

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y AMBIENTAL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN
RCM PARA UNA CALDERA DE 200 BHP EN UNA PLANTA DE HARINA DE
PESCADO”.**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
PRESENTADO POR EL BACHILLER**

TELLO ESPINOZA CARLOS GERALD

LIMA – PERÚ

2016

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia,
que en todo momento me apoyó, en especial
a mamá que supo guiarme y tener fe en mí.

AGRADECIMIENTO

A la UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

También agradecer a mis profesores por todos sus conocimientos brindados, porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

De igual manera agradecer a mi profesor asesor de especialidad, el Ingeniero Anwar Yarín, quien con sus conocimientos y experiencia, ayudaron a formar este trabajo de investigación.

A mi hermano Roberth, con el cual, siempre estamos en constante competencia, y apoyándonos con los conocimientos.

A papá Eduardo, que fue el inspirador para ir por el camino de la Ingeniería.

Gracias a todas las personas que formaron parte de mi vida, por su amistad, por sus enseñanzas, en mi formación, como persona, como Ingeniero.

Gracias a todos

| | |
|--|----|
| INDICE | |
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTO | 3 |
| INDICE | 4 |
| INTRODUCCIÓN | 8 |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 9 |
| 1.1 Descripción de la Realidad Problemática | 9 |
| 1.2 Formulación del Problema | 9 |
| 1.2.1 Problema Principal | 11 |
| 1.2.2 Problemas Específicos | 11 |
| 1.3 Objetivos..... | 12 |
| 1.3.1 Objetivo General | 12 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 12 |
| 1.4 Justificación de la Investigación | 13 |
| 1.6. Limitaciones de la Investigación..... | 14 |
| 1.7. Hipótesis | 15 |
| 1.7.1. Hipótesis Principal o Central..... | 15 |
| 1.7.2. Hipótesis Específicas | 15 |
| 1.7.3. Operacionalización de las variables | 16 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 17 |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación..... | 17 |
| 2.2. Bases Teóricas | 18 |
| 2.3. Marco Conceptual..... | 46 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | 50 |
| 3.1. Tipo y Nivel de Investigación | 50 |

| | | |
|---|--|----|
| 3.1.1. | Tipo de Investigación..... | 50 |
| 3.1.2. | Nivel de Investigación..... | 50 |
| 3.2. | Método y Diseño de la Investigación..... | 50 |
| 3.2.1. | Método de la Investigación..... | 50 |
| 3.2.2. | Diseño de la Investigación..... | 51 |
| 3.3. | Población y Muestra | 51 |
| 3.3.1. | Población | 51 |
| 3.3.2. | Muestra | 52 |
| 3.4. | Técnicas, Instrumentos y Fuentes de Recolección de Datos | 52 |
| 3.4.1. | Técnicas..... | 52 |
| 3.4.2. | Instrumentos y Confiabilidad | 53 |
| | | |
| CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE | | |
| RESULTADOS | | |
| | | 54 |
| CONCLUSIONES | | |
| | | 85 |
| RECOMENDACIONES..... | | |
| | | 87 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | |
| | | 89 |
| ANEXOS..... | | |
| | | 93 |
| A. | Matriz de Consistencia: | 94 |
| B. | Instrumento(s) de Recolección de Datos..... | 95 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|-------------|----|
| Figura 4.1. | 47 |
| Figura 4.2. | 47 |
| Figura 4.3. | 48 |
| Figura 4.4. | 48 |
| Figura 4.5. | 49 |
| Figura 4.6. | 49 |
| Figura 4.7. | 50 |
| Figura 4.8. | 51 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 4.1. Matriz de Criticidad | 56 |
| Tabla 4.2. Ficha de Ponderación de equipos | 56 |
| Tabla 4.3. Análisis de resultado | 60 |
| Tabla 4.4. Consecuencias de Fallas | 62 |

LISTADO DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 2.1. Curva de desgaste vs Costos | 28 |
| Gráfico 2.2. Curva de confiabilidad vs Costos de mantenimiento | 29 |
| Gráfico 2.3. Curva de supervivencia. | 29 |
| Gráfico 2.4. Curva de mortalidad | 30 |
| Gráfico 2.5. Curva de la tasa de fallos. | 31 |
| Gráfico 2.6. Sistema de equipos en serie. | 32 |
| Gráfico 2.7. Sistema de 2 equipos en paralelo. | 33 |
| Gráfico 2.8. Sistema de 3 equipos en paralelo. | 34 |
| Gráfico 2.9. Curva de Davies o de la Bañera | 37 |
| Gráfico 2.10. Formato de AMEF | 41 |
| Gráfico 2.11. Árbol lógico de decisiones. | 44 |
| Gráfico 2.12. Esquema de conducción del RCM | 45 |

INTRODUCCIÓN

La implementación de un programa de mantenimiento basado en RCM en el área de servicios de la empresa HAYDUK, será realizado mediante la recopilación de las necesidades que tenga 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.

El programa de mantenimiento basado en RCM es un procedimiento periódico para minimizar el riesgo de fallo y asegurar la continua operación de los equipos, logrando de esta manera extender su vida útil.

Esto incluye limpieza, lubricación, ajuste, y reemplazo de ciertas partes vulnerables, aumentando la seguridad del equipo y reduciendo la probabilidad de fallas mayores; pero no se excluye el mantenimiento que a diario debe realizar el colaborador, que es la limpieza y chequeo continuo de los sistemas y subsistemas de la caldera que es el corazón del sistema productivo de esta planta

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

La harina de pescado es un producto altamente cotizado y apreciado en el ámbito nacional e internacional, siendo el mayor importador de este producto Japón, generando a su vez fuentes de divisas para el país, debido a que una tonelada de este tipo de harina es pagada entre \$900.00 a \$1500.00.

Desde el punto de vista técnico, aporta una base conceptual para la reflexión acerca del uso de las calderas en la industria de harina de pescado y considerar el aprovechamiento del desarrollo del mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para asegurar la disponibilidad y mantenibilidad de la misma.

1.2 Formulación del Problema

La planta de Harina de Pescado de la Pesquera HAYDUK, está ubicada ciudad de Tambo de Mora, en el departamento de Ica, consta de un área de servicios dividida en siete sistemas, los cuales están divididos en subsistemas y componentes. Estos tienen como objetivo suministrar a la

planta los servicios de agua potable, agua fría, agua caliente, vapor de agua, energía eléctrica, aire comprimido, extraer aire de las mezcladoras y controlar incendios o sucesos imprevistos, lo que significa que cada uno de ellos es indispensable para toda la empresa, 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.

Se propone hacer un análisis de los sistemas de servicios de la planta para elaborar la primera parte de una propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad con tecnologías modernas de detección de fallas, elaborando un despiece y estudio minucioso de cada componente con la finalidad de analizar los modos, causas y efectos de fallas de cada equipo para dar un beneficio a la empresa en sus costos de mantenimiento y en sus ganancias productivas por horas continuas de operación.

1.2.1 Problema Principal

- ¿Con la Implementación de la metodología RCM (Mantenimiento basado en confiabilidad) aplicada a la caldera de 200 BHP del área de servicio de la planta de harina de pescado de la empresa HAYDUK, lograremos reducir los costos de mantenimiento de manera significativa?

1.2.2 Problemas Específicos

- ♦ ¿Estableciendo una definición clara del subsistema o componente a analizar podremos conocer los modos de falla de los equipos críticos y semicríticos?

- ♦ ¿Estableciendo una lista de posibles fallas en cada subsistema o componente de la máquina y sus respectivas causas podremos realizar un adecuado mantenimiento preventivo?
- ♦ ¿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

1.3.1 Objetivo General

Implementar la metodología RCM (Mantenimiento basado en confiabilidad) aplicada a la caldera de 200 BHP del área de servicio de la planta de harina de pescado de la empresa HAYDUK.

1.3.2 Objetivos específicos

- ♦ Establecer una definición clara del subsistema o componente a analizar.
- ♦ Establecer una lista de posibles fallas en cada subsistema o componente de la máquina y sus respectivas causas.
- ♦ Elaborar un AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) que posteriormente definirá la prioridad de cada componente a ser atendido y bajo qué tecnología de detección de fallas hacerlo.

1.4 Justificación de la Investigación

La planta de harina de pescado HAYDUK, opera de forma constante las 24 horas del día los 365 días del año, de modo que una parada imprevista significaría pérdida para toda la compañía. De allí la importancia de que todos los sistemas que la integran trabajen sin limitaciones, de forma eficiente.

La actualización y revisión de la metodología RCM pretende garantizar un plan de mantenimiento preventivo, correctivo y confiable que sea entendible y muestre de forma clara y sencilla las posibles causas de falla de un equipo, sistema o subsistema y la tecnología de mantenimiento más adecuada que deba usarse para llevar a cabo el mantenimiento preventivo. Sin embargo hay que tomar en cuenta que algunos equipos o elementos podrán fallar, pero ello no supondrá una pérdida considerable a la empresa de manera tal que quizás no sea necesario ni rentable gastar dinero reparando equipos o adquiriendo otros, sabiendo que eso no repercute de forma negativa en la producción. Claro no hay que subestimar la importancia de cada equipo o elemento, para ello se debe tener conocimiento de su función y qué papel cumple en todo el sistema.

1.5. Alcances de la Investigación

Analizando junto con la empresa la magnitud de los sistemas y el poco tiempo disponible para la elaboración del plan de mantenimiento, se llegó al acuerdo de analizar únicamente el estudio de fallas de uno de los siete sistemas, en este caso el sistema de agua caliente y vapor.

Para hacer el despiece total de los equipos del sistema, la principal limitante fue no contar con los planos , por lo que para llevarlo a cabo hubo que hacer identificación de componentes y partes en campo, y con la ayuda de un manual de RCM anterior lo que demandó un poco más de tiempo del previsto.

El proceso necesario para la elaboración de un plan completo de mantenimiento centrado en confiabilidad requiere de largos tiempos de investigación, estudio e incluso experimentación, por lo cual en el período de la pasantía no se pudo hacer el análisis completo y se tuvo que hacer sólo la primera parte del mismo, abarcando sistema, subsistema, componentes, partes, funciones, límites, entradas y salidas, estudiar brevemente las tecnologías de detección de fallas y proponer el inicio del AMEF como paso final.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Para la realización de este proyecto de investigación existieron diversos limitantes entre los que destacan:

- Limitante tecnológico: Debido a que por ser el RCM, una herramienta nueva, generaba la renuencia del personal de mantenimiento que en un inicio no colaboró al 100% con el desarrollo de este proyecto.
- Limitante geográfico: El proyecto fue realizado íntegramente en el Departamento de Ica por la cercanía y las facilidades prestadas por esta planta, pero es fundamental poder implementar lo mismo en otras plantas.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis Principal o Central

La implementación de la metodología RCM (Mantenimiento basado en confiabilidad) aplicada a la caldera de 200 BHP del área de servicio de la planta de harina de pescado de la empresa HAYDUK, permitirá reducir de manera significativa los costos de mantenimiento.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- ♦ Al establecer una definición clara del subsistema o componente a analizar, el personal de mantenimiento podrá utilizar y comprender adecuadamente los procedimientos existentes.
- ♦ Al establecer una lista de posibles fallas en cada subsistema o componente de la máquina y sus respectivas causas, el personal de mantenimiento podrá atender eficientemente cualquier ocurrencia en la línea de servicio.
- ♦ Elaborando un AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) se podrá definir la prioridad de atención de cada componente y bajo qué tecnología de detección de fallas hacerlo.

1.7.3. Operacionalización de las variables

| VARIABLE | DIMENSION | INDICADOR |
|--|---|---|
| Variable Independiente PLAN DE MANTENIMIENTO | ☐ Plan de Acción Proactivo | • Reducción de los mantenimientos correctivos no programado en los equipos. |
| | | • Cumplimiento de los mantenimientos preventivos. |
| | ☐ Registro de Inspecciones | • Identificación de fallas potenciales. |
| | | • Cumplimiento con el quincenal de inspección. |
| | ☐ Círculos de Calidad. | • Propuestas de solución a fallas repetitivas. |
| | | • Relaciones interpersonales entre el equipo de mantenimiento. |
| Variable Dependiente RCM APLICADO A LA CALDERA | ☐ Tiempo de respuesta | • Rapidez en las soluciones. |
| | | • Efectividad en las soluciones |
| | ☐ Reportes de fallas | • Cantidad de solicitudes. |
| | | • Discriminación de tipo de fallas. |
| | ☐ Impacto del mantenimiento sobre costo | • Costo de Mantenimiento vs Ventas. |

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

El ingeniero Mario Troffe en su análisis ISO 14224/OREDA elaboró la siguiente definición sobre el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM: *“metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial; útil para el desarrollo u optimización de un plan de mantenimiento.*

Analiza cada sistema y como estos pueden fallar funcionalmente.” (p.1).

El mismo autor también explica que los efectos de cada falla son clasificados de acuerdo con el impacto en la seguridad, operación y costo. Por consiguiente, el objetivo principal RCM es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a garantizar la función que realizan los equipos más que los equipos mismos.

Es decir, que la función desempeñada por una maquina es lo que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar que los equipos funcionen como nuevos, sino en condiciones lo suficientemente óptimas para realizar su función. También envuelve tener conocimiento de las condiciones que interrumpan su funcionamiento.

Por lo tanto, como la RCM es una metodología estructurada basada en un árbol de decisiones, su éxito depende en gran parte de la experiencia de los participantes como también en la posibilidad de contar con datos de tasa de fallas y periodos de ocurrencia registrados. La división de sistemas y subsistemas de cada equipo es tan amplia como criterios puedan definir los integrantes del grupo. Lo mismo ocurre con la profundidad de análisis para cada modo de falla /causa de falla; solo limitada por el grado de detalle al que el grupo oriente el análisis

2.2. Bases Teóricas

Según Mario Troffe en su análisis ISO 14224/OREDA pagina 3 definió el FMEA como una *“técnica aplicada al estudio metódico de las consecuencias que provocan las fallas de cada componente de un equipo. Es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o proceso antes de que estas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.”* (p.3). Sus objetivos principales son:

- ◆ Reconocer y evaluar los métodos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y montaje, operación y mantenimiento de un equipo, a partir de los componentes.
- ◆ Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- ◆ Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la falla potencial.
- ◆ Analizar la confiabilidad del sistema

- ◆ Cuantificar riesgos y confiabilidad
- ◆ Documentar el proceso

¿Qué es el Mantenimiento?

Se entiende por mantenimiento al conjunto de acciones para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionalidad a un costo mínimo. Conforme a lo anterior se deducen distintas actividades:

- Prevenir y/o corregir actividades
- Cuantificar y/o evaluar el estado de las instalaciones
- El aspecto económico (costos)

2.3.1 Historia y Evolución del mantenimiento

Podemos distinguir cuatro generaciones en la evolución del concepto de mantenimiento:

Primera Generación: La más larga desde la evolución industrial en 1930 hasta después de la segunda Guerra Mundial, aunque todavía impera en muchas industrias; además al ser maquinaria muy simple y normalmente sobredimensionada, los equipos eran fiables y fáciles de reparar, por lo que no se hacían revisiones sistemáticas, el mantenimiento solo se ocupa de arreglar las averías que pudieran tener. Es el mantenimiento correctivo.

TABLA N° 2.1
PRIMERA GENERACION DEL MANTENIMIENTO

| OBJETIVOS | TECNICAS |
|---------------------------------|--------------------------|
| Reparar cuando se produce fallo | Mantenimiento Correctivo |

Segunda Generación: Entre la segunda guerra mundial y finales de los años setenta se descubre la relación de la edad de los equipos y probabilidad de fallo, se comienzan a realizar sustituciones preventivas. Conforme aumentaba la mecanización, la industria comenzaba a depender de manera crítica del buen funcionamiento de la maquinaria, esta dependencia provocó que el mantenimiento se centrara en buscar formas de prevenir fallos y por tanto de evitar reducir los tiempos de parada forzada en las máquinas. Es el mantenimiento preventivo.

TABLA N° 2.2

SEGUNDA GENERACION DEL MANTENIMIENTO

| OBJETIVOS | TECNICAS |
|--|---|
| Mayor disponibilidad de los equipos Mayor vida de operación de los equipos Reducción de Costos | Mantenimiento Planificado Sistema de Control Utilización de grandes ordenadores |

Tercera Generación: Surge a principios de los años ochenta, se empiezan a realizar estudios de causa-efecto para averiguar el origen de los problemas. La automatización siguió aumentando, se operaba con volúmenes de producción muy elevados, cobraban mucha importancia los tiempos de parada debido las pérdidas en la producción. Es el mantenimiento predictivo o precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles, se comienza a hacer participar a producción para la detección de fallos.

Recordar que las fallas imprevistas se convierten en el mayor problema de la división de fabricación, pues impide el desarrollo normal de su actividad.

TABLA N° 2.3
TERCERA GENERACION DEL MANTENIMIENTO

| OBJETIVOS | TECNICAS |
|-----------------------------------|---|
| Mayor disponibilidad y fiabilidad | Monitoreo de condición |
| Mayor seguridad | Diseño basado en fiabilidad y mantenibilidad |
| Mayor calidad del producto | Estudios de riesgos |
| Respeto al medio ambiente | Utilización de pequeños y rápidos ordenadores |
| Mayor vida de los equipos | Modo de fallo y causas de fallo |
| Eficiencia de costos | |

Cuarta Generación: Aparece en los primeros años noventa, el mantenimiento se contempla como parte del concepto de calidad total, mediante una adecuada gestión de mantenimiento, es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos. Es el mantenimiento basado en el Riesgo, se concibe al mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica al mantenimiento como una fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como mal necesario. Las probabilidades que una maquina falle frente y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo las disponibilidad necesaria al mínimo costo.

Disponibilidad: se define la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, el tiempo activo de reparación, el tiempo inactivo, el tiempo de mantenimiento preventivo (en

algunos casos), el tiempo administrativo, el tiempo de funcionamiento sin producir y el tiempo logístico.

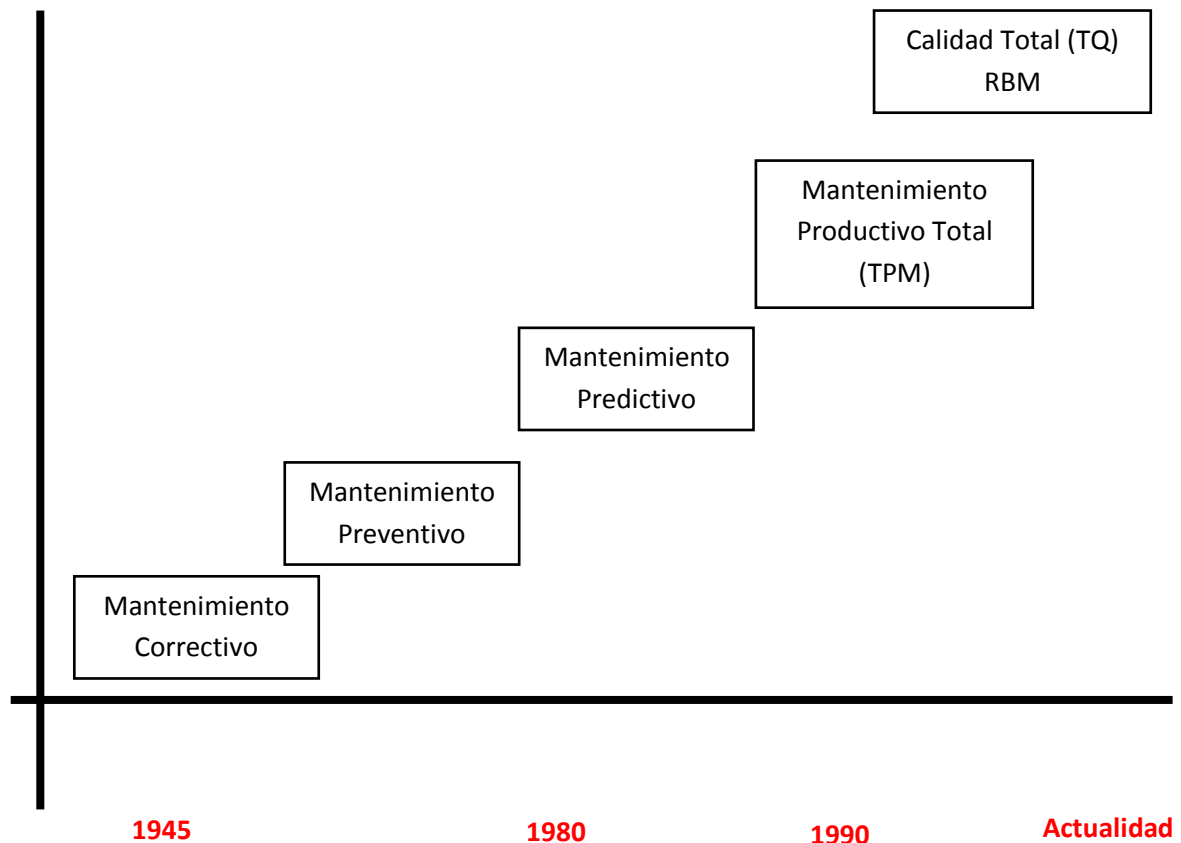
$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Confiabilidad}}{\text{Confiabilidad} + \text{Mantenibilidad}}$$

TABLA N° 2.4

CUARTA GENERACION DEL MANTENIMIENTO

| OBJETIVOS | TECNICAS |
|--|--|
| Mayor disponibilidad y fiabilidad | Monitoreo de condición |
| Mayor seguridad | Utilización de pequeños y rápidos ordenadores |
| Mayor calidad del producto | Modo de fallo y causas de fallo |
| Respeto al medio ambiente | Polivalencia y trabajo en equipo / Mantenimiento Autónomo |
| Mayor vida de los equipos | Estudio de fiabilidad y mantenibilidad durante el proyecto |
| Eficiencia de costos | Gestión de riesgos |
| Mayor mantenibilidad | Sistemas de mejora continúa |
| Patrones de fallos / Eliminación de fallos | Mantenimiento preventivo / predictivo |
| | Mantenimiento Proactivo |

FIGURA N° 2.1
EVOLUCION DEL MANTENIMIENTO



El Mantenimiento como Fuente de Beneficios

Para realizar la gestión del mantenimiento, se debe definir claramente los objetivos que el mantenimiento pretende conseguir, Estos objetivos se han de definir en función a los objetivos de la empresa. La mejor manera de saber si dichos objetivos se consiguen o no y como contribuyen a mejorar la competitividad e imagen de la empresa es cuantificarlos mediante términos monetarios.

Para analizar los objetivos vamos a ver como varían sus componentes, en función de las variables fundamentales de las que depende la productividad de

mantenimiento: costo de mano de obra, costo de piezas de recambio e inmovilizados, número de disfuncionamientos.

Si los disfuncionamientos disminuyen, los tres componentes que definen el objetivo varían en el sentido de alcanzar éste. Por tanto, el primer paso a dar es prever un medio que disminuya el número de disfuncionamientos, este no puede ser otro que un sistema de Mantenimiento Preventivo y de Mejora.

