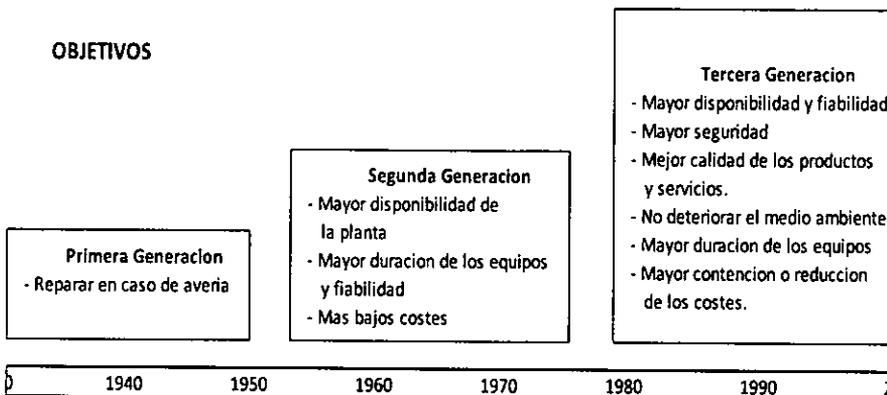
MEDIOS DE LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO



Fuente: González Fernández, Francisco (2003). *Mantenimiento Industrial Avanzado*. España: Fundación Confemetal Editorial

Figura N° 2.2

OBJETIVOS DE LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO



Fuente: González Fernández, Francisco (2003). *Mantenimiento Industrial Avanzado*. España: Fundación Confemetal Editorial

b) Definiciones

- Confiabilidad

La confiabilidad de un componente en el instante t , $R(t)$, es la probabilidad de que un ítem no falle en el intervalo $(0, t)$ dado que era nuevo o como nuevo en el instante $t = 0$.

Un componente puede presentar diferentes tipos de confiabilidades, asociadas a diferentes funciones.

Considere N componentes supuestamente idénticos, todos nuevos o como nuevos en $t = 0$. Sea $N-n$ el número de componentes que falla en $[0, t]$. Se tiene que:

$$R(t) = \frac{n(t)}{N} \dots\dots(2.1)$$

- Tasa de Fallas

La tasa de falla $\lambda(t)$ se define como 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.

Podemos definir tasa de falla en un intervalo $[t_1, t_2]$.

Fuente: Rodríguez Pascual J. (2002). *Manual del ingeniero de mantenimiento*. Chile: [s.n.]

$$\lambda(t) = \frac{R(t_1) - R(t_2)}{R(t_1)(t_2 - t_1)} \dots\dots(2.2)$$

- Vida Media

La vida media de un componente no reparable es el valor de tiempo esperado para que el componente falle. También es conocido como el tiempo medio para fallar o MTTF por su sigla en inglés.

- Disponibilidad

La función disponibilidad $A(t)$ se define como la probabilidad de que un componente este en su estado normal en un instante t , siendo que estaba nuevo o como nuevo en $t=0$.

c) Modelos para el tiempo de falla.

Según Primitivo Reyes Aguilar, los modelos que se utilizan para el tiempo de falla son: Exponencial, Weibull, normal y log-normal. Aquí se mostrarán sus funciones de densidad f

$f(t)$, función de confiabilidad $R(t)$ y función o tasa de riesgo $h(t)$.

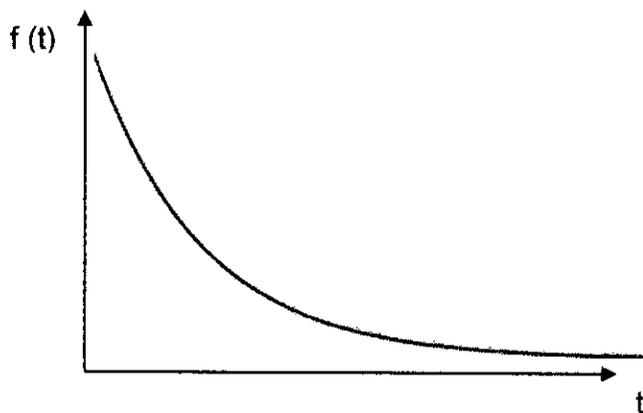
- Distribución Exponencial

Modelo de confiabilidad para tasa de riesgo constante, de componentes de muy larga vida y alta calidad que “no envejecen” durante su vida útil. Se dice que esta distribución tiene falta de memoria ya que no importa el tiempo que haya transcurrido, su probabilidad de falla es la misma que cuando estaba nuevo. Es muy aplicable a componentes electrónicos ya que no exhiben desgaste o mejora en el tiempo (por ejemplo los transistores, los resistores, los circuitos integrados y los condensadores). No es aplicable a componentes con desgaste como las balatas o baterías cuya tasa de falla se incrementa con el tiempo.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots (2.3)$$

Gráfica N° 2.1

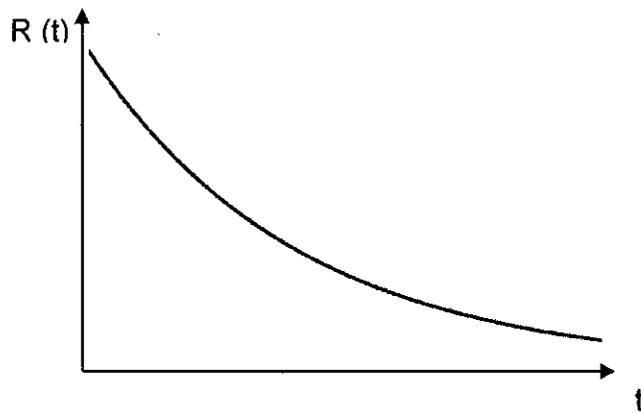
FUNCIÓN DE DENSIDAD



Fuente: Elaboración Propia

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots (2.4)$$

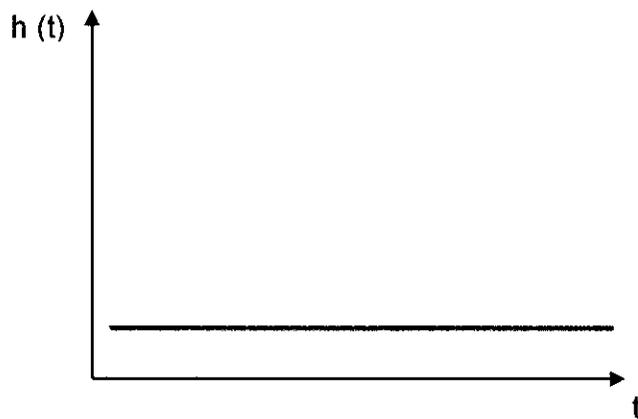
Gráfica N° 2.2
FUNCIÓN DE CONFIABILIDAD



Fuente: Elaboración Propia

$$h(t) = \lambda \dots (2.5)$$

Gráfica N° 2.3
FUNCIÓN DE TASA DE FALLA



Fuente: Elaboración Propia

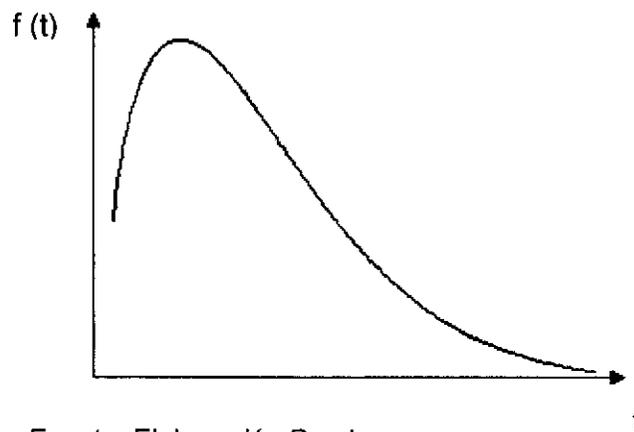
- Distribución Weibull de 3 parámetros
En ocasiones las fallas no empiezan a observarse desde el tiempo cero sino hasta después de un periodo γ , es decir hasta después de este tiempo la probabilidad de falla es mayor a cero. Para esto se introduce en la distribución un parámetro de localización que recorre el

inicio de la distribución a la derecha, quedando las funciones de densidad, de confiabilidad y de riesgo para la distribución de Weibull (β, η, γ) como sigue:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^\beta} \dots (2.6)$$

Gráfica N° 2.4

FUNCIÓN DE DENSIDAD

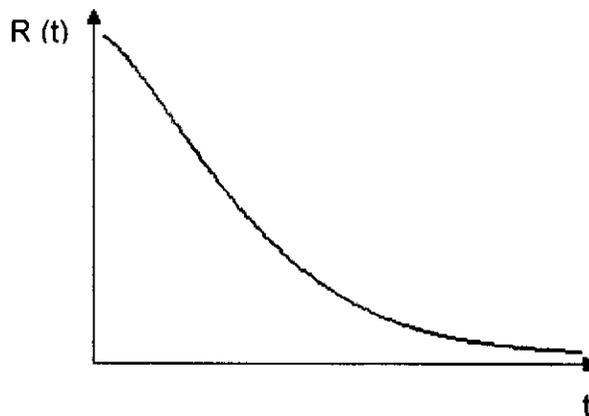


Fuente: Elaboración Propia

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \dots (2.7)$$

Gráfica N° 2.5

FUNCIÓN DE CONFIABILIDAD

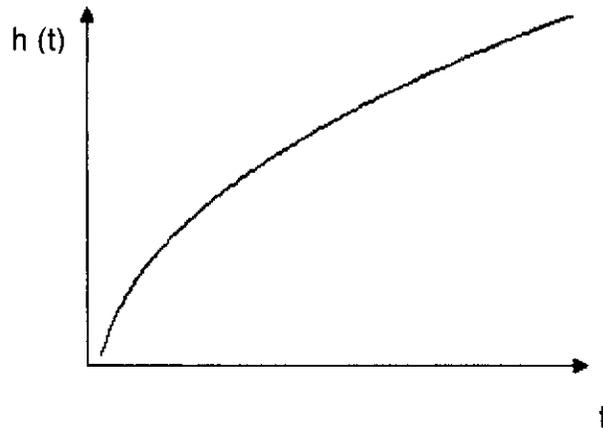


Fuente: Elaboración Propia

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \dots\dots (2.8)$$

Gráfica N° 2.6

FUNCIÓN DE TASA DE FALLA



Fuente: Elaboración Propia

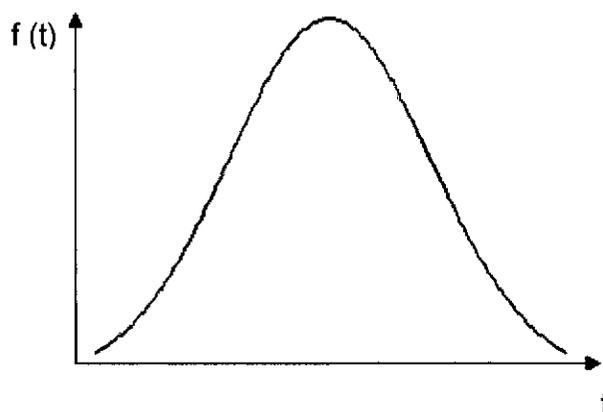
- **Distribución Normal**

No es muy utilizada en confiabilidad dado su comportamiento simétrico, el comportamiento del tiempo de vida es asimétrico, sin embargo es un modelo adecuado cuando muchos componentes tienen un efecto aditivo en la falla del producto. Aquí μ es el parámetro de localización y σ es el parámetro de escala.

Sus funciones básicas de densidad, confiabilidad y tasa de falla son las siguientes:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \dots\dots (2.9)$$

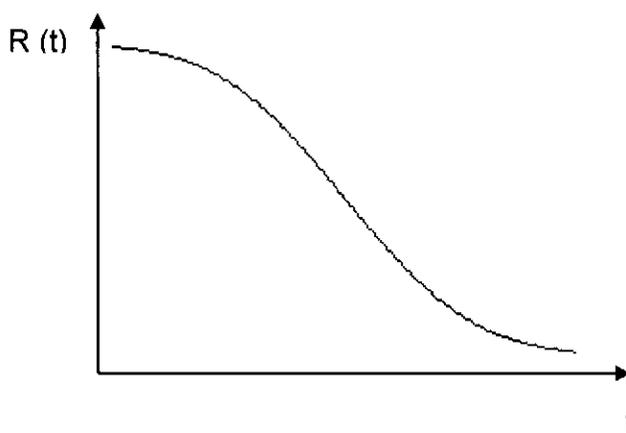
Grafica N° 2.7
FUNCIÓN DE DENSIDAD



Fuente: Elaboración Propia

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (2.10)$$

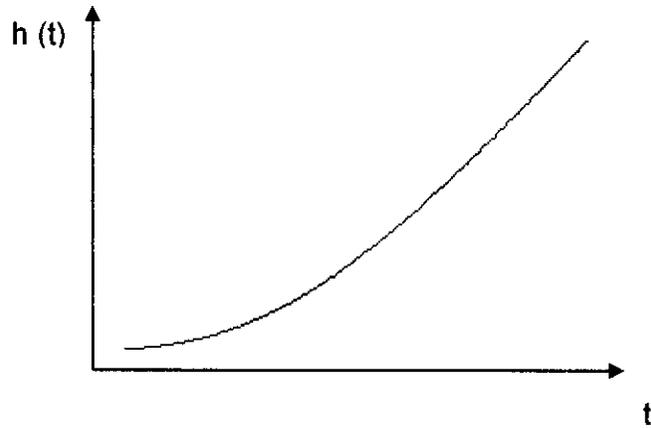
Gráfica N° 2.8
FUNCIÓN DE CONFIABILIDAD



Fuente: Elaboración Propia

$$\lambda_t = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Gráfica N° 2.9
FUNCIÓN DE TASA DE FALLA



Fuente: Elaboración Propia

- Distribución Log-Normal

Esta distribución es apropiada cuando los tiempos de falla son el resultado de muchos efectos pequeños que actúan de manera multiplicativa. Esto hace que al sacar el logaritmo de dichos efectos actúen como de manera aditiva sobre el logaritmo del efecto global o logaritmo del tiempo de falla, se aplica a procesos de degradación por ejemplo de fatiga de metales y de aislantes eléctricos.

La distribución lognormal es un modelo común para los tiempos de la falla, se justifica para una variable aleatoria obtenida como el producto de un número variables aleatorias positivas, independientes e idénticamente distribuidas. Se puede aplicar como modelo del tiempo de falla causado por un proceso de degradación con tazas aleatorias que se combinan multiplicativamente.

La distribución lognormal se relaciona con la normal ya que si T sigue una distribución lognormal, su logaritmo sigue una distribución normal. O si T tiene una

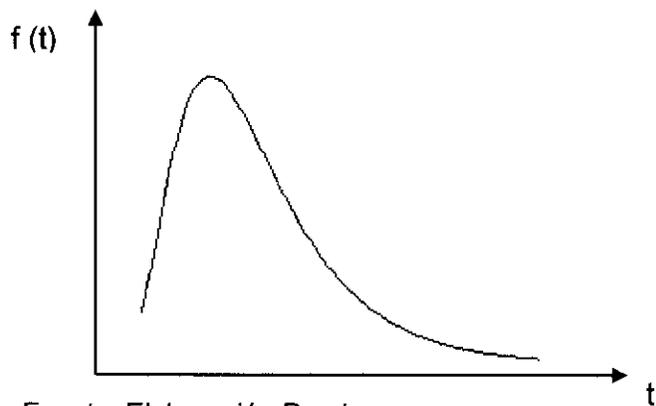
distribución normal, $Y = \exp(T)$ sigue una distribución lognormal.

Sus funciones básicas son las siguientes:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

Gráfica N° 2.10

FUNCIÓN DE DENSIDAD

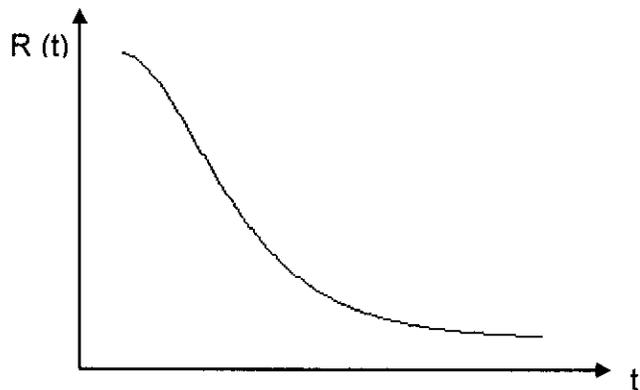


Fuente: Elaboración Propia

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

Gráfica N° 2.11

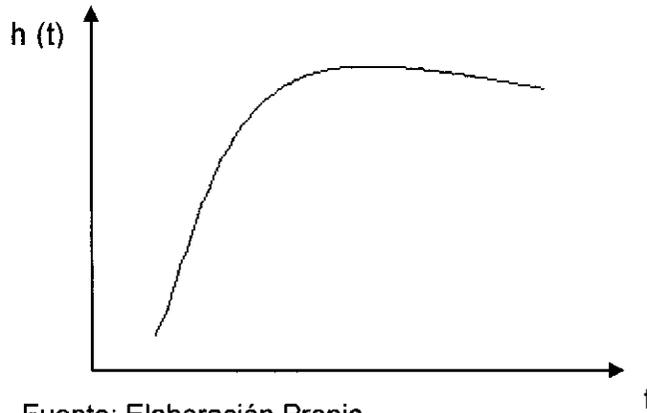
FUNCIÓN DE CONFIABILIDAD



Fuente: Elaboración Propia

$$\lambda_t = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (2.14)$$

Grafica N° 2.12
FUNCIÓN DE TASA DE FALLAS



Fuente: Elaboración Propia

d) Confiabilidad de Sistemas

Según Reyes Ocampo, L.J. (1996). *Ingeniería de Mantenimiento. Teoría y Problemas resueltos*. Lima: Salvador Editores.

Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados dentro de las unidades de proceso que tienen una función específica de acuerdo a su operatividad. Y es esta operatividad la cual debemos garantizar; y dado que la confiabilidad individual de cada elemento afecta directamente a todo el sistema, nuestro objetivo es poder garantizar la confiabilidad del sistema a través de sus componentes.

También una sola máquina o equipo constituye un sistema.

Tipos de sistemas

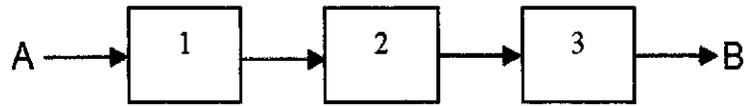
Existen dos tipos:

1. Sistema en serie.

Es cuando la interrupción de una máquina y/o equipo hace parar la línea de producción. Como ejemplo se tiene la siguiente figura.

Figura N° 2.3

SISTEMA DE EQUIPOS EN SERIE



Fuente: Reyes Ocampo, L.J. (1996). Ingeniería de Mantenimiento. Teoría y Problemas resueltos. Lima: Salvador Editores

La Confiabilidad en general se calcula por:

$$R_s = \prod_{i=1} R_i \dots\dots\dots (2.15)$$

Para el caso del ejemplo mostrado se tiene:

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \dots\dots\dots (2.16)$$

2. Sistemas en paralelo

Llamado también sistemas redundantes el cual es más complejo, a la vez también más costosos y por lo tanto de mayor confiabilidad. Esto significa que algunas funciones pueden de estar duplicadas, triplicadas, etc. Existen de dos tipos.