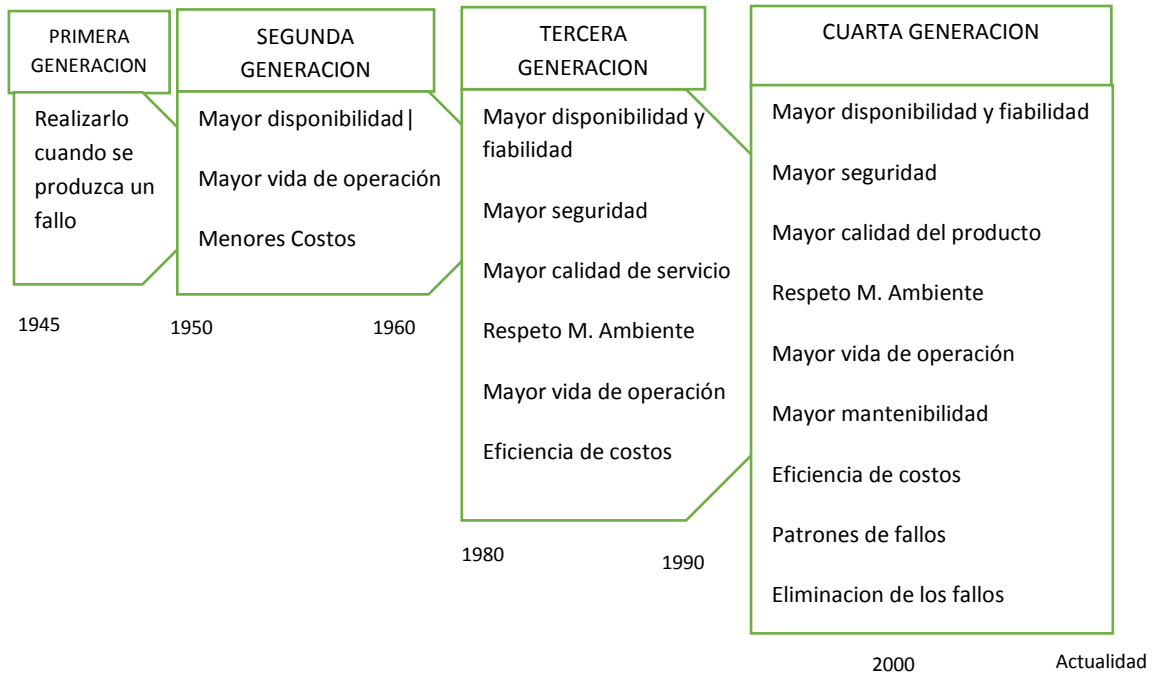
Si los repuestos disminuyen también lo hacen los costos, pero se corre el peligro que disminuya el tiempo de servicio o disponibilidad de los equipos si los recambios bajan un cierto límite.

Por último, si la mano de obra disminuye también lo hacen los costos y posiblemente el tiempo de servicio y disponibilidad. En este caso hay que llegar a una solución de compromiso mediante un empleo racional de la mano de obra, integrando el mantenimiento en la producción.

Resumiendo, podemos decir que los medios a emplear por Mantenimiento para lograr su objetivo son tres:

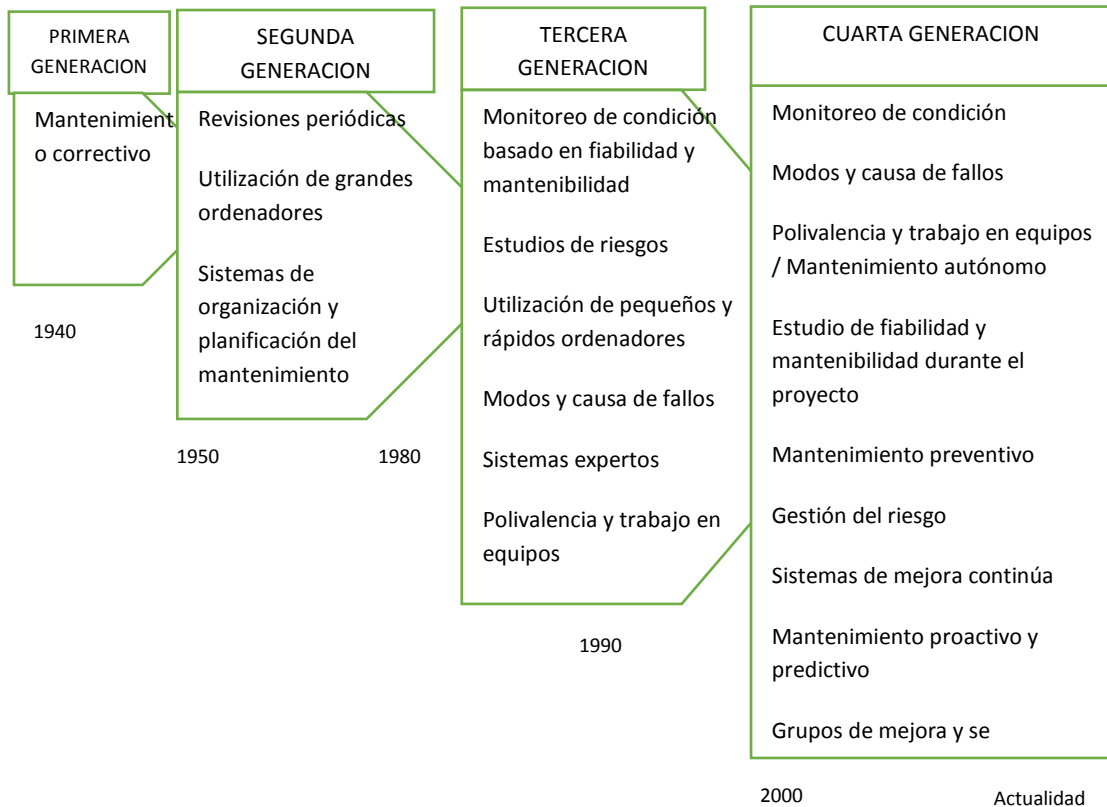
- Un sistema de Mantenimiento Preventivo y de Mejora
- Una acertada gestión de recambios
- Un empleo racional de la mano de obra

FIGURA N° 2.4
OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO



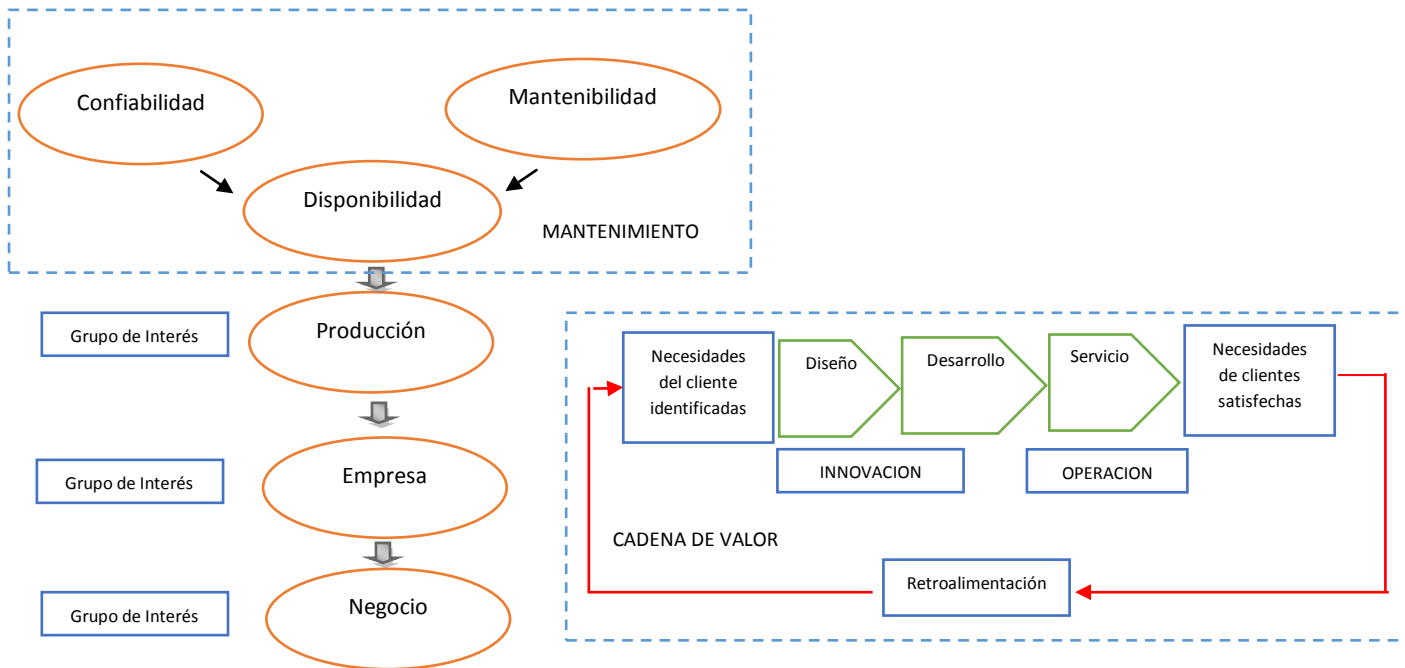
Hoy en día, las estrategias de mantenimiento están encaminadas a garantizar la disponibilidad y eficacia requerida de los equipos e instalaciones, asegurando la duración de su vida útil y minimizando los costos de mantenimiento dentro del marco de seguridad y el medio ambiente.

FIGURA N° 2.5
EVOLUCION DE LAS TECNICAS DEL MANTENIMIENTO



Los factores críticos de éxito de la gestión de mantenimiento son la disponibilidad y eficacia que van a indicarnos la fracción de tiempo en que los equipos están en condiciones de servicio y la fracción de tiempo en que su servicio resulta efectivo para la producción.

FIGURA N° 2.6
CONCEPTO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO



➤ Tasa de fallos

La tasa de fallos $Z(t)$ o $\lambda(t)$ se define como la probabilidad de que se produzca una falla del sistema o componente en el intervalo de tiempo $[t, t + dt]$. Se mide las fallas por unidad de tiempo.

Matemáticamente podemos definir la tasa de fallo de un intervalo $[t_1, t_2]$ como:

$$Z(t) = R(t_1) - R(t_2) R(t_1) x(t_2 - t_1) \quad (2.1)$$

O una tasa de fallo instantáneo:

$$Z(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t+\Delta t)}{R(t)x(t+\Delta t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.2)$$

También se define la tasa de fallos como el número de fallas por unidad de tiempo en el instante t por el número de componentes

$$Z(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{n(t) - n(t+\Delta t)}{n(t)x(t+\Delta t)} \quad (2.3)$$

1. Cálculos de confiabilidad.

En la actualidad existen muchos métodos para realizar los cálculos de confiabilidad de equipos, se pueden establecer las funciones necesarias para determinarlos tanto en la parte de repercusión de los costos como en la vida del equipo, así tenemos los criterios más estudiados [REYES; OCAMPO, 1996]:

1) En función al uso de máquinas o equipos.

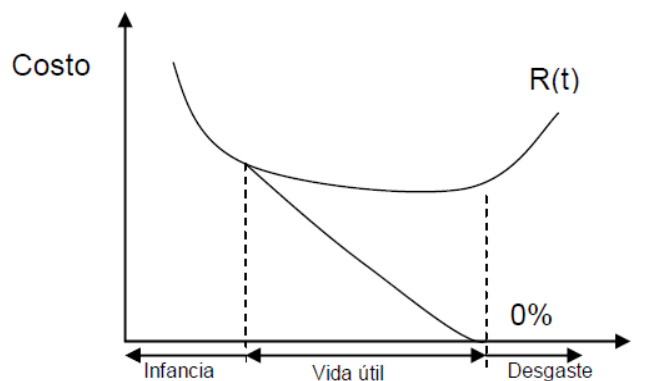


Gráfico 2.1. Curva de desgaste vs Costos

2) En función de los Costos de Producción y Mantenimiento

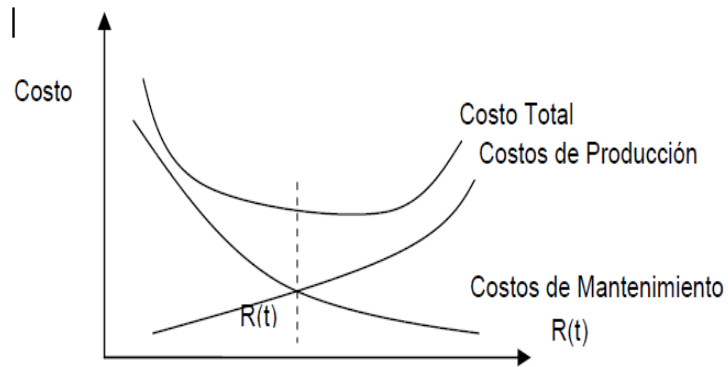


Gráfico 2.2. Curva de confiabilidad vs Costos de mantenimiento

3) En Función de la Supervivencia.

Se refiere a las piezas mecánicas que sobreviven en el tiempo. Se Verifica de acuerdo a la relación:

$$R(t) = \frac{S(t)}{S(o)} \quad (2.4)$$

Donde:

S(t): número de piezas viva que quedan, después del tiempo

t. S(o): Número de piezas que entran al sistema en el periodo

t=0.

Se observa el comportamiento de la supervivencia en el siguiente gráfico:

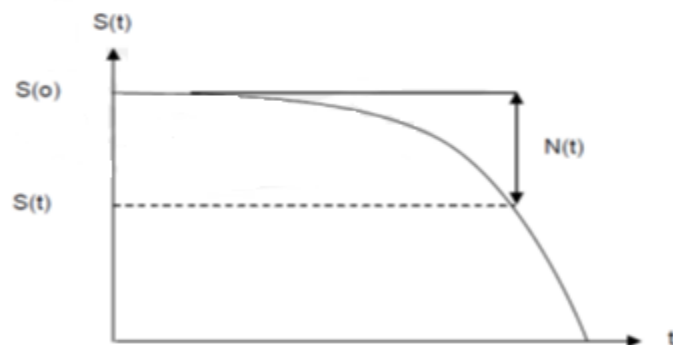


Gráfico 2.3. Curva de supervivencia.

4) En función de la probabilidad de Falla $F(t)$.

$N(t)$: Número de piezas falladas durante el tiempo t .

$$F(t) = \frac{S(o) - S(t)}{S(o)} = \frac{N(t)}{S(o)} \quad (2.5)$$

$$F(t) = \frac{S(o)}{S(o)} - \frac{S(t)}{S(o)} \quad \text{Sabemos que: } R(t) = \frac{S(t)}{S(o)}$$

$$F(t) = 1 - \frac{S(t)}{S(o)} \quad \text{Por tanto: } R(t) = 1 - F(t)$$

O también:

$$R(t) = 1 - \frac{N(t)}{S(o)} \quad (2.6)$$

Una mejor manera de poder observar dichas características es a través de la curva de mortalidad

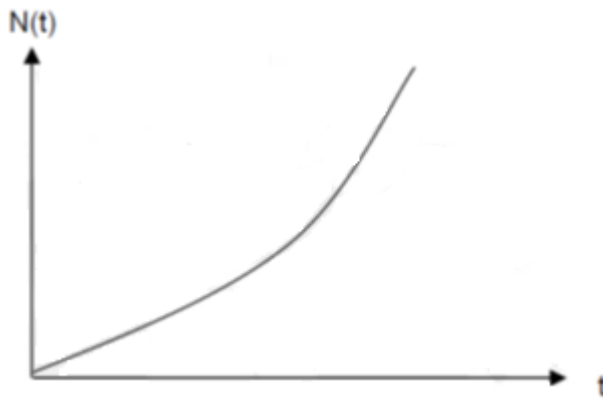


Gráfico 2.4. Curva de mortalidad

5) En función de la velocidad de Falla $V(t)$

Velocidad de falla: es la velocidad del número de piezas falladas respecto al tiempo

$$-V(t) = \frac{dN(t)}{dt} \quad (2.7)$$

Sabemos que:

$$R(t) = 1 - F(t), \quad \text{entonces } R(t) = 1 - \frac{N(t)}{S(o)}$$

Derivando obtenemos:

$$\frac{dR(t)}{dt} = -\frac{1}{S(o)} \frac{dN(t)}{dt} \quad \text{entonces} \quad \frac{dR(t)}{dt} = \frac{V(t)}{S(o)} \quad (2.8)$$

6) En función de la Tasa de Fallo Z(t)

Tasa de fallo.- Es la relación entre las velocidades de falla con respecto a la cantidad de piezas sobrevivientes después de un tiempo t.

$$Z(t) = \frac{V(t)}{S(t)} \quad (2.9)$$

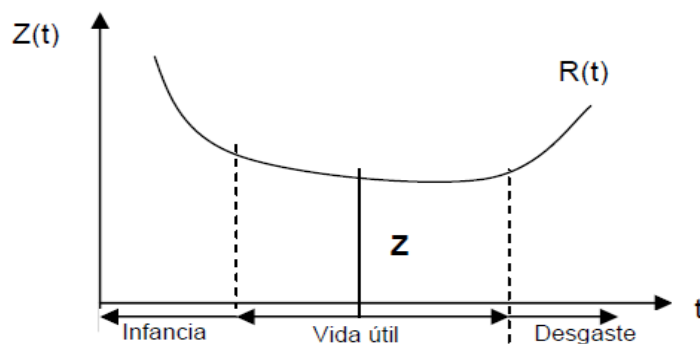


Gráfico 2.5. Curva de la tasa de fallos.

2. Confiabilidad de Sistemas

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 [REYES; OCAMPO, 1996].

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. Por ejemplo:

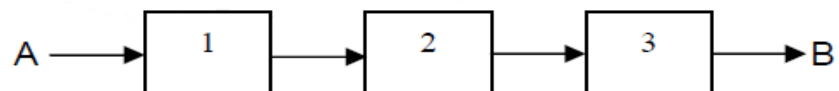


Gráfico 2.6. Sistema de equipos en serie.

Confiabilidad:

En general:

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.10)$$

Para el caso del ejemplo:

$$R_S = R_1 \times R_2 \times R_3$$

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.

a) 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.

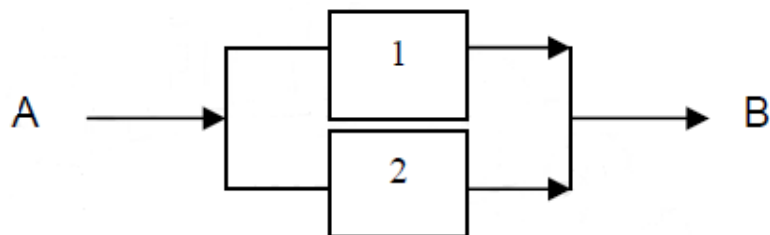


Gráfico 2.7. Sistema de 2 equipos en paralelo.

Confiabilidad:

$$R_S = R_1 + R_2 - R_1 \times R_2 \quad (2.11)$$

Segundo caso:

i) Sistema de tres unidades

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

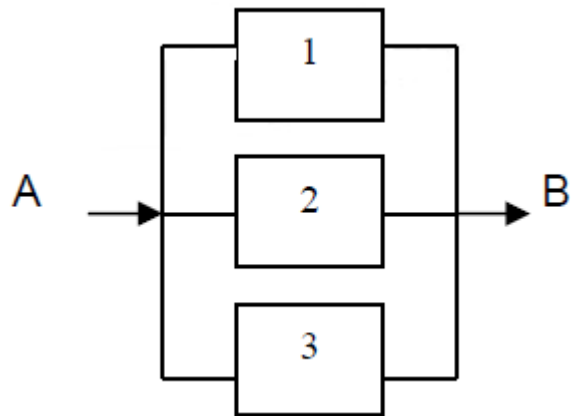


Gráfico 2.8. Sistema de 3 equipos en paralelo.

Confiabilidad:

$$\begin{aligned} R_S &= 1 - F_S = 1 - F_1 \times F_2 \times F_3 & (2.12) \\ &= R_1 + R_2 + R_3 - R_1 \times R_2 - R_1 \times R_3 - R_2 \times R_3 + R_1 \times R_2 \times R_3 \end{aligned}$$

ii) Sistema de tres unidades (la misma disposición de i)

- Las tres unidades funcionan.
- Sólo se requieren dos.
- Falla el sistema si fallan dos unidades

Confiabilidad:

$$R_s = R_1 \times R_2 + R_1 \times R_3 + R_2 \times R_3 - 2 \times R_1 \times R_2 \times R_3 \quad (2.13)$$

b) 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 4 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.

Condiciones:

- ♦ El sistema cumple su función si una unidad falla en un tiempo $t_1 (1 \ll t)$.
- ♦ El tiempo t_1 debe ser mínimo.

b. La Curva de Davies o de la Bañera

Dado que la tasa de los fallos varía respecto al tiempo, su representación típica tiene forma de bañera, el cual es un gráfico que representa, de manera general las fases de vida de un componente. Aunque sea presentada como genérica sólo es válida para componentes individuales.

De acuerdo a esta curva la vida de los dispositivos tiene un comportamiento que viene reflejado por tres etapas diferenciadas:

- Fallas iniciales o etapa de mortalidad infantil (Tasa decrece)
- Fallas normales o etapa de vida útil (Tasa constante)
- Fallas de desgaste o etapa de desgaste (Tasa aumenta)

En la siguiente figura se puede ver la representación de la curva típica de la evolución de la tasa de fallas

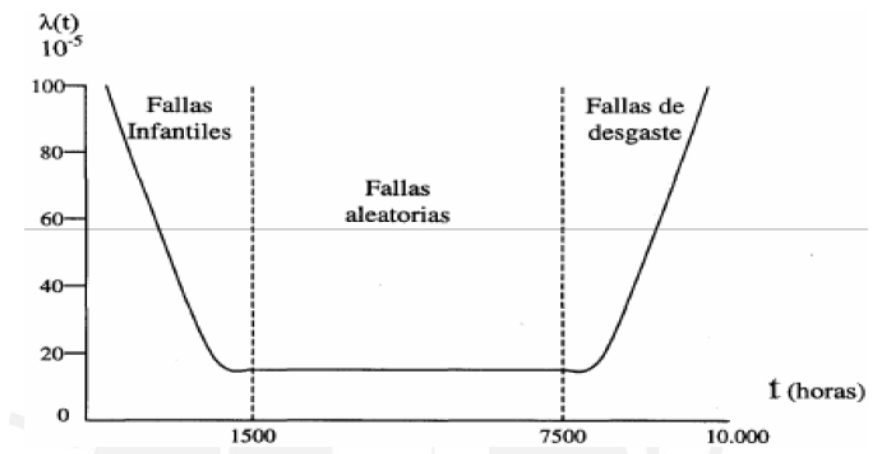


Gráfico 2.9. Curva de Davies o de la Bañera

A continuación se describen dichos periodos de vida de los componentes:

Fallas iniciales o etapa de mortalidad infantil: es caracterizada por fallos prematuros. La tasa de fallas es decreciente, teniendo su origen en la deficiencia del proceso de fabricación y control de calidad, mano de obra no calificada, materiales fuera de especificación, componentes no especificados, sobrecarga en la primera prueba, contaminación, error humano, instalación inadecuada, etc.

Fallas normales o etapa de vida útil: es caracterizado por una tasa de fallas constante. Normalmente las fallas son de naturaleza aleatoria, poco pudiendo ser hecho para evitarlas. Las fallas casuales de este periodo son, de entre otras: interferencia indebida, tensión/resistencia, factor de seguridad insuficiente, cargas mayores que las esperadas, resistencia menor que la esperada, defectos abajo del límite de sensibilidad de los

ensayos, errores humanos durante el uso, aplicación indebida, abuso, fallas no detectables, causas inexplicables y fenómenos naturales imprevisibles.

Fallas de desgaste o etapa de desgaste: se inicia cuando está terminando la vida útil del equipo; la tasa de fallas por desgaste crecen continuamente.

Son causas del periodo de desgaste: e envejecimiento, desgaste/abrasión, degradación de la resistencia, fatiga, fluencia, corrosión, deterioro mecánico-eléctrico químico o hidráulico, mantenimiento insuficiente o deficiente y vida de proyecto muy corta [PASCUAL, 2002].

c. Metodología para la Implementación del RCM.

La metodología RCM, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas:

1. ¿Cuál es la función del activo?
2. ¿De qué manera puede fallar?
3. ¿Qué origina la falla?
4. ¿Qué pasa cuando falla?
5. ¿Importa si falla?
6. ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?
7. ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla?

El éxito del proceso de implantación del RCM en la industria dependerá básicamente del trabajo de equipo de RCM, el cuál se encargará de responder las siete preguntas básicas [AMÉNDOLA, 2002].

d. Herramientas Claves de Aplicación para el Desarrollo del RCM.

1. Definición del Contexto Operacional

Como parte de la definición de contexto operacional es importante tener en claro los procesos y sistemas:

Unidades de proceso: se define como una agrupación lógica de sistemas que funcionan unidos para suministrar un servicio.

Sistemas: Conjunto de elementos interrelacionados dentro de las unidades de proceso que tienen una función específica.

En esta parte del RCM nosotros podremos definir los factores que delimitan el problema de estudio, como:

- Perfil de operación.
- Ambiente de operación.
- Calidad/disponibilidad de los insumos requeridos (gas natural, aire, etc.)
- Alarmas señales de paro.
- Política de repuestos, recursos y logística.
- Condiciones laborales: horarios, guardias, nóminas, etc.

Luego a partir de dichas definiciones podremos desarrollar el contexto operacional, jerarquizando nuestro sistema, diseñando el diagrama EPS (entrada, proceso y salida); a su vez establecer e identificar las características de operación del personal tales como los turnos de operación, los parámetros de calidad y mantenimiento; y finalmente la división de nuestro proceso en sistemas así como en su delimitación.

2. Análisis de Modo de Falla y Efecto

El AMEF (análisis de modo de fallas y efectos de fallos) y el árbol lógico de decisión, constituyen las herramientas fundamentales que utiliza el RCM que responderán las siete preguntas básicas:

AMEF (Análisis de modo de fallas y efecto de fallos):

herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallos de cada activo en su contexto operacional. A partir de esta técnica se logra:

1. Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos
2. Identificar debilidades de diseño.
3. Proveer alternativas en la etapa de diseño.
4. Proveer criterios para prioridades de acciones correctivas.

5. Proveer criterios para prioridades de acciones preventivas.

6. Asistir en la identificación de fallas en sistemas con anomalías.

Pudiendo así responder las pregunta 1, 2, 3, 4 y 5 del RCM.

Existen muchas manera de evaluar el AMEF en el siguiente gráfico se observa un formato de realización

| SISTEMA: | | LINEA DE PETROLEO | | | | MOTOR ELECTROICO - BOMBA DE COMBUSTIBLE | | | | | | | | |
|------------|---------|--|-----------|--|-----------------|---|-----------|---|-----|---|---|-----|--|--|
| N° | FUNCION | FALLA FUNCIONAL | MODALIDAD | EVIDENTE | EFECTO DE FALLA | E M C O T | | | | | | | | |
| | | | | | | SEVERIDAD | OCURENCIA | DETECCION | NPR | | | | | |
| MOTORIZADO | 1 | Generar un trabajo mecánico, impulsar el eje de entrada de la bomba de patrones realista, 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 patrones motor | 1 | No existe suministro de energía eléctrica al subsistema | SI | El motor no arranca ni se energiza, la planta de VPU se suelta en suministro de energía eléctrica, existe una falla en el suministro por parte de Casa de Turbinas, se energiza los generadores diesel AC de emergencia para restablecer el suministro Tiempo máximo para la computadora: 10 minutos con un electricista | 6 | 2 | 2 | 32 | | |
| | | | | | 2 | Falta en el terminal de conexión de alimentación | SI | El motor no arranca ni se energiza, verifica 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 reparar: 30 minutos con un electricista | 7 | 3 | 2 | 42 | | |
| | | | | | 3 | Eje bloqueado por rodamientos agrietados | SI | El motor no arranca ni se energiza, suelta la alarma en el tablero de control indicando la paralización del equipo, requiere cambio de motor impulsado por los rodamientos agrietados, se cuenta con un motor en stand by Tiempo mantenimiento: 3 horas, con un mecánico y un electricista | 6 | 3 | 5 | 120 | | |
| | | | | | 4 | Señal término del motor este disponible | SI | El motor se detiene por motivo de una elevación de corriente, sobre consumo de corriente sobre esfuerzo consumiendo más corriente. Inmediatamente revisar los sistemas de alimentación eléctrica y se procede a resetear la falla Tiempo para reparar: 30 minutos con un electricista | 6 | 6 | 3 | 144 | | |
| | | | | | 5 | Existe un daño interno en el estator del motor | NO | El motor se energiza pero no arranca, no se puede impulsar el eje de entrada de la bomba de patrones realista, se debe de revisar el estado de los bobinados, se requiere 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 reparar: 3 horas, con un mecánico y un electricista | 7 | 2 | 2 | 28 | | |
| | | | | | 6 | Dispersión de gas cambiado | SI | El motor se energiza pero no hay flujo en la bomba de patrones realista, verificar el sentido del giro del motor, liberar la línea de los tres hilos y línea de alimentación al motor Tiempo de cambio: 10 minutos con un electricista | 6 | 2 | 2 | 32 | | |
| | | | B | Transferir 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 patrones realista, requerido dentro del proceso, se revisa el motor por separado, y se encuentra en buen estado, existe 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 patrones realista, se verifica las protecciones del motor, posibles daños internos del motor, pérdida de eficiencia, se reemplaza el motor y se reemplazan elementos asociados Tiempo para reemplazar: 48 minutos con un electricista | 5 | 2 | 5 | 50 | | |
| | | | | | 3 | Ruido excesivo en los rodamientos | SI | Existe ruidos altos y vibraciones 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: 3 horas con un mecánico y un electricista | 6 | 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 patrones realista, se repara el motor y se reemplazan las piezas asociadas en el taller de mantenimiento eléctrico, el aislamiento del motor se sobe del agua Tiempo para reparar: 4 horas con un electricista | 5 | 1 | 7 | 35 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Gráfico 2.10. Formato de AMEF

Dentro del desarrollo del AMEF se determina el NPR (Número de prioridad de riesgo), el cual se da por la multiplicación por tres índices de probabilidad, los cuales son la **Gravedad o Severidad**, el nivel de **Ocurrencia** y por la facilidad de **Detección**.

$$NPR = GXOXD \quad (2.14)$$

Dichos índices de evaluación se van determinando en escalas de 1 hasta 10 en función de las características que se describan para cada uno de ellos, siendo puntaje el menor 1 y 1000 el mayor para la evaluación y por consecuencia el valor más crítico de un AMEF. Definiremos dicho índices: **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.

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

Frecuencia = Número de fallas en un tiempo determinado.

Consecuencia = (Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional)+Costo Mtto.+Impacto SAH

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.

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:

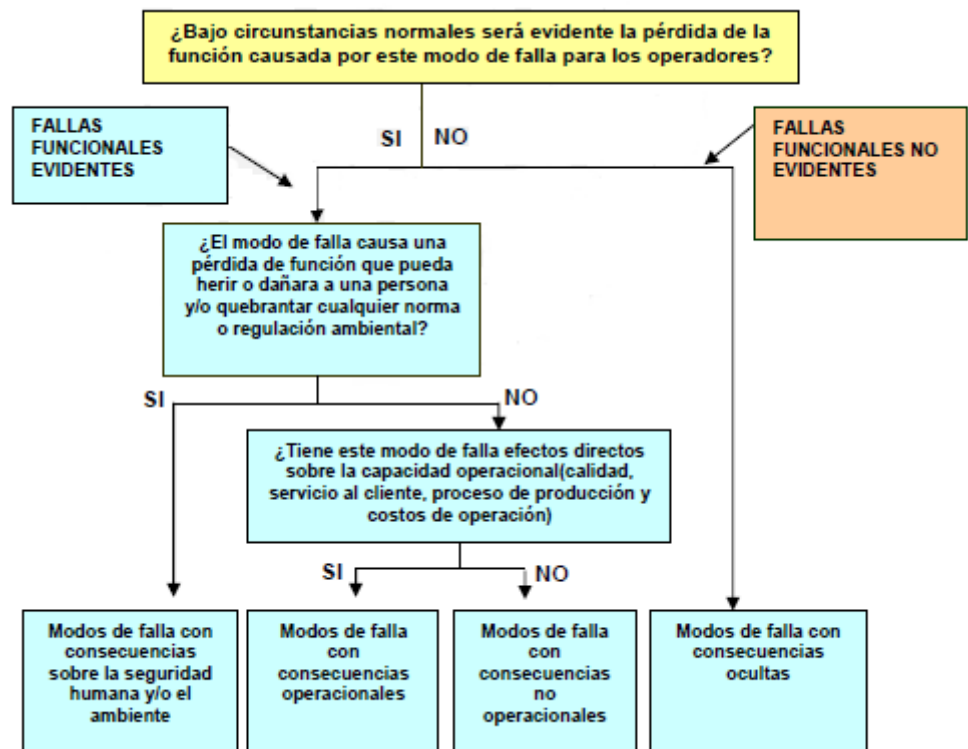


Gráfico 2.11. Árbol lógico de decisiones.

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:

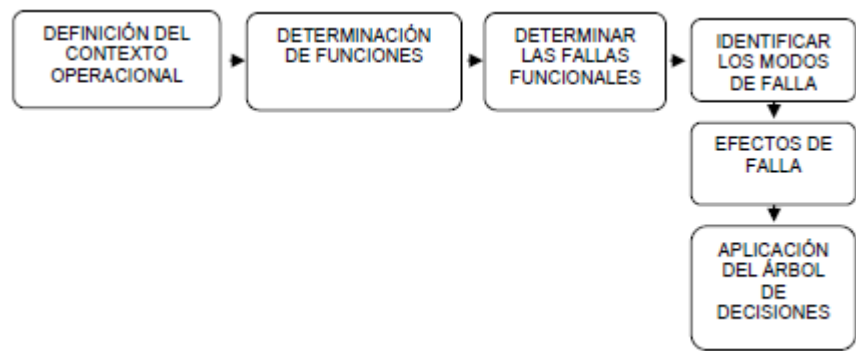


Gráfico 2.12. Esquema de conducción del RCM

2.3. Marco Conceptual

2.3.2 Mantenimiento

Tipos de mantenimiento

En las operaciones de mantenimiento podemos diferenciar las siguientes definiciones:

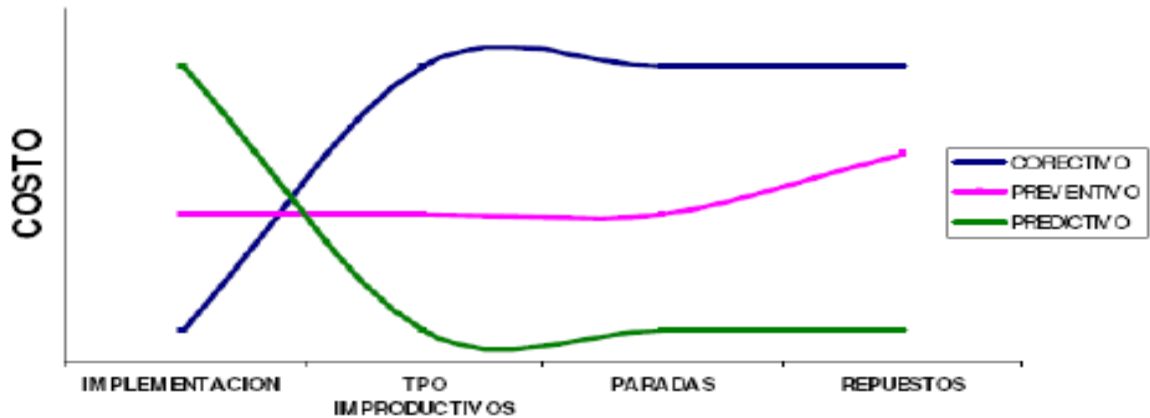
- a. **Mantenimiento de Actualización:** Es el mantenimiento cuyo propósito es compensar la obsolescencia tecnológica, o las nuevas exigencias, que en el momento de construcción no existían o no fueron tenidas en cuenta pero que en la actualidad si tienen que serlo.
- b. **Mantenimiento de Conservación:** Es el mantenimiento destinado a compensar el deterioro sufrido por el uso, los agentes meteorológicos u otras causas. En el mantenimiento de conservación pueden diferenciarse:
 - **Mantenimiento Correctivo:** Es el mantenimiento que corrige los defectos o averías observados.
 - **Mantenimiento Correctivo Inmediato:** Es el que se realiza inmediatamente de percibir la avería y defecto, con los medios disponibles, destinados a ese fin.
 - **Mantenimiento Correctivo Diferido:** Es el que al producirse la avería o defecto, se tiene un paro de la instalación o equipamiento de que se trate, para posteriormente afrontar la reparación, solicitándose los medios para ese fin.
 - **Mantenimiento Preventivo:** Es el mantenimiento destinado a garantizar la fiabilidad de equipos en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o avería por deterioro. En el mantenimiento preventivo podemos ver:

- **Mantenimiento Preventivo Programado:** Es el que se realiza por programa de revisiones, por tiempo de funcionamiento, kilometraje, etc.
- **Mantenimiento Preventivo Predictivo:** Que realiza las intervenciones prediciendo el momento que el equipo quedara fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento determinando su evolución, y por tanto el momento en el que las reparaciones deben efectuarse.
- **Mantenimiento Preventivo de Oportunidad:** Es el que aprovecha las paradas o periodos de no uso de los equipos para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización.

FIGURA N° 2.2
TIPOS DE MANTENIMIENTO



FIGURA N° 2.3
COSTO DE MANTENIMIENTO VS TIPO DE MANTENIMIENTO



Técnicas de Mantenimiento

En la actualidad existen diferentes herramientas, técnicas, metodologías y filosofías de mantenimiento, algunas de las más utilizadas son:

- Mantenimiento Autónomo
- Mantenimiento Preventivo (MP)
- Mantenimiento Productivo Total (MPT)
- Mejoramiento de la confiabilidad Operacional (MCO)
- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC o RCM)
- Mantenimiento basado en el riesgo (MBR o RBM)
- Análisis Causa Raíz (ACR)
- Análisis de Criticidad

Actualmente uno de los mayores retos para las personas encargadas de temas de mantenimiento no solo es aprender todas las técnicas existentes, sino identificar cuáles son las más adecuadas para aplicar en su propia organización y cuáles no, teniendo desde el punto de vista técnico como

económico. Tomando la alternativa correcta se podrá minimizar las fallas y dar confiabilidad a las operaciones.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1. 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.

3.1.2. Nivel de Investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio descriptivo evaluativo.

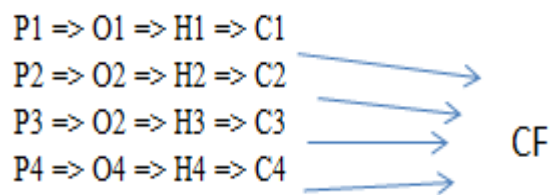
3.2. Método y Diseño de la Investigación

3.2.1. Método de la Investigación

El método utilizado en este trabajo de investigación es el de observación.

3.2.2. Diseño de la 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 centrara el cumplimiento de los objetivos, y así plantear el plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la caldera de 200 BHP.



3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

Con la participación del personal de Operaciones (Gerente de Operaciones, Jefe del turno, Coordinador de Operaciones), personal de Mantenimiento (Gerente de Mantenimiento, Planificadores de Mantenimiento) y posterior Aprobación del listado por parte del Gerente de Planta. Se revisó un listado de los Activos de la planta sumando un total de 875 activos, por lo que fue necesaria la depuración de los mismos, ya que solo se han de considerar aquellos activos que puedan comprometer la continuidad operacional de la planta, y posterior clasificación acorde a su ubicación en la planta de harina de pescado.

3.3.2. Muestra

De lo expuesto en el punto anterior y de acuerdo a la metodología del RCM se logró clasificar 82 equipos entre críticos y semi-críticos, de los cuales la caldera punto de partida de este trabajo de investigación es la más crítica.

3.4. Técnicas, Instrumentos y Fuentes de Recolección de Datos

3.4.1. Técnicas

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 de harina de pescado, para poder determinar los códigos de los equipos que pudiesen faltar codificar, 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 mejor 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 hacer de la

experiencia del personal acerca de los equipos en la planta de harina de pescado.

3.4.2. Instrumentos y Confiabilidad

Para la recolección de datos, se procedió Una vez determinada la criticidad de los equipos, se procede a calcular los siguientes indicadores de Disponibilidad y confiabilidad:

$$TMEF = \frac{\textit{Horas en marcha del equipo}}{\textit{Cantidad de intervenciones correctivas}}$$

$$TMPR = \frac{\sum \textit{Horas de mantenimiento correctivo}}{\textit{Cantidad de intervenciones correctivas}}$$

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{Horas en marcha del equipo} - \sum \textit{Horas de mantenimiento}}{\textit{Horas en marcha del equipo}}$$

$$\textit{Confiabilidad} = \frac{\textit{Horas en marcha del equipo} - \sum \textit{Horas mantenimiento correctivo}}{\textit{Horas en marcha del equipo}}$$

$$\textit{Confiabilidad} = \frac{TMEF - TMPR}{\textit{Horas en marcha del equipo}}$$

TMEF: Expresa el tiempo promedio entre intervenciones

TMPR: Expresa el tiempo promedio que se demora en reparar el equipo cada vez que es intervenido.

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo básico de cualquier gestión de Mantenimiento, consiste en incrementar la disponibilidad de los activos, a bajos costes, permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional. En otras funciones para las cuales fueron diseñados. Es decir, deben estar centrados en la Confiabilidad Operacional.

El Mantenimiento RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

- Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Manteniendo mucha atención en las tareas del Mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar.

Figura 4.1.



Fuente. Elaborado por el autor

Figura 4.2.

| Program Organization | RCM Program Elements | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|----------------------------------|
| | Maintenance Philosophy | Program Organization | Performance Measures (Metrics) | Proactive Maintenance | PT&I Technologies | Preventive Maintenance | Training & Personnel Development |
| Organization A | ▼ | ▲ | ▼ | ▲ | ▼ | ▶ | ▼ |
| Organization B | ▼ | ▼ | ▼ | ▼ | ▼ | ▶ | ▶ |
| Organization C | ▼ | ▼ | ▲ | ▼ | ▼ | ▶ | ▼ |
| Organization D | ▼ | ▼ | ▼ | ▼ | ▶ | ▶ | ▼ |
| Organization E | ▲ | ▼ | ▼ | ▼ | ▼ | ▶ | ▼ |
| Organization F | ▼ | ▼ | ▼ | ▲ | ▼ | ▶ | ▼ |
| Overall Center (Critical Facilities) | ▼ | ▼ | ▼ | ▶ | ▼ | ▶ | ▼ |

Legend: ▲ Fully Mature ▶ Some Initiatives ▼ No Initiatives

Fuente. Elaborado por el autor

El RCM es una herramienta que permite optimizar las acciones de mantenimiento programadas. Los criterios a tomar en cuenta son:

- ✓ La seguridad;
- ✓ La disponibilidad;
- ✓ El costo de mantención;
- ✓ Calidad de la producción.

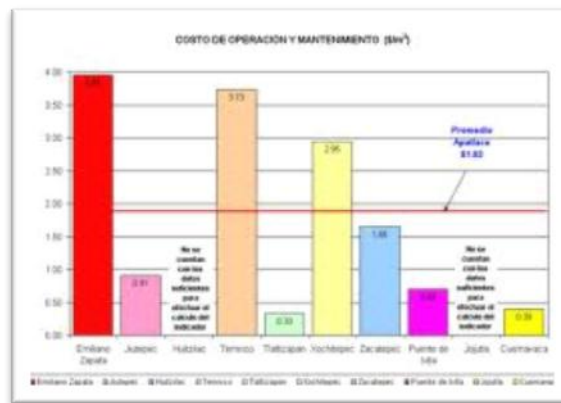


Figura 4.3.



Fuente. Elaborado por el autor

Figura 4.4.



Fuente. Elaborado por el autor

En consecuencia, el termino confiabilidad es restrictivo. Sería mejor una denominación del tipo: mantenimiento basado en la disponibilidad.

Los objetivos generales son:

- Definir y justificar las acciones de mantención programada a implementar;
- Redefinir las acciones de mantención programada;
- Asegurar y aumentar la eficiencia del equipo en materia de seguridad de funcionamiento,
- Emitir recomendaciones técnicas respecto de los equipos.

Figura 4.5.

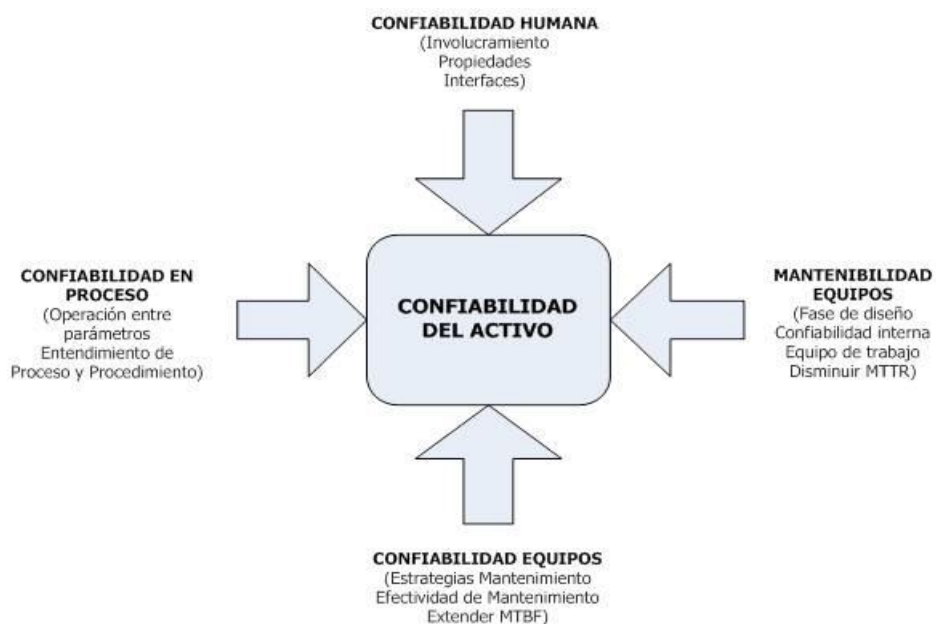


Fuente. Elaborado por el autor

La aplicación del RCM implica:

- Mejor conocimiento sobre el sistema;
- Responsabilidad del personal;
- Mayor cohesión entre los servicios de la empresa;
- Toma de acciones por la seguridad de los equipos y las personas;
- Validación de las modificaciones en el tiempo.