❖ Sistemas de paralelo activo:

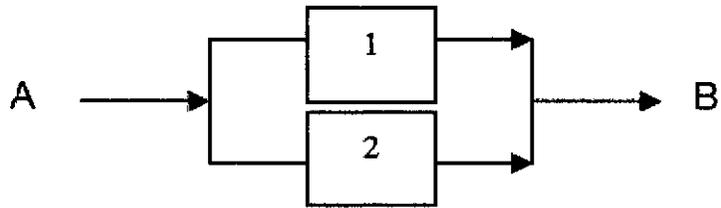
Existen dos casos:

➤ Primer caso:

- ✓ Sistemas de dos unidades.
- ✓ Ambas unidades están funcionando.
- ✓ Sólo se requiere una.
- ✓ Falla el sistema si las dos unidades fallan.

Figura N° 2.4

SISTEMA DE 2 EQUIPOS EN PARALELO



Fuente: Reyes Ocampo, L.J. (1996). Ingeniería de Mantenimiento. Teoría y Problemas resueltos. Lima: Salvador Editores.

La Confiabilidad en general se calcula por:

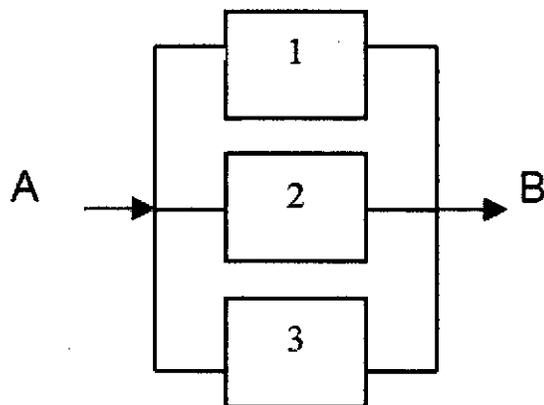
$$R_s = R_1 + R_2 - R_1 \times R_2 \dots\dots (2.17)$$

➤ Segundo caso:

- ✓ Sistema de tres unidades
- ✓ Las tres unidades funcionan.
- ✓ Sólo requiere una.
- ✓ Falla el sistema si las tres unidades fallan.

Figura N° 2.5

SISTEMA DE 3 EQUIPOS EN PARALELO



Fuente: Reyes Ocampo, L.J. (1996). Ingeniería de Mantenimiento. Teoría y Problemas resueltos. Lima: Salvador Editores.

La Confiabilidad en general lo calculamos por:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 - R_1 \times R_2 - R_1 \times R_3 - R_2 \times R_3 - R_1 \times R_2 \times R_3 \dots (2.18)$$

Donde:

Rs: Confiabilidad del sistema

R1, R2 y R3: Confiabilidad de equipo 1,2 y 3

❖ **Sistemas de paralelo secuencial**

Estos sistemas no funcionan simultáneamente, sino que espera a que se produzca la falla para poder entrar en servicio. Como funcionan un número determinado de unidades, las que fallan pueden ser reparadas o sustituidas por otra, de modo que no puede fallar cuando no funciona. También se denomina sistemas en reserva (stand by).

Existen 3 casos:

➤ **Primer caso:**

- ✓ Sistema con dos unidades idénticas.
- ✓ Una unidad funciona.
- ✓ La otra unidad está en reserva.

➤ **Segundo caso:**

- ✓ Sistema con tres unidades idénticas.
- ✓ Una unidad funciona.
- ✓ Las otras dos unidades están de reserva.

➤ **Tercer caso:**

- ✓ Sistema con dos unidades desiguales.
- ✓ Ambas unidades dentro de la vida útil.
- ✓ Una de las unidades es de menor capacidad que la principal.

e) La Curva de Davies o de la Bañera

Según Belén Muñoz, Abella (2010). *Mantenimiento Industrial*. Universidad Carlos III de Madrid. España.

La duración de la vida de un equipo se puede dividir en tres periodos diferentes:

I. Juventud. Zona de mortandad infantil.

El fallo se produce inmediatamente o al cabo de muy poco tiempo de la puesta en funcionamiento, como consecuencia de:

- Errores de diseño
- Defectos de fabricación o montaje
- Ajuste difícil, que es preciso revisar en las condiciones reales de funcionamiento hasta dar con la puesta a punto deseada.

II. Madurez. Periodo de vida útil.

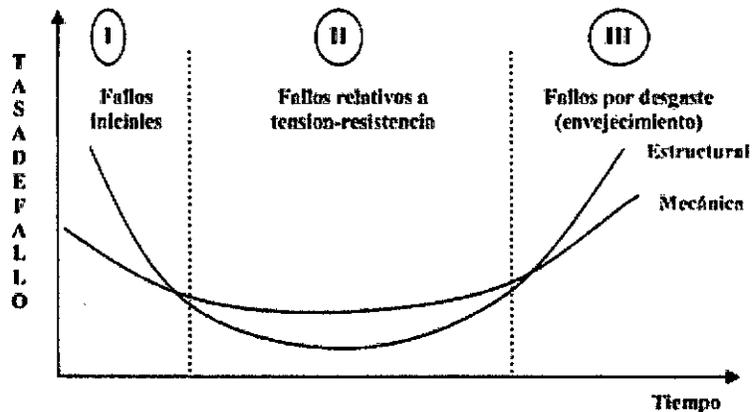
Periodo de vida útil en el que se producen fallos de carácter aleatorio. Es el periodo de mayor duración, en el que se suelen estudiar los sistemas, ya que se supone que se reemplazan antes de que alcancen el periodo de envejecimiento.

III. Envejecimiento

Corresponde al agotamiento, al cabo de un cierto tiempo, de algún elemento que se consume o deteriora constantemente durante el funcionamiento.

Estos tres periodos se distinguen con claridad en un gráfico en el que se represente la tasa de fallos del sistema frente al tiempo. Este gráfico se denomina "Curva de bañera".

Figura N° 2.6
CURVA DE LA BAÑERA



Fuente: Belén Muñoz, Abella. *Mantenimiento Industrial*. Universidad Carlos III de Madrid. España 2010.

En una curva de la bañera de tipo convencional se aprecian las tres zonas descritas anteriormente:

I. Zona de mortandad infantil

Las averías van disminuyendo con el tiempo, hasta tomar un valor constante y llegar a la vida útil. En esta zona fallan los componentes con defectos de fabricación, por lo que la tasa de averías disminuye con el tiempo. Los fabricantes, para evitar esta zona, someten a sus componentes a un "quemado" inicial ("burn-in" en inglés), desechando los componentes defectuosos. Este quemado inicial se realiza sometiendo a los componentes a determinadas condiciones extremas, que aceleran los mecanismos de fallo. Los componentes que pasan este periodo son los que nos venden los fabricantes, ya en la zona de vida útil.

- II. Zona de vida útil, con tasa de fallos aproximadamente constante. Es la zona de mayor duración, en la que se suelen estudiar los sistemas, ya que se supone que se reemplazan antes de que alcancen la zona de envejecimiento.
- III. Zona de envejecimiento: La que la tasa de averías vuelve a crecer, debido a que los componentes fallan por degradación de sus características por el transcurso de tiempo. Aún con reparaciones y mantenimiento, las tasas de fallos aumentan, hasta que resulta demasiado costoso el mantenimiento.

f) Las 7 preguntas básicas del RCM.

Según Moubray, John (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. USA. Editorial Aladon LLC.

El proceso de RCM formula 7 preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

g) Logros del RCM

Según Moubray, John (2004) define como logros del RCM:

1. Mayor seguridad e integridad ambiental
2. Mejor funcionamiento operacional

3. Mayor costo – eficacia del mantenimiento
4. Mayor vida útil de componentes costosos
5. Una base de datos global
6. Mayor motivación del personal
7. Mejor trabajo de equipo

h) Metodología de Análisis de Fallas AMEF

De acuerdo con Mora Gutiérrez Alberto (2009). *Mantenimiento Planeación Ejecución y Control*. Alfaomega Grupo Editor, México

El propósito de la técnica de análisis de los efectos, los modos y las causas de fallas es conocer completamente el equipo, mediante la identificación de los sistemas y de los componentes que lo conforman, el diseño, los procesos, los elementos y los materiales de fabricación, los ensambles y los sub ensambles parciales. Así como todos los demás aspectos pertinentes que permitan aplicar el análisis integral de fallas.

Por medio del análisis de fallas se puede detectar en forma preventiva, predictiva o anticipada cualquier anomalía que pudiera ocurrir en la funcionalidad del equipo. Para ello se sigue una serie de pasos que se describen más adelante.

Este es un proceso sistémico que permite identificar las fallas potenciales o reales del diseño, de funcionamiento y de proceso, antes de que estas ocurran, con la intención de eliminarlas o controlarlas o minimizar los riesgos asociados con ellas.

i) Procedimiento del AMEF

Según Mora Gutiérrez Alberto (2009). *Mantenimiento Planeación Ejecución y Control*. Alfaomega Grupo Editor, México.

El método procedimental 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 maquinas 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.

Dentro del desarrollo del AMEF se determina el NPR (Número de prioridad de riesgo), el cual se da por la multiplicación de tres índices de probabilidad, los cuales son:

$$NPR = G \times O \times D \dots (2.20)$$

Siendo "G" la **Gravedad** o Severidad, "O" la **Ocurrencia** y D la facilidad de **Detección**.

Dichos índices de evaluación se van determinando en escalas de 1 hasta 10. Siendo el puntaje el menor 1 y 1000 el mayor para la evaluación y por consecuencia el valor más crítico de un AMEF, teniendo como concepto las siguientes definiciones de dichos criterios:

- ❖ Gravedad o Severidad: se refiere a la probabilidad de fallos en el proceso, está basada únicamente en el efecto de fallo; todas las causas potenciales de fallo para un efecto particular también reciben la misma clasificación.
- ❖ Ocurrencia: o la frecuencia en la cual se presentan las fallas, cuando se asigna esta clasificación, se deben considerar dos probabilidades:
 - La probabilidad de que se produzca una falla.

- La probabilidad de que, una vez ocurrida la falla, esta provoque el efecto nocivo indicado.
- ❖ Detección o probabilidad de No Detección: este indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, llegue a ser informado. Se está definiendo la “no detección”, para que el índice de prioridad crezca de forma análoga del resto de índices a medida que aumenta el riesgo. Tras lo dicho se puede deducir que este índice está íntimamente relacionado con los controles de detección actuales y la causa. (ver Anexo 11)

Las etapas de desarrollo del procedimiento del AMEF son:

1. Describir las funciones primarias y secundarias de los equipos.
2. Establecer todas las fallas funcionales reales y potenciales conocidas.
3. Los modos de falla
4. Evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla, con su falla y su función.
5. Medir el RPN mediante la evaluación de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la posibilidad de detección.
6. Establecer las acciones correctivas planeadas
7. Realizar las tareas
8. Medir nuevamente el RPN y replantear las acciones.

j) Análisis de criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos).

Para realizar este análisis tomaremos en cuenta lo siguiente:

❖ Criterios utilizados

Los criterios empleados son los siguientes:

- Seguridad.
- Ambiente.
- Producción.
- Costos (operacionales y mantenimiento)
- Frecuencia de fallas.
- Tiempo promedio para reparar.
- Presentación de resultados.

Definiremos:

- Criticidad Total = Frecuencia de falla x Consecuencia

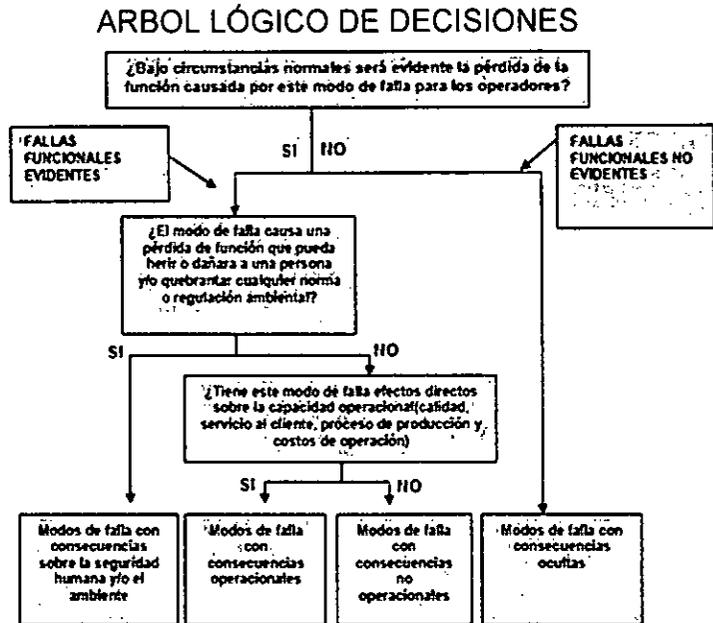
Donde:

- Frecuencia = Número de fallas en un tiempo determinado.
- Consecuencia = (Nivel de Producción x TMRP x Imp. Producción) + Costo de Reparación + Impacto en seguridad + Impacto Ambiental). (Ver Anexo 5).

Árbol lógico de decisiones: herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM. A partir del árbol lógico de decisiones se obtienen las respuestas para las preguntas 6 y 7 (del ítem f).

Construcción del árbol de decisiones: Para definir el tipo de mantenimiento a realizar y las actividades concretas a ejecutar, utilizaremos El árbol lógico de decisión de las consecuencias de los modos de falla y el árbol lógico de decisión de las actividades de mantenimiento respectivas según el RCM, como se muestra en el siguiente gráfico:

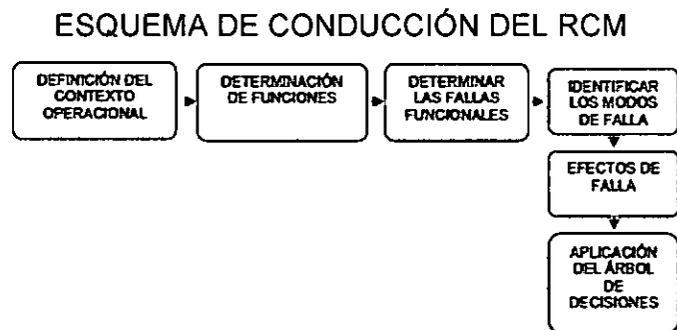
Figura N° 2.7



Fuente: DA COSTA BURGA, Martin. **Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción.** Tesis. Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2010

En forma general, el esquema propuesto a utilizar para conducir el RCM, se resume en el siguiente diagrama de bloques, que detalla los siguientes pasos a seguir:

Figura N° 2.8



Fuente: DA COSTA BURGA, Martin. **Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción.** Tesis. Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2010

2.3 Definiciones de Términos Basicos

- RCM: mantenimiento centrado en fiabilidad y/o confiabilidad.
- TMEF: Tiempo promedio entre intervenciones.
- Tmpr: Tiempo promedio que se demora en reparar el equipo cada vez que es intervenido.
- MTBF: Un indicador útil es el tiempo medio entre fallas o en otras palabras, el tiempo promedio en que el equipo no falla. Matemáticamente corresponde a la esperanza de t (t siendo el tiempo entre 2 fallas).
- CALDERA: Aparato térmico para generar vapor.
- BHP: Es la unidad de medida que se requiere para generar vapor o agua caliente y en algunos casos calentar fluido térmico a la caldera.
- ACTIVO FIJO. Recurso tangible que posee una entidad para su uso en la producción de bienes y prestación de servicios, para arrendarlos a terceros o para propósitos administrativos, sin que se tenga prevista su venta o suministro a la comunidad durante el ciclo
- DISPONIBILIDAD: Probabilidad de que en cualquier instante dado un ítem esté operando o listo para operar satisfactoriamente.
- MANTENIBILIDAD: Probabilidad de que un ítem puede ser reparado satisfactoriamente en un tiempo determinado.
- AEM: Por sus siglas en inglés "Enterprise Asset Management" es un software de gestión empresarial que hace especial énfasis en la gestión de los activos desde el diseño, la construcción, la puesta en servicio u operación, el mantenimiento y finalmente la sustitución y el desmantelamiento del activo.
- ERM: Por sus siglas en ingles "Enterprise Risk Management" traducido significa Administración de Riesgos Empresariales lo cual

es un proceso que permite tratar eficazmente la incertidumbre, identificando riesgos y oportunidades, y optimizando la capacidad de generar valor.

- **RENTABILIDAD:** Es el rendimiento que producen una serie de capitales en un determinado periodo de tiempo. Es una forma de comparar los medios que se han utilizado para una determinada acción, y la renta que se ha generado fruto de esa acción.
- **CICLO DE VIDA DEL ACTIVO:** Nace desde la idea misma de realizar una actividad que involucrará activos en su desarrollo, pasa por las etapas de anteproyecto, proyecto, diseño, compra o manufactura, instalación, prueba, puesta en marcha, operación y mantenimiento, hasta su eventual reciclaje, descarte o disposición final.
- **CODIFICACION KKS:** Es un sistema estandarizado para la clasificación de centrales eléctricas. Sirve durante la ingeniería, la construcción, la operación y el mantenimiento de las centrales eléctricas para la identificación y la clasificación del equipo.
- **ACTIVOS FISICOS:** Todo objeto o bien que posee una persona natural o jurídica, tales como maquinarias, equipos, edificios, muebles, vehículos, materias primas, productos en proceso, herramientas, etc.
- **JUSTO A TIEMPO:** Es una política de mantenimiento de inventarios donde los suministradores entregan justo lo necesario en el momento necesario para completar el proceso productivo
- **PIROMETRO:** Instrumento que sirve para medir temperaturas muy elevadas.
- **MEGOMETRO:** Es instrumento para la medida del aislamiento eléctrico en alta tensión.

CAPITULO III
VARIABLES E HIPOTESIS

3.1 Variables de la Investigación

3.1.1 Variable Independiente

Mantenimiento centrado en la confiabilidad

3.1.2 Variable Dependiente

Reducción de costos

3.2 Operacionalización de Variables

Según Chauca, José (2017). Operacionalizar una variable es el proceso mediante el cual se transforma la variable de conceptos abstractos a términos concretos, observables y medibles, es decir en dimensiones e indicadores. En términos simples, operacionalizar una variables es hacerla medible.

Cuadro N° 3.1

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES
Variable Independiente: MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	Plan de Mantenimiento	MTBF
		MTTR
	Reporte de Fallas	# Fallas
		Backlog
	Ciclo de Vida	Confiabilidad
		Disponibilidad
Variable Dependiente: REDUCCION DE COSTOS	Repuestos	Rotación de Repuestos
		Costo de Repuestos
	Costos de Mantenimiento	Rotación de Activos
		Presupuesto Anual

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Hipótesis

3.3.1 Hipótesis General

Con la implementación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado a la caldera de 200 BHP permitirá reducir costos en la planta pesquera HAYDUK.