Figura 4.6.



Fuente. Elaborado por el autor

El RCM es progresivo. Tiene varias etapas y se aplica subconjunto a subconjunto.

- ❖ **Estructurado**, es un camino estructurado que usa metodologías existentes.
- ❖ **Dinámico**, dado que aprovecha la experiencia acumulada en el tiempo.

La implementación del RCM busca:

- Elaborar un programa de mantenimiento preventivo optimizado que garantice la seguridad de funcionamiento,
- Teniendo en cuenta las restricciones económicas.
- Medio de mejoramiento de la organización.
- Conservación de datos históricos de mantenimiento y producción.

Figura 4.7.

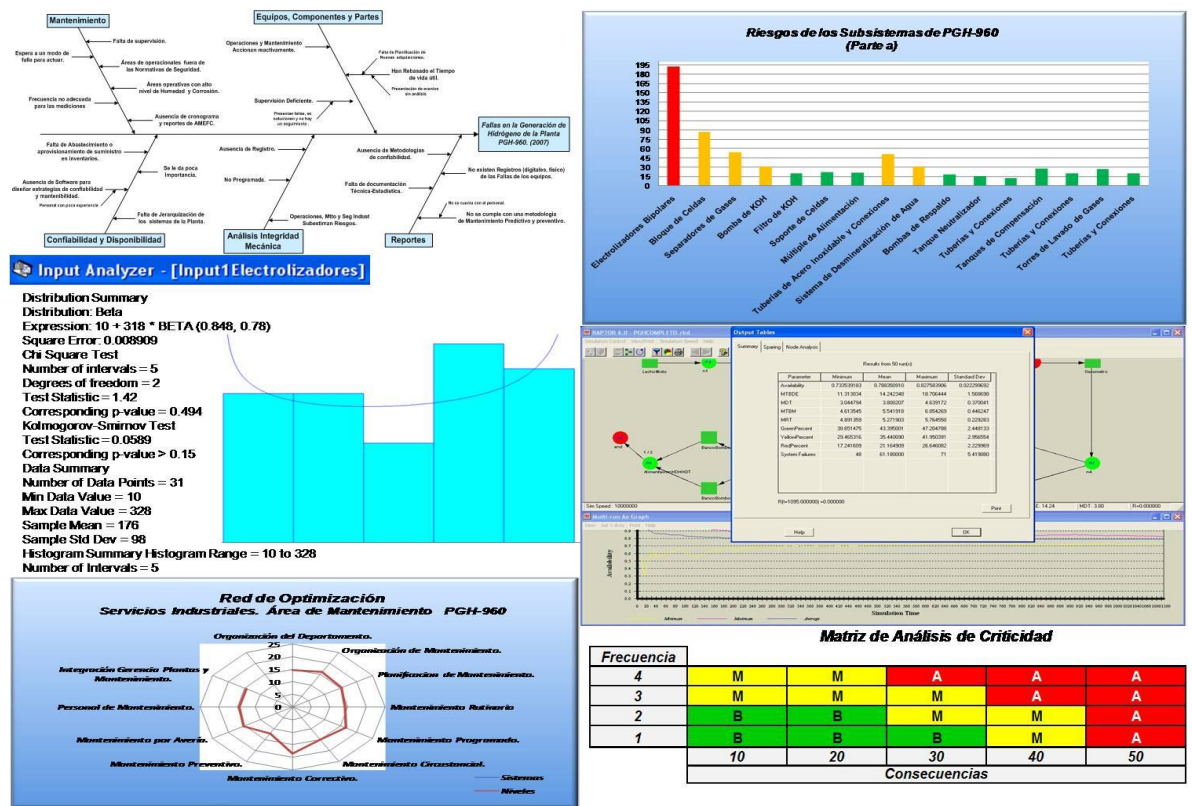


Fuente: Elaborado por el autor.

Mejoramiento del mantenimiento, Se puede descomponer en 3 aspectos:

1. Aspecto organizacional: El RCM provoca en general que la mantención predictiva aumente, la necesidad de repuestos disminuya, y los reemplazos sean justificados con criterios técnico - económicos.

Figura 4.8.



Fuente: Elaborado por el autor

2. Aspecto humano: El trabajo en equipo entre actores de diferentes servicios produce sinergia. Se han observado aumentos de 10% de la producción tras solo 3 meses de RCM. La seguridad y la protección ambiental son mejoradas.

3. Aspecto técnico:

- Determinación de equipos críticos,
- Determinación de fallas principales, causas y efectos principales;
- Definición de modificaciones al proceso,
- Especificación de tareas de mantención preventiva;

- Definición de la política de mantención;
- Definición del planning de las acciones preventivas,
- Creación de documentación más homogénea,
- Aumento en la vida de los equipos.

Herramientas utilizadas

1. Matriz de criticidad, que permite apreciar el impacto de las fallas de los equipos sobre criterios tales como la seguridad, la disponibilidad y la calidad;
2. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad; que define la importancia relativa de las fallas, sus causas y efectos;
3. Árboles de falla, que sirve, en función de la falla, a identificar el tipo de consecuencia sobre el equipo y definir los niveles de acciones de mantención a realizar.

Elaboración del plan técnico

Constitución de grupos

Durante las etapas de implementación del RCM, se crean tres grupos interdisciplinarios:

- ✓ Grupo de gestión;
- ✓ Grupo de análisis;
- ✓ Grupo de información.

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

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

Grupo de análisis el 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.

ETAPAS

La implementación de un programa de mantenimiento planificada se realiza en 4 etapas:

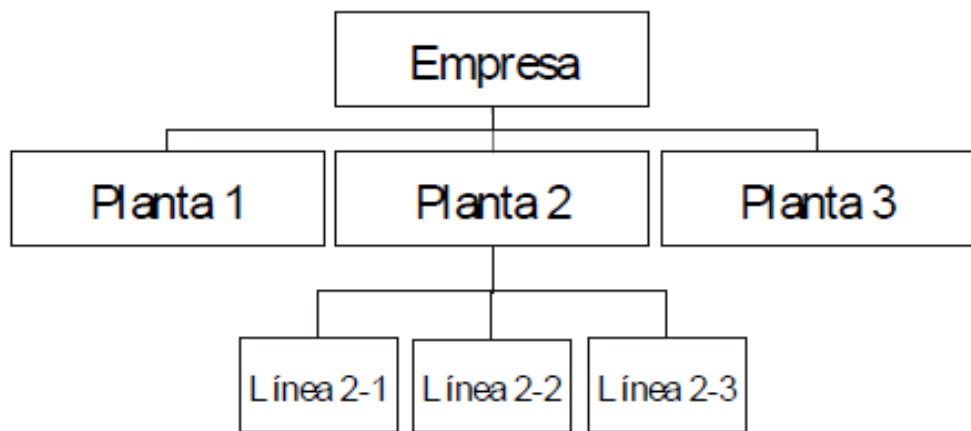
- La primera etapa corresponde al estudio del conjunto de equipos. Se busca determinar los equipos críticos a ser considerados por el estudio.
- La segunda etapa permite un análisis de fallas de los diferentes equipos estudiados.
- La tercera etapa define las acciones a ejecutar para mejorar la seguridad de funcionamiento de los equipos. Ello conduce a la planificación de las tareas.

Estas 3 etapas se realizan secuencialmente en un plazo corto (una semana por equipo es recomendada). Se logra un programa preventivo inicial.

- En la cuarta etapa se afina el programa de mantenimiento propuesto.

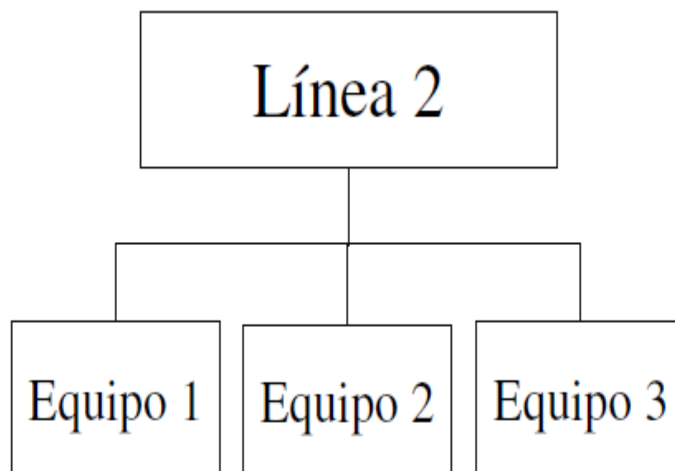
Descomposición de la empresa El RCM va de lo general a lo particular. Es necesario descomponer el conjunto de equipos en niveles cada vez más finos, hasta llegar al componente básico. Existen 2 enfoques:

- Funcional;



Se muestra una descomposición geográfica y luego funcional

- Geográfico;



Esta primera descomposición es seguida por una segunda, que llega a nivel equipos

Etapa I: Estudio de las plantas

La empresa posee varias plantas, la selección de la planta piloto debe ser juiciosa. La selección es un elemento motivador para el personal concernido.

Clasificación con la matriz de criticidad

Para clasificar los equipos se utilizan 3 criterios: seguridad, disponibilidad, calidad. Consideraciones para cada criterio:

Seguridad

- ◆ Influencia de la para en el entorno
- ◆ Directivas reglamentarias
- ◆ Situaciones ya ocurridas

Disponibilidad

- ◆ Influencia de las detenciones
- ◆ Existencia de equipos redundantes
- ◆ Influencia (fallas) de otros equipos en caso de para
- ◆ Frecuencia de paras
- ◆ Tiempos medios para reparar

Calidad

- ◆ Porcentaje de perdidas debido a los equipos
- ◆ Influencia en la calidad final del producto

Tabla 4.1. Matriz de Criticidad

| | | | | |
|----------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | | Calidad | | |
| | | Inaceptable | A controlar | Despreciable |
| Disponibilidad | Inaceptable | | | |
| | A controlar | | | |
| | Negligible | | | |

Fuente: Elaborado por el autor.

Etapa I: Estudio de las plantas

Para los criterios de calidad y disponibilidad se pueden usar, por ejemplo, 3 niveles de ponderación:

- **Inaceptable:** se deben realizar todos los esfuerzos para evitar falla en este equipo;
- **A controlar:** las fallas serán evitadas realizando inspecciones;
- **Insignificante:** la falla del equipo tiene consecuencias insignificantes y no se producen frecuentemente.

Estos datos son ponderados en siguiente ficha:

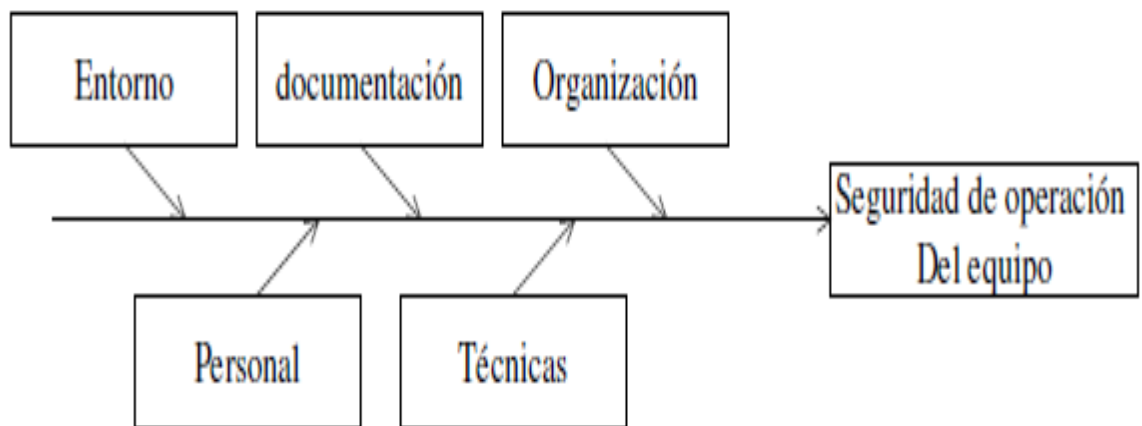
Tabla 4.2. Ficha de Ponderación de equipos

| Ponderación de Equipos | | | | | | | |
|------------------------|--------|----------------|----------------|----------------|---------|---------------|--|
| Proyecto: | | | Planta: | | | | |
| Línea: | | | Fecha: | | | | |
| Código Planta | Planta | Código Equipos | Peso Seguridad | Disponibilidad | Calidad | Observaciones | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Aprobado por: | | | | Fecha: | | | |

Fuente: Elaborado por el autor

El objetivo de esta etapa es reducir el universo de equipos a estudiar (eliminar aquellos de efecto insignificante), no clasificar de manera detallada a los equipos críticos.

Etapa I: Estudio de las plantas



Ejemplo de diagrama **causas/efectos** para estudiar la seguridad de funcionamiento de un Sistema

ETAPA II: ANALISIS DE FALLA

Se pueden distinguir 3 fases en esta etapa:

1. Análisis funcional del equipo.
2. Determinación de equipos con fallas funcionales críticas.
3. Análisis de modos de fallas. Se obtiene una lista jerarquizada de las causas de falla de los equipos.

ANALISIS FUNCIONAL DEL SISTEMA

Antes de realizar un análisis de modos de falla, es necesario descomponer al equipo en sub-sistemas y establecer las relaciones funcionales que existen entre ellos.

ANALISIS DE MODOS DE FALLA

El análisis consiste en estudiar y listar los diferentes modos de falla usando métodos tales como los Diagramas de Pareto o los diagramas causa-efecto.

La ficha FMECA es preparada por el grupo de análisis y completada por el grupo de información).

Para cada modo de falla es posible encontrar varias causas y varios efectos.

El modo de falla ha sido definido a nivel de las funciones del equipo.

La causa de falla es la anomalía inicial susceptible de conducir a un modo de falla. Se expresa como una diferencia respecto de un nivel de referencia fijado anteriormente.

ETAPA III: ELABORACION DEL PLAN TECNICO

Las fases de esta etapa son:

- Definir arboles de decisión
- Creación del plan técnico
- Planificación de tareas

ARBOL DE DECISIONES

Las etapas anteriores permitieron fijar para cada causa de falla el valor de los criterios de seguridad, disponibilidad, calidad.

Ahora se jerarquiza las acciones a tomar.

CREACION DEL PLAN DE MANTO. TECNICO

El grupo equipos debe entregar el plan de Mantenimiento, que debe incluir.

1. Tipo de operación (procedimiento completo)
2. Tipo de mantención
3. Periodo de intervención
4. Observaciones particulares
 - Seguridad
 - Confidencialidad
5. Calificación y número de personal de intervención
6. Tiempo de intervención
7. Tipo y número de repuestos
8. Tipo y número de herramientas y equipos
9. Referencia a la documentación técnica necesaria

Para ello el grupo se sirve de los elementos siguientes:

- históricos de otros equipos similares;
- datos provistos por el fabricante.

PLANIFICACION DE TAREAS

Los resultados anteriores se programan en la ficha.

Este programa constituye la base y debe ser enriquecido con la experiencia.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO:

| SISTEMA | SUBSISTEMA | F. FUNCIONAL | M. FALLA | AMECF | | | | | |
|-----------|---------------|-------------------|----------|-------------------|------------|-----------|-----|---|-----|
| | | | | SEVERIDAD | OCURRENCIA | DETECCIÓN | NPR | | |
| | | | | LINEA DE PETROLEO | | | | | |
| MOT2-0799 | 1 | A | 1 | 8 | 2 | 2 | 32 | | |
| | | | 2 | 7 | 3 | 2 | 42 | | |
| | | | 3 | 8 | 3 | 5 | 120 | | |
| | | | 4 | 8 | 6 | 3 | 144 | | |
| | | | 5 | 7 | 2 | 2 | 28 | | |
| | | | 6 | 8 | 2 | 2 | 32 | | |
| | B | 1 | 7 | 4 | 5 | 140 | | | |
| | | 2 | 5 | 2 | 5 | 50 | | | |
| | | 3 | 6 | 5 | 3 | 90 | | | |
| | | 4 | 5 | 1 | 7 | 35 | | | |
| | | LINEA DE PETROLEO | | | | | | | |
| | | BOM2-0089 | 2 | A | 1 | 8 | 3 | 5 | 120 |
| | | | | | 2 | 8 | 4 | 4 | 128 |
| | | | | | 3 | 8 | 2 | 6 | 96 |
| 4 | 8 | | | | 4 | 3 | 96 | | |
| 5 | 8 | | | | 3 | 4 | 96 | | |
| B | 1 | | 6 | 5 | 3 | 90 | | | |
| | 2 | | 5 | 4 | 2 | 40 | | | |
| | 3 | | 5 | 4 | 5 | 100 | | | |
| | 4 | | 6 | 2 | 6 | 72 | | | |
| | 5 | | 7 | 5 | 3 | 105 | | | |
| | 6 | | 7 | 3 | 6 | 126 | | | |
| | 7 | | 6 | 3 | 6 | 108 | | | |
| | LINEA DE AGUA | | | | | | | | |
| | MOT2-0798 | | 3 | A | 1 | 8 | 2 | 2 | 32 |
| 2 | | 7 | | | 3 | 2 | 42 | | |
| 3 | | 8 | | | 3 | 5 | 120 | | |
| 4 | | 8 | | | 6 | 3 | 144 | | |
| 5 | | 7 | | | 2 | 2 | 28 | | |
| 6 | | 8 | | | 2 | 2 | 32 | | |
| B | | 1 | 7 | 4 | 5 | 140 | | | |
| | | 2 | 5 | 2 | 5 | 50 | | | |
| | | 3 | 6 | 5 | 3 | 90 | | | |
| | | 4 | 5 | 1 | 7 | 35 | | | |
| | | LINEA DE AGUA | | | | | | | |
| | | BOMB2-0088 | 4 | A | 1 | 8 | 3 | 5 | 120 |
| | | | | | 2 | 7 | 2 | 3 | 42 |
| | | | | | 3 | 8 | 2 | 6 | 95 |
| B | 1 | | 7 | 3 | 3 | 63 | | | |
| | 2 | | 6 | 4 | 3 | 72 | | | |
| | 3 | | 7 | 5 | 3 | 105 | | | |

| AMECF | | |
|-------|--------|-----|
| N° | CODIGO | NPR |
| 1 | 6B4 | 168 |
| 2 | 6B5 | 147 |
| 3 | 1A4 | 144 |
| 4 | 3A4 | 144 |
| 5 | 5A4 | 144 |
| 6 | 7A4 | 144 |
| 7 | 1B1 | 140 |
| 8 | 3B1 | 140 |
| 9 | 5B1 | 140 |
| 10 | 7B1 | 140 |
| 11 | 2A2 | 128 |
| 12 | 2B6 | 126 |
| 13 | 4B5 | 126 |
| 14 | 6B3 | 126 |
| 15 | 1A3 | 120 |
| 16 | 2A1 | 120 |
| 17 | 3A3 | 120 |
| 18 | 4A1 | 120 |
| 19 | 5A3 | 120 |
| 20 | 6A2 | 120 |
| 21 | 6B6 | 120 |
| 22 | 7A3 | 120 |
| 23 | 8B3 | 120 |
| 24 | 5A3 | 112 |
| 25 | 2B7 | 108 |
| 26 | 4B6 | 108 |
| 27 | 8B1 | 108 |
| 28 | 2B5 | 105 |
| 29 | 4B3 | 105 |
| 30 | 6B1 | 105 |
| 31 | 8A4 | 105 |
| 32 | 2B3 | 100 |
| 33 | 8A2 | 98 |
| 34 | 2A3 | 96 |
| 35 | 2A4 | 96 |
| 36 | 2A5 | 96 |
| 37 | 4A3 | 96 |
| 38 | 6A3 | 96 |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|---|---|----|---|-----|-----|-----|
| QUEMADOR | MOT2-8000 | 5 | A | 4 | 7 | 2 | 3 | 42 |
| | | | | 5 | 7 | 3 | 6 | 126 |
| | | | | 6 | 6 | 3 | 6 | 108 |
| | | | | 1 | 8 | 2 | 2 | 32 |
| | | | | 2 | 7 | 3 | 2 | 42 |
| | | 3 | 8 | 3 | 5 | 120 | | |
| | | 4 | 8 | 6 | 3 | 144 | | |
| | | 5 | 8 | 2 | 7 | 112 | | |
| | | B | 1 | 7 | 4 | 5 | 140 | |
| | 2 | | 6 | 5 | 3 | 90 | | |
| | 3 | | 5 | 2 | 5 | 50 | | |
| | 4 | | 5 | 1 | 7 | 35 | | |
| | VEN1-0057 | 6 | A | 1 | 8 | 2 | 3 | 48 |
| | | | | 2 | 8 | 3 | 5 | 120 |
| | | | | 3 | 8 | 2 | 6 | 96 |
| | | B | 1 | 7 | 3 | 5 | 105 | |
| | | | 2 | 5 | 3 | 2 | 30 | |
| | | | 3 | 6 | 3 | 7 | 126 | |
| 4 | | | 7 | 3 | 8 | 168 | | |
| 5 | | | 7 | 3 | 7 | 147 | | |
| 6 | | | 6 | 5 | 4 | 120 | | |
| ATOMIZACIÓN DE AIRE - VAPOR | MOT2-0797 | 7 | A | 1 | 8 | 2 | 2 | 32 |
| | | | | 2 | 7 | 3 | 2 | 42 |
| | | | | 3 | 8 | 3 | 5 | 120 |
| | | | | 4 | 8 | 6 | 3 | 144 |
| | | B | 5 | 7 | 2 | 3 | 42 | |
| | | | 1 | 7 | 4 | 5 | 140 | |
| | | | 2 | 6 | 5 | 3 | 90 | |
| | | | 3 | 5 | 2 | 5 | 50 | |
| | COM1-0016 | 8 | A | 4 | 5 | 1 | 7 | 35 |
| | | | | 1 | 8 | 3 | 2 | 48 |
| | | | | 2 | 7 | 2 | 7 | 98 |
| | | | | 3 | 7 | 1 | 7 | 49 |
| B | 4 | | 7 | 3 | 5 | 105 | | |
| | 1 | | 6 | 3 | 6 | 108 | | |
| | 2 | | 5 | 3 | 2 | 30 | | |
| | 3 | | 6 | 5 | 4 | 120 | | |
| 4 | 6 | 3 | 2 | 36 | | | | |

| | | |
|----|-----|----|
| 39 | 1B3 | 90 |
| 40 | 2B1 | 90 |
| 41 | 3B3 | 90 |
| 42 | 5B2 | 90 |
| 43 | 7B2 | 90 |
| 44 | 2B4 | 72 |
| 45 | 4B2 | 72 |
| 46 | 4B1 | 63 |
| 47 | 1B2 | 50 |
| 48 | 3B2 | 50 |
| 49 | 5B3 | 50 |
| 50 | 7B3 | 50 |
| 51 | 8A3 | 49 |
| 52 | 6A1 | 48 |
| 53 | 8A1 | 48 |
| 54 | 1A2 | 42 |
| 55 | 3A2 | 42 |
| 56 | 4A2 | 42 |
| 57 | 4B4 | 42 |
| 58 | 5A2 | 42 |
| 59 | 7A2 | 42 |
| 60 | 7A5 | 42 |
| 61 | 2B2 | 40 |
| 62 | 8B4 | 36 |
| 63 | 1B4 | 35 |
| 64 | 3B4 | 35 |
| 65 | 5B4 | 35 |
| 66 | 7B4 | 35 |
| 67 | 1A1 | 32 |
| 68 | 1A6 | 32 |
| 69 | 3A1 | 32 |
| 70 | 3A6 | 32 |
| 71 | 5A1 | 32 |
| 72 | 7A1 | 32 |
| 73 | 6B2 | 30 |
| 74 | 8B2 | 30 |
| 75 | 1A5 | 28 |
| 76 | 3A5 | 28 |

2. CONSECUENCIAS DE LOS MODOS DE FALLA:

| | | | | | ELEMENTO | | | | N° | REALIZADO POR | | FECHA: | HOJA | | | | | | | | |
|----|----------------------|-----------|------------------|-----|------------|-----|---------------|----|------|---------------|----------------------------|--------|------|--------------|-------------|--------|------------------------------------|------------------------------------|---|----------------|-------------------|
| | | | | | COMPONENTE | | | | REF. | REVISADO POR | | FECHA: | DE | | | | | | | | |
| N° | SISTEMA | EQUIPO | REFERENCIA AMECF | | | | CONSECUENCIAS | | | | ARBOL LOGICO DE DECISIONES | | | | ESTRATEGIAS | | | | | | |
| | | | F | FF | MF | NRP | H | S | E | O | H1 | H2 | H3 | TAREAS | | | TIPO MTTO | TAREA PROPUESTA | FRECUENCIA | A REALIZAR POR | |
| | | | | | | | | | | | S1 | S2 | S3 | "A FALTA DE" | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | O1 | O2 | O3 | H4 | H5 | S4 | | | | | |
| | | | | | | | | M | N1 | N2 | N3 | | | | | | | | | | |
| 1 | LINEA DE PETROLEO | MOT2-0799 | 1 | A | 3 | 120 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | M.B.U. | INSPECCION PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO | |
| 2 | | | 1 | A | 4 | 144 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | M.B.F. | CAMBIO DEL RELÉ TÉRMICO | - | ELECTRICISTA | |
| 3 | | | 1 | B | 1 | 140 | NO | | | | NO | NO | NO | SI | | | | M.B.F. | CAMBIO DE COMPONENTES DAÑADOS | - | ELECTRICISTA |
| 4 | | | 1 | B | 3 | 90 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA DE PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO |
| 5 | | | 2 | A | 1 | 120 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO |
| 6 | | | 2 | A | 2 | 128 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.F. | CAMBIO DE VALVULA SOLENOIDE PRINCIPAL | - | ELECTRONICO |
| 7 | | | 2 | A | 3 | 96 | NO | | | | SI | | | | | | | M.B.C. | INSPECCIÓN CON TINTE PENETRANTES | 3 MESES | MEC. ESPECIALISTA |
| 8 | | | 2 | A | 4 | 96 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | VERIFICAR CON REGLA LA ALINEACIÓN DE LAS POLEAS | SEMANAL | OPERADOR |
| 9 | | | 2 | A | 5 | 96 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.F. | CAMBIO DE VALVULA DE CONTROL DE CAUDAL | - | MECÁNICO |
| 10 | | | 2 | B | 1 | 90 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | LIMPIEZA DE FILTRO DE COMUSTIBLE RESIDUAL | MENSUAL | OPERADOR |
| 11 | | | 2 | B | 3 | 100 | SI | NO | SI | | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | INSPECCIÓN VISUAL | DIARIO | OPERADOR |
| 12 | | | 2 | B | 4 | 72 | NO | | | | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | VERIFICAR LA TOLERANCIA SEGÚN MANUAL DEL FABRICANTE | 6 MESES | MECÁNICO |
| 13 | | | 2 | B | 5 | 105 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | INSPECCION PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO |
| 14 | | | 2 | B | 6 | 126 | SI | NO | NO | SI | SI | | | | | | | M.B.C. | VERIFICAR CON REGLA LA ALINEACION DE LAS POLEAS | SEMANAL | MECÁNICO |
| 15 | | | 2 | B | 7 | 108 | SI | NO | NO | SI | SI | | | | | | | M.B.C. | ANALISIS VIBRACIONAL | 2 MESES | MEC. ESPECIALISTA |
| 16 | 3 | A | 3 | 120 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO | | |
| 17 | 3 | A | 4 | 144 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.F. | CAMBIO DE RELÉ TÉRMICO | - | ELECTRICISTA | | |
| 18 | 3 | B | 1 | 140 | NO | | | | NO | NO | NO | SI | | | | M.B.F. | CAMBIO DE COMPONENTES DAÑADOS | - | ELECTRICISTA | | |
| 19 | 3 | B | 3 | 90 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO | | |
| 20 | ALIMENTACIÓN DE AGUA | MOT2-0798 | 4 | A | 1 | 120 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO | |
| 21 | | | 4 | A | 3 | 96 | NO | | | | SI | | | | | | | M.B.C. | ANALISIS VIBRACIONAL | 3 MESES | MEC. ESPECIALISTA |
| 22 | | | 4 | B | 1 | 63 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.F. | CAMBIO DE COMPONENTES DAÑADOS | - | ELECTRÓNICO |
| 23 | | | 4 | B | 2 | 72 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.F. | CAMBIO DE SELLO MECÁNICO | 6 MESES | MECÁNICO |
| 24 | | | 4 | B | 3 | 105 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO |
| 25 | | | 4 | B | 5 | 126 | SI | NO | NO | SI | SI | | | | | | | M.B.C. | ALINEAMIENTO CON RELOJ COMPARADOR | 3 MESES | MEC. ESPECIALISTA |
| 26 | | | 4 | B | 6 | 108 | SI | NO | NO | SI | SI | | | | | | | M.B.C. | ANALISIS VIBRACIONAL | 2 MESES | MEC. ESPECIALISTA |
| 27 | | | 5 | A | 3 | 120 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO |
| 28 | QUEMA DOR | MOT2-8000 | 5 | A | 4 | 144 | SI | NO | NO | SI | NO | NO | SI | | | | M.B.F. | CAMBIO DE RELE TÉRMICO | - | ELECTRICISTA | |
| 29 | | | 5 | A | 5 | 112 | NO | NO | | | SI | | | | | | M.B.C. | INSPECCIÓN PERIODICA CON MEGOMETRO | 2 MESES | ELECTRICISTA | |
| 30 | | | 5 | B | 1 | 140 | NO | NO | | | NO | NO | NO | SI | | | | M.B.F. | CAMBIO DE COMPONENTES DAÑADOS | - | ELECTRICISTA |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------------------|-----------|---|---|---|-----|----|----|----|----|--|----|----|----|----|--|--------|------------------------------------|--------------|-------------------|
| 31 | QUEMADOR | VEN1-0057 | 5 | B | 2 | 90 | SI | NO | NO | SI | | NO | NO | SI | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO |
| 32 | | | 6 | A | 2 | 120 | SI | NO | NO | SI | | NO | NO | SI | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO |
| 33 | | | 6 | A | 3 | 96 | NO | | | | | SI | | | | | M.B.C. | INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES | 2 MESES | MEC. ESPECIALISTA |
| 34 | | | 6 | B | 1 | 105 | SI | NO | NO | SI | | NO | NO | SI | | | M.B.U. | CAMBIO DE VENTILADOR | 1 AÑO | OPERADOR |
| 35 | | | 6 | B | 3 | 126 | SI | NO | NO | SI | | SI | | | | | M.B.C. | ANALISIS VIBRACIONAL | 2 MESES | MEC. ESPECIALISTA |
| 36 | | | 6 | B | 4 | 168 | NO | | | | | SI | | | | | M.B.C. | ANALISIS VIBRACIONAL | 3 MESES | MEC. ESPECIALISTA |
| 37 | | | 6 | B | 5 | 147 | SI | NO | NO | SI | | SI | | | | | M.B.C. | ALINEAMIENTO CON RELOJ COMPARADOR | 3 MESES | MEC. ESPECIALISTA |
| 38 | | | 6 | B | 6 | 120 | NO | | | | | NO | NO | SI | | | M.B.U. | CAMBIO DE LUBRICANTE | 4 MESES | LUBRICADOR |
| 39 | SIST. ATOMIZACIÓN | MOT2-0797 | 7 | A | 3 | 120 | SI | NO | NO | SI | | NO | NO | SI | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO |
| 40 | | | 7 | A | 4 | 144 | SI | NO | NO | SI | | NO | NO | SI | | | M.B.F. | CAMBIO DE RELÉ TÉRMICO | - | ELECTRICISTA |
| 41 | | | 7 | B | 1 | 140 | NO | | | | | NO | NO | NO | SI | | M.B.F. | CAMBIO DE COMPONENTES DAÑADOS | - | ELECTRICISTA |
| 42 | | | 7 | B | 2 | 90 | SI | NO | NO | SI | | NO | NO | SI | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO |
| 43 | | COM1-0016 | 8 | A | 2 | 98 | SI | NO | NO | SI | | SI | | | | | M.B.C. | INSPECCIÓN CON TINTES PENETRANTES | 4 MESES | MEC. ESPECIALISTA |
| 44 | | | 8 | A | 4 | 105 | SI | NO | NO | SI | | NO | NO | SI | | | M.B.U. | INSPECCIÓN PERIODICA CON PIROMETRO | DIARIO | MECÁNICO |
| 45 | | | 8 | B | 1 | 108 | SI | NO | NO | SI | | NO | NO | SI | | | M.B.F. | CAMBIO DE IMPULSOR | - | OPERADOR |
| 46 | | | 8 | B | 3 | 120 | NO | | | | | NO | NO | SI | | | M.B.U. | CAMBIO DE LUBRICANTE SAE 10 | 4 MESES | LUBRICADOR |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | CONDICION | 26% |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | SUSTITUCIÓN | 65% |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | BUSQ. FALLAS | 9% |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 100% |

| 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 |

3. Plan de mantenimiento basado en RCM

| N° | CODIGO | | | TIPO DE MTTO. | 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 |

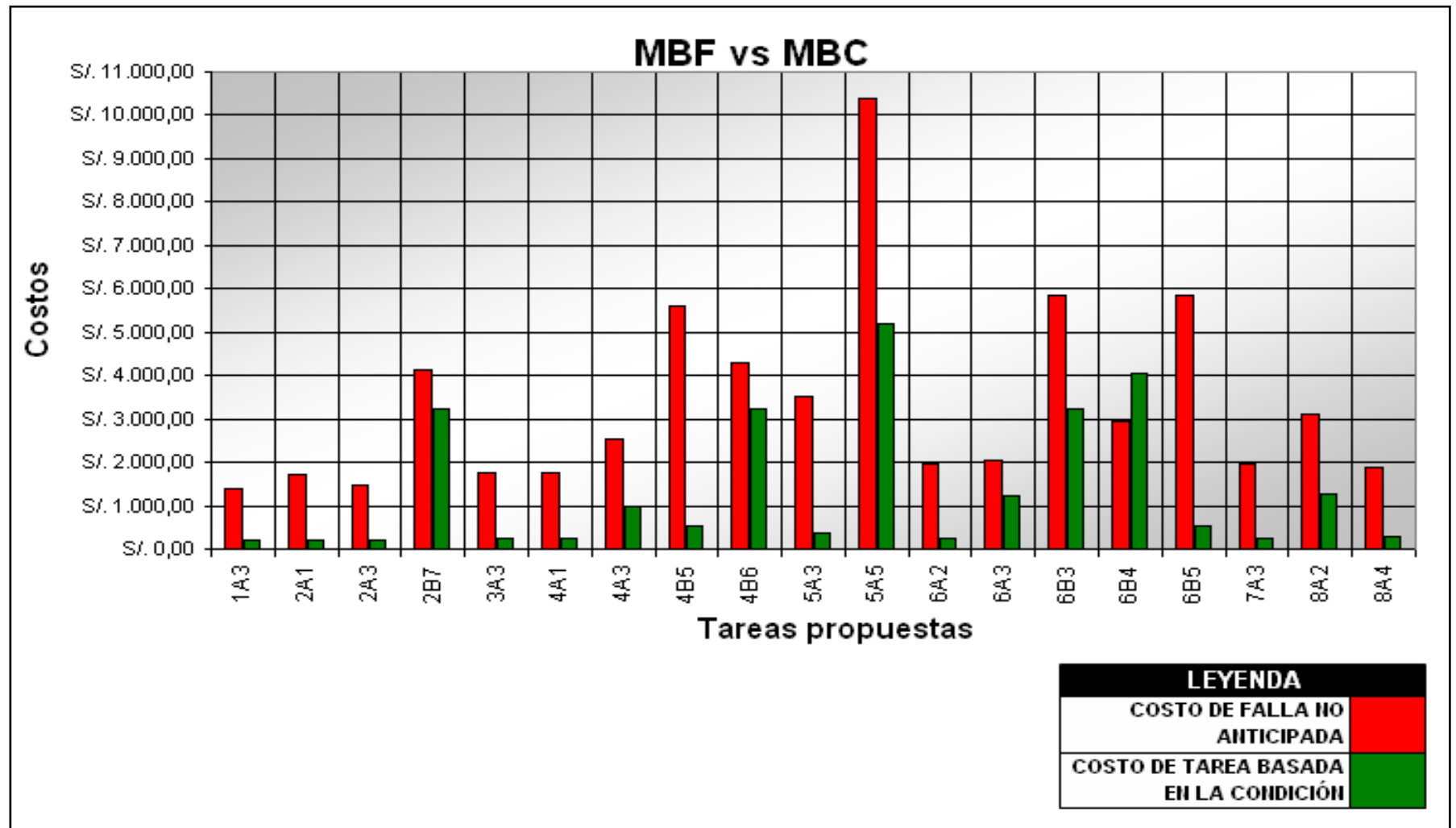
| | | | | | | |
|----|---|---|---|--------|------------------------------------|---------|
| 27 | 6 | B | 4 | M.B.C. | ANALISIS VIBRACIONAL | 3 MESES |
| 28 | 6 | B | 5 | M.B.C. | ALINEAMIENTO CON RELOJ COMPARADOR | 3 MESES |
| 29 | 6 | B | 6 | M.B.U. | CAMBIO DE LUBRICANTE | 4 MESES |
| 30 | 7 | A | 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 |

4. RESUMEN DE EVALUACIÓN ECONÓMICA:

| TABLA RESUMEN DE COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | | | |
|---|--------|------------------------------------|------------------------------|-------------|---------------------------------------|----------------------|
| N° | CODIGO | TAREA PROPUESTA | COSTO DE FALLA NO ANTICIPADA | < = > | COSTO DE TAREA BASADA EN LA CONDICIÓN | AHORRO / AÑO |
| 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/. 5,848.78 | > | 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/. 5,848.78 | > | S/. 617.21 | S/. 5,231.57 |
| 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/. 38,190.01 |

5. GRAFICO DE RESUMEN DE COSTOS:



6. COMPRA 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/. 16,013.20 |

7. RETORNO DE INVERSIÓN

| 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 |
| ANALISIS 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 |

8. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

| COSTO INTERNO | COSTOS |
|---------------------------------|----------------------|
| H.H. PERSONAL | S/. 6,741.00 |
| H.H. DE LOS COORDINADORES | S/. 9,437.40 |
| INSUMOS, MATERIALES | S/. 4,044.60 |
| | 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 |

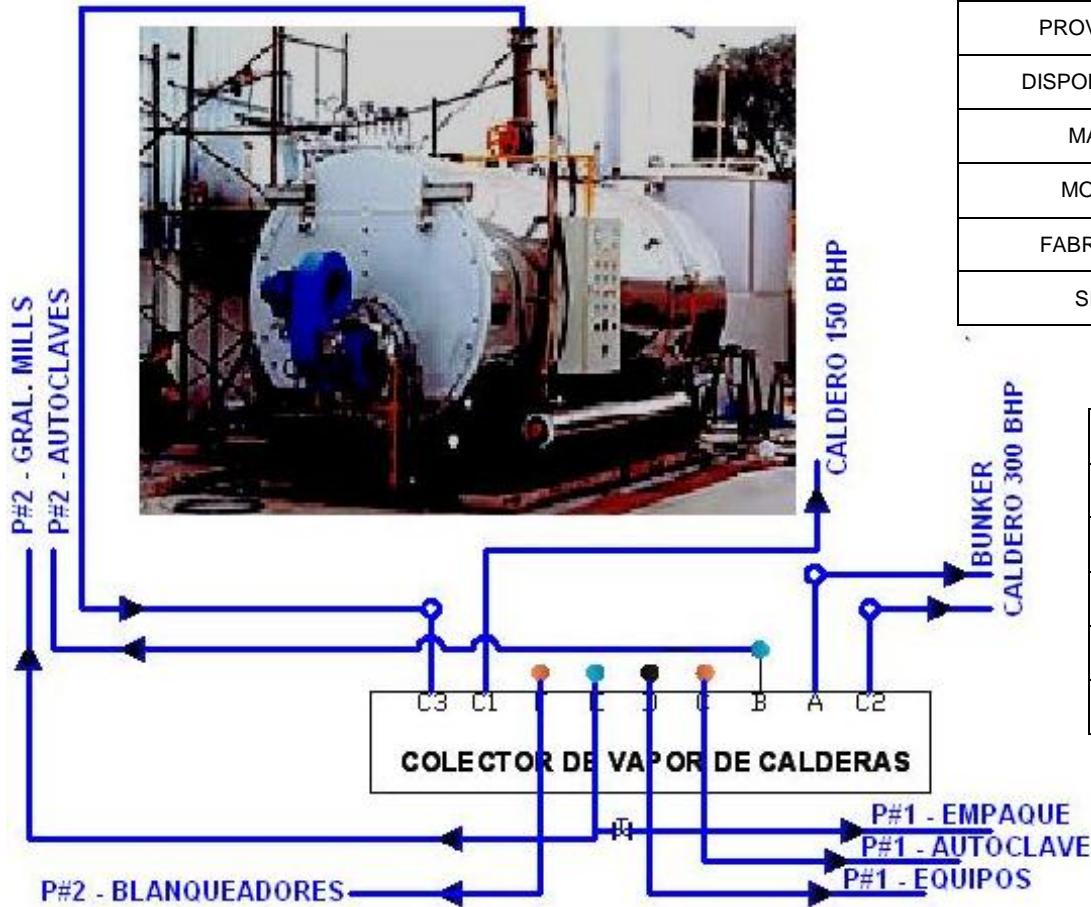
| | |
|--|-----------------------|
| DESCRIPCIÓN | COSTOS DE APLICAR RCM |
| INVERSIÓN INICIAL | S/. 35,952.00 |
| BENEFICIO ANUAL | S/. 38,190.01 |
| COSTOS DE EQUIPO DE MONITOREO | S/. 16,013.20 |
| VALOR DE SALVAMENTO AL FINAL DEL AÑO 3 | |

| | | |
|-----------------|----|----------|
| | A | UNIDADES |
| TASA DE INTERES | 8% | % |
| PERIODO | 3 | AÑOS |

| | SIMBOLO | 0 | 1 | 2 | 3 |
|--|---------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| INVERSIÓN INICIAL | P | -S/. 35,952.00 | | | |
| COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO | A1 | | S/. 16,013.20 | S/. 16,013.20 | S/. 16,013.20 |
| BENEFICIOS | B | | S/. 38,190.01 | S/. 38,190.01 | S/. 38,190.01 |
| VALOR DE SALVAMENTO AL FINAL DEL AÑO 3 | F | | | | |
| SUMATORIA DESDE EL AÑO 1 AL 3 | | -S/. 35,952.00 | S/. 22,176.82 | S/. 22,176.82 | S/. 22,176.82 |

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

MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL CALDERO PIROTUBULAR DE 200 BHP

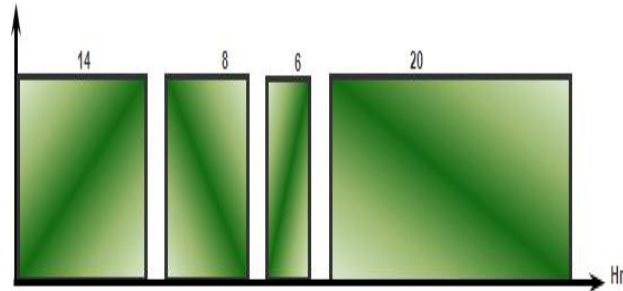


| | |
|----------------|--------------------------------|
| PROVEEDOR | EQUIPOS TERMICOS PERUANOS S.A. |
| DISPONIBILIDAD | 24 HORAS |
| MARCA | EQUIPOS TERMICOS |
| MODELO | D3B-300-150 |
| FABRICANTE | EQUIPOS TERMICOS PERUANOS S.A. |
| SERIE | AC 155 OT 328 P03 |

| | |
|------------------------|-------------|
| AÑOS DE FABRICACIÓN | 2003 |
| POTENCIA | 200 BHP |
| PRESION MAX. TRABAJO | 150 PSI |
| PRESION NORMAL TRABAJO | 125 PSI |
| TIPO DE COMBUSTIBLE | BUNKER (R6) |
| CONSUMO COMBUSTIBLE | 78 GLN/HORA |

MTTF: Tiempo Promedio para Fallar

| i | Ti | UND. | TIPO |
|-----------|-------|------------|------|
| 1 | 14.00 | Sem. | F |
| 2 | 8.00 | Sem. | F |
| 3 | 6.00 | Sem. | F |
| 4 | 20.00 | Sem. | F |
| TPO=MTTF= | 48.00 | Sem./falla | |