3.3.2 Hipótesis Específicas

- ❖ Con el RCM se dispondrá de equipos confiables que permitirá reducir costos de mantenimiento.
- ❖ Con el análisis de criticidad se identificara el equipo crítico para mejorar su confiabilidad.
- ❖ Elaborado el AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) se podrá definir la prioridad de atención de componentes.

CAPITULO IV

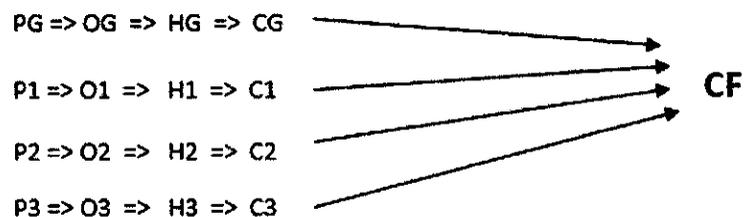
METODOLOGIA

4.1 Tipo de Investigación

Los resultados finales de este trabajo de investigación de mantenimiento se podrán aplicar a múltiples calderas utilizadas en las diversas plantas de producción de harina de pescado, por lo que podemos decir que esta investigación es del tipo tecnológica aplicada.

4.2 Diseño de la Investigación

En este trabajo de investigación se está planteando un diseño de investigación no experimental causal de recolección de datos en un tiempo dado, por lo que se centrará en el cumplimiento de los objetivos, y así plantear el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la caldera de 200 BHP.



4.3 Población y Muestra

4.3.1 Población

En la caldera, componente y línea de producción de la planta de harina de pescado en la empresa HAYDUK, que en este estudio es único, ya que se ha hecho el análisis para un equipo coincide con la muestra por tratarse de una investigación tecnológica aplicada.

4.3.2 Muestra

Para nuestro caso al ser un análisis para la caldera la muestra, coincide con la población.

4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para la recopilación de datos se realizó lo siguiente:

- Revisión de planos de la planta de harina de pescado.

En esta etapa, se procedió a revisar los planos de la planta, para determinar los códigos establecidos de los equipos que pudiesen faltar, así mismo nos ayuda a poder tener un panorama más claro sobre los equipos a evaluar.

- Manuales de los equipos críticos.

Se realizó la lectura de varios manuales de los equipos suministrados por los fabricantes, esta información nos ayudó a poder conocer con más detalle las partes y repuestos de muchos equipos, que pudieran ser considerados críticos.

- Entrevista al personal de mantenimiento y operaciones.

Las entrevistas que se han tenido con el personal de mantenimiento fueron básicamente para conocer acerca su experiencia con los equipos en la planta de harina de pescado.

4.5 Procedimientos de recolección de datos

Durante las etapas de implementación del RCM, se crean tres grupos inter-disciplinarios:

- Grupo de gestión

Este grupo incluye a los responsables de los servicios de mantención, producción y calidad. El grupo es liderado por el jefe del proyecto RCM, quien supervisa la aplicación del método.

Este grupo:

- a) Define las tareas a realizar,
- b) Los miembros de los otros grupos,
- c) Evalúa los resultados de los otros grupos.

- Grupo de análisis

Este grupo prepara en detalle los análisis a realizar.

- Grupo de información.

Se encarga de recolectar los datos en terreno. Son los que más conocen a los equipos. Evalúa el análisis preparado por el grupo piloto.

4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos

De acuerdo a la naturaleza de este proyecto no se requiere realizar un estudio estadístico de datos ya que solo se analizó la caldera de la empresa en mención con los datos obtenidos documentariamente y entrevistas al personal de mantenimiento y operarios, cuyo resultado se muestran en un cuadro (ver Cuadro N° 5.3, en la página 48), los cuales se encuentran registrados en el departamento de mantenimiento.

CAPITULO V

RESULTADOS

Con la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad se tiene los siguientes resultados:

- Del análisis de criticidad a los equipos de la línea de producción de la empresa pesquera Hayduk se tiene como resultado que el equipo más crítico es la caldera de 200 BHP, según se muestra en el siguiente cuadro, obtenido de usar un formato. (ver Anexo 4).

Cuadro N° 5.1

ANÁLISIS DE CRITICIDAD

EQUIPO	N.P	TMPR	I.P	C.R	I.S	I.A	CONSEC.	F	PUNTAJE	%	CRITICIDAD
CALDERO 200 BHP	4	3	4	3	10	10	71	3	213	19,9%	CRITICO
CERRADORA DE LATAS CORAL	3	3	3	3	10	6	46	3	138	12,9%	CRITICO
AUTOCLAVE N° 04 – VECTOR	3	3	3	2	6	6	41	3	123	11,5%	CRITICO
MAQUINA ENCOLADORA	3	1	3	1	4	4	18	3	54	5,1%	SEMICRITICO
FAJA SANITARIA DE DESBRAQUEADO	2	1	2	1	4	4	13	4	52	4,9%	SEMICRITICO
FAJA SANITARIA DE PERFILADO Y CORTE	2	1	2	1	4	4	13	4	52	4,9%	SEMICRITICO
EMBOLSADORA DE FOUR PACK	2	2	3	3	6	4	25	2	50	4,7%	SEMICRITICO
ETIQUETADORA DE LATAS	2	2	3	2	6	4	24	2	48	4,5%	SEMICRITICO
BLANQUEADOR DE DOBLE EFECTO FERRADA	2	2	3	2	6	4	24	2	48	4,5%	SEMICRITICO
PALETIZADORA N° 06	1	2	2	2	6	4	16	3	48	4,5%	SEMICRITICO
FAJA SANITARIA DE ENVASADO	2	1	2	1	4	4	13	3	39	3,7%	SEMICRITICO
COLECTOR – VAPOR DE CALDERAS	3	1	2	1	4	4	15	2	30	2,8%	SEMICRITICO
BOMBA HORIZONTAL DE AGUA BLANDA N° 1	2	1	1	1	4	4	11	2	22	2,1%	SEMICRITICO
MARMITA "A"	2	1	1	1	4	4	11	2	22	2,1%	SEMICRITICO
EXHAUSTER DE HARINA N° 03	2	1	1	1	4	4	11	2	22	2,1%	SEMICRITICO
FAJA TRANSPORTADORA LATAS S/ETIQUETA N°	1	1	1	1	4	0	6	3	18	1,7%	SEMICRITICO
CHARNELA TRANSP. LATAS S/ETIQUETA N° 01	1	1	1	1	4	0	6	3	18	1,7%	SEMICRITICO
TK ABLANDADOR	2	2	2	2	0	4	14	1	14	1,3%	SEMICRITICO
MESA DE ACUMULACIÓN DE FOUR PACK	2	1	2	2	0	0	6	2	12	1,1%	SEMICRITICO
ELEVADOR CON BANDA SANITARIA	1	1	0	1	4	0	5	2	10	0,9%	NO CRITICO
TK SALMUERA	2	1	2	1	0	4	9	1	9	0,8%	NO CRITICO
FAJA TRANSPORTADORA FOUR PACK N° 01	1	1	2	1	4	0	7	1	7	0,7%	NO CRITICO
ENFRIADOR DE HARINA DE PESCADO	2	1	1	1	4	0	7	1	7	0,7%	NO CRITICO
FAJA DE CLASIFICACION N° 02	1	1	1	1	0	0	2	2	4	0,4%	NO CRITICO
CHARNELA TRANSP. LATAS C/ETIQUETA N° 01	1	1	1	1	0	0	2	2	4	0,4%	NO CRITICO
FAJA TRANSPORTADORA LATAS C/ETIQUETA N°	1	1	1	1	0	0	2	2	4	0,4%	NO CRITICO

LEYENDA	
N.P	Nivel de Produccion
TMPR	Tiempo Medio Para Reparar
I.P	Impacto en Produccion
C.R	Costo de Reparacion
I.S	Impacto en Seguridad
I.A	Impacto en Ambiental
CONSEC.	Consecuencia
F	Frecuencia de falla

Fuente: Elaboración Propia

- A continuación se presenta el cálculo del NPR de todos los equipos para los distintos sistemas que posee la caldera de 200 BHP, jerarquizándolos de mayor a menor. (ver el cuadro N° 5.2).

Cuadro N° 5.2

NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (NPR)

SISTEMA	SUBSISTEMA	FALLA FUNCIONAL	M-FALLA	AMEF				AMEF		
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	N°	COD	NPR
LINEA DE PETROLEO	MOT2-0799	A	1	8	2	2	32	1	6B4	168
			2	7	3	2	42	2	6B5	147
			3	8	3	5	120	3	1A4	144
			4	8	6	3	144	4	3A4	144
			5	7	2	2	28	5	5A4	144
			6	8	2	2	32	6	7A4	144
		B	1	7	4	5	140	7	1B1	140
			2	5	2	5	50	8	3B1	140
	BOM2-0089	A	3	6	5	3	90	9	5B1	140
			4	5	1	7	35	10	7B1	140
			1	8	3	5	120	11	2A2	128
			2	8	4	4	128	12	2B6	126
			3	8	2	6	96	13	4B5	126
		B	4	8	4	3	96	14	6B3	126
5			8	3	4	96	15	1A3	120	
1			6	5	3	90	16	2A1	120	
LINEA DE AGUA	MOT2-0798	A	2	5	4	2	40	17	3A3	120
			3	5	4	5	100	18	4A1	120
			4	6	2	6	72	19	5A3	120
			5	7	5	3	105	20	6A2	120
			6	7	3	6	126	21	6B6	120
			7	6	3	6	108	22	7A3	120
		B	1	8	2	2	32	23	8B3	120
			2	7	3	2	42	24	5A3	112
			3	8	3	5	120	25	2B7	108
			4	8	6	3	144	26	4B6	108
5			7	2	2	28	27	8B1	108	
6			8	2	2	32	28	2B5	105	
1	7	4	5	140	29	4B3	105			
2	5	2	5	50	30	6B1	105			
3	6	5	3	90	31	8A4	105			
4	5	1	7	35	32	2B3	100			

LINEA DE AGUA	BOMB2-0088	4	A	1	8	3	5	120	33	8A2	98																															
				2	7	2	3	42				34	2A3	96																												
				3	8	2	6	95							35	2A4	96																									
		B	1	7	3	3	63	36										2A5	96																							
			2	6	4	3	72													37	4A3	96																				
			3	7	5	3	105																38	6A3	96																	
	4	7	2	3	42	39	1B3																			90																
	5	7	3	6	126																						40	2B1	90													
	6	6	3	6	108																									41	3B3	90										
	QUEMADOR	MOT2-8000	5	A	1																												8	2	2	32	42	5B2	90			
					2																												7	3	2	42				43	7B2	90
					3																												8	3	5	120						
4			8	6	3				144	45	4B2																						72									
5			8	2	7				112			46	4B1	63																												
6			6	3	6				108						47	1B2	50																									
B		1	7	4	5			140	48									3B2	50																							
		2	6	5	3			90												49	5B3	50																				
		3	5	2	5			50															50	7B3	50																	
4		5	1	7	35	51	8A3	49																																		
VEN1-0057		6	A	1	8																					2	3	48	52					6A1	48							
				2	8																					3	5	120		53	8A1	48										
	3			8	2																					6	96	54								1A2	42					
	B	1	7	3	5																					105	55											3A2	42			
		2	5	3	2																					30														56	4A2	42
		3	6	3	7					126	57															4B4							42									
4	7	3	8	168	58					5A2		42																														
5	7	3	7	147									59	7A2	42																											
6	6	5	4	120					60							7A5	42																									
ATOMIZACIÓN DE AIRE - VAPOR	MOT2-0797	7	A	1														8	2	2	32	61																				
				2														7	3	2	42		62	8B4	36																	
				3		8	3	5										120	63	1B4	35																					
		4	8	6		3	144	64										3B4											35													
		5	7	2		3	42																							65	5B4	35										
		6	6	3		6	108																					66						7B4	35							
	B	1	7	4		5	140																				67									1A1	32					
		2	6	5		3	90																															68	1A6	32		
		3	5	2		5	50				69															3A1							32									
	4	5	1	7	35	70	3A6			32																																
	COM1-0016	8	A	1	8							3	2	48	71																										5A1	32
				2	7				2			7	98	72		7A1	32																									
3				7	1				7			49	73									6B2																				
4		7	3	5	105				74			8B2											30																			
B		1	6	3	6														108	75	1A5			28																		
		2	5	3	2			30										76	3A5						28																	
	3	6	5	4	120																																					
4	6	3	2	36																																						

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 5.3
CONSECUENCIAS DEL AMEF

N°	SISTEMA	EQUIPO	REFERENCIA AMECF				CONSECUENCIAS			ARBOL LOGICO DE DECISIONES						ESTRATEGIAS			
			F	FF	MF	NRP	H	B	E	C	TAREAS				TIPO MTTT	TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA	A REALIZAR POR	
											H1	H2	H3	"A FALTA DE"					
											S1	S2	S3	O1					O2
N1	N2	N3																	
1	A	3	120	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.U.	INSPECCION PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO	MECÁNICO			
1	A	4	144	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.F.	CAMBIO DEL RELÉ TÉRMICO	-	ELECTRICISTA			
1	B	1	140	NO				NO	NO	NO	SI		M.B.F.	CAMBIO DE COMPONENTES DAÑADOS	-	ELECTRICISTA			
1	B	3	90	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.U.	INSPECCION PERIODICA DE PIROMETRO	DIARIO	MECÁNICO			
2	A	1	120	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.U.	INSPECCION PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO	MECÁNICO			
2	A	2	128	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.F.	CAMBIO DE VALVULA SOLENOIDE PRINCIPAL	-	ELECTRONICO			
2	A	3	96	NO				SI					M.B.C.	INSPECCION CON TINTE PENETRANTES	3 MESES	MEC. ESPECIALISTA			
2	A	4	96	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.U.	VERIFICAR CON REGLA LA ALINEACION DE LAS POLEAS	SEMANAL	OPERADOR			
2	A	5	96	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.F.	CAMBIO DE VALVULA DE CONTROL DE CALDAL	-	MECÁNICO			
2	B	1	90	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.U.	LIMPIEZA DE FILTRO DE COMUSTIBLE RESIDUAL	MENSUAL	OPERADOR			
2	B	3	100	SI	NO	SI		NO	NO	SI			M.B.U.	INSPECCION VISUAL	DIARIO	OPERADOR			
2	B	4	72	NO				NO	NO	SI			M.B.U.	VERIFICAR LA TOLERANCIA SEGUN MANUAL DEL FABRICANTE	6 MESES	MECÁNICO			
2	B	5	105	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.U.	INSPECCION PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO	MECÁNICO			
2	B	6	126	SI	NO	NO	SI	SI					M.B.C.	VERIFICAR CON REGLA LA ALINEACION DE LAS POLEAS	SEMANAL	MECÁNICO			
2	B	7	108	SI	NO	NO	SI	SI					M.B.C.	ANALISIS VIBRACIONAL	2 MESES	MEC. ESPECIALISTA			
3	A	3	120	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.U.	INSPECCION PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO	MECÁNICO			
3	A	4	144	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.F.	CAMBIO DE RELÉ TÉRMICO	-	ELECTRICISTA			
3	B	1	140	NO				NO	NO	NO	SI		M.B.F.	CAMBIO DE COMPONENTES DAÑADOS	-	ELECTRICISTA			
3	B	3	90	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI			M.B.U.	INSPECCION PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO	MECÁNICO			

- Tenemos como resultado luego de haber realizado el AMEF a los sistemas de la caldera (Ver Anexo 12), el cuadro resumen de las tareas y frecuencias del mantenimiento para cada uno de los componentes de la caldera de 200 BHP (Ver el cuadro N° 5.3, en la página 50).
- A continuación presentamos los cálculos realizados para hallar la confiabilidad de la caldera de 200 BHP.

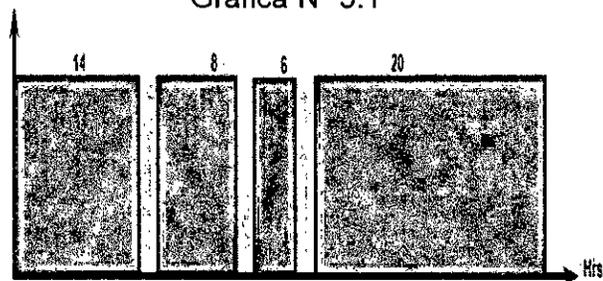
Cuadro N° 5.4

MTTF: TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAR

I	Ti	UND.	TIPO
1	14.00	Semana	F
2	8.00	Semana	F
3	6.00	Semana	F
4	20.00	Semana	F
TPO=MTTF=	48.00	Semana/falla	

Fuente: Elaboración Propia

Grafica N° 5.1



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 5.5

TEST DE TENDENCIA

I	Ti	To acum	UND.	TIPO
1	14.00	14	Semana	F
2	8.00	22.00	Semana	F
3	6.00	28.00	Semana	F
4	20.00	48.00	Semana	F
SUMATORIA		64	Semana/falla	

Cuadro N° 5.6

CALCULO DE LOS PARÁMETROS DE WEIBULL

DATOS DE FALLAS REALES	i	Ti	UNIDADES	Xi	RANGO MEDIANA		
					DE TABLAS		Yi
					ln(Ti)	F(Ti)%	F(Ti)
14.00	1	6	Semana	17.918	15.910	0.159	-17.528
8.00	2	8	Semana	20.794	38.573	0.386	-0.7188
6.00	3	14	Semana	26.391	61.427	0.614	-0.0485
20.00	4	20	Semana	29.957	84.090	0.841	0.6088
SUMATORIA		48.00	Semana	9.505.991	200.00	2.00	-1.911.407
PROMEDIO		12.00	Semana	2.376.498	50.00	0.50	-0.477852

i	X ²	Y ²	Xi*Yi	Xi - X prom.	(Xi - X prom.) ²	Yi - Y prom.	(Yi - Y prom.) ²
	(ln(Ti)) ²	(ln(ln(1/1-F(Ti)))) ²	ln(ti)*Yi	ln(Ti)-Xprom.	(ln(Ti)-Xprom.) ²	ln(ln(1/1-F(Ti)))-Yprom.	(ln(ln(1/1-F(Ti)))-Yprom.) ²
1	3210	3.072	-3.141	-0.585	0.342	-1.275	1.626
2	4324	0.517	-1.495	-0.297	0.088	-0.241	0.058
3	6965	0.002	-0.128	0.263	0.069	0.429	0.184
4	8974	0.371	1.824	0.619	0.383	1.087	1.181
SUMATORIA	23473515	3.962.133	-2.932.729	0.00	0.882550	0.00	3.048.763
PROMEDIO	5868379	0.990533	-0.734932	0.00	0.220638	0.00	0.762191

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N 5.7
PARÁMETROS DE WEIBULL

PARAMETRO DE LOCALIZACIÓN		
PARAMETRO DE LOCALIZACIÓN	Y =	0
PARAMETRO DE FORMA		
PARAMETRO DE FORMA	b =	1,82
PARAMETRO DE ESCALA		
ESTIMACIÓN DEL PARAMETRO DE ESCALA	n =	14,01
INTERSECCION	a =	-4,79
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (FORMULA) %	ρ =	97.71
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (EXCEL) %	ρ =	97.71
	$1+(1/b)$	1,55
FUNCIÓN GAMMA (EXCEL)	F. GAMMA	0,89
MTTF (CALCULOS)	μ =	12,45
VIDA MEDIA		
t(Semana)	f(t)	F(t)
13.818	4.83%	62.30%
13.814	4.83%	62.28%
VIDA MEDIANA		
t(Semana)	f(t)	F(t)
11,448	5.50%	50.00%
11,446	5.50%	49.99%
VIDA B10		
t(Semana)	f(t)	F(t)
4,058	4.25%	10.00%
4,056	4.24	10.00%

Fuente: Elaboración Propia

- Luego de haber obtenido los parámetros de Weibull, procedemos a calcular la confiabilidad para distintos MTBF. (Ver el Cuadro N° 5.8, en la página 55).