TEST DE TENDENCIA (U)

| i | Ti | To acum | UND. | TIPO |
|-----------|-------|---------|------------|------|
| 1 | 14.00 | 14 | Sem. | F |
| 2 | 8.00 | 22.00 | Sem. | F |
| 3 | 6.00 | 28.00 | Sem. | F |
| 4 | 20.00 | 48.00 | Sem. | F |
| SUMATORIA | | 64 | Sem./falla | |

| DATOS DE FALLAS REALES | i | TO | UNIDADES | Xi | RANGO MEDIANA | | |
|------------------------|---|-----------|----------|----------|---------------|-------|-------------------|
| | | | | | DE TABLAS | | Yi |
| | | | | | F(Ti)% | F(Ti) | ln(ln(1/1-F(Ti))) |
| 14.00 | 1 | 6 | Sem. | 1.7918 | 15.910 | 0.159 | -1.7528 |
| 8.00 | 2 | 8 | Sem. | 2.0794 | 38.573 | 0.386 | -0.7188 |
| 6.00 | 3 | 14 | Sem. | 2.6391 | 61.427 | 0.614 | -0.0485 |
| 20.00 | 4 | 20 | Sem. | 2.9957 | 84.090 | 0.841 | 0.6088 |
| | 4 | SUMATORIA | | 9.505991 | 200.00 | 2.00 | -1.911407 |
| | | PROMEDIO | | 2.376498 | 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 | | 3.210 | 3.072 | -3.141 | -0.585 | 0.342 | -1.275 | 1.626 |
| 2 | | 4.324 | 0.517 | -1.495 | -0.297 | 0.088 | -0.241 | 0.058 |
| 3 | | 6.965 | 0.002 | -0.128 | 0.263 | 0.069 | 0.429 | 0.184 |
| 4 | | 8.974 | 0.371 | 1.824 | 0.619 | 0.383 | 1.087 | 1.181 |
| 4 | SUMATORIA | 23.473515 | 3.962133 | -2.932729 | 0.00 | 0.882550 | 0.00 | 3.048763 |
| | PROMEDIO | 5.868379 | 0.990533 | -0.734932 | 0.00 | 0.220638 | 0.00 | 0.762191 |

| | | |
|------------------------------------|-----------|---------|
| PARAMETRO DE LOCALIZACIÓN | | |
| PARAMETRO DE LOCALIZACIÓN | Y = | 0 |
| PARAMETRO DE FORMA | | |
| PARAMETRO DE FORMA | $\beta =$ | 1.8160 |
| PARAMETRO DE ESCALA | | |
| ESTIMACIÓN DEL PARAMETRO DE ESCALA | n = | 14.0080 |

| | | |
|--|-----------|---------|
| INTERSECCION | a = | -4.7936 |
| COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (FORMULA) % | $\rho =$ | 97.71 |
| COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (EXCEL) % | $\rho =$ | 97.71 |
| | $1+(1/b)$ | 1.5507 |
| FUNCIÓN GAMMA (EXCEL) | F. GAMMA | 0.8889 |
| MTTF (CALCULOS) | $\mu =$ | 12.4520 |

VIDA MEDIA

| t(Sem.) | f(t) | F(t) |
|---------|-------|--------|
| 13.818 | 4.83% | 62.30% |
| 13.814 | 4.83% | 62.28% |

VIDA MEDIANA

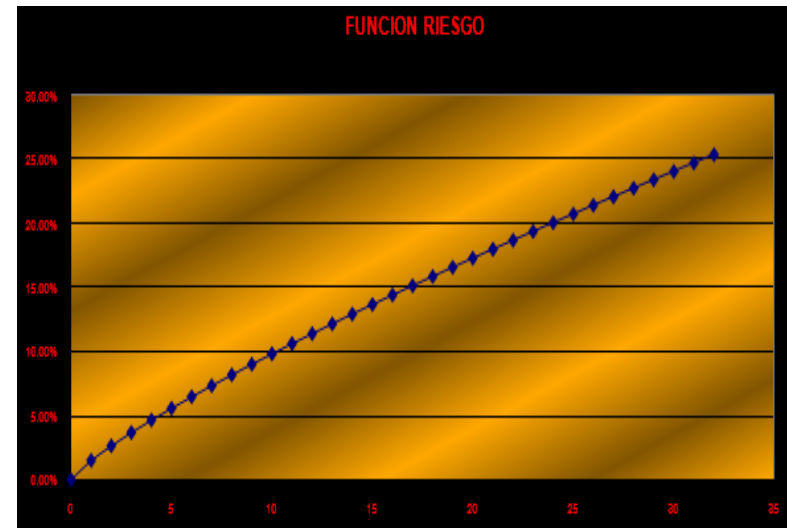
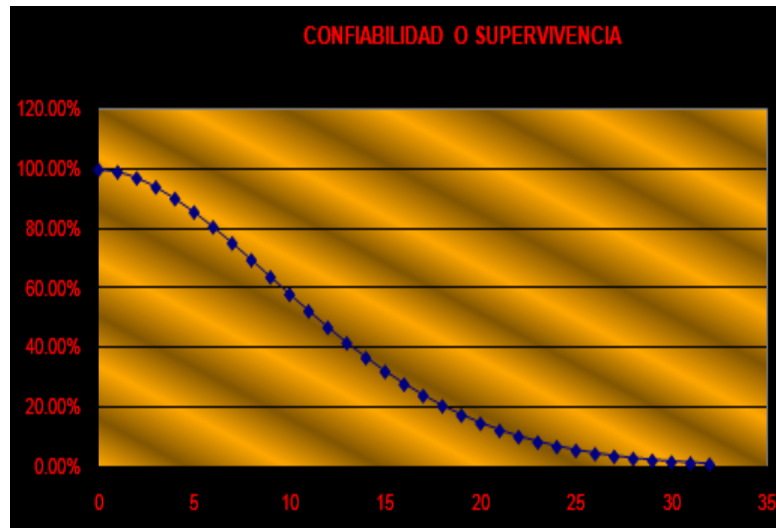
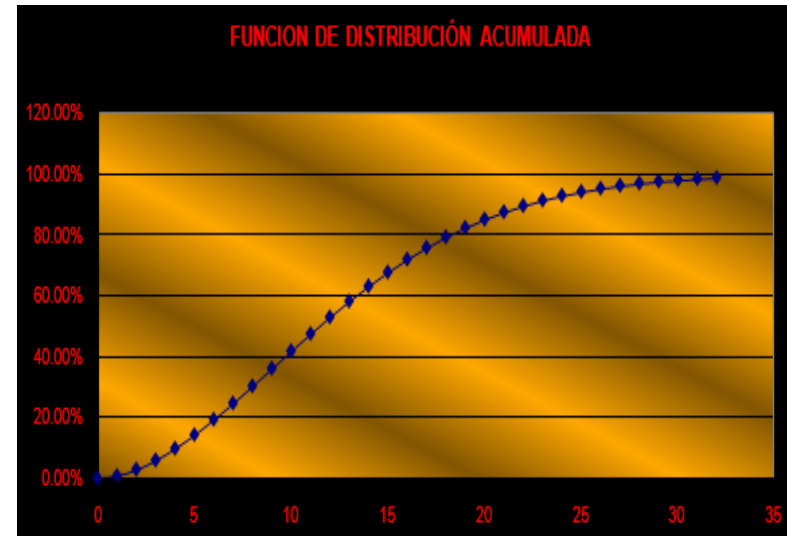
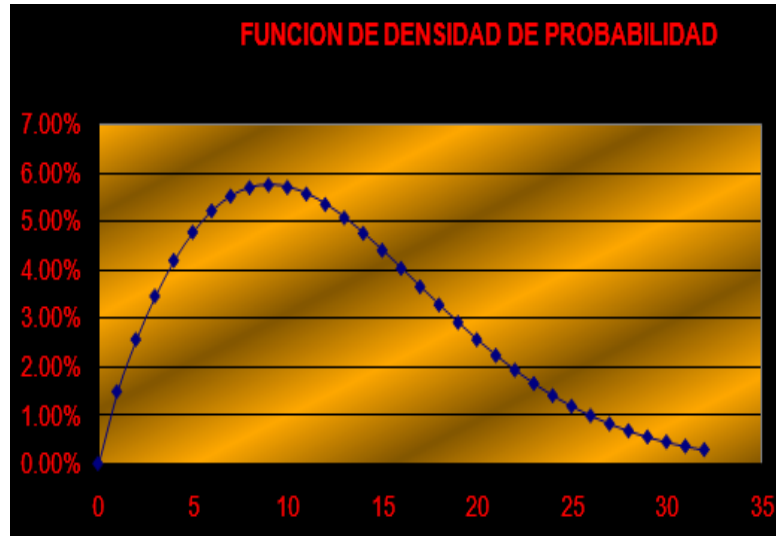
| t(Sem.) | f(t) | F(t) |
|---------|-------|--------|
| 11.448 | 5.50% | 50.00% |
| 11.446 | 5.50% | 49.99% |

VIDA B10

| t(Sem.) | f(t) | F(t) |
|---------|-------|--------|
| 4.058 | 4.25% | 10.00% |
| 4.056 | 4.24 | 10.00% |

| Ti | DENS. PROB. | DIST. ACUM. | CONFIAB. O SUPERV. | FUNC. RIESGO |
|----|-------------|-------------|--------------------|--------------|
| | f(t) | F(t) | R(t) | 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% |

GRÁFICOS DE: $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$ y $h(t)$



FACTIBILIDAD TECNICA

| Fmp | f(t) | F(t) | R(t) | M |
|-----|-------|--------|--------|------|
| 11 | 5.59% | 47.52% | 52.48% | 0.36 |

La Fmp sería menor o igual a 50h con un F(t) = 42.11%

FACTIBILIDAD ECONOMICA

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

| | |
|-----------|-----|
| INICIO ti | 1 |
| dt | 0.2 |

| | |
|-------|--------|
| \$/h= | 829.38 |
|-------|--------|

Cf= costo de falla (correctivo)

Cp= costo preventivo

M=MTTF (esperanza de vida)

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

| ti | f(ti) | ti*f(ti)*dti | Integral ti*f(ti)*dti | F(ti) | R(ti) | M(ti) | \$/h | S/h |
|-----|------------|--------------|-----------------------|-------|--------|--------|----------|-----------|
| 1 | 0.01491709 | 0.002983417 | 0.002983417 | 0.82% | 99.18% | 0.3617 | 3597.821 | 10109.977 |
| 1.2 | 0.01725382 | 0.004140918 | 0.004140918 | 1.15% | 98.85% | 0.3611 | 3014.328 | 8470.262 |
| 1.4 | 0.01949382 | 0.005458269 | 0.005458269 | 1.51% | 98.49% | 0.3604 | 2599.834 | 7305.534 |
| 1.6 | 0.02164715 | 0.006927088 | 0.006927088 | 1.93% | 98.07% | 0.3597 | 2290.924 | 6437.496 |
| 1.8 | 0.02372072 | 0.008539457 | 0.008539457 | 2.38% | 97.62% | 0.3588 | 2052.377 | 5767.179 |
| 2 | 0.02571941 | 0.010287764 | 0.010287764 | 2.87% | 97.13% | 0.3579 | 1863.039 | 5235.225 |
| 2.2 | 0.02794679 | 0.01216459 | 0.01216459 | 3.41% | 96.59% | 0.3569 | 1709.564 | 4803.876 |
| 2.4 | 0.02950551 | 0.014162643 | 0.014162643 | 3.98% | 96.02% | 0.3559 | 1582.907 | 4447.969 |
| 2.6 | 0.03129754 | 0.01627472 | 0.01627472 | 4.59% | 95.41% | 0.3547 | 1476.903 | 4150.097 |
| 2.8 | 0.03302442 | 0.018493677 | 0.018493677 | 5.23% | 94.77% | 0.3535 | 1387.129 | 3897.832 |
| 3 | 0.03468735 | 0.020812408 | 0.020812408 | 5.91% | 94.09% | 0.3523 | 1310.344 | 3682.067 |
| 3.2 | 0.03628726 | 0.023223845 | 0.023223845 | 6.62% | 93.38% | 0.3509 | 1244.120 | 3495.978 |
| 3.4 | 0.03782492 | 0.025720944 | 0.025720944 | 7.36% | 92.64% | 0.3495 | 1183.601 | 3334.350 |
| 3.6 | 0.03930096 | 0.028296695 | 0.028296695 | 8.13% | 91.87% | 0.3480 | 1136.347 | 3193.134 |

| | | | | | | | | |
|-----|------------|-------------|-------------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 3.8 | 0.04071594 | 0.030944115 | 0.030944115 | 8.93% | 91.07% | 0.3465 | 1092.219 | 3069.135 |
| 4 | 0.04207033 | 0.033656262 | 0.033656262 | 9.76% | 90.24% | 0.3449 | 1053.311 | 2959.803 |
| 4.2 | 0.04336456 | 0.036426234 | 0.036426234 | 10.61% | 89.39% | 0.3432 | 1018.838 | 2863.075 |
| 4.4 | 0.04459907 | 0.039247183 | 0.039247183 | 11.49% | 88.51% | 0.3415 | 988.351 | 2777.268 |
| 4.6 | 0.04577426 | 0.042112319 | 0.042112319 | 12.40% | 87.60% | 0.3397 | 961.208 | 2700.993 |
| 4.8 | 0.04689054 | 0.04501492 | 0.04501492 | 13.32% | 86.68% | 0.3379 | 937.046 | 2633.099 |
| 5 | 0.04794834 | 0.047948343 | 0.047948343 | 14.27% | 85.73% | 0.3360 | 915.522 | 2572.617 |
| 5.2 | 0.04894811 | 0.050906031 | 0.050906031 | 15.24% | 84.76% | 0.3340 | 896.347 | 2518.735 |
| 5.4 | 0.04989030 | 0.053881525 | 0.053881525 | 16.23% | 83.77% | 0.3320 | 879.274 | 2470.759 |
| 5.6 | 0.05077542 | 0.056868471 | 0.056868471 | 17.24% | 82.76% | 0.3299 | 864.093 | 2428.101 |
| 5.8 | 0.05160399 | 0.059860633 | 0.059860633 | 18.26% | 81.74% | 0.3278 | 850.624 | 2390.254 |
| 6 | 0.05237658 | 0.062851899 | 0.062851899 | 19.30% | 80.70% | 0.3257 | 838.712 | 2356.782 |
| 6.2 | 0.05309378 | 0.06583629 | 0.06583629 | 20.36% | 79.64% | 0.3234 | 828.223 | 2327.308 |
| 6.4 | 0.05375623 | 0.068807972 | 0.068807972 | 21.42% | 78.58% | 0.3212 | 819.041 | 2301.504 |
| 6.6 | 0.05436459 | 0.071761259 | 0.071761259 | 22.51% | 77.49% | 0.3189 | 811.062 | 2279.086 |
| 6.8 | 0.05491958 | 0.074690627 | 0.074690627 | 23.60% | 76.40% | 0.3165 | 804.200 | 2259.803 |
| 7 | 0.05542194 | 0.077590716 | 0.077590716 | 24.70% | 75.30% | 0.3141 | 798.376 | 2243.437 |
| 7.2 | 0.05587246 | 0.08045634 | 0.08045634 | 25.81% | 74.19% | 0.3117 | 793.522 | 2229.796 |
| 7.4 | 0.05627195 | 0.083282492 | 0.083282492 | 26.94% | 73.06% | 0.3092 | 789.578 | 2218.713 |
| 7.6 | 0.05662128 | 0.08606435 | 0.08606435 | 28.07% | 71.93% | 0.3067 | 786.491 | 2210.040 |
| 7.8 | 0.05692134 | 0.088797286 | 0.088797286 | 29.20% | 70.80% | 0.3041 | 784.215 | 2203.645 |
| 8 | 0.05717304 | 0.091476865 | 0.091476865 | 30.34% | 69.66% | 0.3015 | 782.710 | 2199.414 |
| 8.2 | 0.05737735 | 0.094098853 | 0.094098853 | 31.49% | 68.51% | 0.2988 | 781.938 | 2197.246 |
| 8.4 | 0.05753525 | 0.096659222 | 0.096659222 | 32.64% | 67.36% | 0.2962 | 781.869 | 2197.053 |
| 8.6 | 0.05764776 | 0.09915415 | 0.09915415 | 33.79% | 66.21% | 0.2935 | 782.476 | 2198.757 |
| 8.8 | 0.05771592 | 0.101580025 | 0.101580025 | 34.94% | 65.06% | 0.2907 | 783.733 | 2202.290 |
| 9 | 0.05774081 | 0.103933451 | 0.103933451 | 36.10% | 63.90% | 0.2879 | 785.620 | 2207.593 |
| 9.2 | 0.05772350 | 0.106211242 | 0.106211242 | 37.25% | 62.75% | 0.2851 | 788.19 | 2214.614 |
| 9.4 | 0.05766512 | 0.10841043 | 0.10841043 | 28.41% | 61.59% | 0.2823 | 791.214 | 2223.311 |
| 9.6 | 0.05756680 | 0.110528264 | 0.110528264 | 39.56% | 60.44% | 0.2794 | 794.892 | 2233.647 |

Según el cuadro se observa una frecuencia de mantenimiento preventivo adecuada a las 8.4 Sem., ya que si se excede el tiempo, el costo (\$) se elevaría.

CONCLUSIONES

- Según el análisis de criticidad se determinó como equipos críticos a:

| EQUIPO | CONSECUENCIA | PUNTAJE | % | CRITICIDAD |
|--------------------------|--------------|---------|-------|------------|
| CALDERO 200 BHP | 63 | 189 | 21.2% | CRITICO |
| GERRADORA DE LATAS CORAL | 40 | 120 | 13.5% | CRITICO |
| AUTOCLAVE N° 04 – VECTIR | 37 | 111 | 12.5% | CRITICO |

- Se seleccionó el equipo con mayor puntaje para realizar el plan piloto basado en RCM; debido a que toda planta de producción que cuente con calderas, la calidad del producto final está relacionada con la eficiencia de su operación; la falla de este ($P < 120 \text{ PSI} = \text{Falla}$) genera mermas en la producción (producto observado)
- Según análisis del número de prioridad de riesgo se determinó realizar un estudio de viabilidad técnica y económica a los intervalos 63-168 de cada modo de falla, por ser de alta prioridad en el proceso.
- Según el análisis anterior se propone un plan de mantenimiento basado en la condición.
- Según el análisis de evaluación económica de cada una de las tareas propuestas, se determinó que es viable una implementación de plan

basado en RCM, debido a que el ahorro anual sería de S/. 38, 334 con 46/100 Nuevos soles.

- El éxito del plan de mantenimiento diseñado dependerá en gran parte del empeño y honestidad con que el personal de la planta realice los trabajos programados, así como la elaboración de informes que se ajusten lo más exactamente posible a las labores desarrolladas.

RECOMENDACIONES

- Debido a que la planta no cuenta con un plan de mantenimiento basado en la condición, se recomienda incorporar el plan propuesto en este proyecto y la ampliación del mismo.
- Se recomienda la adquisición de equipos para monitoreo de condición, debido a que es viable técnica y económicamente su compra; teniendo como retorno de inversión un plazo no mayor a 6 meses, según análisis de rentabilidad inmediata. De esta forma nos ahorraríamos tercerizar las tareas de frecuencia de monitoreo.
- Ningún plan de mantenimiento debe permanecer estático, debe incluir nuevas técnicas administrativas que actualicen su funcionamiento.
- El éxito del plan de mantenimiento diseñado dependerá en gran parte del empeño y honestidad con que el personal de la planta realice los trabajos programados, así como la elaboración de informes que se ajusten lo más exactamente posible a las labores desarrolladas.
- Se pueden hacer uso de la tecnología para el seguimiento del mantenimiento, a través de software, como son: GMAO PRISMA3 Sisteplant; que cuenta con soluciones verticales para industria, empresas

de servicios de mantenimiento, infraestructuras, edificios: reducción de indisponibilidades, optimización del preventivo, gestión del conductivo, optimización de políticas de mantenimiento. También se puede usar el PGMWin, Software GMAO para el Mantenimiento de Planta. SIMI: Sistema Integrado de Mantenimiento Industrial; Software de Planificación y Control para la gestión eficaz del Mantenimiento Preventivo, Correctivo y Predictivo de equipos e instalaciones en industria, organismos oficiales, empresas, Gobierno, etc. PRIMAVERA Maintenance: Para la gestión eficaz del equipamiento, solución integral para planificar, programar y gestionar el mantenimiento de acuerdo con los recursos humanos y medios técnicos disponibles, de forma sencilla y teniendo en cuenta el plan productivo y la condición operacional del equipamiento. Módulos: Equipamientos, Materiales, Medios, Organización, Gestión, Histórico y Análisis.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARISTIZÁBAL TORRES, DANIEL. **Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa centrifugados concisa Ltda. Universidad tecnológica de Pereyra. Tesis para optar al título de ingeniero mecánico. 620.0046 A715d. Colombia 2007.** Disponible en:

<http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/resumentesis111.html>.

Articulo Web. Consultado el 18 de Setiembre del 2012
2. BECERRA, FABIANA. **Gestión del Mantenimiento.** Disponible en:

<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/GestionBecerra.pdf>.

Articulo Web. Consultado el 25 de Agosto del 2014.
3. CHU RUBIO, Manuel. **Fundamentos de Finanzas Un enfoque peruano.** Lima. Editorial Financial Advisory Partners. Séptima Edicion.2009.
4. CUATRECASAS ARBOS, Lluís. **TPM en un entorno Lean Management.** Barcelona. Editorial Profit. Primera Edición. 2010.
5. DELGADO RESTREPO, VÍCTOR MARIO. **Plan de Mantenimiento Preventivo para las Plantas Desmontadoras de la Empresa Agroindustrial Remolino S.A. Universidad tecnológica de**

- Pereyra. Tesis para optar al título de ingeniero mecánico 620.0046. D352r. Colombia.2007. Disponible en:**
<http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/resumentesis5.html>.
Artículo Web. Consultado el 18 de Setiembre del 2012.
6. **FABIAN GRIJALVA, WALTER REYNALDO. Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una planta de café soluble.** Tesis de Ingeniería Mecánica. Guatemala.2003.
 7. **GARCIA GONZALEZ-QUIJANO, JAVIER. Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación eléctrica: Desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (RBM).** Tesis Magisterial. Madrid. Unidad Pontificia Comillas. 2004.
 8. **GOODSTEIN, Leonard D. Planeación Estratégica Aplicada.** Colombia. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana. Primera Edición. 1998.
 9. **GOOGLE DOCS. Técnicas de Mantenimiento Industrial. 2004.** Pág. 2-3. Disponible en:
https://docs.google.com/document/d/1Wh_2Yx76alHhbIrWNgMH-8RM3TzsXENKY7vshJ6dsz4/edit. Consultado el 26 de Mayo del 2015.
 10. **HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, REINA JOSÉ. Actualización de Planes de Mantenimiento y Guías de Inspección de los Equipos del Área de Enrolladores de la Planta Laminación en Caliente de la Empresa Siderúrgica del Orinoco Alfredo Maneiro Matanzas- Estado Bolívar.** Tesis de Ingeniería Industrial. Ciudad de Guayana.2009.
 11. **LUCIO MORENO, IVÁN. Diseño de un sistema de mantenimiento autónomo para la planta ensambladora de vehículos General Motors Ómnibus BB. Quito. 2010.** Disponible en:

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1298>. Artículo Web. Consultado el 18 de Setiembre del 2012-

12. MI TECNOLÓGICO. **Tipos de Mantenimiento**. Disponible en: <http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDeMantenimiento>. Artículo Web. Consultado el 28 de Junio del 2014.
13. MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. **Mantenimiento. Planeación, Ejecución y Control**. México. Editorial Alfa y Omega. Primera Edición. 2009.
14. MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. **Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales y de Servicio**. Colombia. Editorial AMG. Primera Edición. 2008.
15. MOUBRAY, John. **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**. USA. Editorial Aladon LLC. Edición en Español. 2004.
16. RIVAS, JUAN. **Variable dependiente e independiente**. Disponible en: <http://elaboratumonografiapasoapaso.com/blog/variable-dependiente-e-independiente/#sthash.y0yoleWo.dpuf>. Artículo Web. Consultado el 5 de Agosto del 2015.
17. SMITH, Anthony M. **Reliability Centered Maintenance**. New York. Editorial McGraw-Hill. Primera Edición. 1992.
18. STEINER, George A. **Planeación Estratégica**. México D.F. Editorial Continental. Tercera Edición. 1985.
19. SYMANTEC. **ServiceDesk**. Disponible en: <http://www.symantec.com/es/mx/service-desk>. Consultado el 17 de Setiembre del 2014.

20. TPM ONLINE.COM. **Historia y Evolución del Mantenimiento.**

Disponible

en:

http://www.leanexpertise.com/TPMONLINE/articles_on_total_productive_maintenance/tpm/tpmprocess/maintenanceinhistorySpanish.htm.

Artículo Web. Consultado el 28 de Febrero del 2015.

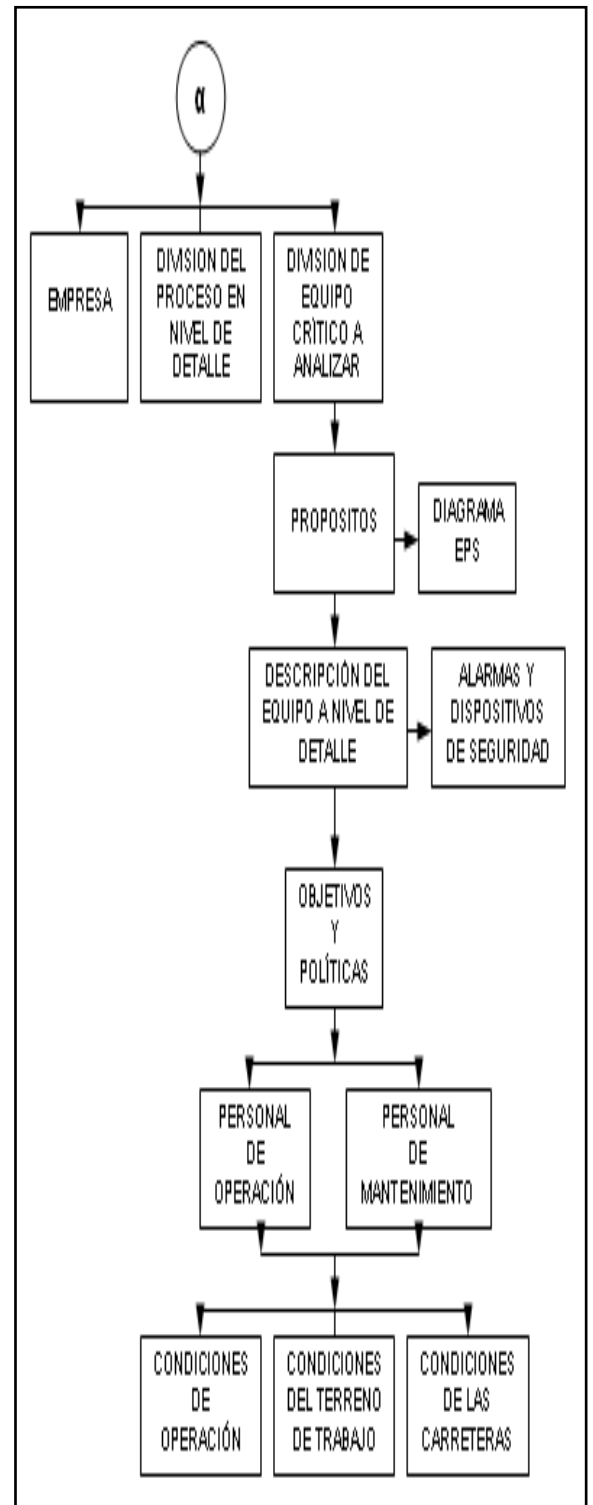
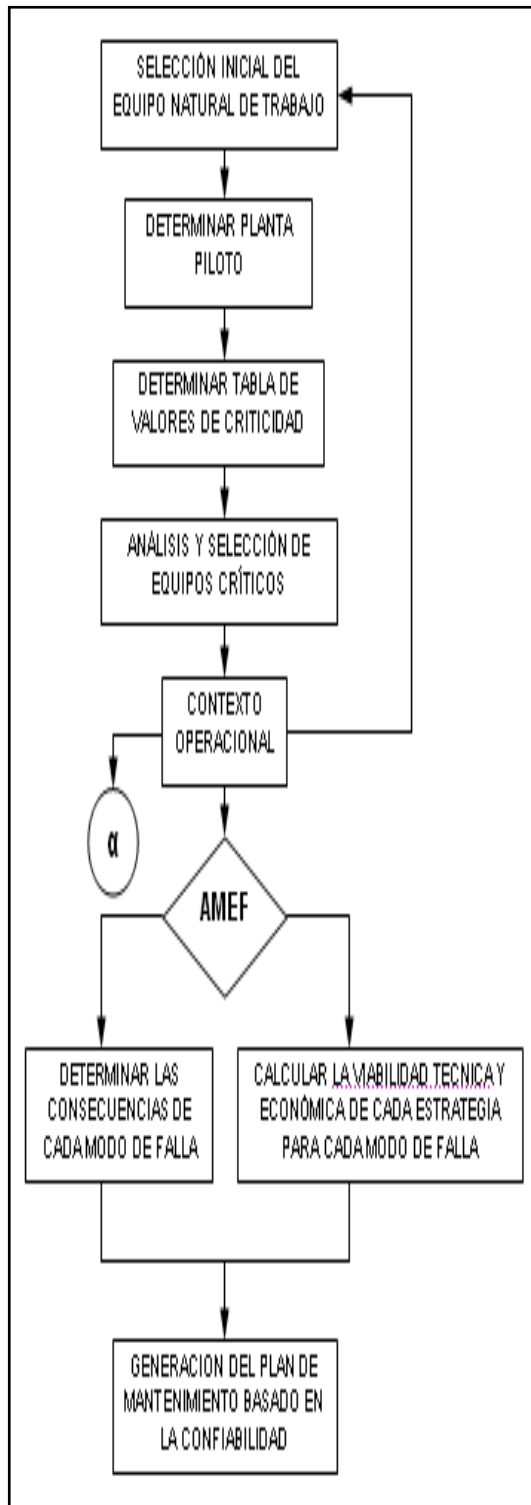
21. VALDIVIESO TORRES, JUAN CARLOS. **Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Extruplast S.A.** Tesis de Ingeniera Mecánica. Cuenca.2010.

ANEXOS

A. Matriz de Consistencia:

B. Instrumento(s) de Recolección de Datos

1. DEFINIR LA METODOLOGÍA RCM:



2. EQUIPO PILOTO RCM:

3.1.1. CAPACITACIÓN DEL FACILITADOR

| APELLIDOS Y NOMBRES | CARGO | EMPRESA CAPACITADORA | FECHA DE CAPACITACION | COSTO |
|-------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|--------------|
| JORGE RODRIGUEZ GUEVARA | PROYECTOS & PLANEAMIENTO | TECSUP | 08/11/2008 | S/. 1,500.00 |

3.1.2. FORMACIÓN INICIAL DEL EQUIPO NATURAL DE TRABAJO (ENT):

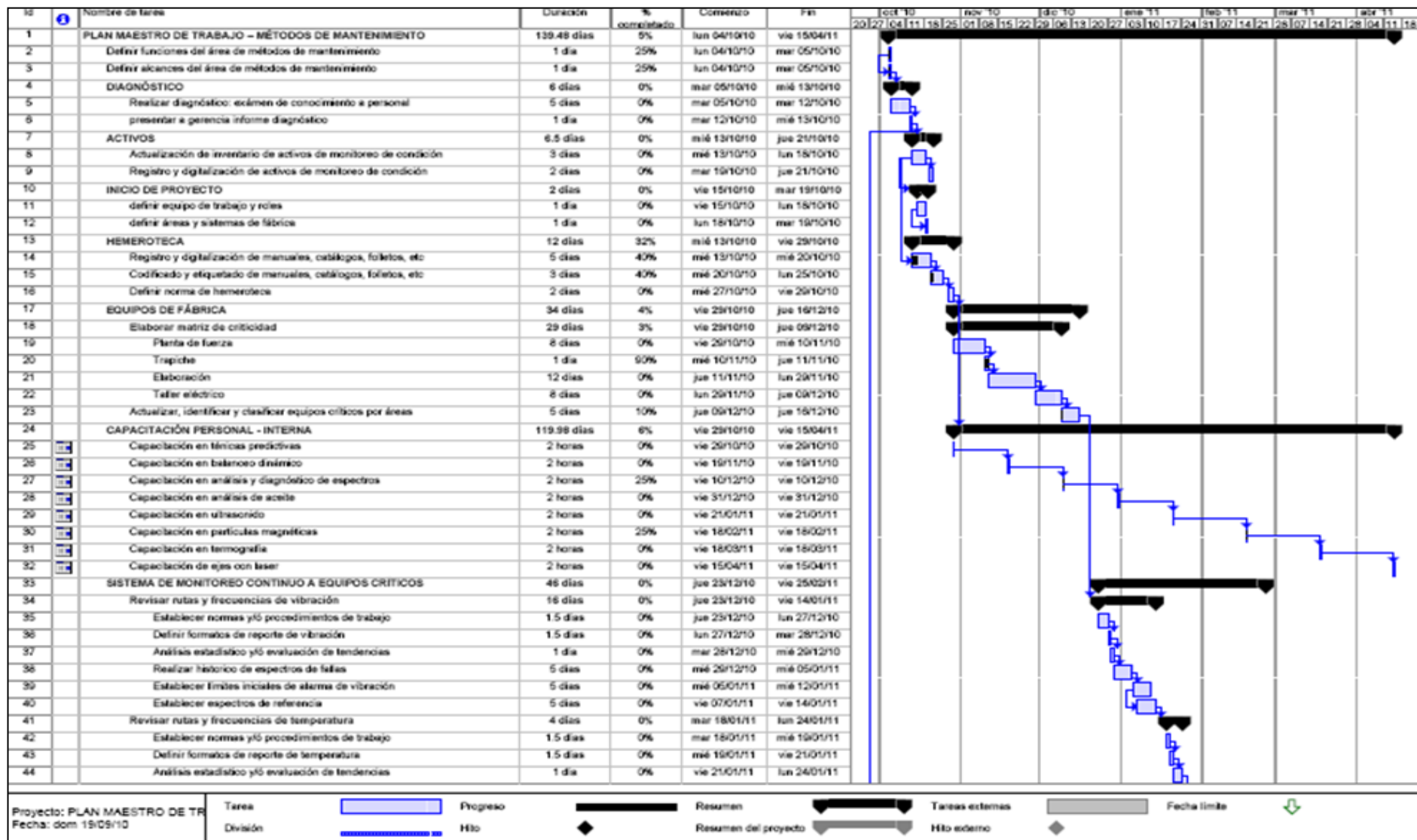
| N° | NOMBRES Y APELLIDOS | CARGO | PRINCIPAL O RESPALDO? | TELEFONO O ANEXO | E-MAIL |
|----|------------------------------|------------|-----------------------|------------------|--------|
| 1 | JORGE LUIS RODRIGUEZ GUEVARA | SUPERVISOR | LIDER | | |
| 2 | ELVIS DAVID PACHECO QUISPE | SUPERVISOR | MIEMBRO | | |

3.1.3. PROGRAMACIÓN DE REUNIONES (AGENDA):

| REUNIONES | ¿Cuándo? (When?) | ¿Cuánto? (How Long?) | ¿Dónde? (Where?) | ¿Qué? (What?) | ¿Cómo? (How?) | ¿Quién? (Who?) |
|-----------|------------------|----------------------|------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------|
| 1 | 11/10/2008 | 120 MIN | TECSUP | TECNICA DE IMPLEMENTACIÓN RCM | RECOPIACIÓN DE DATOS | JORGE RODRIGUEZ |
| 2 | 25/10/2008 | 120 MIN | TECSUP | EQUIPOS NATURALES DE TRABAJO | RECOPIACIÓN DE DATOS | ELVIS PACHECO |

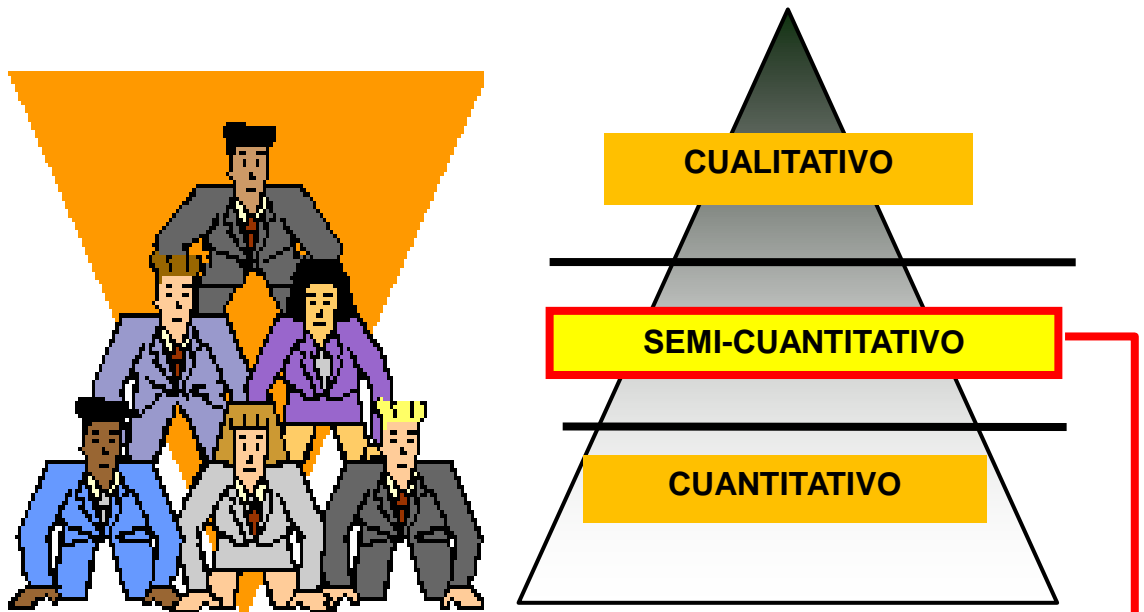
3.1.4. PROGRAMACION TENTATIVA DE REUNIONES (AGENDA):

| REUNIONES | ¿Cuándo? (When?) | ¿Cuánto? (How Long?) | ¿Dónde? (Where?) | ¿Qué? (What?) | ¿Cómo? (How?) | ¿Quién? (Who?) |
|-----------|------------------|----------------------|------------------|--|---------------|-----------------|
| 1 | 08/11/2008 | 120 MIN | TECSUP | ANALISIS DE CRITICIDAD BASADA EN EL RIESGO | CHARLAS | JORGE RODRIGUEZ |
| 2 | 22/11/2008 | 120 MIN | TECSUP | CONTEXTO OPERACIONAL | CHARLAS | JORGE RODRIGUEZ |
| 3 | 06/12/2008 | 120 MIN | TECSUP | CONTEXTO OPERACIONAL | CHARLAS | ELVIS PACHECO |
| 4 | 20/12/2008 | 120 MIN | TECSUP | ANALISIS AMECF | CHARLAS | JORGE RODRIGUEZ |
| 5 | 03/01/2009 | 120 MIN | TECSUP | ANALISIS AMECF | CHARLAS | JORGE RODRIGUEZ |
| 6 | 17/01/2009 | 120 MIN | TECSUP | ANALISIS AMECF | CHARLAS | ELVIS PACHECO |
| 7 | 31/01/2009 | 120 MIN | TECSUP | CONSECUENCIAS VIABILIDAD Y PLAN M.C.C. | CHARLAS | JORGE RODRIGUEZ |
| 8 | 14/02/2009 | 120 MIN | TECSUP | CONSECUENCIAS VIABILIDAD Y PLAN M.C.C. | CHARLAS | ELVIS PACHECO |
| 9 | 28/02/2009 | 120 MIN | TECSUP | ANALISIS DE COSTOS M.B.C. | CHARLAS | ELVIS PACHECO |



3. SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO:

ACBR es una metodología que permite establecer la jerarquía de los activos, en función de criterios técnicos y financieros, con el fin de optimizar los procesos de asignación de recursos económicos, humanos y técnicos.



- Contiene un nivel bajo de subjetividad.
- Son efectivos para jerarquizar procesos indistintamente de su nivel de complejidad.
- Requieren para la validación y aceptación de los resultados estimar la desviación estándar.

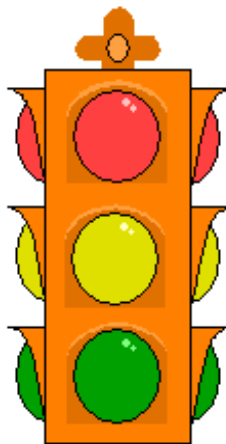
| IMPACTO EN SEGURIDAD | | |
|--|--|---------|
| N° | CRITERIO | PUNTAJE |
| 0 | No origina heridas ni lesiones | 0 |
| 1 | Puede ocasionar lesiones o heridas con incapacidad de 1-7 días | 2 |
| 2 | Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad de 8-20 días | 4 |
| 3 | Puede ocasionar lesiones 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 o MTTR) | | |
| 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 |

CRITERIOS A UTILIZAR.

CRITICIDAD = Frecuencia de Falla * Consecuencia

Donde:

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



CRÍTICO

SEMICRÍTICO

NO CRÍTICO

ELECCIÓN DE PROCESO:

| | SUBPROCESOS | CODIGO | EQUIPOS |
|--|------------------------------|-----------|--|
| LINEA DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO | GENERACIÓN II DE VAPOR | CAL3-0001 | CALDERO 200 BHP |
| | | 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 |

4. ANALISIS DE CRITICIDAD

| EQUIPO | FRECUENCIA | Imp. Seg. | Imp. Amb. | Niv. Prod. | TMPR | Imp. Prod. | Costo Rep. | CONSECUENCIA | PUNTAJE | % | CRITICIDAD |
|--|------------|-----------|-----------|------------|------|------------|------------|--------------|---------|-------|-------------|
| CALDERO 200HPB | 3 | 10 | 10 | 4 | 3 | 4 | 3 | 71 | 213 | 19.9% | CRITICO |
| CERRADORA DE LATAS CORAL | 3 | 10 | 6 | 3 | 3 | 3 | 3 | 46 | 138 | 12.9% | CRITICO |
| AUTOCLAVE N° 04 – VECTOR | 3 | 6 | 6 | 3 | 3 | 3 | 2 | 41 | 123 | 11.5% | CRITICO |
| MAQUINA ENCOLADORA | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 | 3 | 1 | 18 | 54 | 5.1% | SEMICRITICO |
| FAJA SANITARIA DE DESBRAQUEADO | 4 | 4 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 13 | 52 | 4.9% | SEMICRITICO |
| FAJA SANITARIA DE PERFILADO Y CORTE | 4 | 4 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 13 | 52 | 4.9% | SEMICRITICO |
| EMBOLSADORA DE FOUR PACK | 2 | 6 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 25 | 50 | 4.7% | SEMICRITICO |
| ETIQUETADORA DE LATAS | 2 | 6 | 4 | 2 | 2 | 3 | 2 | 24 | 48 | 4.5% | SEMICRITICO |
| BLANQUEADOR DE DOBLE EFECTO FERRADA | 2 | 6 | 4 | 2 | 2 | 3 | 2 | 24 | 48 | 4.5% | SEMICRITICO |
| PALETIZADORA N° 06 | 3 | 6 | 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 16 | 48 | 4.5% | SEMICRITICO |
| FAJA SANITARIA DE ENVASADO | 3 | 4 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 13 | 39 | 3.7% | SEMICRITICO |
| COLECTOR – VAPOR DE CALDERAS | 2 | 4 | 4 | 3 | 1 | 2 | 1 | 15 | 30 | 2.8% | SEMICRITICO |
| BOMBA HORIZONTAL DE AGUA BLANDA N° 1 | 2 | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 | 22 | 2.1% | SEMICRITICO |
| MARMITA "A" | 2 | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 | 22 | 2.1% | SEMICRITICO |
| EXHAUSTER DE HARINA N° 03 | 2 | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 | 22 | 2.1% | SEMICRITICO |
| FAJA TRANSPORTADORA LATAS S/ETIQUETA N° 01 | 3 | 4 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 18 | 1.7% | SEMICRITICO |
| CHARNELA TRANSP. LATAS S/ETIQUETA N° 01 | 3 | 4 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 18 | 1.7% | SEMICRITICO |
| TK ABLANDADOR | 1 | 0 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 14 | 14 | 1.3% | SEMICRITICO |
| MESA DE ACUMULACIÓN DE FOUR PACK | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 6 | 12 | 1.1% | SEMICRITICO |
| ELEVADOR CON BANDA SANITARIA | 2 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 5 | 10 | 0.9% | NO CRITICO |
| TK SALMUERA | 1 | 0 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 9 | 9 | 0.8% | NO CRITICO |
| FAJA TRANSPORTADORA FOUR PACK N° 01 | 1 | 4 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 7 | 7 | 0.7% | NO CRITICO |
| ENFRIADOR DE HARINA DE PESCADO | 1 | 4 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 7 | 7 | 0.7% | NO CRITICO |
| FAJA DE CLASIFICACION N° 02 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 0.4% | NO CRITICO |
| CHARNELA TRANS. LATAS C/ETIQUETA N° 01 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 0.4% | NO CRITICO |
| FAJA TRANSPORTADORA LATAS C/ETIQUETA N° 01 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 0.4% | NO CRITICO |

5. CONTEXTO OPERACIONAL

LA EMPRESA

| | |
|--------------|--|
| Empresa | CONSORCIO HAYDUK |
| Razón Social | SOCIEDAD ANONIMA |
| Rubro | INDUSTRIA PESQUERA |
| Ubicación | Carretera Panamericana Sur N° 521 TAMBO DE MORA – ICA - PERU |