Cuadro N° 5.8

MTBF VS CONFIABILIDAD

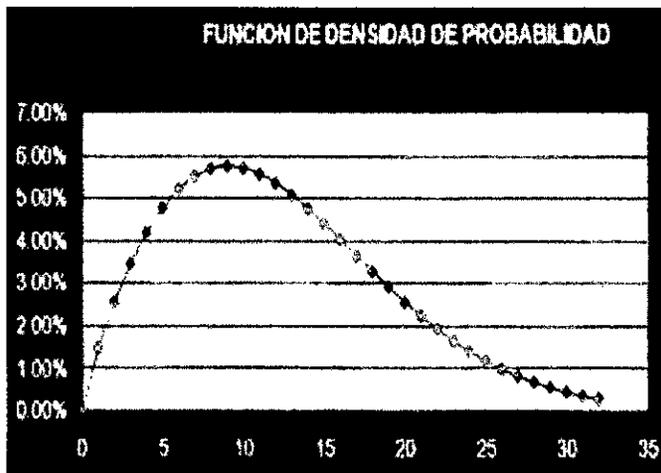
Tiempo	DENS. PROB. f(t)	DIST. ACUM. F(t)	CONFIAB. O SUPERV. R(t)	FUNC. RIESGO h(t)
0	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%
1	1.49%	0.82%	99.18%	1.50%
2	2.57%	2.87%	97.13%	2.65%
3	3.47%	5.91%	94.09%	3.69%
4	4.21%	9.76%	90.24%	4.66%
5	4.79%	14.27%	85.73%	5.59%
6	5.24%	19.30%	80.70%	6.49%
7	5.54%	24.70%	75.30%	7.36%
8	5.72%	30.34%	69.66%	8.21%
9	5.77%	36.10%	63.90%	9.04%
10	5.73%	41.85%	58.15%	9.85%
11	5.59%	47.52%	52.48%	10.64%
12	5.37%	53.00%	47.00%	11.43%
13	5.09%	58.24%	41.76%	12.20%
14	4.77%	63.17%	36.83%	12.96%
15	4.42%	67.77%	32.23%	13.71%
16	4.05%	72.00%	28.00%	14.45%
17	3.67%	75.86%	24.14%	15.18%
18	3.29%	79.33%	20.67%	15.91%
19	2.92%	82.44%	17.56%	16.63%
20	2.57%	85.18%	14.82%	17.34%
21	2.24%	87.58%	12.42%	18.04%
22	1.94%	89.67%	10.33%	18.74%
23	1.66%	91.46%	8.54%	19.43%
24	1.41%	93.00%	7.00%	20.12%
25	1.19%	94.29%	5.71%	20.80%
26	0.99%	95.38%	4.62%	21.47%
27	0.82%	96.28%	3.72%	22.15%
28	0.68%	97.03%	2.97%	22.81%
29	0.55%	97.65%	2.35%	23.48%
30	0.45%	98.14%	1.86%	24.13%
31	0.36%	98.55%	1.45%	24.79%
32	0.29%	98.87%	1.13%	25.44%

Fuente: Elaboración Propia

- Presentamos las gráficas obtenidas, tales como la función densidad de probabilidad, la función distribución acumulada, la función confiabilidad y la función riesgo o tasa de fallas.

Gráfica N° 5.2

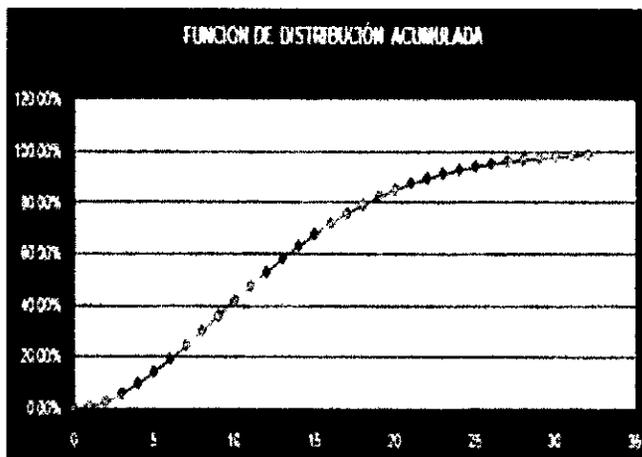
FUNCION DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD



Fuente: Elaboración Propia

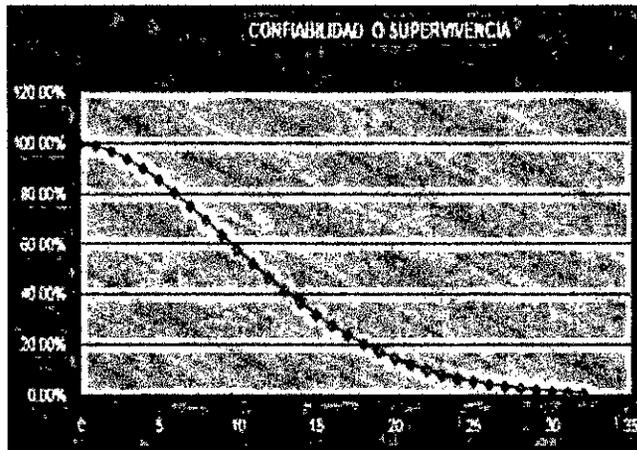
Gráfica N° 5.3

FUNCION DE DISTRIBUCION ACUMULADA



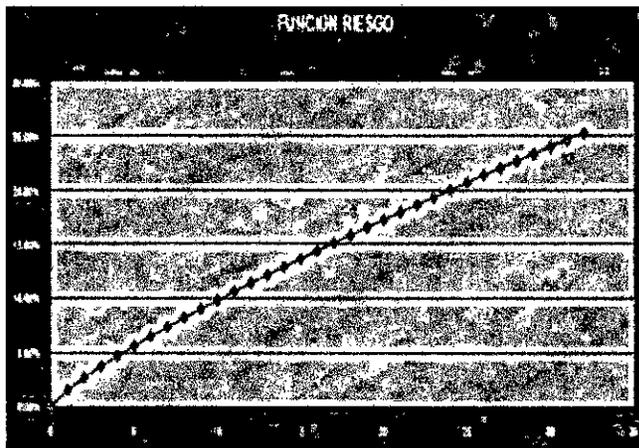
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica N° 5.4
FUNCION CONFIABILIDAD



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica N° 5.5
FUNCION RIESGO



Fuente: Elaboración Propia

FACTIBILIDAD ECONÓMICA

- A continuación se muestra el análisis necesario para encontrar el tiempo preciso para hacer el mantenimiento a la caldera de 200 BHP pues se tiene que considerar también el costo que este involucra para el área de mantenimiento.

Cuadro N° 5.9

	SOLES	DOLARES
Cf(\$)	S/. 10,273.95	\$ 3,555.00
Cp(\$)	S/. 18,511.50	\$ 6,450.00
M		\$ 782.00

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

Cf= costo de falla (correctivo)

Cp= costo preventivo

M=MTTF (esperanza de vida)

Consideraremos:

INICIO ti	0
dt	0.2

Fuente: Elaboración propia

$$\$/h = (F (ti)*Cf+R (ti)*Cp)/ (F (ti)*M (ti) +R (ti)*ti) \dots (5.1)$$

Se observa que una frecuencia de mantenimiento preventivo adecuada es aproximadamente a las 9 Semanas, ya que si se excede el tiempo, el costo (\$) se elevaría, con lo cual no resultaría viable económicamente.(Ver Cuadro N° 5.10, en la página 59).

Cuadro N° 5.10
MTBF vs COSTO

t(t)	f(t)	Integral t*f(t)*dt	F(t)	R(t)	M(t)	S/h	S/h
1	0.01491709	0.002983417	0.82%	99.18%	0.3617	3.597.821	10.109.977
1,2	0.01725382	0.004140918	1.15%	98.85%	0.3611	3.014.328	8.470.262
1,4	0.01949382	0.005458269	1.51%	98.49%	0.3604	2.599.834	7.305.534
1,6	0.02164715	0.006927088	1.93%	98.07%	0.3597	2.290.924	6.437.496
1,8	0.02372072	0.008539457	2.38%	97.62%	0.3588	2.052.377	5.767.179
2	0.02571941	0.010287764	2.87%	97.13%	0.3579	1.863.039	5.235.225
2,2	0.02794679	0.01216459	3.41%	96.59%	0.3569	1.709.564	4.803.876
2,4	0.02950551	0.014162643	3.98%	96.02%	0.3559	1.582.907	4.447.969
2,6	0.03129754	0.01627472	4.59%	95.41%	0.3547	1.476.903	4.150.097
2,8	0.03302442	0.018493677	5.23%	94.77%	0.3535	1.387.129	3.897.832
3	0.03468735	0.020812408	5.91%	94.09%	0.3523	1.310.344	3.682.067
3,2	0.03628726	0.023223845	6.62%	93.38%	0.3509	1.244.120	3.495.978
3,4	0.03782492	0.025720944	7.36%	92.64%	0.3495	1.183.601	3.334.350
3,6	0.03930096	0.028296695	8.13%	91.87%	0.3480	1.136.347	3.193.134
3,8	0.04071594	0.030944115	8.93%	91.07%	0.3465	1.092.219	3.069.135
4	0.04207033	0.033656262	9.76%	90.24%	0.3449	1.053.311	2.959.803
4,2	0.04336456	0.036426234	10.61%	89.39%	0.3432	1.018.838	2.863.075
4,4	0.04459907	0.039247183	11.49%	88.51%	0.3415	988.351	2.777.268
4,6	0.04577426	0.042112319	12.40%	87.60%	0.3397	961.208	2.700.993
4,8	0.04689054	0.04501492	13.32%	86.68%	0.3379	937.046	2.633.099
5	0.04794834	0.047948343	14.27%	85.73%	0.3360	915.522	2.572.617
5,2	0.04894811	0.050906031	15.24%	84.76%	0.3340	896.347	2.518.735
5,4	0.04989030	0.053881525	16.23%	83.77%	0.3320	879.274	2.470.759
5,6	0.05077542	0.056868471	17.24%	82.76%	0.3299	864.093	2.428.101
5,8	0.05160399	0.059860633	18.26%	81.74%	0.3278	850.624	2.390.254
6	0.05237658	0.062851899	19.30%	80.70%	0.3257	838.712	2.356.782
6,2	0.05309378	0.06583629	20.36%	79.64%	0.3234	828.223	2.327.308
6,4	0.05375623	0.068807972	21.42%	78.58%	0.3212	819.041	2.301.504
6,6	0.05436459	0.071761259	22.51%	77.49%	0.3189	811.062	2.279.086
6,8	0.05491958	0.074690627	23.60%	76.40%	0.3165	804.200	2.259.803
7	0.05542194	0.077590716	24.70%	75.30%	0.3141	798.376	2.243.437
7,2	0.05587246	0.08045634	25.81%	74.19%	0.3117	793.522	2.229.796
7,4	0.05627195	0.083282492	26.94%	73.06%	0.3092	789.578	2.218.713
7,6	0.05662128	0.08606435	28.07%	71.93%	0.3067	786.491	2.210.040
7,8	0.05692134	0.088797286	29.20%	70.80%	0.3041	784.215	2.203.645
8	0.05717304	0.091476865	30.34%	69.66%	0.3015	782.710	2.199.414
8,2	0.05737735	0.094098853	31.49%	68.51%	0.2988	781.938	2.197.246
8,4	0.05753525	0.096659222	32.64%	67.36%	0.2962	781.869	2.197.053
8,6	0.05764776	0.09915415	33.79%	66.21%	0.2935	782.476	2.198.757
8,8	0.05771592	0.101580025	34.94%	65.06%	0.2907	783.733	2.202.290
9	0.05774081	0.103933451	36.10%	63.90%	0.2879	785.620	2.207.593
9,2	0.05772350	0.106211242	37.25%	62.75%	0.2851	788.19	2.214.614
9,4	0.05766512	0.10841043	28.41%	61.59%	0.2823	791.214	2.223.311
9,6	0.05756680	0.110528264	39.56%	60.44%	0.2794	794.892	2.233.647

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 5.11

PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM

Nº	CÓDIGO			TIPO DE MTTTO.	TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA
1	1	A	3	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
2	1	B	3	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
3	2	A	1	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
4	2	A	3	M.B.C.	INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES	3 MESES
5	2	A	4	M.B.U.	VERIFICAR CON REGLA LA ALINEACIÓN DE LAS POLEAS	SEMANAL
6	2	B	1	M.B.U.	LIMPIEZA DEL FILTRO DE COMBUSTIBLE RESIDUAL	MENSUAL
7	2	B	3	M.B.U.	INSPECCIÓN VISUAL	DIARIO
8	2	B	4	M.B.U.	VERIFICAR LA TOLERANCIA SEGÚN MANUAL DEL FABRICANTE	6 MESES
9	2	B	5	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
10	2	B	6	M.B.C.	VERIFICAR CON REGLA LA ALINEACIÓN DE LAS POLEAS	SEMANAL
11	2	B	7	M.B.C.	ANALISIS VIBRACIONAL	2 MESES
12	3	A	3	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
13	3	B	3	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
14	4	A	1	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
15	4	A	3	M.B.C.	INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES	3 MESES
16	4	B	2	M.B.F.	CAMBIO DE SELLO MECÁNICO	6 MESES
17	4	B	3	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
18	4	B	5	M.B.C.	ALINEAMIENTO CON RELOJ COMPARADOR	3 MESES
19	4	B	6	M.B.C.	ANALISIS VIBRACIONAL	2 MESES
20	5	A	3	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
21	5	A	5	M.B.C.	INSPECCIÓN PERIODICA CON MEGOMETRO	2 MESES
22	5	B	2	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
23	6	A	2	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
24	6	A	3	M.B.C.	INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES	2 MESES
25	6	B	1	M.B.U.	CAMBIO DE VENTILADOR	1 AÑO
26	6	B	3	M.B.C.	ANALISIS VIBRACIONAL	2 MESES
27	6	B	4	M.B.C.	ANALISIS VIBRACIONAL	3 MESES
28	6	B	5	M.B.C.	ALINEAMIENTO CON RELOJ COMPARADOR	3 MESES
29	6	B	6	M.B.U.	CAMBIO DE LUBRICANTE	4 MESES
30	7	A	3	M.B.U.	INSPECCION PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
31	7	B	2	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
32	8	A	2	M.B.C.	INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES	4 MESES
33	8	A	4	M.B.U.	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	DIARIO
34	8	B	3	M.B.U.	CAMBIO DE LUBRICANTE SAE 10	4 MESES

LEYENDA	
M.B.F.	MTTO. BASADO EN LA FALLA
M.B.U.	MTTO. BASADO EN EL USO
M.B.C.	MTTO. BASADO EN LA CONDICIÓN

Fuente: Elaboración Propia

- En la siguiente tabla se muestra el ahorro por equipo de los sistemas que tiene la caldera de 200 BHP, teniendo como ahorro anual, la cantidad de s/. 38.190 (treinta y ocho mil ciento noventa nuevos soles) (ver cuadro N° 5.12)

Cuadro N° 5.12

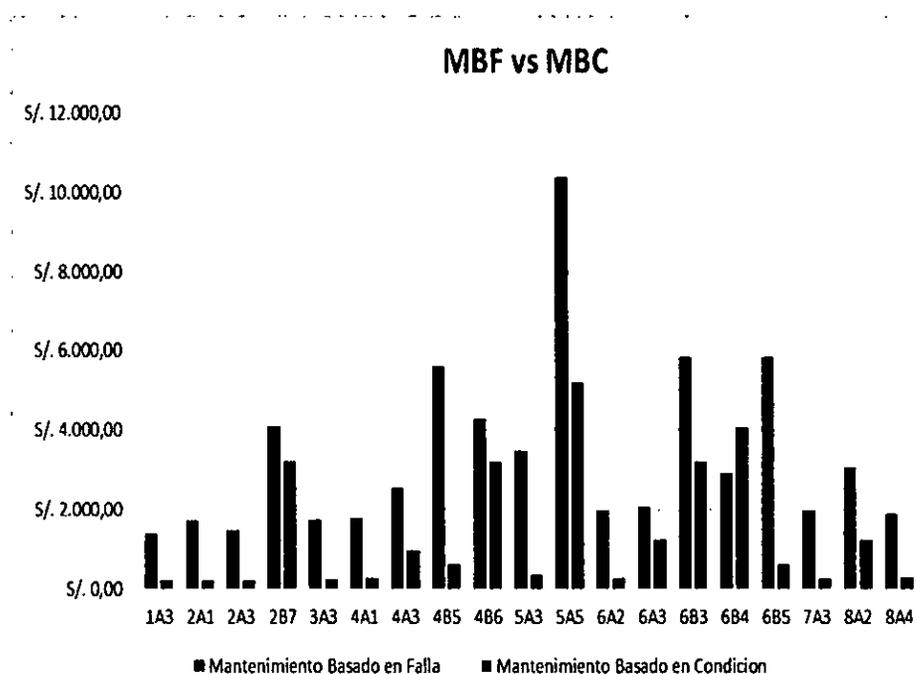
AHORRO ECONÓMICO

N°	CODIGO DE EQUIPOS	TAREA PROPUESTA	COSTO DE FALLA		COSTO DE TAREA BASADA EN LA CONDICION	AHORRO/AÑO
			NO ANTICIPADA	<>		
1	1A3	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	S/. 1.392.38	>	S/. 210.00	S/. 1.182.38
2	2A1	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	S/. 1.718.69	>	S/. 213.22	S/. 1.504.87
3	2A3	INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES	S/. 1.469.05	>	S/. 216.28	S/. 1.252.78
4	2B7	ANALISIS VIBRACIONAL	S/. 4.115.52	>	S/. 3.222.90	S/. 892.62
5	3A3	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	S/. 1.741.55	>	S/. 239.81	S/. 1.501.74
6	4A1	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	S/. 1.770.77	>	S/. 263.09	S/. 1.507.68
7	4A3	INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES	S/. 2.535.74	>	S/. 971.64	S/. 1.564.10
8	4B5	ALINEAMIENTO CON RAYOS LASER	S/. 5.612.77	>	S/. 617.15	S/. 4.995.62
9	4B6	ANALISIS VIBRACIONAL	S/. 4.290.93	>	S/. 3.222.90	S/. 1.068.03
10	5A3	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	S/. 3.498.78	>	S/. 356.14	S/. 3.142.64
11	5A5	INSPECCIÓN PERIODICA CON MEGOMETRO	S/. 10.386.97	>	S/. 5.212.08	S/. 5.174.89
12	6A2	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	S/. 1.978.63	>	S/. 260.95	S/. 1.717.68
13	6A3	INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES	S/. 2.064.14	>	S/. 1.236.51	S/. 827.53
14	6B3	ANALISIS VIBRACIONAL	S/. 3.848.78	>	S/. 3.222.94	S/. 2.625.84
15	6B4	ANALISIS VIBRACIONAL	S/. 2.924.39	<	S/. 4.066.39	S/. 1.142.00
16	6B5	ALINEAMIENTO CON RAYOS LASER	S/. 3.848.78	>	S/. 617.21	S/. 3.231.57
17	7A3	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	S/. 1.974.38	>	S/. 256.70	S/. 1.717.68
18	8A2	INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES	S/. 3.087.76	>	S/. 1.259.46	S/. 1.828.30
19	8A4	INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO	S/. 1.885.25	>	S/. 289.28	S/. 1.595.97
TOTAL			S/. 64,145.25	>	S/. 25,955.25	S/. 38,190

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica N° 5.6

COMPARACIÓN ENTRE LOS COSTOS ANTES Y DESPUES DEL RCM



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 5.13

RENOVACIÓN DE EQUIPOS

Descripción	Unidad	Marca	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Pirometro TempCheck plus, infrarrojo laser, -50°C a 55°C, 10:1	UND.	FAG	1	S/. 954.98	S/. 954.98
Vibration Analyser Vibropen TV200	UND	Rathnew Scientific Ltd	1	S/. 2,428.88	S/. 2,428.88
Alineador con rayos láser	UND.	Easy Laser	1	S/. 9,358.76	S/. 9,358.76
Megómetro Digital Heme Iso 1000, 2000	UND.	LEM NORMA	1	S/. 2,889.30	S/. 2,889.30
Detector de fisuras por 3 piezas	KIT	FAG	4	S/. 92.82	S/. 371.28
Total					S/. 16,013

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 5.14

RETORNO DE INVERSIÓN DE LOS EQUIPOS

EQUIPOS PARA M.B.C.	AHORRO POR TAREA/AÑO	INVERSIÓN	PAYBACK	UND.
PIRÓMETRO	S/. 13,870.62	S/. 954.98	26	DIAS
TINTES PENETRANTES	S/. 5,472.80	S/. 371.28	25	DIAS
ANÁLISIS VIBRACIONAL	S/. 3,444.50	S/. 2,428.88	9	MESES
ALINEADOR LASER	S/. 10,227.20	S/. 9,358.76	11	MESES
MEGÓMETRO	S/. 5,174.89	S/. 2,889.30	7	MESES
	S/. 38,190.01	S/. 16,013.20	6	MESES

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 5.15

COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL RCM

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	INVERSIÓN
H.H. PERSONAL	S/. 6,741.00
H.H. DE LOS COORDINADORES	S/. 9,437.40
INSUMOS, MATERIALES	S/. 4,044.60
EQUIPAMIENTO INFORMÁTICO	S/. 6,741.00
SUB TOTAL	S/. 26,964.00
EQUIPO NATURAL DE TRABAJO	S/. 8,988.00
COSTOS DE EQUIPOS DE MONITOREO	S/. 16,013.20
COSTO INTERNO DE IMPLEMENTACIÓN	S/. 26,964.00
COSTO TOTAL	S/. 51,965.20

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 5.16

RESUMEN DE COSTOS

DESCRIPCIÓN	COSTOS DE APLICAR RCM
INVERSIÓN INICIAL	S/. 35,952.00
BENEFICIO ANUAL	S/. 38,190.01
COSTOS DE EQUIPO DE MONITOREO	S/. 16,013.20

Fuente: Elaboración Propia

	A	UNIDADES
TASA DE INTERÉS	8%	%
PERIODO	3	AÑOS

Cuadro N° 5.17

EVALUACIÓN ECONÓMICA

	SÍMBOLO	0	1	2	3
INVERSIÓN INICIAL	P	-S/. 35,952			
COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO	A1		S/. 16,013	S/. 16,013	S/. 16,013
BENEFICIOS	B		S/. 38,190	S/. 38,190	S/. 38,190
SUMATORIA DESDE EL AÑO 1 AL 3		-S/. 35,952	S/. 22,176	S/. 22,176	S/. 22,176

VALOR ACTUAL NETO	VAN	S/. 21,199.80
COSTO ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE	CAUE	S/. 8,226.23
TASA INTERNA DE RETORNO	TIR	38%

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación de hipótesis con los resultados

6.1.1 Contratación de hipótesis General

Según el cuadro N° 5.12, se nota que con la implementación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) aplicado a la caldera de 200 BHP permitió reducir costos en la planta pesquera HAYDUK.

6.1.2 Contratación de hipótesis Especificas

- a) Implementado el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a la caldera y accesorios y la renovación de ciertos equipos y a su vez la capacitación del personal involucrado en la operación de estos, permitió reducir los costos de mantenimiento.
- b) Con la técnica del análisis de criticidad se logró identificar la caldera de 200 BHP como equipo crítico, lo cual nos permitió mejorar su confiabilidad.
- c) Con el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) se pudo priorizar la atención del mantenimiento de los componentes involucrados en los sistemas de la caldera.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

Luego de la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a la caldera de 200 BHP, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- a) Se logró reducir los costos de mantenimiento en la planta pesquera Hayduk, debido a la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a la caldera de 200 BHP, lo cual nos permite un ahorro de S/. 38,190 anuales.
- b) Con el Mantenimiento Centrado en la confiabilidad se adquirió equipos e instrumentos para la caldera de 200 BHP lo cual nos permitió alcanzar una confiabilidad 67.36% reduciendo los costos de mantenimiento.
- c) Se identificó con el análisis de criticidad el equipo crítico en la línea de producción, resultando ser la caldera de 200 BHP (ver el cuadro N° 5.1, p 45) materia de la investigación, que nos permitió mejorar su confiabilidad.
- d) Con la elaboración del Análisis de modo y efecto de fallas, mediante el cálculo el Numero de Prioridad de Riesgo (NPR) se determinó las prioridades de atención a cada equipo de los diferentes sistemas de la caldera de 200 BHP (ver el cuadro N° 5.2, en la página 46)

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES

- El Análisis de Modo y Efecto de falla debe retroalimentarse periódicamente debido a algunas fallas que no hayan sido consideradas en el AMEF y que pueden aparecer según transcurra el tiempo de vida de la caldera.
- El plan de mantenimiento propuesto es dinámico, el cual debe considerar nuevas técnicas de manutención que van apareciendo con la innovación tecnológica.
- Se recomienda cumplir estrictamente con las disposiciones del plan de mantenimiento elaborado para garantizar la reducción de los costos de funcionamiento de la caldera y componentes.
- Entrenar al personal involucrado en la operación de la planta HAYDUK para reducir tiempos de fallas y evitar el incremento de los costos de mantenimiento.

CAPITULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ARISTIZÁBAL TORRES, DANIEL. **Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa centrifugados concisa Ltda.** Tesis Título Profesional. Universidad tecnológica de Pereyra. Facultad Ingeniería Mecánica. Colombia 2007.
2. BECERRA, FABIANA. **Gestión del Mantenimiento.** Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/GestionBecerra.pdf>. Artículo Web. Consultado el 25 de Enero del 2018.
3. FABIAN GRIJALVA, WALTER REYNALDO. **Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una planta de café soluble.** Tesis Título Profesional. Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad Ingeniería Mecánica. Guatemala.2003.
4. Goodstein, Leonard D. (1998) *Planeación Estratégica Aplicada.* Colombia. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana. Primera Edición.
5. Mora Gutiérrez, Luis A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, Ejecución y Control.* México. Editorial Alfa y Omega. Primera Edición.
6. Moubray, John. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.* USA. Editorial Aladon LLC. Edición en Español.
7. Chauca, José (2017) Proceso de Operacionalizacion de Variables. Recuperado el 08 de Marzo del 2018, de <https://es.slideshare.net/mayhuasca2/proceso-de-operacionalizacion-de-variables>.
8. Smith, Anthony M. (1992) *Reliability Centered Maintenance.* New York. Editorial McGraw-Hill. Primera Edición.
9. PINZÓN ÁVILA, Alexander. **“Diseño de un plan de gestión para el mantenimiento centrado en la confiabilidad para el centro de generación eléctrica a base de gas de la empresa Copower LTDA”** Tesis Título Profesional. Universidad Industrial de Santander. Facultad Ingeniería Mecánica, Colombia 2011.

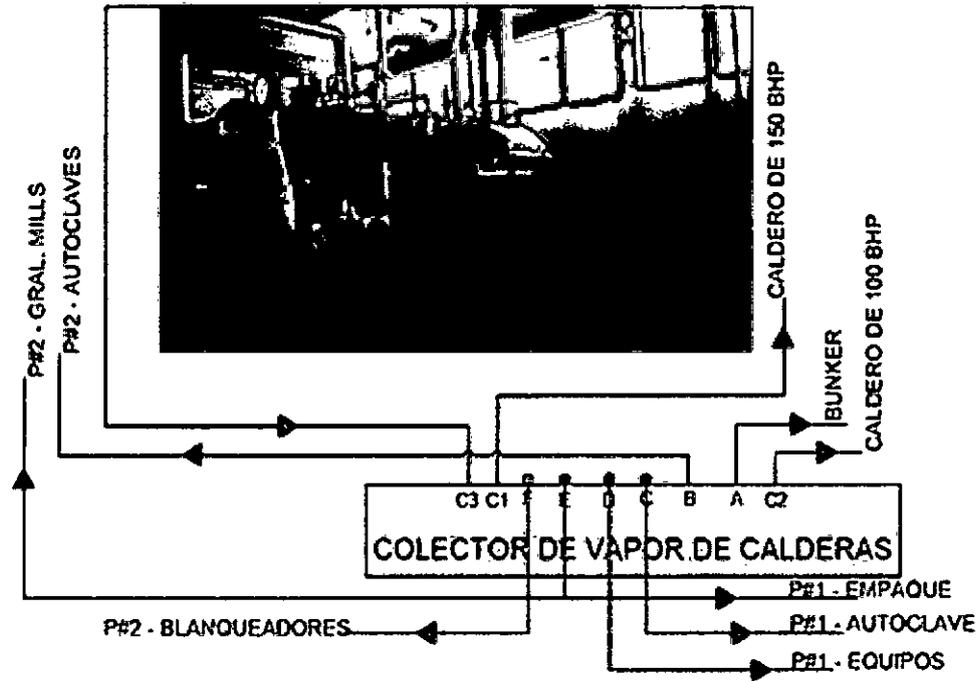
10. CAJAS MALDONADO, Carlos Alberto, JANETA MELO, Alberto Darwin. **“Planificación de mantenimiento basado en el método de la confiabilidad RCM para motores estacionarios de la planta Termopichincha S.A”**. Tesis Título Profesional. Escuela Politécnica Nacional. Facultad Ingeniería Mecánica, Ecuador 2009.
11. DA COSTA BURGA, Martín. **“Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores de gas de dos tiempos en pozos de alta producción”**. Tesis Título Profesional. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima 2010.
12. PALOMARES QUINTANILLA, Elvis David. **“Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al sistema de Izaje mineral, de la compañía minera Milpo, unidad “El porvenir”**. Tesis de Post Grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad Ingeniería Mecánica. Lima 2015.
13. Aguilera Nieves, Antonio (2011) *Gestión del mantenimiento de instalaciones de energía eólica*. España. Editorial Vértice
14. Tavares, Lourival (2000) *Administración Moderna de Mantenimiento*. Brasil. Recuperado el 08 de Marzo del 2018, de <https://es.slideshare.net/CarlosAlbertoZiga/administracion-moderna-de-mantenimiento-lourival-tavares>.
15. González Fernández, Francisco (2003). *Mantenimiento Industrial Avanzado*. España: Fundación Confemetal Editorial
16. Rodríguez Pascual J. (2002). *Manual del ingeniero de mantenimiento*. Chile: [s.n.]
17. Primitivo Reyes Aguilar. (2006) *Curso Confiabilidad*. México
18. Reyes Ocampo, Luis J. (1996). *Ingeniería de Mantenimiento. Teoría y Problemas resueltos*. Lima: Salvador Editores.
19. Belén Muñoz, Abella (2010). *Mantenimiento Industrial*. Universidad Carlos III de Madrid. España

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

<p>Problema General: ¿De qué manera la implementación del RCM a la caldera de 200 BHP permitirá reducir costos en la planta pesquera HAYDUK?</p> <p>Problemas Específicos: - ¿Con el RCM se podrá disponer de equipos confiables que permita reducir costos de mantenimiento? - ¿Con el análisis de criticidad se podrá identificar el equipo crítico en la línea de producción para mejorar su confiabilidad? - ¿Con la elaboración del AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) podremos conocer las prioridades de atención de los equipos usando los procedimientos adecuados?</p>	<p>Objetivo general: Implementar el RCM a la caldera de 200 BHP para reducir costos en la planta pesquera HAYDUK.</p> <p>Objetivo específico: - Disponer de equipos confiables basado en el RCM que permita reducir costos de mantenimiento. - Identificar el equipo crítico con el análisis de criticidad en la línea de producción para mejorar su confiabilidad en la planta de harina de pescado de la empresa HAYDUK. - Elaborar el AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) que definirá la prioridad de atención de componentes.</p>	<p>Hipótesis General: Con la implementación del RCM aplicado a la caldera de 200 BHP permitirá reducir costos en la planta pesquera HAYDUK.</p> <p>Hipótesis Específicas: - Con el RCM se dispondrá de equipos confiables que permitirá reducir costos de mantenimiento. - Con el análisis de criticidad se identificará el equipo crítico para mejorar su confiabilidad. - Elaborado el AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) se podrá definir la prioridad de atención de componentes.</p>	<p>Variables Independientes: Mantenimiento centrado en la confiabilidad Dimensión: Plan de mantenimiento Indicadores -MTBF -MTTR Reporte de fallas Indicadores -# fallas -Backlog Ciclo de vida Indicadores -Confiabilidad -Disponibilidad Variables dependientes: Reducción de costos Dimensión: Repuestos Indicadores: -Rotación de repuestos -Costos de repuestos Costos de mantenimiento Indicadores: -Rotación de activos -Presupuesto anual</p>	<p>Tipos de investigación: Los resultados finales del este trabajo de investigación de mantenimiento se podrán aplicar múltiples calderas utilizadas en las diversas plantas de producción de harina de pescado, por lo que podemos decir que esta investigación es del tipo tecnológica aplicada.</p> <p>Diseño de investigación: En este trabajo de investigación se está planteando un diseño de investigación no experimental de recolección de datos en un tiempo dado, por lo que se centrará el cumplimiento de los objetivos, y así plantear el plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la caldera de 200 BHP.</p> <p>Población y muestra Caldera de 200 BHP</p>
---	--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 3. ESQUEMA DE LOS SISTEMAS DE OPERACIÓN DE LA CALDERA DE 200 BHP



PROVEEDOR	EQUIPOS TERMICOS PERUANOS S.A.
DISPONIBILIDAD	24 HORAS
MARCA	EQUIPOS TERMICOS
MODELO	D3B-300-150
FABRICANTE	EQUIPOS TERMICOS PERUANOS S.A.
SERIE	AC 155 OT 328 F03

AÑOS DE FABRICACIÓN	2003
POTENCIA	200 BHP
PRESION MAX. TRABAJO	150 PSI
PRESION NORMAL TRABAJO	125 PSI
TIPO DE COMBUSTIBLE	BUNKER (R#)
CONSUMO COMBUSTIBLE	78 GLN/HORA

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 4. CUADRO PARA EVALUAR CRITICIDAD

IMPACTO EN SEGURIDAD		
N°	CRITERIO	PUNTAJE
0	No origina heridas ni lesiones	0
1	Puede ocasionar lesiones o heridas con incapacidad de 1-7 días	2
2	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad de 8-20 días	4
3	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 21 días	6
4	Puede ocasionar incapacidad permanente	8
5	Muerte	10
IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE		
N°	CRITERIO	PUNTAJE
1	No origina ningún impacto ambiental	0
2	Contaminación ambiental baja, impacto dentro de la planta, ocurrencia accidental	1
3	Contaminación ambiental media, impacto fuera de los límites de la planta, ocurrencia episódica	2
4	Contaminación ambiental alta, fuera de los límites de la planta, ocurrencia continua	3
5	Contaminación ambiental muy alta, fuera de los límites de la planta, ocurrencia continua, incumplimiento legal	4
IMPACTO EN PRODUCCIÓN		
N°	CRITERIO	PUNTAJE
1	No afecta a la producción	0
2	Perdidas en la producción entre 1% - 25%	1
3	Perdidas en la producción entre 26% - 50%	2
4	Perdidas en la producción entre 51% - 75%	3
5	Perdidas en la producción entre 76% - 100%	4
TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (TMPR ó MITR)		
N°	CRITERIO	PUNTAJE
0	Menor a 20 minutos	1
1	Entre 20 minutos y 1 hora	2
2	Entre 1 hora y 3 horas	3
3	Entre 3 horas y 8 horas	4
4	Entre 8 horas y 16 horas	5
5	Entre 16 horas a mas	6
FRECUENCIA DE FALLA		
N°	CRITERIO	PUNTAJE
0	Menores 2 fallas/año	1
1	Entre 2-4 fallas/año	2
2	Entre 4-10 fallas/año	3
3	Entre 10-30 fallas/año	4
4	Entre 30-50 fallas/año	5
5	Mayores a 50 fallas/año	6
COSTOS DE REPARACIÓN		
N°	CRITERIO	PUNTAJE
1	Menos de S/. 2000	1
2	Entre S/. 2000 y S/. 4000	2
3	Entre S/. 4000 y S/. 8000	3
4	Entre S/. 8000 y S/. 16000	4
5	Mayor a S/. 16000	5

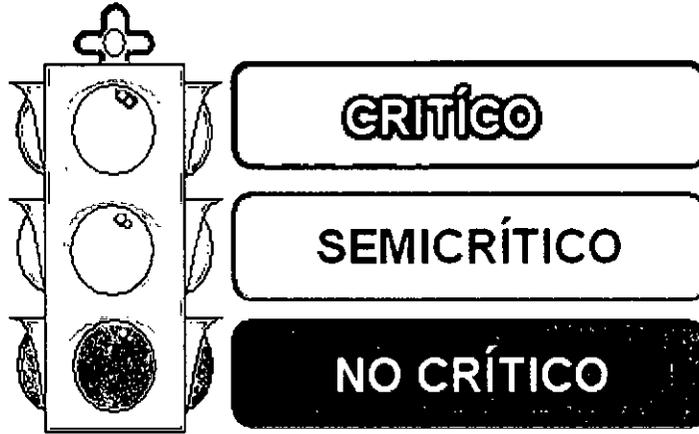
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 5. CRITERIOS A UTILIZAR PARA EVALUAR CRITICIDAD

CRITICIDAD = Frecuencia de Falla * Consecuencia

Donde:

Consecuencia = ((Nivel de producción x TMR x Imp. Producción) + Costo de reparación + Impacto en seguridad + Impacto ambiental)



ANEXO 6. SELECCIÓN DE PROCESO

		SUBPROCESOS	CODIGO	EQUIPOS
		LINEA DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO	GENERACIÓN II DE VAPOR	
	COL2-0006			COLECTOR DE VAPOR (MANIFUL)
	TAN3-0026			TANQUE ABLANDADOR N° 1
	TAN5-0028			TANQUE DE SALMUERA
	BOM3-0126			BOMBA HORIZONTAL DE AGUA BLANDA N° 1
PROCESO DE HARINA DE PESCADO			BLA4-0004	BLANQUEADOR DE HARINA DE PESCADO
			ENF2-0001	ENFRIADOR DE HARINA DE PESCADO
			FAJ2-0050	FAJA SANITARIA DE DESBRAQUEADO
			ELE1-0023	ELEVADOR CON BANDA SANITARIA
			FAJ2-0051	FAJA SANITARIA DE PERFILADO Y CORTE
			FAJ2-0052	FAJA SANITARIA DE ENVASADO
CERRADO			MAR6-0005	MARMITA "A"
			EXH2-0007	EXHAUSTER DE HARINA DE PESCADO N° 3
			CER3-0020	MAQUINA CERRADORA DE LATAS N° 20-CORAL
ESTERELIZADO			AUT2-0004	AUTOCLAVE N° 4 VECTOR - P1
			FAJ2-0116	FAJA DE CLASIFICACION N° 2
			COD1-0006	MAQUINA CODIFICADORA
ETIQUETADO Y EMPAQUE			MPA2-0006	MAQUINA PALETIZADORA N° 06
			FAJ3-0133	FAJA TRANSPORTADORA DE LATAS SIN ETIQUETA N° 01
			CHA1-0048	CHARNELA TRANSPORTADORA DE LATAS SIN ETIQUETA N°1
			ETI1-0005	MAQUINA ETIQUETADORA DE LATAS
			ENC1-0001	MAQUINA ENCOLADORA (PARA COLA CALIENTE)
			CHA1-0049	CHARNELA TRANSPORTADORA DE LATAS ETIQUETADAS N° 01
			FAJ3-0134	FAJA TRANSPORTADORA DE LATAS ETIQUETADAS N° 01
			MES3-0016	MESA DE ACUMULACION DE FOUR PACK
			EMB1-0005	MAQUINA EMBOLSADORA DE FOUR PACK
			FAJ3-0137	FAJA TRANSPORTADORA DE FOUR PACK N° 01

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 7. DIVISIÓN DEL PROCESO EN NIVEL DE DETALLE

PROCESOS	SUBPROCESOS	EQUIPOS	SISTEMAS
LINEA DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO P-1	GENERACIÓN DE VAPOR	CALDERA 200 BHP	QUEMADOR
			SISTEMA DE ENCENDIDO
			SISTEMA DE ATOMIZACIÓN DE AIRE – VAPOR
			LINEA DE PETROLEO
			SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE PETROLEO
			CONTROLES DE COMBUSTIÓN Y PANEL DE CONTROL
		COLECTOR-VAPOR DE CALDERAS	ALIMENTACIÓN DE AGUA
			INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL
		TANQUE ABLANDADOR N° 1	CONTROL DE FLUJO DE VAPOR
			CONTROL DE PARÁMETROS
		TANQUE DE SALMUERA	CONTROL FLUJO AGUA BLANDA
			CONTROL DE PARÁMETROS
	BOMBA HORIZONTAL DE AGUA BLANDA N° 1	CONTROL DE FLUJO	
		SISTEMA MECÁNICO	
		SISTEMA ELÉCTRICO	
		SISTEMA MECÁNICO	
	PROCESO DE HARINA DE PESCADO	BLANQUEADOR DE HARINA DE DOBLE EFECTO N° 2	CONTROL DE FLUJO
			PANEL DE CONTROL
			CONTROL DE PARÁMETROS
			SISTEMA MECÁNICO DE ELEVADOR
			SISTEMA ELÉCTRICO DE ELEVADOR
			SISTEMA MECÁNICO DE BLANQUEADOR
			SISTEMA ELÉCTRICO DE BLANQUEADOR
			PRECOCEDOR
		COCEDOR	
		ENFRIADOR DE HARINA DE PESCADO	CONTROL DE PARÁMETROS
			PANEL DE CONTROL DE PROCESO
		FAJA SANITARIA DE DESBRAQUEADO	SISTEMA MECÁNICO
	SISTEMA ELÉCTRICO		
	ELEVADOR CON BANDA SANITARIA	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	
		SISTEMA MECÁNICO	
	FAJA SANITARIA DE PERFILADO Y CORTE	SISTEMA MECÁNICO	
		SISTEMA ELÉCTRICO	
FAJA SANITARIA DE ENVASADO	SISTEMA MECÁNICO		
	SISTEMA ELÉCTRICO		
CERRADO	MARMITA "A"	SISTEMA MECÁNICO	
		SISTEMA ELÉCTRICO	
		CONTROL DE PARÁMETROS	
	EXHAUSTER DE HARINA DE PESCADO N° 3	SISTEMA MECÁNICO DE EXHAUSTER	
		SISTEMA ELÉCTRICO DE EXHAUSTER	
		CONTROL DE PARÁMETROS	
		PANEL DE CONTROL DE PROCESO	
	MÁQUINA CERRADORA DE LATAS N° 20- CORAL	SISTEMA MECÁNICO DEL EXTRACTOR DE VAPOR	
		SISTEMA ELÉCTRICO DEL EXTRACTOR DE VAPOR	
		SISTEMA MECÁNICO DE MÁQUINA CERRADORA	
		SISTEMA ELÉCTRICO DE MÁQUINA CERRADORA	
		SISTEMA HIDRÁULICO DE MÁQUINA CERRADORA	
SISTEMA NEUMÁTICO DE MÁQUINA CERRADORA			
SISTEMA MECÁNICO P' ABASTECIMIENTO DE TAPAS			
SISTEMA ELÉCTRICO P' ABASTECIMIENTO DE TAPAS			
SISTEMA ELECTRÓNICO P' ABASTECIMIENTO DE TAPAS			
SISTEMA NEUMÁTICO			
SISTEMA MECÁNICO			

LINEA DE PRODUCCIÓN DE HARINA P-1	ESTERILIZADO	AUTOCLAVE N° 4 VECTOR – P1	SISTEMA ELÉCTRICO
			INTERCAMBIADOR DE CALOR M10
			PANEL DE CONTROL DE PROCESO DE AUTOCLAVE
			REGISTRADOR DE TEMPERATURA Y PRESIÓN
			SISTEMA DE BOMBEO DE RECIRCULACIÓN DE AGUA
		CONTROL DE PARÁMETROS	
		FAJA DE CLASIFICACIÓN N° 02	SISTEMA MECÁNICO
			SISTEMA ELÉCTRICO
			SISTEMA DE SECADO
	MÁQUINA CODIFICADORA VIDEOJET	SISTEMA ELECTRÓNICO	
		SISTEMA ELÉCTRICO	
		SISTEMA NEUMÁTICO	
		SISTEMA DE INYECCIÓN DE TINTA	
		PANEL DE CONTROL	
	ETIQUETADO Y EMPAQUE	MÁQUINA PALETIZADORA N° 06	SISTEMA ELECTRÓNICO
			SISTEMA ELÉCTRICO
			SISTEMA MECÁNICO
			SISTEMA HIDRÁULICO
			PANEL DE CONTROL
			SISTEMA MECÁNICO DE MESA DE ACUMULACIÓN
			SISTEMA ELÉCTRICO DE MESA DE ACUMULACIÓN
		FAJA TRANSPORTADORA DE LATAS SIN ETIQUETA N° 01	SISTEMA MECÁNICO
			SISTEMA ELÉCTRICO
CHARNELA TRANSPORTADORA DE LATAS SIN ETIQUETA N° 01		SISTEMA MECÁNICO	
		SISTEMA ELÉCTRICO	
MÁQUINA ETIQUETADORA DE LATAS		SISTEMA MECÁNICO	
		SISTEMA ELÉCTRICO	
		SISTEMA HIDRÁULICO	
		SISTEMA DE ETIQUETADO	
		SISTEMA MECÁNICO DEL EXTRACTOR DE GASES	
SISTEMA ELÉCTRICO DEL EXTRACTOR DE GASES			
CONTROL DE PARÁMETROS			
MÁQUINA ENCOLADORA (PARA COLA CALIENTE)		SISTEMA MECÁNICO	
		SISTEMA ELÉCTRICO	
	SISTEMA NEUMÁTICO		
CHARNELA TRANSPORTADORA DE LATAS ETIQUETADAS N° 01	SISTEMA MECÁNICO		
	SISTEMA ELÉCTRICO		
FAJA TRANSPORTADORA DE LATAS ETIQUETADAS N° 01	SISTEMA MECÁNICO		
	SISTEMA ELÉCTRICO		
MESA DE ACUMULACIÓN DE FOUR PACK	SISTEMA MECÁNICO		
	SISTEMA ELÉCTRICO		
	CONTROL DE PARÁMETROS		
MÁQUINA EMBOLSADORA DE FOUR PACK	SISTEMA MECÁNICO DE EMBOLSADORA		
	SISTEMA ELÉCTRICO DE EMBOLSADORA		
	SISTEMA MECÁNICO DE HORNO TERMOENCOGIBLE		
	SISTEMA ELÉCTRICO DE HORNO TERMOENCOGIBLE		
	SISTEMA ELECTRÓNICO DE HORNO TERMOENCOGIBLE		
	CONTROL DE PARÁMETROS		
	PANEL DE CONTROL		
SISTEMA MECÁNICO DE FAJA			
SISTEMA ELÉCTRICO DE FAJA			
FAJA TRANSPORTADORA DE FOUR PACK N° 01	SISTEMA MECÁNICO		
	SISTEMA ELÉCTRICO		
	CONTROL DE PARÁMETROS		

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 8. DIVISIÓN DEL EQUIPO EN NIVEL DE DETALLE

EQUIPO	SISTEMAS	SUBSISTEMAS	COMPONENTES PRINCIPALES
CALDERA 200 BHP	QUEMADOR	MOTOR ELÉCTRICO DE 15HP	RODAMIENTOS BOBINADO EJE CARBONES ESTATOR SELLO DE RODAMIENTO EJE DE MODULACIÓN DE 5/8" DIAMETRO BRAZO DE MODULACIÓN ESCALA DE APERTURA DE AIRE CAJA DE VENTILADOR CONO SUCCIÓN DE VENTILADOR PALETAS DE REGULACIÓN DE AIRE VARILLAS DE MODULACIÓN DE DIAMETRO 5/16"
		VENTILADOR DE 12 3/16 x 5" DE GIRO HORARIO	DIFUSOR DE ACERO INOXIDABLE DIFUSOR DE HIERRO CONO REFRACTARIO
		TOBERA MONARCH DE 150 GPH	PILOTO DE ENCENDIDO ELECTRODO DE ENCENDIDO CABLE AUTOMOTRIZ ALTA TENSIÓN TRANSFORMADOR DE IGNICIÓN VALVULA SELENOIDE 1/2" DIAMETRO VALVULA TIPO BOLA 1/2" VALVULA REDUCTORA DE PRESIÓN CONECTOR CURVO PARA ELECTRODO
	SISTEMA DE ENCENDIDO	PILOTO DE ENCENDIDO	ELEMENTO FILTRANTE PARA COMPRESOR RECIPIENTE LUBRICADOR ACOPLAMIENTO FLEXIBLE VALVULA CHECK MARCA SWING DE 3/4 FILTRO PARA VAPOR 3/8 VALVULA DE SELENOIDE DE 3/8 VALVULA DE ALIVIO DE 3/8 VALVULA TIPO CCKECK DE 3/4 MANOMETRO DE 0-30 PSI
		TRANSFORMADOR DE IGNICIÓN	RODAMIENTOS BOBINADO EJE CARBONES ESTATOR SELLO DE RODAMIENTOS
	SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE AIRE - VAPOR	COMPRESORA	MANOMETRO DE 0-300 PSI TERMOMETRO DE 0-300 °C FILTRO DE 1 1/2" CON MALLA N° 20 VALVULA FULFLO DE 1/2 VALVULA REGULADORA DE CAUDAL 3/8 VALVULA SELENOIDE PRINCIPAL 1/2 VALVULA TIPO COMPUERTA VALVULA TIPO COMPUERTA DE 1 1/2"
		MOTOR ELÉCTRICO DE 3HP	RODAMIENTOS BOBINADO EJE CARBONES ESTATOR SELLO DE RODAMIENTOS
	LÍNEA DE PETRÓLEO	BOMBA MARCA VIKING MODELO H432	CONTROLADOR DE TERMOCUPLA RESISTENCIA ELÉCTRICA DE 10 KV x 220V PRECALENTADOR MIXTO CONTROLADOR DE TEMPERATURA FILTRO DE 3/4 TIPO Y PARA VAPOR FILTRO DE VAPOR DE 1/2
		MOTOR ELÉCTRICO DE 2 HP	REOSTATO DE MODULACIÓN EJE ESTATOR RODAMIENTOS NUCLEO BOBINAS MATERIALES AISLANTES
	SISTEMA CALENTAMIENTO DE PETRÓLEO	PRECALENTADOR A VAPOR	TARJETA MADRE AMPLIFICADOR RODAMIENTOS EJE ROTOR
	CONTROLES DE COMBUSTIÓN Y PANEL DE CONTROL	MOTOR MODUTROL	SELLO MECÁNICO EJE IMPULSOR VOLUTA
		TRANSFORMADOR PARA MOTOR	CONTROL DE NIVEL JUEGO DE VALVULAS TRY CROKS JUEGO DE VALVULAS PARA TUBO DE NIVEL TUBO DE NIVEL LINEA ROJA MANOMETRO PRINCIPAL 0-250 PSI PRESOSTATO L404 A 0-150 PSI CONTROL DE NIVEL PARA ELECTRODOS VALVULA DE SEGURIDAD DE 2" TERMOMETRO PARA GASES 100-450 °C
	ALIMENTACIÓN DE AGUA	MODULO DE DISPLAY CON TECLADO	
		MOTOR WEB DE 7.5 HP	
	INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL	BOMBA DE AGUA MARCA SALMSON	
		SEGURIDAD Y FUNCIONAMIENTO	

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 9. PROPÓSITO DE CADA SISTEMA DE LA CALDERA

NIVEL DE DETALLE	NOMBRE DEL NIVEL DE DETALLE	PROPÓSITO
Proceso:	LINEA DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO P-I	PRODUCTO ELABORADO
Sub-proceso:	GENERACIÓN DE VAPOR	COCCIÓN DE MATERIA PRIMA
Equipo:	CALDERA 200 BHP	GENERAR VAPOR
Sistema 1:	QUEMADOR	PROPORCIONA ENERGIA CALORIFICA
Subsistema:	MOTOR ELECTRICO DE 15 HP – VENTILADOR	PROPORCIONA ENERGIA MECÁNICA
Sistema 2:	SISTEMA DE ATOMIZACIÓN DE AIRE – VAPOR	CREAR AMBIENTE NECESARIO PARA LA COMBUSTIÓN
Subsistema:	MOTOR ELECTRICO DE 3 HP – COMPRESORA	GENERAR AIRE A PRESIÓN 15 PSI
Sistema 3:	LINEA DE PETROLEO	ALIMENTAR DE COMBUSTIBLE AL QUEMADOR
Subsistema:	MOTOR ELECTRICO DE 2HP – BOMBA DE PISTONES	SUMINISTRAR COMBUSTIBLE AL QUEMADOR A 80 PSI
Sistema 4:	ALIMENTACIÓN DE AGUA	ALIMENTAR AGUA AL CALDERO PIROTUBULAR
Subsistema:	MOTOR ELECTRICO DE 7.5 HP – BOMBA CENTRIFUGA	BOMBLEAR AGUA BLANDA AL CALDERO A 150 PSI
Sistema 5:	SISTEMA DE ENCENDIDO	ENCENDER EL CALDERO PIROTUBULAR
Subsistema:	PILOTO DE ENCENDIDO	ACTIVAR ELECTRODO DE ENCENDIDO
Sistema 6:	SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE PETROLEO	PRECALENTAR Y CONTROLAR EL COMBUSTIBLE
Subsistema:	PRECALENTADOR A VAPOR	CONTROLAR LA TERMOCUPLA
Sistema 7:	INSTRUMENTACION DE CONTROL	SEGURIDAD Y FUNCIONAMIENTO DEL CALDERO
Subsistema:	FUNCIONAMIENTO	CONTROLAR LAS VALVULAS Y MANOMETROS DEL CALDERO
Sistema 8:	CONTROLES DE COMBUSTION Y PANEL DE CONTROL	FIJAR PARAMETROS DE OPERACIÓN DEL CALDERO
Subsistema	MODULO DISPLAY CON TECLADO	CONTROLAR PARAMETROS DE OPERACIÓN

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 10. FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO

	FICHA TECNICA DEL EQUIPO		DEPARTAMENTO: MANTENIMIENTO
COMPañÍA	HAYDUK	HAYDUK CORPORACION	
CODIGO DE EQUIPO	CAL3-0001	CALDERO DE 200 BHP	
PAIS	PERU	PERU	
SISTEMA	CALDER	CALDEROS	
CENTRO DE COSTOS	901001009		
PROVEEDOR	EQUIPOS TERMICOS PERUANOS S.A.		
AREA OPERATIVA	MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO	
PRIORIDAD	CRITICO	CRITICO	
CLASE	CAL	CALDERO	
DATOS FUNCIONALES			
UBICACIÓN	MA-CALDEROS	MANTENIMIENTO CALDEROS	
TIPO	PIROTUBULAR	DISPONIBILIDAD	24 Horas
	AUTOMATICO	PROGRAMADOR	HONEYWELL R - 4140
FUNCIÓN	PRODUCIR VAPOR	Nº PASOS	2
DATOS DEL FABRICANTE			
MARCA	EQUIPOS TERMICOS	MODELO	D3B - 300 -150
FABRICANTE	EQUIPOS TERMICOS PERUANOS S.A	SERIE	AC 155 IT 329 P03
Nº PEDIDO		AÑO DE FABRICACION	2004
CARACTERISTICAS			
UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD	UNIDAD DE COMPRA	UNIDAD
POTENICA	200 BHP	CAPACIDAD MAXIMA	6250 Kg Vapor / Hr
PRESION MAX TRABAJO	150 PSI	TIPO COMBUSTIBLE	Bunker
PRESION NORM TRABAJO	125 PSI	CONSUMO COMBUSTIBLE	70 GLN / Hora
MONITORIZACION			
EQUIPO	BOMBA COMBUSTIBLE	BOMBA DE AGUA	COMPRESOR
MARCA	# REF	SALMSON	GAST
MODELO	H432	V808-05E	2565-P19
POTENCIA	2 HP	7.5 HP	3 HP
VOLTAJE	440 V.	440 V.	440 V.
RPM	1200	3450	1720



Fuente: Empresa Hayduk

ANEXO 11. FORMATO DE ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF)

SISTEMA:			SISTEMA DE XXXX			AMEF			
SUBSISTEMA:			MOTOR XXXX						
IN°	FUNCION	FALLA FUNC	MODO FALLA	EVIDENTE	EFEECTO DE FALLA	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCION	INPR
MOTX-XXXX 1	A		1						
			2						
			3						
	B		1						
			2						
			3						

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 12. ANALISIS DE MODO EFECTO Y FALLAS DEL SISTEMA DE LÍNEA DE PETROLEO

SISTEMA		LÍNEA DE PETRÓLEO				AMEP					
Nº	FUNCIÓN	SUBSISTEMA		MOTOR ELÉCTRICO = BOMBA DE COMBUSTIBLE		SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR		
		FALLA/EVENC	MODALIDAD	EVIDENTE	EFFECTO/FALLA						
1	Generar un trabajo mecánico, impulsar el eje de entrada de la bomba de pistones radiales, a una velocidad de 1200 RPM y una potencia de 2 HP	A	Ser totalmente incapaz de impulsar el eje de entrada de la bomba de pistón radial	1	No existe suministro de energía eléctrica al subsistema	SI	El motor no arranca ni se energiza, la planta de VIRU se queda sin suministro de energía eléctrica, existe una falla en el suministro por parte de Casa de Fuerza, se enciende los generadores diésel AC de emergencia para restablecer el suministro Tiempo máximo para la conmutación : 10 minutos con un electricista	8	2	2	32
				2	Falla en el terminal de conexión de alimentación	SI	El motor no arranca ni se energiza, controle la tensión en el terminal de conexión de alimentación y la correcta sección de los conductores, si es necesario cambiar los terminales de conexión Tiempo para cambio: 20 minutos con un electricista	7	3	2	42
				3	Eje bloqueado por rodamientos agarratados	SI	El motor no arranca ni se energiza, suena la alarma en el tablero de control indicando la paralización del equipo, requiere cambio de motor trabado por los rodamientos agarratados; se cuenta con un motor en stand by Tiempo mantenimiento: 3 horas, con un mecánico y un electricista	8	3	5	120
				4	Relé térmico del motor esta disparado	SI	El motor se detiene por motivo de una elevación de corriente, como consecuencia de sobre esfuerzo consumiendo más corriente. Inmediatamente revisar los sistemas de alimentación eléctrica y se procede a reparar la falla Tiempo para reparar: 20 minutos, con un electricista	8	6	3	144
				5	Existe un daño interno en el estator del motor	NO	El motor se energiza pero no arranca, no es posible impulsar el eje de entrada de la bomba de pistones radiales, la falla de común es un corto entre vueltas, esto reduce la habilidad de producir un campo magnético balanceado. Esto a la vez trae otras consecuencias como un aumento en la vibración de la máquina, y por ende degradación del aislamiento y daños a los rodamientos del motor, se cuenta con un motor en stand by Tiempo para reemplazar: 3 horas, con un mecánico y un electricista	7	2	2	28
				6	Dirección de giro cambiado	SI	El motor se energiza pero no hay flujo en la bomba de pistones radiales, verificar el sentido del giro del motor, intercambiar dos de los tres hilos o fases de alimentación al motor Tiempo de cambio: 30 minutos, con un electricista	8	2	2	32
		B	Transfiere una potencia menor a la del rango establecido	1	Existe un daño en el elemento de control	NO	El motor se energiza, arranca, pero no proporciona la potencia necesaria para impulsar el eje de entrada de la bomba de pistones radiales, requerido dentro del proceso; se revisa el motor por separado, y se encuentra en buen estado, existen posibles daños en los elementos de control de maniobra, se da aviso a mantenimiento eléctrico Tiempo para reparar: 30 minutos, con un electricista	7	4	5	140
				2	Falta por vida útil del motor	SI	El motor se energiza, arranca pero no proporciona la potencia necesaria para impulsar el eje de entrada de la bomba de pistones radiales, se saltan las protecciones del motor, posibles daños internos del motor, pérdida de eficiencia; se inspecciona el motor y se reemplazan elementos averiados Tiempo para reemplazar: 45 minutos con un electricista	5	2	5	50
				3	Ruido excesivo en los rodajes	SI	Existe excesivo ruido y calentamiento en los rodamientos, el cual genera un sobre esfuerzo en el motor, se da aviso a mantenimiento mecánico, se examina el motor y se corrigen las fallas Tiempo para reparar: 2 horas con un mecánico y un electricista	8	5	3	90
				4	Desgaste en el aislamiento del motor	NO	El motor se energiza, arranca, pero durante el transcurso del proceso se detiene varias veces, se detiene la bomba de pistones radiales, se repara el motor y se revisan las piezas averiadas en el taller de mantenimiento eléctrico, el aislamiento del motor se sale del rango Tiempo para reparar: 4 horas, con 2 electricista	5	1	7	35

N°	FUNCION	FALLA FUNC	MODO FALLA	EVIDENTE	EFECTO DE FALLA	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCION	NPR			
BOMBA 2039	2	A	No bombea fluido la bomba de pistón radial H432	1	Eje bloqueado por rodamientos agarrotados	SI	No bombea fluido la bomba de pistón radial, suena la alarma en el tablero de control indicando la paralización del equipo, requiere cambio de eje trabado por los rodamientos agarrotados, se da aviso a mantenimiento mecánico para corregir la falla Tiempo para reparar: 4 horas, con un mecánico y un electricista	8	3	5	120	
				2	Falla de la válvula solenoide principal	SI	No bombea fluido, la bomba de pistones radiales, válvula solenoide de petróleo no abre, verificar si llega la tensión correcta y continuidad a la bobina. De ser necesario cambiar la válvula. Tiempo de mantenimiento: 2 horas, con un electricista	8	4	4	128	
				3	Componentes internos de la bomba fracturados	NO	Estas bombas de pistones radiales son muy sensibles a la contaminación de aceite, por sus elevados niveles de ajustes y bajas tolerancias de fabricación. Desmontar la bomba y cambiar los componentes fracturados Tiempo mantenimiento: 3 horas, con un mecánico y un electricista	8	2	6	96	
				4	Faja en V A-53 rota	SI	La faja rota impide la transmisión de movimiento hacia la bomba de pistones radiales, lo cual genera que la bomba deje de impulsar fluido al sistema. Se requiere cambio de faja inmediatamente Tiempo de cambio: 2 horas con dos mecánicos	8	4	3	96	
				5	Falla total de la Válvula de control de caudal	SI	Obstrucción del flujo total por falla de la válvula de control de caudal, proceder a su desmontaje, cambiar los componentes dañados, si fuese necesario reemplazarlo por completo Tiempo de mantenimiento: 1.5. horas, con un mecánico	8	3	4	96	
		B	Envía más o menos de 70 - 80 PSI al sistema	Envía más o menos de 70 - 80 PSI al sistema	1	Filtro de combustible residual obstruido	SI	Disminución del flujo y contaminación del combustible residual, debido a los filtros obstruidos, verificar que estén limpios, si fuese necesario cambiarlos según nuevo cronograma de mantenimiento Tiempo de cambio: 20 minutos, con un mecánico	6	5	3	90
					2	Desgaste en empaques del filtro de combustible residual	SI	Fugas y disminución del combustible debido a los empaques desgastados, verificar que estén en buen estado, si fuese necesario cambiarlos Tiempo de cambio: 30 minutos, con un mecánico	5	4	2	40
					3	Fugas en conexiones de bomba	SI	Existen fugas a través de las conexiones de la bomba de pistones radiales, el cual deja escapar fluido al exterior contaminando al ambiente. Se da aviso a mantenimiento mecánico y se procede a cambiar las partes dañadas Tiempo de cambio: 2 horas, con 2 mecánicos	5	4	5	100
					4	Desgastes en los componentes internos de la bomba	NO	Disminución de la eficiencia de la bomba de pistones radiales, controlar el juego (tolerancias según manual de fabricante) de las piezas sometidas a desgaste, cambiar si es necesario las piezas dañadas Tiempo de cambio: 2 horas, con 2 mecánicos	6	2	6	72
					5	Ruido excesivo en los rodajes	SI	Existe excesivo ruido y calentamiento en los rodamientos de la bomba debido a la contaminación en el lubricante, se da a viso a mantenimiento mecánico, se examina el equipo y se corrigen las fallas Tiempo de cambio: 2 horas, con 2 mecánicos	7	5	3	105
					6	Desalineamiento entre las poleas de la bomba y motor	SI	Se presenta un ruido por rozamiento y vibración anormal, causando un mal funcionamiento en el sistema, disminuyendo su rendimiento (menos flujo de combustible). Es necesario detener el equipo para su mantenimiento y alineamiento correspondiente Tiempo para alinear: 3 horas, con 2 mecánicos especialistas	7	3	6	126
					7	Soltura mecánica en la bomba y motor	SI	Ruido excesivo y vibraciones en bomba y motor causando un mal funcionamiento en el sistema, disminuyendo su rendimiento (menos flujo de combustible). Se avisa a un mecánico para revisar y corregir el problema	6	3	6	108

ANEXO 13. ANALISIS DE MODO EFECTO Y FALLAS DEL SISTEMA DE ALIMENTACION DE AGUA

SISTEMA:		ALIMENTACIÓN DE AGUA					AMEF				
SUBSISTEMA:		MOTOR ELECTRICO - BOMBA DE AGUA					SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCION	NPR	
TRV	FUNCION	FALLA FUNC	MODO FALLA	EVIDENTE	EFEECTO DE FALLA						
MOTZ-0798	3	A	Ser totalmente incapaz de impulsar el eje de entrada de la bomba centrífuga	1	No existe suministro de energía eléctrica al subsistema	SI	El motor no arranca ni se energiza, la planta de VIRU se queda sin suministro de energía eléctrica, existe una falla en el suministro por parte de Casa de Fuerza, se enciende los generadores diésel AC de emergencia para restablecer el suministro Tiempo máximo para la conmutación : 10 minutos con un electricista	8	2	2	32
				2	Falla en el terminal de conexión de alimentación	SI	El motor no arranca ni se energiza, controle la tensión en el terminal de conexión de alimentación y la correcta sección de los conductores, si es necesario cambiar los terminales de conexión Tiempo para cambio: 20 minutos con un electricista	7	3	2	42
				3	Eje bloqueado por rodamientos agarrotados	SI	El motor no arranca ni se energiza, suena la alarma en el tablero de control indicando la paralización del equipo, requiere cambio de motor trabado por los rodamientos agarrotados; se cuenta con un motor en stand by Tiempo mantenimiento: 4 horas, con un mecánico y un eléctrico	8	3	5	120
				4	Rele térmico del motor esta disparado	SI	El motor se detiene por motivo de una elevación de corriente, como consecuencia de sobre esfuerzo consumiendo más corriente. Inmediatamente revisar los sistemas de alimentación eléctrica y se procede a reparar la falla Tiempo para reparar: 30 minutos, con un electricista	8	6	3	144
				5	Existe un daño interno en el estator del motor	NO	El motor se energiza pero no arranca, no es posible impulsar el eje de entrada de la bomba de pistones, la falla de común es un corto entre vueltas, esto reduce la habilidad de producir un campo magnético balanceado. Esto a la vez trae otras consecuencias como un aumento en la vibración de la máquina, y por ende degradación del aislamiento y daños a los rodamientos del motor, se cuenta con un motor en stand by Tiempo para reemplazar: 4 horas, con un mecánico y un electricista	7	2	2	28
				6	Dirección de giro cambiado	SI	El motor se energiza pero no hay flujo en la bomba centrífuga, verificar el sentido del giro del motor, intercambiar dos de los tres hilos o fases de alimentación al motor Tiempo de cambio: 30 minutos, con un electricista	8	2	2	32
		B	Transfiere una potencia menor a la del rango establecido	1	Existe un daño en el elemento de control	NO	El motor se energiza, arranca, pero no proporciona la potencia necesaria para impulsar el eje de entrada de la bomba centrífuga, requerido dentro del proceso; se revisa el motor por separado, y se encuentra en buen estado, existen posibles daños en los elementos de control de maniobra, se da aviso a mantenimiento eléctrico Tiempo para reparar: 45 minutos, con un electricista	7	4	5	140
				2	Falla por vida útil del motor	SI	El motor se energiza, arranca pero no proporciona la potencia necesaria para impulsar el eje de entrada de la bomba centrífuga, se saltan las protecciones del motor, posibles daños internos del motor, pérdida de eficiencia; se inspecciona el motor y se reemplazan elementos averiados Tiempo para reemplazar: 1 hora con un electricista	5	2	5	50
				3	Ruido excesivo en los rodajes	SI	Existe excesivo ruido y calentamiento en los rodamientos, el cual genera un sobre esfuerzo en el motor, se da aviso a mantenimiento mecánico, se examina el motor y se corrigen las fallas	6	5	3	90

N°	FUNCIÓN	FALLA FUNC	MODO FALLA	EVIDENTE	EFEECTO DE FALLA	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	
BOM2-0088	4	A	No bombea fluido la bomba centrífuga	1	SI	No bombea fluido la bomba centrífuga, suena la alarma en el tablero de control indicando la paralización del equipo, requiere cambio de eje trabado por los rodamientos agarrotados, se da aviso a mantenimiento mecánico para corregir la falla Tiempo para reparar: 4 horas, con dos mecánicos y un electricista	8	3	5	120
				2	NO	El Impulsor suelto genera que la bomba centrífuga deje de impulsar fluido al sistema, pudiendo ocasionar incluso un recalentamiento del motor. Se da aviso a mantenimiento mecánico para su ajuste respectivo. Tiempo para ajuste: 45 minutos, con un mecánico	7	2	3	42
				3	NO	No bombea fluido la bomba centrífuga, desmontar y verificar estado de los componentes, cambiar si es necesario componentes dañados. Comprobar el grado de suciedad del agua y la altura del fondo a la válvula de pie, cambiar la red metálica de malla fina en la válvula de pie Tiempo mantenimiento: 3 horas, con dos mecánicos y un electricista	8	2	6	96
BOM2-0088	4	B	Envía mas o menos de 150 PSI al sistema	1	SI	Falla en el sistema de seguridad por alto nivel de agua Falla del sensor de nivel, suena la alarma en el tablero de control indicando la paralización del equipo, se detecta alto nivel de agua mayor a 2/3 del nivel de vidrio. Se da aviso a mantenimiento eléctrico para su respectiva reparación. Tiempo para reparar: 30 minutos, con un electrónico y un electricista	7	3	3	63
				2	SI	Fuga de fluido por sello mecánico deteriorado Deterioro de sello mecánico, hace que entre las ceras del sello se produzca una pérdida de fluido, ingresando este al rodamiento de base, deteriorando prematuramente la grasa del rodoje, desmontar y comprobar su estado del sello mecánico, sustituir todo el sello para más garantía Tiempo de cambio: 2 horas, con dos mecánicos	6	4	3	72
				3	SI	Ruido excesivo en los rodajes Existe excesivo ruido y calentamiento en los rodamientos de la bomba debido a la contaminación en el lubricante, se da a viso a mantenimiento mecánico, se examina el equipo y se corrigen las fallas Tiempo para reparar: 3horas, con dos mecánicos	7	5	3	105
				4	NO	Desgastes en los componentes internos de la bomba Disminución de la eficiencia de la bomba centrífuga, controlar el juego (tolerancias según manual de fabricante) de las piezas sometidas a desgaste, cambiar si es necesario las piezas dañadas Tiempo de cambio: 2 horas, con dos mecánicos	7	2	3	42
				5	SI	Desalineamiento entre la bomba y el motor Se presenta un ruido por rozamiento y vibración anormal, causando un mal funcionamiento en el sistema, disminuyendo su rendimiento (menos flujo de combustible). Es necesario detener el equipo para su mantenimiento y alineamiento correspondiente Tiempo de alinear: 4 horas, con dos mecánicos especialista	7	3	6	126
				6	SI	Softura mecánica en la bomba y motor Ruido excesivo y vibraciones en bomba y motor causando un mal funcionamiento en el sistema, disminuyendo su rendimiento (menos flujo de agua). Se avisa a un mecánico para revisar y corregir el problema Tiempo de mantenimiento: 3 horas, con dos mecánicos especialista	6	3	6	108

ANEXO 14. ANALISIS DE MODO EFECTO Y FALLAS DEL SISTEMA DE QUEMADOR

SISTEMA:			QUEMADOR				AMEP				
Nº	FUNCIÓN	SUBSISTEMA:	MOTOR ELÉCTRICO - VENTILADOR				SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NRR	
		FALLA/FUNC	MODO/FALLA	EVIDENTE	ESECTO/DE FALLA						
5	Generar un trabajo mecánico, impulsar el ventilador, a una velocidad de 3500 RPM y una potencia de 15 HP	A	Ser totalmente incapaz de transferir potencia	1	No existe suministro de energía eléctrica al subsistema	SI	El motor no arranca ni se energiza, la planta de VIRU se queda sin suministro de energía eléctrica, existe una falla en el suministro por parte de Planta de Fuerza, se enciende los generadores diésel AC de emergencia para restablecer el suministro Tiempo máximo para la conmutación : 10 minutos con un electricista	8	2	2	32
				2	Terminal de conexión del cable de alimentación defectuoso	SI	El motor no arranca ni se energiza, controle la tensión en el terminal de conexión de alimentación y la correcta sección de los conductores, si es necesario cambiar los terminales de conexión Tiempo para cambio: 20 minutos con un electricista	7	3	2	42
				3	Eje bloqueado por rodamientos agarrotados	SI	Daños en el eje y rodamientos del motor. Requiere del cambio del motor trabajado, por los rodamientos agarrotados. Se avisa a los del departamento de mecánica y electricidad para que cambien el motor mientras se cambian los rodamientos Tiempo para cambio: 5 horas, con dos mecánico y un electricista	8	3	5	120
				4	Relé térmico del motor esta disparado (20 A)	SI	El motor se detiene por motivo de una elevación de corriente, como consecuencia de sobre esfuerzo consumiendo más corriente. Se da aviso a un electricista, inmediatamente se revisaran los sistemas de alimentación eléctrica, se cambia el relé térmico Tiempo para reparar: 20 minutos, con un electricista	8	6	3	144
				5	Existe un daño interno en el estator del motor	NO	El motor se energiza pero no arranca, no es posible impulsar el eje de entrada de la bomba de pistones axiales, la falla más común es un corto entre vueltas, esto reduce la habilidad de producir un campo magnético balanceado. Esto a la vez trae otras consecuencias como un aumento en la vibración de la máquina, y por ende degradación del aislamiento y daños a los rodamientos del motor. Se cambia el motor Tiempo para mantenimiento: 48 horas, con dos electricistas y un electrónico	8	2	7	112
		B	Transfiere una potencia menor a la del rango establecido	1	Existe un daño en el elemento de control	NO	El motor se energiza, arranca, pero no proporciona la potencia necesaria, el ventilador no se mueve a la velocidad requerida dentro del proceso; se revisa el motor por separado, se revisa el motor por separado y si el resultado se encuentra en buen estado, existen posibles daños en los elementos de control, se da aviso a mantenimiento eléctrico, se cambian los elementos averiados Tiempo máximo para el reemplazo: 30 minutos, con dos electricistas	7	4	5	140
				2	Ruido excesivo en los rodajes	SI	El motor se energiza, arranca pero no proporciona la potencia necesaria para hacer girar el ventilador a 3500 RPM, daños en los rodamientos del motor, produciendo vibraciones en el motor, se da aviso a mantenimiento eléctrico, se examina el motor y se cambian los rodamientos Tiempo para reemplazar: 4 horas con dos mecánicos y un electricista	6	5	3	90
				3	Falla por vida útil del motor	SI	El motor se energiza, arranca pero no proporciona la potencia necesaria, el motor funciona forzosamente, ruidos extraños en la parte interna del motor, se saltan las protecciones, el motor se quema, falla por vida útil del motor, se avisa a los electricistas para que examine el motor averiado en el taller de mantenimiento eléctrico. (el tiempo promedio de esta falla es de 3 años). Se cambian los elementos dañados Tiempo para reemplazar el motor: 2 horas con dos electricistas	5	2	5	50
				4	Desgaste en el aislamiento del motor	NO	El motor se energiza, arranca, pero durante el transcurso del proceso se detiene varias veces, deteniendo el ventilador, se toman las medidas necesarias, se repara el motor y se revisan las piezas averiadas en el taller de mantenimiento eléctrico, el aislamiento del motor se sale del rango Tiempo para reparar: 6 horas, con dos electricista	5	1	7	35

N°	FUNCIÓN	FALLA FUNC	MODO FALLA	EVIDENTE	EFEECTO DE FALLA	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR			
VENT-0057	6	A	Ser totalmente incapaz impulsar aire para la combustión	1	Ventilador suelto	SI	Al soltarse el ventilador este ya no se comunica energía al fluido ocasionando que no haya un flujo de fluido. Se da aviso a los mecánicos para hacer los ajustes correspondientes	8	2	3	48	
						Tiempo para ajustar: 2 horas, con dos mecánicos especialistas						
				2	Eje bloqueado por rodamientos agarratados	NO	El ventilador no gira, suena la alarma del tablero de control indicando la paralización del equipo, requiere cambio del eje trabado por los rodamientos agarratados, se da aviso a mantenimiento mecánico para corregir la falla	8	3	5	120	
				Tiempo para cambio: 3 horas, con dos mecánicos y un electricista								
		3	Componentes internos fracturados	NO	El ventilador no suministra aire requerido por el sistema, desmontar y verificar estado de los componentes, cambiar si es necesario componentes dañados. Se da aviso a mantenimiento mecánico para su respectiva reparación	8	2	6	96			
				Tiempo máximo para reparar: 4 horas, con un mecánico y un electricista								
	6	Impulsar el aire necesario para la combustión	B	Impulsa menos flujo de aire de lo requerido	1	Rotura parcial del asa del ventilador	SI	Puede dañar la carcasa del ventilador. Se produce vibración y desbalance en el ventilador, impulsa menos aire de lo necesario para la combustión. Se avisa a mantenimiento mecánico para reemplazar si fuese necesario	7	3	3	105
							Tiempo para reparar: 3 horas, con dos mecánicos y un electricista					
					2	Obstrucciones en la malla en la succión	SI	No permite el paso del aire causando una disminución del aire impulsado. Se avisa a un mecánico para revisar y retirar el material que causa la obstrucción	5	3	2	30
							Tiempo para mantenimiento: 30 minutos, con un mecánico					
					3	Soltura mecánica	SI	Produce excesiva vibración por lo que se produce un mal funcionamiento en el ventilador, no proporciona el aire necesario para la combustión. Se avisa a dos mecánicos para hacer los ajustes necesarios	6	3	7	126
							Tiempo para mantenimiento: 4 horas, con dos mecánicos especialistas					
				4	Desbalance del ventilador	NO	Ruido explosivo y vibraciones en el ventilador causando un mal funcionamiento del ventilador, disminuyendo su rendimiento (menos flujo de aire). Se avisa a dos mecánicos para revisar y corregir el problema, si es necesario se reemplaza el ventilador	7	3	8	168	
		Tiempo para mantenimiento: 4 horas, con dos mecánicos especialistas										
				5	Desalineamiento entre los ejes del ventilador y motor	SI	Se presenta un ruido por rozamiento y vibración anormal. Es necesario detener el ventilador para su mantenimiento y alineamiento correspondiente. Se avisa a dos mecánicos para corregir la falla	7	3	7	147	
		Tiempo de alinear: 4 horas, con dos mecánicos especialista										
				6	Lubricante contaminado con partículas sólidas	NO	Daño en los rodamientos del ventilador, reduciendo su tiempo vida de los mismos. Se avisa a un mecánico para hacer el cambio de lubricante	6	5	4	120	
		Tiempo de cambio: 2 horas, con un mecánico										

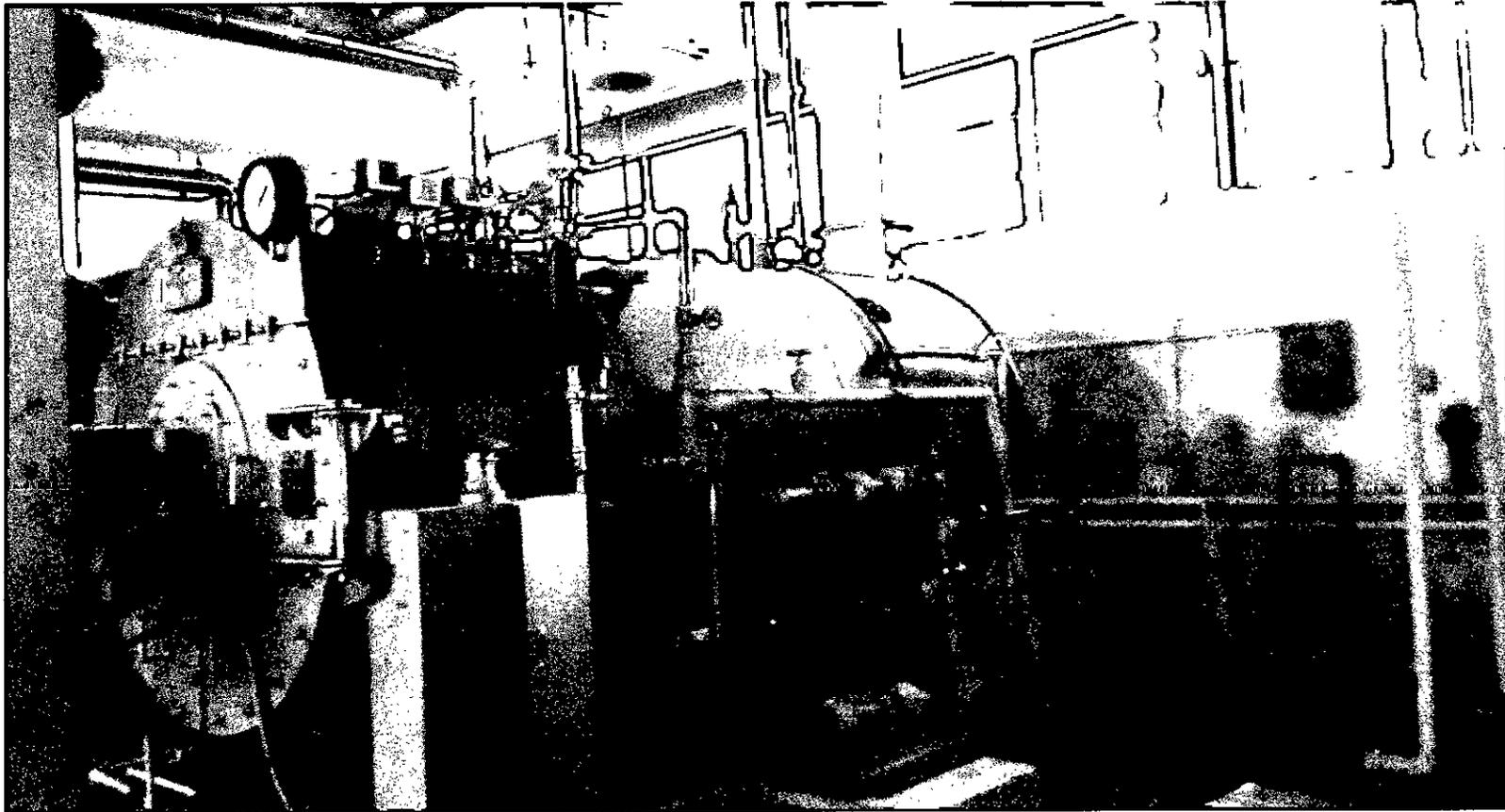
ANEXO 15. ANALISIS DE MODO EFECTO Y FALLAS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN AIRE VAPOR

SISTEMA:		SISTEMA DE ATOMIZACIÓN DE AIRE VAPOR				AMEP				
SUBSISTEMA:		MOTOR ELÉCTRICO O COMPRESORA				SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	
Nº	FUNCION	FALLA/PUNTO	MODO FALLA	EVIDENTE	EFFECTO DE FALLA					
7	Generar un trabajo mecánico, impulsar el compresor, a una velocidad de 1725 RPM y una potencia de 3 HP	A Ser totalmente incapaz de transferir potencia	1	No existe suministro de energía eléctrica al sub sistema	SI	El motor no arranca ni se energiza, la planta de VIRU se queda sin suministro de energía eléctrica, existe una falla en el suministro por parte de Planta de Fuerza, se encienden los generadores diesel AC de emergencia para reestablecer el suministro. Tiempo máximo para la conmutación : 10 minutos	6	2	2	32
			2	Terminal de conexión del cable de alimentación defectuoso	SI	El motor no arranca ni se energiza, controle la tensión en el terminal de conexión de alimentación y la correcta sección de los conductores, si es necesario cambiar los terminales de conexión. Tiempo para cambio: 20 minutos con un electricista	7	3	2	42
			3	Eje bloqueado por rodamientos agarratados	SI	Daños en el eje y rodamientos del motor. Requiere del cambio del motor trabado, por los rodamientos agarratados, mientras se cambian los rodamientos y se repara el eje. Tiempo para cambio: 3 horas, con dos mecánicos y un electricista	8	3	5	120
			4	Relé térmico del motor esta disparado (3 A)	SI	El motor se detiene por motivo de una elevación de corriente, como consecuencia de sobre esfuerzo consumiendo más corriente. Se da aviso a un electricista, inmediatamente se revisaran los sistemas de alimentación eléctrica, se cambia el relé térmico. Tiempo para reparar: 20 minutos, con un electricista	8	0	3	144
			5	Existe un daño interno en el estator del motor	NO	El motor se energiza, arranca pero no arranca, no es posible impulsar el eje de entrada de la bomba de pistones adites, la falla más común es un corto entre vueltas, esto reduce la habilidad de producir un campo magnético balanceado. Esto a la vez trae otras consecuencias como un aumento en la vibración de la máquina, y por ende degradación del aislamiento y daños a los rodamientos del motor. Se cambia el motor. Tiempo para mantenimiento: 48 horas, con dos electricistas y un electrónico	7	2	3	42
		B Transfiere una potencia menor a la del rango establecido	1	Existe un daño en el elemento de control	NO	El motor se energiza, arranca, pero no proporciona la potencia necesaria, el impulsor no se mueve a la velocidad requerida dentro del proceso, se revisa el motor por separado y si el resultado es que se encuentra en buen estado existen posibles daños en los elementos de control, se da aviso a mantenimiento eléctrico, se cambian los elementos averiados. Tiempo máximo para el reemplazo: 25 minutos, con dos electricistas	7	4	5	140
			2	Ruido excesivo en los rodajes	SI	El motor se energiza, arranca pero no proporciona la potencia necesaria para hacer girar el impulsor, daños en los rodamientos del motor, se da aviso a mantenimiento eléctrico, se examina el motor y se corrigen fallas. Tiempo para reemplazar: 1.5 horas con un mecánico y un electricista	6	5	3	90
			3	Falla por vida útil del motor	SI	El motor se energiza, arranca, pero no proporciona la potencia necesaria, el motor funciona forzosamente, ruidos extraños en la parte interna del motor, se salten las protecciones, el motor se quema, falla por vida útil del motor, se examina el motor averiado en el taller de mantenimiento eléctrico, (el tiempo promedio de esta falla es de 5 años). Tiempo para reemplazar el motor: 1.5 horas con dos electricistas	5	2	5	50
			4	Aislamiento fuera del rango admisible	NO	El motor se energiza, arranca, pero durante el transcurso del proceso se detiene varias veces, deteniendo el impulsor, se toman las medidas necesarias, se repara el motor y se revisan las piezas averiadas en el taller de mantenimiento eléctrico, el aislamiento del motor se sale del rango. Tiempo para reparar: 6 horas, con dos electricista	5	1	7	35

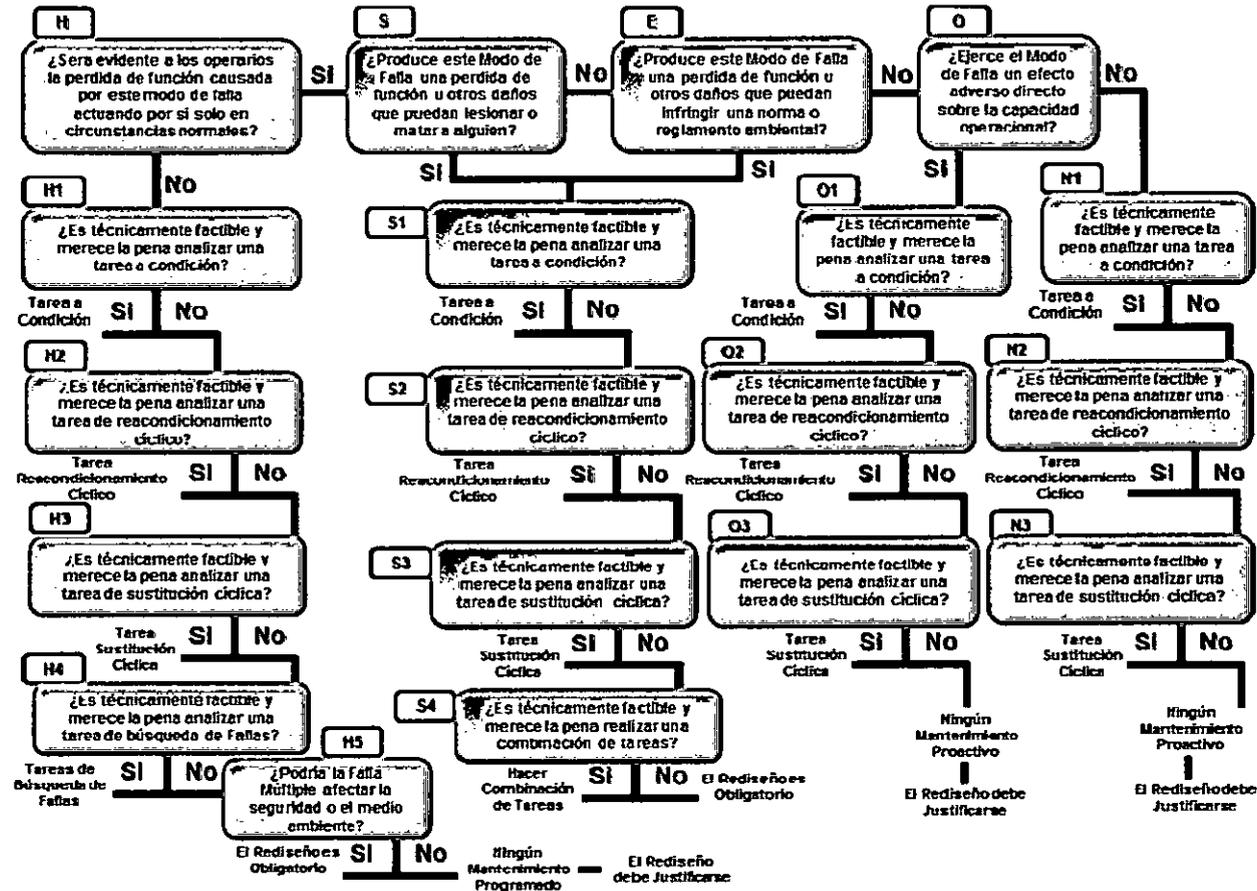
Nº	FUNCIÓN	FALLA FUNC	MODO FALLA	EVIDENTE	EFECCIÓN DE FALLA	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR	
COM1-0016	Comprimir el aire necesario para la combustión a una presión de 14 PSI	A Ser totalmente incapaz de comprimir aire	1	Bajo nivel de lubricante	SI	Los componentes internos pueden destruirse por la ausencia del lubricante (SAE 10). Se avisa a un mecánico para suministrar mas lubricante Tiempo para alinear: 30 minutos, con un mecánico	8	3	2	48
			2	Fractura de los vanes del impulsor	SI	El impulsor no suministra aire al quemador, suena la alarma en el tablero de control indicando la paralización del equipo, requiere cambio de vanes trabados en el impulsor del compresor de paletas, se da aviso a mantenimiento mecánico Tiempo para reparar: 4 horas, con un mecánico y un electricista	7	2	7	96
			3	Fractura en el eje del impulsor	SI	El impulsor no suministra aire al quemador, suena la alarma del tablero de control indicando la paralización del equipo, requiere cambio del eje fracturado por fatiga, se da aviso a mantenimiento mecánico para corregir la falla. Tiempo para reparar: 3 horas, con un mecánico y un electricista	7	1	7	49
			4	Eje bloqueado por rodamientos agarrotados	SI	El impulsor no gira, suena la alarma en el tablero de control indicando la paralización del equipo, requiere cambio de eje trabado por los rodamientos agarrotados, se da aviso a mantenimiento mecánico para corregir la falla. Tiempo para cambio: 2.5 horas, con dos mecánicos y un electricista	7	3	5	105
		B Impulsa menos flujo de aire de lo requerido	1	Rotura parcial del impulsor	SI	Daña el interior del compresor de paleta, comprime menos aire de lo necesario para la combustión. Se avisa ha mantenimiento mecánico para corregir el problema Tiempo para arreglar: 2 horas, con un mecánico y un electricista	6	3	6	108
			2	Obstrucciones en la succión y descarga	SI	No permite el paso del aire causando una disminución del aire impulsado. Se avisa a un mecánico para revisar y retirar el material de obstrucción Tiempo para mantenimiento: 30 minutos, con un mecánico	5	3	2	30
			3	Lubricante contaminado con partículas sólidas	NO	Daño en los rodamientos del compresor, reduciendo su tiempo de vida de los mismos. Se avisa al mecánico para el retiro de lubricante contaminado y limpieza del rodamiento y posterior cambio de lubricante Tiempo para mantenimiento: 4 horas, con un mecánico	6	5	4	120
			4	Obstrucción del elemento filtrante	SI	Restricción del lubricante, mala lubricación de los elementos del compresor, bajando la eficiencia del compresor. Tiempo para mantenimiento: 1 hora, con un mecánico	6	3	2	36

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 16. FIGURA DE LA CALDERA DE 200 BHP



ANEXO 17. ÁRBOL DE DECISIÓN



Fuente: Recuperado el 07 de Marzo del 2018, de <http://docplayer.es/docs-images/25/5833979/images/44-0.png>