5.1. División del proceso en nivel de detalle

| PROCESOS | SUBPROCESOS | EQUIPOS | SISTEMAS |
|--|--|--|--|
| LINEA DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO P-I | 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 |
| | | | CONTROL DE FLUJO DE VAPOR |
| | | TANQUE ABLANDADOR N° 1 | CONTROL DE PARÁMETROS |
| | | | CONTROL FLUJO AGUA BLANDA |
| | | TANQUE DE SALMUERA | CONTROL DE PARÁMETROS |
| | CONTROL DE FLUJO | | |
| | SISTEMA MECÁNICO | | |
| | BOMBA HORIZONTAL DE AGUA BLANDA N° 1 | SISTEMA ELÉCTRICO | |
| | | SISTEMA MECÁNICO | |
| | | CONTROL DE FLUJO | |
| | | PANEL DE CONTROL | |
| | | CONTROL DE PARÁMETROS | |
| | | SISTEMA MECÁNICO DE ELEVADOR | |
| | PROCESO DE HARINA DE PESCADO | BLANQUEADOR DE HARINA DE DOBLE EFECTO N° 2 | SISTEMA ELÉCTRICO DE ELEVADOR |
| | | | SISTEMA MECÁNICO DE BLANQUEADOR |
| | | | SISTEMA ELÉCTRICO DE BLANQUEADOR |
| | | | PRECEDOR |
| | | | COCEDOR |
| | | | CONTROL DE PARÁMETROS |
| | | ENFRIADOR DE HARINA DE PESCADO | PANEL DE CONTROL DE PROCESO |
| | | | SISTEMA MECÁNICO |
| | | | SISTEMA ELÉCTRICO |
| | | FAJA SANITARIA DE DESBRAQUEADO | SISTEMA DE ENFRIAMIENTO |
| | | | SISTEMA MECÁNICO |
| | | ELEVADOR CON BANDA SANITARIA | SISTEMA ELÉCTRICO |
| | SISTEMA MECÁNICO | | |
| | FAJA SANITARIA DE PERFILADO Y CORTE | SISTEMA ELÉCTRICO | |
| | | SISTEMA MECÁNICO | |
| | FAJA SANITARIA DE ENVASADO | SISTEMA ELÉCTRICO | |
| | | SISTEMA MECÁNICO | |
| | | SISTEMA ELÉCTRICO | |
| | | SISTEMA MECÁNICO | |
| | | SISTEMA ELÉCTRICO | |
| | | SISTEMA MECÁNICO | |
| | CERRADO | MARMITA "A" | CONTROL DE PARÁMETROS |
| SISTEMA MECÁNICO DE EXHAUSTER | | | |
| SISTEMA ELÉCTRICO DE EXHAUSTER | | | |
| EXHAUSTER DE HARINA DE PESCADO N° 3 | | CONTROL DE PARÁMETROS | |
| | | PANEL DE CONTROL DE PROCESO | |
| | | SISTEMA MECÁNICO DEL EXTRACTOR DE VAPOR | |
| MÁQUINA CERRADORA DE LATAS N° 20 - CORAL | | 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 | | | |
| ESTERILIZADO | | AUTOCLAVE N° 4 VECTOR – P1 | SISTEMA ELÉCTRICO |
| | | | INTERCAMBIADOR DE CALOR M10 |
| | FAJA DE CLASIFICACIÓN N° 02 | PANEL DE CONTROL DE PROCESO DE AUTOCLAVE | |
| | | REGISTRADOR DE TEMPERATURA Y PRESIÓN | |
| | SISTEMA DE BOMBEO DE RECIRCULACIÓN DE AGUA | | |
| | CONTROL DE PARÁMETROS | | |
| | SISTEMA MECÁNICO | | |

| | | | | | | | | |
|--|---|---------------------------------|--|---------------------------------|--|--|------------------|-------------------|
| | | MÁQUINA CODIFICADORA - VIDEOJET | SISTEMA ELÉCTRICO | | | | | |
| | | | SISTEMA DE SECADO | | | | | |
| | | | SISTEMA ELECTRÓNICO | | | | | |
| | ETIQUETADO Y EMPAQUE | | MÁQUINA PALETIZADORA N° 06 | SISTEMA ELÉCTRICO | | | | |
| | | | | SISTEMA MECÁNICO | | | | |
| | | | | SISTEMA HIDRAULICO | | | | |
| | | | FAJA TRANSPORTADORA DE LATAS SIN ETIQUETA N° 01 | SISTEMA MECÁNICO | SISTEMA ELÉCTRICO | | | |
| | | | | | SISTEMA MECÁNICO | | | |
| | | | | | SISTEMA MECÁNICO | | | |
| | | | CHARNELA TRANSPORTADORA DE LATAS SIN ETIQUETA N° 01 | SISTEMA ELÉCTRICO | SISTEMA MECÁNICO | | | |
| | | | | | SISTEMA ELÉCTRICO | | | |
| | | | | | SISTEMA MECÁNICO | | | |
| | | | MÁQUINA ETIQUETADORA DE LATAS | SISTEMA ELÉCTRICO | SISTEMA MECÁNICO | | | |
| | | | | | SISTEMA MECÁNICO | | | |
| | | | | | SISTEMA ELÉCTRICO | | | |
| | | | | | SISTEMA MECÁNICO | | | |
| | | | | | SISTEMA MECÁNICO DEL EXTRACTOR DE GASES | | | |
| | | | | | SISTEMA ELÉCTRICO DEL EXTRACTOR DE GASES | | | |
| | | | | | CONTROL DE PARÁMETROS | | | |
| | | | | | SISTEMA MECÁNICO | | | |
| | | | | | SISTEMA ELÉCTRICO | | | |
| | | | | | SISTEMA NEUMÁTICO | | | |
| | | | | | | MÁQUINA ENCOLADORA (PARA COLA CALIENTE) | SISTEMA MECÁNICO | SISTEMA ELÉCTRICO |
| | | | | | | | | SISTEMA MECÁNICO |
| | | SISTEMA NEUMÁTICO | | | | | | |
| | | | CHARNELA TRANSPORTADORA DE LATAS ETIQUETADAS N° 01 | SISTEMA MECÁNICO | SISTEMA ELÉCTRICO | | | |
| | | | | | SISTEMA MECÁNICO | | | |
| | | | FAJA TRANSPORTADORA DE LATAS ETIQUETADAS N° 01 | SISTEMA ELÉCTRICO | SISTEMA MECÁNICO | | | |
| | | | | | SISTEMA ELÉCTRICO | | | |
| | | | MESA DE ACUMULACIÓN DE FOUR PACK | SISTEMA MECÁNICO | SISTEMA ELÉCTRICO | | | |
| | | | | | 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 | | |

5.2. División del Equipo en nivel de detalle

| EQUIPO | SISTEMAS | SUBSISTEMAS | COMPONENTES PRINCIPALES | |
|--|---|--|-----------------------------------|------------------------------------|
| CALDERA 200 BHP | QUEMADOR | MOTOR ELÉCTRICO DE 15HP | RODAMIENTOS | |
| | | | BOBINADO | |
| | | | EJE | |
| | | VENTILADOR DE 12 3/16 x 5" DE GIRO HORARIO | CARBONES | ESTATOR |
| | | | | SELLO DE RODAMIENTO |
| | | | | EJE DE MODULACIÓN DE 5/8" DIAMETRO |
| | | | TOBERA MONARCH DE 150 GPH | 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" | | | |
| | SISTEMA DE ENCENDIDO | PILOTO DE ENCENDIDO | DIFUSOR DE ACERO INOXIDABLE | |
| | | | DIFUSOR DE HIERRO | |
| | | TRANSFORMADOR DE IGNICIÓN | CONO REFRACTARIO | |
| | | | PILOTO DE ENCENDIDO | |
| | | | ELECTRODO DE ENCENDIDO | |
| | | | CABLE AUTOMOTRIZ ALTA TENSION | |
| | SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE AIRE – VAPOR | COMPRESORA | TRANSFORMADOR DE IGNICIÓN | |
| | | | VALVULA SELENOIDE 1/2" DIAMETRO | |
| | | | VALVULA TIPO BOLA 1/2" | |
| | | | VALVULA REDUCTORA DE PRESIÓN | |
| | | | CONECTOR CURVO PARA ELECTRODO | |
| | | | ELEMENTO FILTRANTE PARA COMPRESOR | |
| | | MOTOR ELÉCTRICO DE 3HP | 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 CKECK DE 3/4 | |
| | MANOMETRO DE 0-30 PSI | | | |
| | LÍNEA DE PETRÓLEO | BOMBA MARCA VIKING MODELO H432 | RODAMIENTOS | |
| | | | BOBINADO | |
| | | | EJE | |
| | | | CARBONES | |
| | | | ESTATOR | |
| | | MOTOR ELÉCTRICO DE 2 HP | SELLO DE RODAMIENTOS | |
| | | | MANOMETRO DE 0-300 PSI | |
| | | | TERMOMETRO DE 0-300 °C | |
| | | | FILTRO DE 11/2" CON MALLA N° 20 | |
| | | | VALVULA FULFLO DE 1/2 | |
| | SISTEMA CALENTAMIENTO DE PETROLEO | PRECALENTADOR A VAPOR | VALVULA REGULADORA DE CAUDAL 3/8 | |
| | | | VALVULA SELENOIDE PRINCIPAL 1/2 | |
| | | | VALVULA TIPO COMPUERTA | |
| | | MOTOR MODUTROL | VALVULA TIPO COMPUERTA DE 1 1/2" | |
| | | | RODAMIENTOS | |
| BOBINADO | | | | |
| CONTROLES DE COMBUSTIÓN Y PANEL DE CONTROL | TRANSFORMADOR PARA MOTOR | EJE | | |
| | | ESTATOR | | |
| | | RODAMIENTOS | | |
| | NUCLEO | | | |
| | BOBINAS | | | |
| | MATERIALES AISLANTES | | | |

| | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| | ALIMENTACIÓN DE AGUA | MODULO DE DISPLAY CON TECLADO | TARJETA MADRE |
| | | MOTOR WEB DE 7.5 HP | AMPLIFICADOR |
| | | | RODAMIENTOS |
| | BOMBA DE AGUA MARCA SALMSON | EJE | |
| | | ROTOR | |
| | | SELLO MECANICO | |
| | | EJE | |
| | | IMPULSOR | |
| | INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL | SEGURIDAD Y FUNCIONAMIENTO | VOLUTA |
| | | | 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 | | | |

5.3. Propósito

| NIVEL DE DETALLE | NOMBRE DEL NIVEL DE DETALLE | PROPOSITO |
|------------------|--|--|
| Proceso: | LINEA DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO P-I | PRODUCTO ELABORADO |
| Sub-proceso: | GENERACIÓN DE VAPOR | COCCIÓN DE MATERIA PRIMA |
| Equipo: | CALDERO 400 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 1: | ALIMENTACIÓN DE AGUA | ALIMENTAR AGUA AL CALDERO PIROTUBULAR |
| Subsistema: | MOTOR ELECTRICO DE 7.5 HP – BOMBA CENTRIFUGA | BOMBEAR AGUA BLANDA AL CALDERO A 150 PSI |

5.4. Descripción del Equipo

| FICHA TECNICA DEL EQUIPO | | | DEPARTAMENTO: MANTENIMIENTO FECHA: 00/00/2015 |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--|
| COMPANIA | SAVSA | CONSORCIO HAYDUK | |
| CODIGO EQUIPO | CAL3-0001 | CALDERO DE 400 BHP | |
| PAIS | PERU | PERU | |
| SISTEMA | CALDER | CALDEROS | |
| CENTRO DE COSTOS | 901001009 | | |
| PROVEEDOR | EQUIPOS TERMICOS PERUANOS S.A. | | |
| CONTACTO / TELF. | ING. JUAN V. QUEIROLO / 015660310 | | |
| AREA OPERATIVA | MANTENIMIENTO | MANTENIMIENTO | |
| PRIORIDAD | CRITIC | CRITIC | |
| CLASE | CAL | CALDERO | |
| DATOS FUNCIONALES | | | |
| UBICACIÓN | MA-CALDEROS | MANTENIMIENTO – CALDEROS | |
| TIPO | PIROTUBULAR | DISPONIBILIDAD | 24 HORAS |
| | AUTOMATICO | PROGRAMADOR | HONEYWELL R-4140 |
| FUNCIÓN | PRODUCIR VAPOR | N° DE PASOS | 2 |
| VALOR COMPRA | | VALOR ACTUAL | |
| DATOS DEL FABRICANTE | | | |
| MARCA | EQUIPOS TERMICOS | MODELO | D3B-300-150 |
| FABRICANTE | EQUIPOS TERMICOS PERUANOS S.A. | SERIE | AC 155 OT 328 P03 |
| N° PEDIDO | | AÑO DE FABRICACIÓN | 2003 |
| CARACTERISITICAS | | | |
| UNIDAD DE MEDIDA | UND. | UNIDAD DE MEDIDA | UND. |
| POTENCIA | 200 BHP | CAPACIDAD MAXIMA | 6250 Kg. Vapor / Hr |
| PRESION MAX. TRABAJO | 150 PSI | TIPO DE COMBUSTIBLE | BUNKER (R6) |
| PRESION NORMAL TRABAJO | 125 PSI | COMSUMO COMBUSTIBLE | 78 GLN/HORA |
| MONITORIZACION | | | |
| EQUIPO | BOMBA COMBUSTIBLE | BOMBA DE AGUA | COMPRESOR |
| MARCA | VIKING | SALMSON | GAST |
| MODELO | H432 | V808-OSE | 2565-P19 |
| POTENCIA | 2 HP | 7.5 HP | 3 HP |
| VOLTAJE | 440 V. | 440 V. | 400 V. |
| RPM | 1200 | 3450 | 1720 |

6. a. AMEF: Línea de Petróleo

| | | SISTEMA: | LINEA DE PETROLEO | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------------|--|---|---|--|--|------------|-----------|-----|-----|
| | | SUBSISTEMA: | MOTOR ELECTRICO – BOMBA DE COMBUSTIBLE | | | | A M E C F | | | |
| N° | FUNCIÓN | FALLA FUNCIONAL | MODO FALLA | EVIDENTE | EFECTO DE FALLA | SEVERIDAD | OCURRENCIA | DETECCIÓN | NPR | |
| MOT2-0799 | 1 | 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 | 8 | 2 | 2 | 32 |
| | | | | | | Tiempo máximo para la conmutación : 10minutos con un electricista | | | | |
| | | | 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 | 7 | 3 | 2 | 42 |
| | | | | | | Tiempo para cambio: 20 minutos con un electricista | | | | |
| | | | 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 | 8 | 3 | 5 | 120 |
| | | | | | | Tiempo mantenimiento: 3 horas, con un mecánico y un electricista | | | | |
| | | 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 | 8 | 6 | 3 | 144 | |
| | | | | | Tiempo para reparar: 20 minutos, con un electricista | | | | | |
| | | 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 | 7 | 2 | 2 | 28 | |
| | | | | | Tiempo para reemplazar: 3 horas, con un mecánico y un electricista | | | | | |
| | | 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 | 8 | 2 | 2 | 32 | |
| | | | | | Tiempo de cambio: 30 minutos, con un electricista | | | | | |
| | | 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 | 7 | 4 | 5 | 140 |
| | | | | | | Tiempo para reparar: 30 minutos, con un electricista | | | | |
| 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 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 | 5 | 2 | 5 | 50 | | |
| | | | | Tiempo para reemplazar: 45 minutos con un electricista | | | | | | |
| 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 | | | |
| | | | Tiempo para reparar: 2 horas con un mecánico y un electricista | | | | | | | |
| 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 | 5 | 1 | 7 | 35 | | | |
| | | | Tiempo para reparar: 4 horas, con 2 electricista | | | | | | | |

| N° | FUNCIÓN | FALLA FUNCIONAL | MODO FALLA | EVIDENTE | EFECTO DE FALLA | SEVERIDAD | OCURRENCIA | DETECCIÓN | NPR | | | |
|-----------|---------|--|------------|---|-----------------|---|------------|--|-----|-----|---|-----|
| BOM2-0089 | 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 mas 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 |

7. b. AMEF: Alimentación de agua

| | | SISTEMA: | ALIMENTACION DE AGUA | | | | | | | |
|-----------|---------|--|---------------------------------|---|-----------------|---|------------|-----------|-----|-----|
| | | SUBSISTEMA: | MOTOR ELECTRICO – BOMBA DE AGUA | | | | A M E C F | | | |
| N° | FUNCIÓN | FALLA FUNCIONAL | MODO FALLA | EVIDENTE | EFECTO DE FALLA | SEVERIDAD | OCURRENCIA | DETECCIÓN | NPR | |
| MOT2-0798 | 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 Tiempo para reparar: 3 horas con un mecánico y un electricista | 6 | 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 centrífuga, 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: 5 horas, con 2 electricista | 5 | 1 | 7 | 35 |

| N° | FUNCIÓN | | FALLA FUNCIONAL | | MODO FALLA | | EVIDENTE | EFECTO DE FALLA | SEVERIDAD | OCURRENCIA | DETECCIÓN | NPR |
|-----------|---------|--|-----------------|---|------------|---|----------|---|-----------|------------|-----------|-----|
| BOM2-0088 | 4 | Enviar 150 PSI al ingreso del caldero de 200 BHP | A | No bombea fluido la bomba centrífuga | 1 | Eje bloqueado por rodamientos agarrotados | 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 | Impulsor suelto | 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 | Componentes internos fracturados | 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 |
| | | | B | Envía mas o menos de 150 PSI al sistema | 1 | Falla en el sistema de seguridad por alto nivel de agua | SI | 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 | Fuga de fluido por sello mecánico deteriorado | SI | Deterioro de sello mecánico, hace que entre las caras del sello se produzca una pérdida de fluido, ingresando este al rodamiento de base, deteriorando prematuramente la grasa del rodaje, 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 | 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 para reparar: 3horas, con dos mecánicos | 7 | 5 | 3 | 105 |
| | | | | | 4 | Desgaste en los componentes internos de la bomba | NO | 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 | Desalineamiento entre la bomba y el 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 de alinear: 4 horas, con dos mecánicos especialista | 7 | 3 | 6 | 126 |
| | | | | | 6 | 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 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 |

7. c. AMEF: Quemador

| | | SISTEMA: | QUEMADOR | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------|-----------------|--|----------|---|----|---|--|-----------|------------|-----------|-----|---|-----|
| | | SUBSISTEMA: | MOTOR ELECTRICO – VENTILADOR | | | | | | | A M E C F | | | | |
| N° | FUNCIÓN | FALLA FUNCIONAL | MODO FALLA | EVIDENTE | EFECTO DE FALLA | | | | SEVERIDAD | OCURRENCIA | DETECCIÓN | NPR | | |
| MOT2-8000 | 5 | 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 trabado, 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 | Rele 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 FUNCIONAL | MODO FALLA | | EVIDENTE | EFECTO DE FALLA | SEVERIDAD | OCURRENCIA | DETECCIÓN | NPR | |
|-----------|---------|---|-----------------|---|----|---|-----------------|---|------------|-----------|-----|-----|
| VEN1-0057 | 6 | Impulsar el aire necesario para la combustión | 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 Tiempo para ajustar: 2 horas, con dos mecánicos especialistas | 8 | 2 | 3 | 48 |
| | | | | | 2 | Eje bloqueado por rodamientos agarrotados | 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 agarrotados, se da aviso a mantenimiento mecánico para corregir la falla Tiempo para cambio: 3 horas, con dos mecánicos y un electricista | 8 | 3 | 5 | 120 |
| | | | | | 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 Tiempo máximo para reparar: 4 horas, con un mecánico y un electricista | 8 | 2 | 6 | 96 |
| | | | B | Impulsa menos flujo de aire de lo requerido | 1 | Rotura parcial del aspa 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 Tiempo para reparar: 3 horas, con dos mecánicos y un electricista | 7 | 3 | 3 | 105 |
| | | | | | 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 Tiempo para mantenimiento: 30 minutos, con un mecánico | 5 | 3 | 2 | 30 |
| | | | | | 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 Tiempo para mantenimiento: 4 horas, con dos mecánicos especialistas | 6 | 3 | 7 | 126 |
| | 4 | Desbalance del ventilador | | | NO | Ruido excesivo 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 Tiempo para mantenimiento: 4 horas, con dos mecánicos especialistas | 7 | 3 | 8 | 168 | | |
| | 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 Tiempo de alinear: 4 horas, con dos mecánicos especialista | 7 | 3 | 7 | 147 | | |
| | 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 Tiempo de cambio: 2 horas, con un mecánico | 6 | 5 | 4 | 120 | | |

7.d. AMEF: Sistema de atomización de aire-vapor

| | | SISTEMA: | SISTEMA DE ATOMIZACIÓN DE AIRE – VAPOR | | | | | | | | | | |
|-----------|---------|---|--|---|-----------------|---|--|--|-----------|------------|-----------|-----|-----|
| | | SUBSISTEMA: | MOTOR ELECTRICO – COMPRESORA | | | | | | | A M E C F | | | |
| N° | FUNCIÓN | FALLA FUNCIONAL | MODO FALLA | EVIDENTE | EFECTO DE FALLA | | | | SEVERIDAD | OCURRENCIA | DETECCIÓN | NPR | |
| MOT2-0797 | 7 | 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 | | | | 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 trabado, por los rodamientos agarrotados, 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 | Rele 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 | 6 | 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 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 | | | | 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 saltan 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 |

7.d. AMEF: Sistema de atomización de aire-vapor

| N° | FUNCIÓN | FALLA FUNCIONAL | MODO FALLA | EVIDENTE | EFECTO DE FALLA | SEVERIDAD | OCURRENCIA | DETECCIÓN | NPR | | | |
|-----------|---|--|---|---|-----------------|--|------------|--|-----|---|---|-----|
| COM1-0016 | 8 | 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 | 8 | 3 | 2 | 48 |
| | | | | | | Tiempo para alinear: 30 minutos, con un mecánico | | | | | | |
| | | | | | 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 | 7 | 2 | 7 | 96 |
| | | | | | | Tiempo para reparar: 4 horas, con un mecánico y un electricista | | | | | | |
| | | | | | 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. | 7 | 1 | 7 | 49 |
| | | | | | | Tiempo para reparar: 3 horas, con un mecánico y un electricista | | | | | | |
| | | | | | 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. | 7 | 3 | 5 | 105 |
| | | | | | | Tiempo para cambio: 2.5 horas, con dos mecánicos y un electricista | | | | | | |
| | | | 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 | 6 | 3 | 6 | 108 |
| | | | | | | Tiempo para arreglar: 2 horas, con un mecánico y un electricista | | | | | | |
| | | | | | 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 | 5 | 3 | 2 | 30 |
| | | | | | | Tiempo para mantenimiento: 30 minutos, con un mecánico | | | | | | |
| 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 | 6 | 5 | 4 | 120 | | | | | |
| | Tiempo para mantenimiento: 4 horas, con un mecánico | | | | | | | | | | | |
| 4 | Obstrucción del elemento filtrante | SI | Restricción del lubricante, mala lubricación de los elementos del compresor, bajando la eficiencia del compresor. | 6 | 3 | 2 | 36 | | | | | |
| | Tiempo para mantenimiento: 1 hora, con un mecánico | | | | | | | | | | | |

CONTEXTO OPERACIONAL:

Diagrama EPS:

