



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**Sistema de mantenimiento RCM con el fin de optimizar la  
disponibilidad de equipos del área de calderos en una  
empresa azucarera**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTORES:**

Guillen Casamayor, Edwin Toñito (ORCID: 0000-0003-0725-6933)

Reyna Vásquez, Willian Alexander (ORCID: 0000-0003-3543-6632)

**ASESOR:**

Mg. De La Cruz Araujo, Ronal Abel (ORCID: 0000-0003-3551-184X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas y Planes de Mantenimiento

TRUJILLO - PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

Dedico este logro, principalmente a nuestro Dios, por ser el inspirador, darme la sabiduría y fuerzas necesarias para alcanzar uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, consejos, comprensión y por su apoyo incondicional en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, muchos de mis logros se los debo a ustedes. Me han dado todo lo que soy como persona, me formaron con reglas, valores, principios y con algunas libertades, pero por encima de todo ello, me motivaron a alcanzar cada objetivo planteado, es un orgullo y privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanos, agradezco no solo por estar presentes aportando buenas cosas en mi vida profesional, sino porque ustedes con sus ejemplos me permitieron avanzar y hacer realidad este mérito.

Guillen Casamayor, Edwin

## **Dedicatoria**

Dedicado a mis hijos Ítalo y Thiago que fueron mi fuente de inspiración para este gran éxito, para que en un futuro ellos puedan tomar como ejemplo y ser mejores profesionales para nuestra sociedad.

A mi esposa por toda la paciencia que me ofreció en transcurso hacia esta meta y porque siempre me motivo y apoyo incondicionalmente a seguir adelante.

A mis padres, que desde el inicio de mi vida siempre me inculcaron valores, principios y la fortaleza para luchar por nuestros objetivos y triunfar en la vida.

Este logro es por ustedes y para ustedes familia.

Reyna Vásquez, Willian Alexander

## **Agradecimiento**

Agradecemos primeramente a Dios padre por darnos la vida y brindarnos la oportunidad de experimentar buenos momentos a lo largo de nuestra carrera universitaria.

A la Universidad César Vallejo, que nos abrió las puertas y a todos los docentes por habernos otorgado sus conocimientos y habilidades en el transcurso de nuestra formación profesional.

Por último, a todas las personas que nos apoyaron de una manera u otra para que este proyecto se realice con éxito, especialmente a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iv
Índice de contenidos.....	v
Índice de tablas .....	viii
Índice de figuras .....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	13
3.2. Variables y operacionalización.....	13
3.3. Población, muestra y muestreo .....	14
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:.....	14
3.6. Método de análisis de datos.....	15
3.7. Aspectos éticos .....	15
IV. RESULTADOS .....	16
4.1. Evaluar la situación actual de los equipos del área de calderos .....	16
4.1.1. Breve descripción sobre la empresa. ....	16

4.1.2. Descripción de equipos del área de los calderos. ....	16
4.1.3. Análisis de fallas a equipos en el área de calderos .....	16
4.1.4. Aplicación de los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad iniciales.....	17
4.2. Efectuar un estudio de análisis del modo y efecto de fallas (AMEF) a equipos que se encuentran con elevados índices de criticidad, logrando clasificar en críticos, medio críticos y no críticos. ....	20
4.2.1. Análisis de criticidad en fase de operación para clasificar a los activos en el rango de criticidad adecuada.....	21
4.2.2. Disponibilidad equipos críticos del área de calderos .....	25
4.2.3. Elaboración del AMEF.....	25
4.2.3. Número prioritario de riesgo (NPR). ....	28
4.3. Gestionar un Plan de Mantenimientos, mediante la metodología RCM, basado en los resultados obtenidos del análisis de criticidad, AMEF y NPR.....	30
4.4. Establecer los nuevos indicadores del mantenimiento, en mejora, proyectados a partir del plan de mantenimiento.....	32
4.5. Evaluar la inversión, proyectar el beneficio económico y retorno operacional de la inversión, para el caso de implementación del sistema. .....	35
4.5.1. Beneficio económico por reajuste de tiempos perdidos. ....	35
4.5.2. Costos para la implementación del mantenimiento.....	36
4.5.3. Costos para la implementación del mantenimiento preventivo .....	37
4.5.4. Beneficio útil.....	38

4.5.5. Inversión en activos fijos y tecnología para la implementación del ACR basado en el AMEF.....	38
4.5.6. Retorno operacional de la inversión.....	38
V. DISCUSIÓN.....	39
VI. CONCLUSIONES.....	42
VII. RECOMENDACIONES.....	44
REFERENCIAS.....	45
ANEXOS.....	50

## Índice de Tablas

Tabla 1: Disponibilidad actual de los equipos en el área de calderos .....	19
Tabla 2: Cuadro AMEF – V.T.F Caldero N° 17.....	27
Tabla 3: Análisis del NPR.....	28
Tabla 4: Plan de mantenimiento.....	29
Tabla 5: Plan de mantenimiento a equipos críticos .....	33
Tabla 6: Cuadro comparativo de indicadores de mantenimiento (antes y después del Plan). .....	34
Tabla 7: Beneficio debido al reajuste de tiempos perdidos. ....	36
Tabla 8: Costos en mantenimiento predictivo en equipos del área de Calderos: .	36
Tabla 9: Costos en mantenimiento preventivo en el área de calderos .....	37
Tabla 10: Resumen de los costos en mantenimiento .....	38
Tabla 11: Inversión de activos fijos .....	38



## Índice de Figuras

Figura 1. Caldera Acuotubular.....	11
Figura 2. Caldera Piro tubular .....	12
Figura 3 Representación de diseño de investigación .....	13
Figura 4. Disponibilidad Trimestral Julio - Setiembre .....	20
Figura 5. Gráfico de niveles de criticidad de equipos .....	24
Figura 6. Propuesta del plan de mantenimiento para equipos más críticos del área de calderos .....	30
Figura 7. Gráfico comparativo de indicadores de mantenimiento.....	35
Figura 8. Factores frecuencia y consecuencia .....	66
Figura 9. Intersección de la falla según la frecuencia y consecuencia .....	67
Figura 10. Criterios para evaluación del NPR .....	68

## Resumen

Nuestra investigación, parte del análisis de mejora para el sistema de equipos de la sección de calderas de una empresa azucarera, con el fin de optimizar la confiabilidad, implementando un sistema de gestión de mantenimiento. Primeramente, se realizó una evaluación de las condiciones de los equipos referidos, donde se calcularon los indicadores más importantes del mantenimiento en la etapa inicial, determinando la confiabilidad y disponibilidad en un momento denominado “el antes”; posteriormente, se efectuó estudios de criticidad, para clasificar los equipos en críticos, semi críticos y no críticos. Sintetizando el estudio de fallas críticas, realizamos un análisis modal de efectos y fallos (AMEF), para cada escenario y se determinó mediante el número prioritario de riesgos la ponderación correspondiente de fallas inaceptables, reducibles a deseables y aceptables. Con estos resultados, se procedió a efectuar un plan de mantenimiento basado en RCM, mediante el cual se proyectó optimizar la confiabilidad de equipos del área de calderas. Seguidamente, se comprobó las mejoras de disponibilidad y confiabilidad del área, en un momento denominado “el después”. Con la finalidad de contrastar valores, se presentaron los indicadores de ambos “momentos” para decretar el índice de mejora. Finalmente, determinamos la inversión y el beneficio en caso de la implementación del sistema, considerándolo ventajoso para la empresa.

**Palabras claves:** Mantenimiento basado en la confiabilidad, Análisis de modo y efecto de fallas, plan de mantenimiento.

## **Abstract**

Our research is based on the analysis of improvement of the equipment system of the boiler section of a sugar company, in order to optimize reliability, implementing a maintenance management system. First, an evaluation of the conditions of the referred equipment was carried out, where the most important maintenance indicators were calculated in the initial stage, determining the reliability and availability at a time called "the before"; subsequently, criticality studies were carried out to classify the equipment as critical, semi-critical and non-critical. Synthesizing the study of critical failures, a modal effects and failures analysis (FMEA) was performed for each scenario and the corresponding weighting of unacceptable failures, reducible to desirable and acceptable, was determined by the risk priority number. With these results, a maintenance plan based on RCM was carried out, through which it was planned to optimize the reliability of the equipment in the boiler area. Next, the area's availability and reliability improvements were verified, at a time called "the after". To contrast values, the indicators of both "moments" were presented to decree the improvement rate. Finally, we determine the investment and the benefit in case of the implementation of the system, considering it advantageous for the company..

**Keywords:** Reliability-based maintenance, Failure mode and effect analysis, maintenance plan.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde su creación de las maquinas industriales, la visión del mantenimiento ha sido y será de suma importancia porque se basa en un recurso para combatir las irregularidades que se presentan en el mundo industrial. Actualmente el mantenimiento a acogido una posición notable y significativa en los modernos procesos de producción abarcadas en la confiabilidad de las empresas, uno de los puntos más esenciales es la implicación en el progreso de la confiabilidad de sus equipos, reduciendo inconvenientes que se producen por los distintos imprevistos, plasmado en grandes y elevados costos, por lo tanto aplicando esta metodología se lograra mejorar la rentabilidad y rendimiento de sus servicios para la producción (Olarte et al., 2010).

En este caso referenciamos a la empresa CARTAVIO S.A. que en el año 2017; notificó que el tiempo de la recolección se amplió a un 4,7%, y según el señalizador de toneladas por hectárea de caña de azúcar (TCHM) se elevó hasta un 6,5%; estos elementos contribuyeron en el incremento de su impuesto en toneladas por hectárea (TCH) en un 11.6% en comparación al año pasado por consecuencia el producto del azúcar (sacarosa) tuvo un declive de un 2.5% respecto al año pasado (Memoria del directorio Cartavio S.A.A, 2017).

En estos tiempos la disponibilidad juega un papel esencial en la planificación, ya que es una forma de cuantificar las horas totales que un equipo está ejerciendo su trabajo de una manera óptima. Al aumentar la disponibilidad los resultados serán más productivos, en consecuencia, se tendrá una mayor rentabilidad sobre los recursos. Esta empresa está en constante lucha en el mercado, es por ello que se encuentra trabajando las 24 horas del día y los equipos de cada área están ofreciendo su máximo esfuerzo, pero se presentan un sin número de paradas imprevistas que limitan el cumplimiento de la producción esperada; estas interrupciones sin programar originan grandes pérdidas en la producción por carencia de mantenimiento en diferentes áreas como calderos, trapiches, fabrica, lavaderos y destilería, las cuales son causadas por distintos factores, repercutiendo en tiempos muertos que se evidencian en los resultados finales de calidad, y merma en la producción del producto final (Azúcar). Al cuantificar los

tiempos totales de paradas no programadas en la compañía, vemos que están en relación directa con el tiempo de interrupciones operacionales y el tiempo de interrupciones mecánicas.

La empresa, carece de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, le falta un historial de criticidad de los componentes y/o equipos, no cuenta con la elaboración de un programa que detalla el modelo de mantenimiento a ejecutar a las máquinas y equipos en base a su nivel de criticidad, pues el departamento encargado sólo se encuentra realizando un mantenimiento correctivo no programado que origina elevados costos a dicha institución, porque se está dando muy continuamente.

Según los datos tomados en el año 2018 en el área de calderos se registraron 1764 horas de paradas imprevistas, de las cuales fueron identificadas con mayor influencia: Caída de presión de trabajo, atoro en chute alimentador de bagazo, sobrecalentamiento en los eslabones de la parrilla móvil, material extraño en los transportadores de alimentación, Atoro en los sopladores de hollín, descarrilamiento de cadenas en los transportadores alimentadores del bagazo, acumulación de ermita (óxido rojizo) procedente de la corrosión de las líneas del retorno de condensados, bajo nivel de agua, sobrecalentamiento en las chumaceras del ventilador Inducido y la caída de tensión de la bomba que suministra agua.

La gran preocupación de esta entidad es el nivel de producción del azúcar, si estos acontecimientos de horas de paradas imprevistas persisten, la empresa corre el riesgo de minimizar su producción, así como elevar su presupuesto en el mantenimiento, sostenimiento de sus equipos en las diferentes áreas y por consiguiente perjudicar la entrega de sus productos a tiempo, provocando la disconformidad de sus clientes y por ende su prestigio.

Se pretende, con la implementación del presente estudio, optimizar el rendimiento operacional avalando mínimamente un 95% de disponibilidad de los equipos, y de esta forma aumentar también su confiabilidad.

Definida la problemática, se procedió a *formular el problema* de la siguiente manera: ¿En qué medida un sistema de mantenimiento centrado en confiabilidad, optimizará la disponibilidad de operación de los equipos del área de calderos en una empresa azucarera?

Por lo tanto, habiendo determinado el problema central, la presente investigación se justifica **técnicamente** porque se plantea la innovación del plan de mantenimiento RCM, concientizando a su personal lo importante que es esta nueva expectativa, facilitando nuevos principios de mantenimiento e incluyendo nuevas tecnologías, dejando a un lado la idea de que solo existe el mantenimiento preventivo y correctivo; aplicando este método mejoraremos los resultados de producción; se justifica **económicamente** porque al minimizar la tasa de fallas, mejorará sus resultados de producción, de tal manera no tendríamos que paralizar el proceso de producción para realizar reparaciones a los equipos y/o componentes porque esto origina costos por mantenimiento; se justifica **socialmente** porque conlleva crear motivación a sus colaboradores, así como promover trabajos en grupo, donde la formación del plan de mantenimiento facilita un lenguaje técnico y sencillo de entender por sus trabajadores que se encuentre coherente con el proceso de mantenimiento, de esa manera el técnico de mantenimiento obtiene una comunicación sólida, como también facilitando una comunicación fluida y eficiente.

Una vez planteados la problemática y justificaciones del estudio, se procedió a cifrar los objetivos de la investigación:

El *objetivo general*, es desarrollar un Sistema de Mantenimiento RCM con el fin de optimizar la disponibilidad de equipos del área de calderos en una empresa azucarera. Para arribar a ello, se tuvieron en cuenta los siguientes *objetivos específicos*: (1) Evaluar la situación actual de operación en que se encuentra los equipos en el área de calderos; (2) Efectuar un estudio de análisis del modo y efecto de fallas (AMEF), a equipos que se encuentran con elevados índices de criticidad, logrando clasificar en críticos, medio críticos y no críticos, así como valorar el número de prioridad de riesgos (NPR); (3) Gestionar un Plan de Mantenimiento, mediante la metodología RCM, basado en los resultados obtenidos del análisis de criticidad, AMEF y NPR; (4) Determinar los nuevos indicadores de mantenimiento, en mejora, proyectados a partir del Plan de mantenimiento; (5)

Evaluar la inversión, proyectar el beneficio económico y retorno operacional de la inversión, para el caso de implementación del sistema.

Adicionalmente, en función de lo precedente, se ha creído conveniente plantear la siguiente *Hipótesis*: El sistema de mantenimiento centrado en confiabilidad, si optimizará la disponibilidad de equipos en el área de calderos en una empresa azucarera.

## II. MARCO TEÓRICO

Para respaldo de nuestra investigación, se tomaron como referencia trabajos previos que aportan a nuestro tema, por ejemplo, la tesis del autor Idrogo (2016). En esta investigación se realizó un análisis de un método de mantenimiento fundamentado en la confiabilidad; en él, se pretende incrementar la disponibilidad de motores asíncronos, de la empresa COGORNO S.A. Este análisis como propósito primordial tiene la aplicación de una técnica de mantenimiento, asimismo, de minimizar costos por tiempo de reparaciones continuas. El estudio es de tipo descriptivo y se pretende demostrar que por tiempos perdidos que fueron 1715 horas, indicadores de cada equipo con disponibilidad de un 90,45%, mantenibilidad de un 7.19% y una confiabilidad de 90.48%, las condiciones de los motores eran deficientes. Consecuentemente, se buscó que todos los equipos se beneficien y resuelvan las fallas en los elementos y los mecanismos que los conforman, bajo un estricto estudio de criticidad y cumplimiento del AMEF, como parte del RCM. Se consiguió aumentar los indicadores referentes al mantenimiento, obteniéndose una disponibilidad de 97.4%, mantenibilidad de 7.19% y confiabilidad de 97.31%. De esa manera se redujeron tiempos empleados y número de averías en el proceso de la producción, así como también las paradas programadas.

Seguidamente Soto (2016), aplicó un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad en la empresa G & M S.A. Logrando mejorar en la operatividad de sus equipos y maquinarias en general. El método de estudio utilizado en esta tesis fue de tipo elemental y de grado descriptiva; se realizó un estudio detallado para determinar los hechos que originan fallas, las cuales se derivan en desgaste de las partes, sobre todo en los sistemas hidráulicos de la estructura de volquetes, cuya deficiencia hacen que queden inactivos. Se logró evaluar y como resultado se tuvo el 90,14% de funcionalidad mecánica, que no alcanza para estar autorizado por la administración de la empresa. En tal sentido se determinó como propósito, optimizar la operatividad de los equipos existentes en la empresa y para ello se empleó un procedimiento RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad), cuyo desarrollo logró el objetivo primordial de aumentar la disponibilidad y reducir costos por mantenimiento. Según esta metodología los resultados del análisis de la



empresa determinaron el logro del incremento de la disponibilidad a un 92% como también se mejoró la comprensión del funcionamiento de los equipos.

Asimismo, Casanatan (2017), realizó un plan de mantenimiento en la sala de calderas en el hospital de Chepén, cuyo objetivo fue garantizar la operación y producción de vapor de este equipo crítico en la empresa y proveer de este fluido a las áreas de esterilización, lavandería y cocina. En esta investigación se aplica como herramienta para llevar adelante el proceso, la elaboración de una hoja de inspecciones diarias, mediante una planificación concreta y efectiva, como también una programación complementada con una perfecta ejecución y control. Las rutinas de mantenimiento permitieron conocer el estado actual, así como también obtener un historial de la caldera y componentes, también se logró identificar el origen de las fallas a ser corregidas y de esta manera se logró aumentar la confiabilidad y la disponibilidad desde un 79% hasta el 92% en materia de confiabilidad. En esta investigación se diseñaron fichas de control con el fin de obtener un detallado análisis sobre todas sus actividades que se realizaron.

Convenientemente Alvares et al. (2003), Realizo una investigación denominada Plan de mantenimiento enfocado en la confiabilidad, para una planta dedicada a la producción de pastas alimenticias, denota un propósito primordial de explicar el funcionamiento de un plan de mantenimiento a fin de elevar la producción de la planta, ubicada en el “Carril de Venezuela C.A.”. Este estudio fue de modelo elemental de grado descriptivo y determinó el hallazgo de causas que pueden originar paradas imprevistas y también buscó optimizar los parámetros de mantenimiento, desde una disponibilidad del 67% hasta una de 91%, Para lograr este fin se tuvo que poner en práctica un procedimiento basada en la confiabilidad, identificando el origen que provocan las fallas para ser corregidas y logrando establecer un mantenimiento más tecnológico y eficiente.

Por otro lado, Parra y Crespo (2012), establecen que el análisis de criticidad, es el procedimiento idóneo para evaluar y hacer un estudio general de la situación real de los componentes, al poner en práctica este método debemos implantar una matriz con todos los principios de valoración, y así basándose en resultados,

priorizando los tipos de mantenimiento asociada a la seguridad, medio ambiente, costos, etc., para optimizar los ciclos de trabajo de la maquinaria.

Finalmente, Yliquin (2014), En su investigación respectiva, cifro como principal objetivo plantear mejoras con el fin de reducir las paradas innecesarias del mismo modo realzar su disponibilidad de los equipos en la empresa Obrainsa. En la cual para hacer realidad este objetivo planteado efectuó un diagnostico para constatar la situación inicial del mantenimiento mediante la información de las características, fallos e indicadores de gestión del mantenimiento que permita llevar un control e inspección del cumplimiento de la programación. Este estudio enfocado en la gestión del mantenimiento y basado en el RCM, se llevó a cabo mediante un estudio minucioso de la confiabilidad inicial de sus equipos más críticos, donde se encontró funcionando a un 88% de disponibilidad, esto fue debido a los fallos por deterioro que determinaron las causas de origen de las averías en los equipos críticos. Tomando como base estas causas se plantearon medidas preventivas la cuales permitan disminuir el índice de fallos en los equipos críticos. También se realizaron medidas de mejora a cada uno de los inconvenientes encontrados en la empresa y clasificado por categorías.

Por consiguiente, debemos entonces establecer conceptos que refuercen el desarrollo y comprensión de la presente investigación. Uno muy importante es el mantenimiento Centrado en Confiabilidad o Fiabilidad (RCM) el cual se fundamenta procedimiento científico basado en metodologías y estrategias, pero con amplia seguridad en los resultados que se logran según Hung (2009). El "RCM" se centra en evaluar las capacidades y/o potenciales de las fallas, y se clasifican en distintos rangos para su elaboración y practica de los diferentes mantenimientos en base a sus indicadores (Moubray, 1997).

Con el RCM se obtiene grandes mejoras como: Intensifica la disponibilidad en sus equipos, disminuye el mantenimiento correctivo, reduce paradas inesperadas, integra labores apropiadas, obtiene una visión más clara de los efectos de las falencias, estudia y descubre las fallas más incidentes en la estructura, reconoce la mayoría de causas que originan las fallas constantes, mejora el stop de repuestos y materiales, minimiza los tiempos usados para las reparaciones, capacita al

personal mejorando sus condiciones, perfecciona la gestión de mantenimiento y la metodología de aplicación (Gardella, 2011)

Otro concepto muy importante es el Análisis modal de fallos y efectos (AMEF), la cual es un proceso metodológico que nos permite identificar las principales averías en productos, para de este modo evitar las ocurrencias, protegiendo sus intereses y a su vez priorizarlos (Calva, 2017).

El AMEF, es recomendado para realizar un proceso en dos pasos; las cuales son la valoración y la identificación. Para llevar a cabo este proceso se necesita realizar un trabajo en campo el cual nos ayudara a obtener la información correcta de todos los elementos y posteriormente poner en marcha el plan con la documentación indicada (Fernandez, 2019).

Para efectuar el “AMEF” debemos seguir los pasos que se describirán a continuación: Detallar procedimiento a ser evaluados, enumerar los modelos de falla, descubrir los causantes que originan los modos y efecto de fallas, evaluación de severidad, valuación de detención, promediar “NPR” y determinar sitios a entender y las mejoras que se van a realizar. (Montalvan, 2015)

Similarmente, un concepto relevante en el mantenimiento, es en número prioritario de riesgo (NPR), este permite ordenar los riesgos dependiendo a la puntuación como: graves, más frecuentes o más difíciles de detectar; además sirve para reflexionar sobre nuestros actos (Rodríguez, 2014).

Se calcula mediante la multiplicación de los valores obtenidos en cada escala (Gravedad, Ocurrencia, Detección) (Astier, 2010)

$$IPR = G * O * D \quad (1)$$

También es relevante definir los indicadores claves en mantenimiento designados KPI (Key Performance Indicators) los cuales son valores matemáticos, que, al estar elegidos correctamente, reflejan la situación y el progreso del mantenimiento, donde permiten calcular cuantitativa y objetivamente la gestión del mantenimiento, la misma que está constituida por cuatro grandes objetivos claves

que son: fiabilidad, disponibilidad, costes por mantenimiento y la vida útil de una instalación (Sainz de Rojas, 2016)

Los indicadores en general tienen la facilidad de hacer cálculos mediante software o manualmente, Estos indicadores también nos permiten tomar decisiones importantes para esto se debe de conocer la situación actual, elaboración de auditorías cuantitativas y elaboración de informes (Beltran, 2020)

El primer indicador propiamente dicho, es el denominado *Tiempo de Mantenimiento entre fallos (MTBF)*, que es el tiempo medio de un activo de cada parada por fallo o avería operacional, es decir la frecuencia con que ocurre cada parada (Rojas, 2019)

$$MTBF = \frac{\text{N}^\circ \text{ total de operacion}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} \quad (2)$$

El segundo indicador de este tipo, es el *Tiempo medio hasta la reparación (MTTR)*, que es el tiempo donde la maquina está inactiva hasta haber reparado la falla o avería del equipo (Pérez, 2020)

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} \quad (3)$$

Teniendo como referencia, los parámetros de tiempo indicados anteriormente, estamos en condiciones de identificar el indicador más importante denominado disponibilidad *total*, el cual los relaciona de la siguiente manera: (Garrido, 2010)

$$\text{Disponibilidad Total} = \frac{\text{Hrs totales} - \text{Hrs paradas por mantenimiento}}{\text{Hrs totales}} \quad (4)$$

Adicionalmente, existe un deslinde de este indicador denominado disponibilidad por averías, el cual no toma en consideración los acontecimientos no programados al instante de hacer la verificación del cálculo de los activos, debido a que esta actividad fue planeada (Garrido, 2012).

$$\text{Disponibilidad por averias} = \frac{\text{Hrs totales} - \text{Hrs paradas por averías}}{\text{Hrs totales}} \quad (5)$$

Otro gran indicador es la *confiabilidad* de un activo, que es la capacidad de realizar un trabajo bajo ciertas condiciones durante el transcurso de un determinado tiempo, llegando a establecer la posibilidad de que un equipo no falle Garrido, 2010).

$$R(t) = e^{-\lambda t/100} \quad (6)$$

Donde:

R(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado.

e: Constante Neperiana (e = 2. 303..)

$\lambda$ : Tasa de fallas (número total de fallas por un periodo de operación)

También un indicador importante es la *mantenibilidad*, definida como la propiedad del activo que representa un conjunto de esfuerzos para poder mantenerse en funcionamiento normal o para quitarlo en caso se presente una falla en el sistema. (Lemos, 2004).

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t/100} \quad (7)$$

Donde:

M(t): Es la función de mantenibilidad.

e: Constante Neperiana (e = 2. 303..)

$\mu$ : Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuados con relación al total de horas de reparación del equipo.

t: Tiempo previsto de reparación Tmpr

Todo lo referido en los indicadores, nos conduce a determinar un concepto nuevo que es la eficiencia general de equipos, más conocida como "OEE" (Overall Equipment Effectiveness), que es una herramienta de evaluación comparativa para ser utilizada en distintas partes del proceso de producción como son: Rendimiento, disponibilidad y calidad del activo, por lo que es considerada para tomar decisiones con referencia al sistema productivo (Vallejo, 2016).

$$OEE = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad} \quad (8)$$

Ahora bien, abocándonos a nuestro tema definamos la máquina térmica denominada *caldera*, que es un equipo industrial de ingeniería, diseñada para producción de vapor. El vapor es generado gracias a la transferencia de calor, donde la presión es invariable, el fluido inicialmente se encuentra en estado líquido,

es calentado a cierta temperatura con la finalidad de cambiar su fase a vapor saturado (Del Amo, 2018).

La clasificación de las calderas distingue de manera genérica:

*Calderas de agua caliente.* En este tipo de calderas tiene como fluido al agua y su temperatura no lo supera a los 100°C, (Bahamondes, 2006).

*Calderas de agua sobrecalentada.* En estas calderas también es el agua, pero su calentamiento se realiza por encima de los 100°C de temperatura, estas pueden ser acuotubulares o piro tubulares, las primeras son más usadas y cuentan con un rango alto de presión de vapor (Flo Durban, 2017).

*Calderas a vapor:* en estas calderas el líquido portador es el vapor del agua, puede ser de tipo acuotubulares como también piro tubulares, las más habituales son las de vapor saturado (Díez, 2009).

La caldera acuotubular utiliza como fluido al agua, y es el mismo que circula por la parte interna de los tubos y en el exterior de ellos se encuentran los gases generados por la combustión. (Bahamondes, 2006)

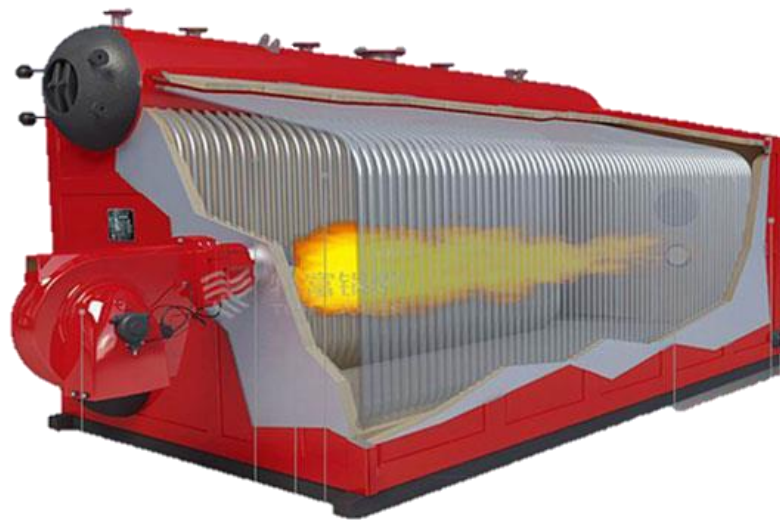


Figura 1. Caldera Acuotubular

Fuente: (Calderaindustriales, 2015)

La caldera piro tubular, es lo inverso de la caldera acuotubular, donde el fluido (agua) se encuentra en el exterior de los tubos y los gases de la combustión por el interior de ellos (Kohan, 1909).

## PARTES DE LA CALDERA PIROTUBULAR GENERADORA DE VAPOR - WET BACK

MODELO:  
**EFAC**

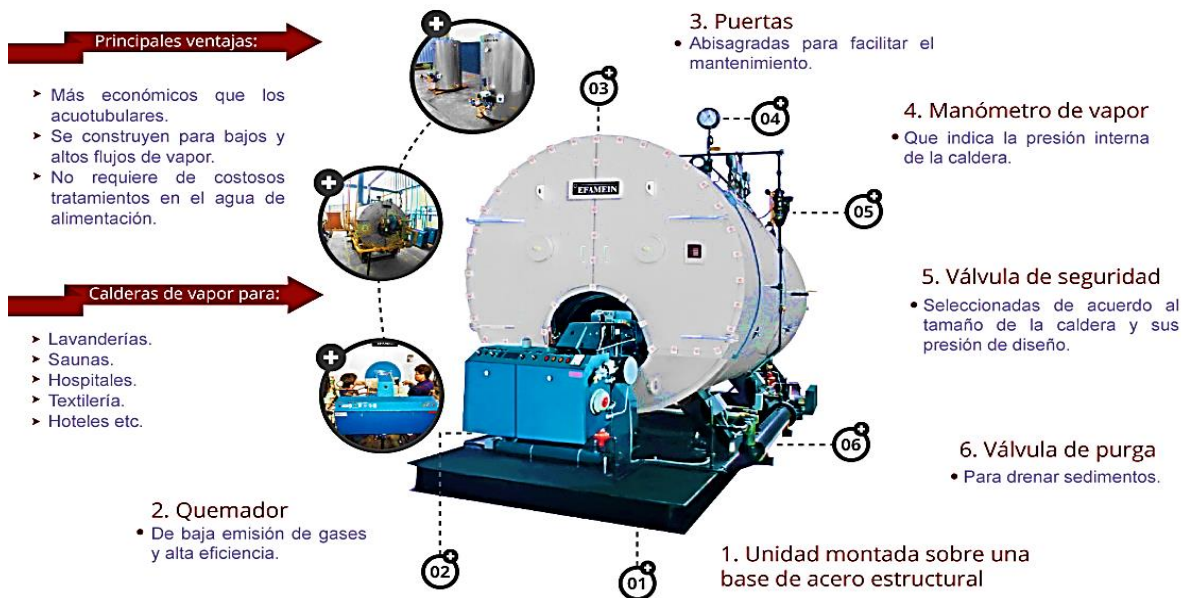


Figura 2. Caldera Piro-tubular

Fuente: Efameinsa (2020)

Una caldera acuotubular está formada por un conjunto de componentes: Quemador, turbina, hogar, tablero de control, válvula McDonnell, termopar, manómetro, ventilador inducido, valvular de seguridad, bomba de alta presión, ventilador forzado, parrillas, salida del vapor (Bahomondes, 2006).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación es aplicada porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren para posteriormente llevar a una proyección, cuyo propósito es dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables.

El diseño es Pre-Experimental debido a que su nivel de control es imperceptible, prácticamente la manipulación de la variable independiente no existe, a comparación de un diseño experimental real. Será elaborado en el área de calderos, la cual esta gestiona un estímulo de mantenimiento "RCM", a través del cual se determina el resultado de la variable dependiente, incorporando un análisis (Muestra) previo y posterior al realizar el estímulo.

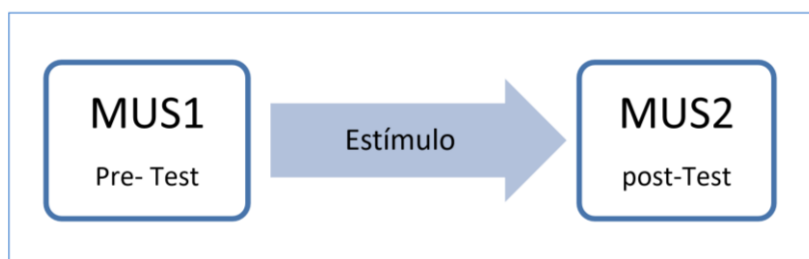


Figura 3 Representación de diseño de investigación

Fuente: Elaboración propia

PM: Análisis de muestra

EST: Sistema de mantenimiento RCM

MUS1, MUS2: Porcentaje de observaciones de incremento en la disponibilidad.

#### 3.2. Variables y operacionalización

La variable es de tipo **cuantitativo** ya que contamos con valores numéricos (cantidad), Centrados en aspectos observables susceptibles de cuantificación y utilizaremos la estadística para el análisis (Ver anexo 1)

##### **Variable Independiente:**

- ✓ Mantenimiento RCM, centrado en confiabilidad.



- Número de equipos.
- Tipos de fallas.
- Tiempo para reparar (Hrs/año).
- Tiempo de trabajo de cada equipo (Hrs/año).

#### **Variable dependiente.**

- ✓ Incremento de la disponibilidad operacional
  - Disponibilidad (%)
  - Confiabilidad (%)
  - Mantenibilidad (%)

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

La población considerada para nuestra investigación, estuvo comprendida por todos los equipos de calderos acuatubulares de las empresas agroindustriales del rubro azucarero; la muestra estuvo conformada por los 46 equipos del área de calderos de la empresa Cartavio S.A., el muestreo lo constituyen los equipos del área que son el caldero N° 17 y el N° 20 de la empresa, referente para nuestro estudio.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:**

Para nuestra investigación, se procedió a la recolección de datos utilizando las técnicas e instrumentos detallados en el anexo 2.

### **3.5. Procedimientos:**

Con el objetivo de establecer el valor real existente de la disponibilidad en los equipos, se elaborará un método para la revisión de documentos, y consiguiente a ello se construirá un formato donde se detallará el registro de paradas no programadas. (Ver anexo 4)

Lograremos la ejecución del estudio del AMEF como los niveles más elevados del IPR, aplicando el cálculo en la tabla de la matriz AMEF que

elaboraremos como instrumento y empleando la observación como técnica. (Ver anexo 9)

Las tablas de cálculos comparativos creados en el Excel servirán como instrumento y tomaremos la observación como técnica, para realizar la comparación del antes y después de la disponibilidad. (Ver tabla 6)

### **3.6. Método de análisis de datos**

#### **Análisis descriptivo**

Analizaremos los antecedentes procedentes de la empresa, en base a sus rangos de producción haciendo un estudio de los parámetros que se han propuesto en la investigación.

#### **Análisis inferencial**

La teoría debe ser reflejada en base a pruebas de grado, con razón a la comparación de evidencias a equipos realizando un ensayo detallado estadísticamente para constatar la confianza que compete a los datos cuantitativos, decidiendo si estos presentan una conducta normal, comprobando esto aplicaremos la prueba "T-Student" y posterior a ello un examen estadístico de Wilcoxon con una confianza de 95%, se realizará para evidenciar la teoría.

### **3.7. Aspectos éticos**

Finalizado el período de prácticas y propuestas, nuestro trabajo de investigación ha sido reflejo de datos reales e informaciones directas de personal de operación y mantenimiento, por lo tanto, incidiremos de forma implícita que las referencias tomadas de la empresa son fidedignas, reservando confidencialmente dicho testimonio.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. Evaluar la situación actual de los equipos del área de calderos**

#### **4.1.1. Breve descripción sobre la empresa.**

La empresa agroindustrial Cartavio S.A. se ubica sobre el margen izquierdo del río Chicama, en el valle del mismo nombre, en el distrito de Santiago de Cao, provincia de Ascope, región La Libertad. Dicha empresa, desde el 3 de mayo del 2007 se unió al Grupo Gloria S.A. mediante la adquisición del 52% de las acciones a través de su subsidiaria Corporación Azucarera del Perú S.A. Esta empresa se dedica principalmente al sembrío, elaboración de su producto elemental que es (la caña de azúcar) y comercializa sus derivados tales como: Azúcar (rubia y refinada), melaza y alcohol. (Cartavio S.A.A, 2018).

Su sistema de operaciones, se inicia con la captación de materia prima de sus campos en todo el valle de Chicama y el procesamiento se lleva a cabo en el Ingenio de Cartavio donde se recibe la caña. En este Ingenio azucarero existen procesos energéticos y agroindustriales relevantes en el sistema de trabajo de la empresa, siendo el que nos interesa para nuestra investigación el rubro energético; pues la modalidad de trabajo es en Co-generación (obtención de energía eléctrica y energía térmica), donde los equipos principales lo constituyen las calderas acuotubulares.

#### **4.1.2. Descripción de equipos del área de los calderos.**

La compañía azucarera Cartavio S.A.A, en su área de calderos cuenta con 2 unidades operativas (Caldero 17 y Caldero 20), que se encargan de generar vapor para suministro energético para electricidad y para el proceso de fábrica, En dicha área se tienen principalmente 46 equipos industriales, cuyo detalle se referencian los datos en el Anexo 3.

#### **4.1.3. Análisis de fallas a equipos en el área de calderos**

Se realizará un análisis con el propósito de determinar los fallos más relevantes que originan las paradas no programadas debido a la carencia de

un sistema de mantenimiento, se evaluará los reportes de las horas inoperativas trimestralmente.

Los datos recolectados son proporcionados por los colaboradores del área de calderos, en donde se presentan los distintos tipos de fallas como podemos observar en el anexo 4.

#### **4.1.4. Aplicación de los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad iniciales.**

En concordancia con el análisis de fallos de los equipos de calderos indicados en el párrafo anterior y plasmados en el Anexo 5, nos especifica las interrupciones en el proceso y por tal motivo realizaremos la evaluación de la disponibilidad trimestral a cada uno de dichos equipos, en consecuencia, obtendremos los resultados detallados en la tabla 1.

El tiempo para realizar el análisis comprende tres meses los cuales corresponden a un ciclo denominado TIEMPO NETO PROGRAMADO (NTP) equivalente a 2208 horas, debido a que la producción es continua donde los equipos trabajan las 24 horas del día. Teniendo planificado paradas programadas para su mantenimiento de 16 Horas semanales, equivalente a 64 mensuales que sumarían un total de **192** horas en los tres meses que se tomó como referencia para el estudio.

Ante los inconvenientes presentados durante la generación del vapor se emplea el índice del tiempo aplicado para la reparación (TTR) que viene a ser la cantidad de horas empleadas para la corrección de las fallas, en el cual los tiempos de operación (TBF) viene a ser la resultante de horas ininterrumpidas en el proceso y por consiguiente tenemos que:

$$TBF = NTP - (MP + TTR) \quad (9)$$

Para el cálculo de los indicadores de mantenimiento RCM acudiremos a las fórmulas citadas en el marco teórico.

En el reporte de paradas no programadas de la tabla 5, nos especifica las interrupciones en el proceso es por ello que se procede a la evaluación de la disponibilidad durante los tres meses aplicando a cada uno de los equipos, consiguiente a ello logramos los resultados detallados en la tabla 1.

Tabla 1: Disponibilidad actual de los equipos en el área de calderos

Ítem	EQUIPO	Horas de trabajo	Tiempo de paradas (Hrs)	N° de fallas	MTTR (Hrs / Falla)	MP + TTR (Mant. Prog + Tiempo de paradas)	MTBF (Hrs Fallas)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD	MANTENIBILIDAD
1	VENTILADOR FORZADO - C17	2208	398.48	10	39.85	590.48	161.75	80.23%	87.24%	42.54%
2	VENTILADOR INDUCIDO - C20	2208	390.6	10	39.06	582.60	162.54	80.63%	87.30%	43.18%
3	VENTILADOR FORZADO - C20	2208	371.44	8	46.43	563.44	205.57	81.58%	89.82%	37.84%
4	VENTILADOR INDUCIDO - C17	2208	288.04	8	36.01	480.04	216.00	85.71%	90.28%	45.84%
5	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3 - C17	2208	264.53	7	37.79	456.53	250.21	86.88%	91.55%	44.25%
6	DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 3 - C20	2208	208.64	6	34.77	400.64	301.23	89.65%	92.93%	47.00%
7	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 15 - C20	2208	177.94	6	29.66	369.94	306.34	91.17%	93.05%	52.50%
8	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 5 - C17	2208	164.99	6	27.50	356.99	308.50	91.82%	93.09%	55.20%
9	BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°1 - C17	2208	135.91	6	22.65	327.91	313.35	93.26%	93.20%	62.27%
10	BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°2 - C20	2208	98.34	5	19.67	290.34	383.53	95.12%	94.41%	67.45%
11	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 2 - C17	2208	96.77	5	19.35	288.77	383.85	95.20%	94.41%	68.04%
12	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 16 - C20	2208	89.09	5	17.82	281.09	385.38	95.58%	94.43%	71.03%
13	BOMBA DE CONDENSADO N°1 - C17	2208	88.62	5	17.92	281.62	385.28	95.55%	94.43%	70.82%
14	DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 2 - C20	2208	88.2	5	17.64	280.20	385.56	95.63%	94.43%	71.39%
<b>TOTAL</b>		<b>30912</b>	<b>2861.59</b>	<b>92</b>	<b>406.12</b>	<b>5550.59</b>	<b>4149.09</b>	<b>83.45</b>	<b>92.18%</b>	<b>56%</b>

Fuente. Anexo 8

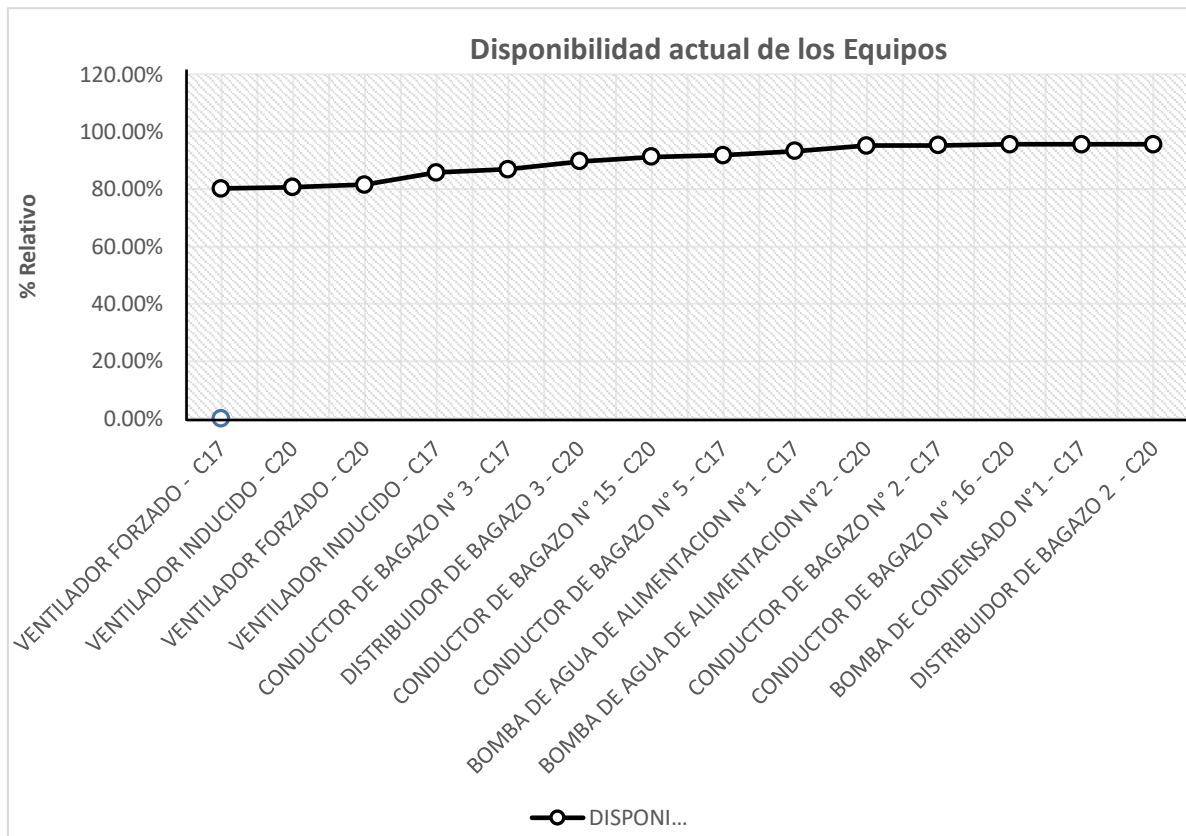


Figura 4. Disponibilidad Trimestral Julio - Setiembre

Fuente. Tabla 1

Los dígitos tomados corresponden a la disponibilidad durante tres meses de equipos en la empresa Cartavio S.A.A, la cual se está tomando referencia el periodo de los meses Julio – Setiembre 2019, Según tabla 2.

**4.2. Efectuar un estudio de análisis del modo y efecto de fallas (AMEF) a equipos que se encuentran con elevados índices de criticidad, logrando clasificar en críticos, medio críticos y no críticos.**

Se efectuó un análisis modal de efectos y fallos a equipos que se encontraron con altos índices de criticidad y que generalmente causan paradas no programadas por carencia de un plan de mantenimiento, se analizó los reportes del tiempo perdido entre los meses Octubre y diciembre del año 2019; claro está que previamente se ha realizado el estudio de criticidad, de acuerdo a los criterios de evaluación y gráfica de matriz de criticidad que se consignan en el Anexo 5 (Améndola, 2012).

#### **4.2.1. Análisis de criticidad en fase de operación para clasificar a los activos en el rango de criticidad adecuada.**

En la tabla 2, se detalla los Factores de Frecuencia (FF) y los Factores de Consecuencia tales como: Impacto Operacional (IO) Flexibilidad Operacional (FO) Costo de mantenimiento (CM) e Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene (IS y AH), dichos valores son referenciados y procesados mediante la información adquirida del cuadro de datos y operación mostrados en el anexo 6, cuyos resultados nos demuestran el nivel criticidad de cada equipo.



Tabla 2: Valores críticos de las fallas de equipos del área de calderos.

Ítem	ELEMENTO EN FALLA	CARACTERÍSTICA DE LA FALLA	FRECUENCIA DE FALLA	IO.	F.O	C.M	I.S. y M.A.	CONSECUENCIA IO*FO*CM*ISMA	NIVEL DE CRITICIDAD
1	VENTILADOR FORZADO - C17	Ruptura de acoplamientos y falla en rodamientos	3	10	4	2	2	160	CRÍTICO
2	VENTILADOR INDUCIDO - C20	Ruptura de acoplamientos, de eje y falla en rodamientos	3	10	4	2	2	160	CRÍTICO
3	VENTILADOR FORZADO - C20	Ruptura de acoplamientos, de eje y falla en rodamientos	3	10	4	2	2	160	CRÍTICO
4	VENTILADOR INDUCIDO - C17	Ruptura de acoplamientos, de eje y falla en rodamientos	3	10	4	2	2	160	CRÍTICO
5	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3 - C17	Ruptura de ejes, de cadenas, de acoplamiento y arrastradores	2	8	4	2	2	128	CRÍTICO
6	DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 3 - C20	Rotura de cadenas, de arrastradores y descarrilamiento de cadena	2	10	3	2	2	120	CRÍTICO
7	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 15 - C20	Rotura de cadenas, de arrastradores y descarrilamiento de cadena	2	10	3	2	2	120	CRÍTICO
8	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 5 - C17	Rotura de cadenas, de arrastradores y descarrilamiento de cadena	2	10	1	2	2	120	CRÍTICO
9	BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°1 - C17	Fugas de aceite y agua del sistema de refrigerac.; desalineamiento.	3	7	3	1	2	42	SEMI CRÍTICO
10	BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°2 - C20	Fugas de aceite y agua del sistema de refrigerac.; desalineamiento.	3	7	3	1	2	42	SEMI CRÍTICO
11	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 2 - C17	Ruptura de paletas, desalineamiento de tambor motriz.	2	7	1	2	2	28	NO CRÍTICO

12	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 16 - C20	Ruptura de paletas, desalineamiento de tambor motriz.	2	5	3	2	1	30	NO CRÍTICO
13	BOMBA DE CONDENSADO N°1 - C17	Fugas de aceite y agua del sistema de refrigerac.; desalineamiento.	1	5	1	1	1	5	NO CRÍTICO
14	DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 2 - C20	Rotura de cadenas, de arrastradores y descarrilamiento de cadena	2	10	3	2	1	60	NO CRÍTICO

Fuente: Elaboración propia en base a tablas y diagrama (Anexo 6)

Nivel de criticidad	Cantidad
Críticos	8
Semi críticos	2
No críticos	4

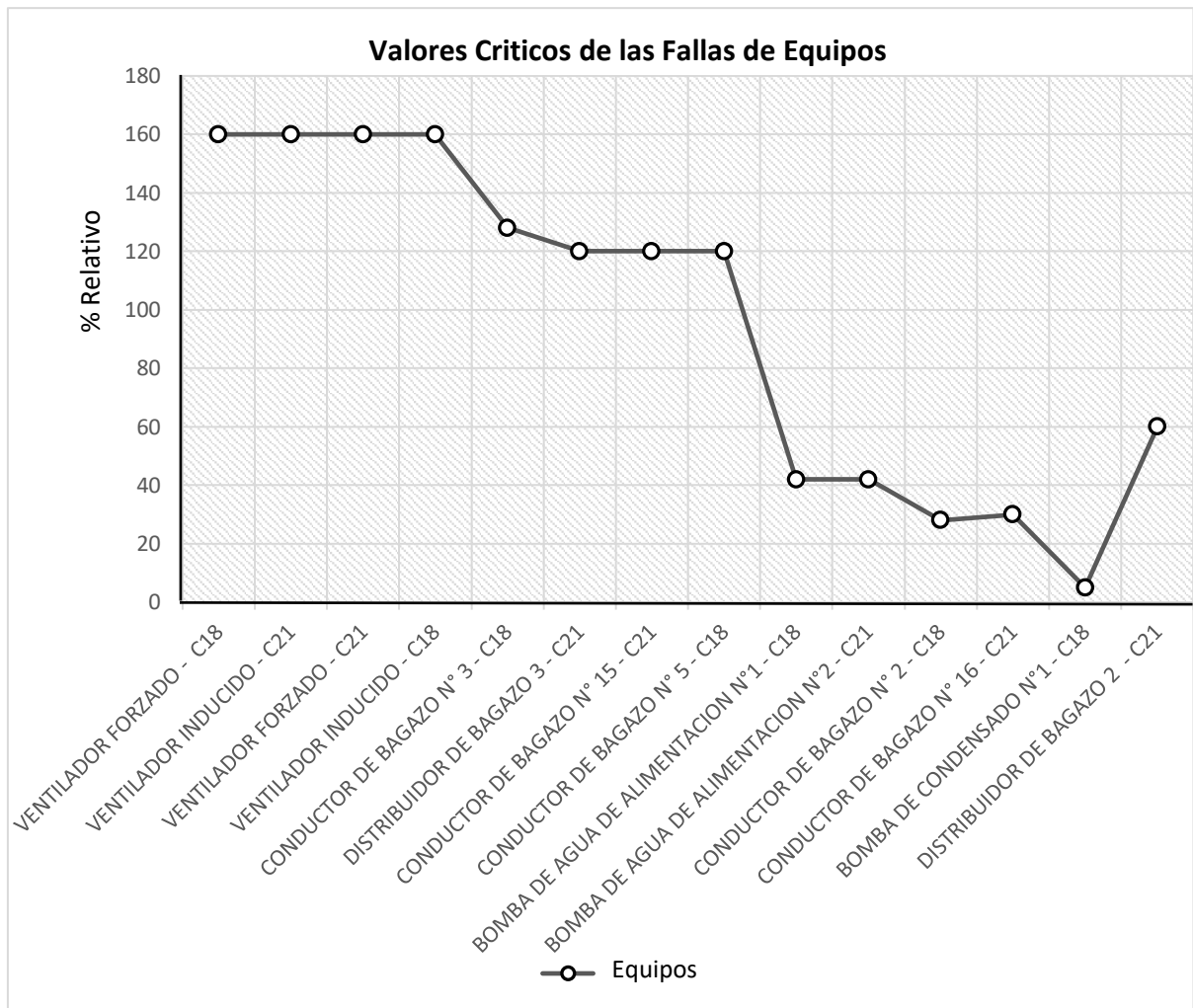


Figura 5. Gráfico de niveles de criticidad de equipos

Fuente: Tabla 2.

En la figura 5, se representan los resultados obtenidos de la tabla 2 mediante el cual se detalla el nivel de criticidad de los 14 equipos en estudio, para posterior a ello ejecutar el cálculo de disponibilidad tomando referencia los equipos con niveles de criticidad más elevados.

#### 4.2.2. Disponibilidad equipos críticos del área de calderos

Analizado lo datos según la tabla de valores críticos de equipos, pasamos a ejecutar el cálculo actual de disponibilidad a los 8 equipos más críticos detallados en la siguiente tabla.

Tabla 3: Disponibilidad de equipos críticos

Ítem	TIPO DE DEFECTO	Horas de trabajo	Tiempo de paradas (Hrs)	MTTR (Hrs / Falla)	MTBF (Hrs Fallas)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD	MANTENIBILIDAD
1	VENTILADOR FORZADO - C17	2208	398.48	39.85	161.75	80.23%	87.24%	42.54%
2	VENTILADOR INDUCIDO - C20	2208	390.6	39.06	162.54	80.63%	87.30%	43.18%
3	VENTILADOR FORZADO - C20	2208	371.44	46.43	205.57	81.58%	89.82%	37.84%
4	VENTILADOR INDUCIDO - C17	2208	288.04	36.01	216.00	85.71%	90.28%	45.84%
5	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3 - C17	2208	264.53	37.79	250.21	86.88%	91.55%	44.25%
6	DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 3 - C20	2208	208.64	34.77	301.23	89.65%	92.93%	47.00%
7	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 15 - C20	2208	177.94	29.66	306.34	91.17%	93.05%	52.50%
8	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 5 - C17	2208	164.99	27.50	308.50	91.82%	93.09%	55.20%
<b>TOTAL</b>				<b>291.06</b>	<b>1912.14</b>	<b>85.96%</b>	<b>90.66%</b>	<b>46%</b>

Fuente: Elaboración propia (datos de anexo 4)

#### 4.2.3. Elaboración del AMEF

Los responsables para la elaboración del análisis AMEF, está constituido por:

- Jefe del área de calderos
- Planner de mantenimiento.
- Supervisores de turnos del área.
- Operadores y mecánicos del área.

Se procederá a realizar la evaluación a los equipos que se encuentran con los índices más elevados de criticidad, identificados en la tabla de valoraciones y que se detallan a continuación.

- Ventilador forzado - C17
- Ventilador inducido - C20
- Ventilador forzado - C20
- Ventilador inducido - C17
- Conductor de bagazo N° 3 - C17
- Distribuidor de bagazo N°3 - C20
- Conductor de bagazo N° 15 - C20
- Conductor de bagazo N° 5 - c17

Posteriormente se realizó un estudio para descubrir los fallos más incidentes que originan las paradas indeseadas por la ausencia de un plan de mantenimiento, evaluando los reportes de los tiempos perdidos.

Los datos que se recolectaron fueron brindados por los trabajadores del área de calderos, lugar donde se muestran los distintos tipos de fallas como podemos observar en las siguientes tablas del AMEF.

Tabla 2: Cuadro AMEF – V.T.F Caldero N° 17

<b>AMEF: ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS POTENCIALES (PROCESO)</b>						
ÁREA: Calderos					REALIZADO POR:	
DEPARTAMENTO: Generación de vapor					SUPERVISOR:	
DENOMINACION DEL COMPONENTE / EQUIPO: Ventilador forzado caldero 17					NOMBRE DEL PROCESO:	
CODIGO DE IDENTIFICACION DEL COMPONENTE:			Fecha AMFE inicial:		Fecha AMFE última revisión:	
Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			Consecuencia	SITUACION DE MEJORA (AMEF)
		Modos del fallo	Efectos	Causas del modo de fallo		Acción Correctora
<b>Permite que los gases de la combustión sean expulsados mediante aspiración</b>	Paros constantes del equipo incumpliendo su función.	Temperatura elevada	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Falto de lubricación y el desgaste.	Mecánicas	Constituir un cronograma de frecuencia para inspección y lubricación.
		Falla de rodamientos	La vibración se eleva, esto origina averías en sus mecanismos la cual impide el funcionamiento de los mismos, afectando el proceso de producción.	Habilidad mecánica, inconvenientes por traba y deterioro	Mecánicas	Constituir un cronograma de frecuencias para análisis de vibraciones.
		Rotura acoplamiento	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Acoplamiento sin tolerancia de montaje	Mecánicas	Realizar un alineamiento laser de ejes.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2, Se detalla el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en RCM, en el cual se ha incluido adicionalmente el estudio del AMEF (Análisis modal de efectos y fallos potenciales), como también se adiciono el estado de mejora para cada fallo de uno de los equipos críticos, los 7 equipos restantes se encuentran ubicados en el anexo 5.

#### 4.2.3. Número prioritario de riesgo (NPR).

En la tabla 3, se detalla una selección crítica del total de fallos de los 8 equipos evaluados. Esto se hace para establecer los valores del NPR a cada una de las fallas involucradas en el AMEF, se ha realizado la ponderación correspondiente para luego considerar si son: Inaceptables, reducibles a deseables y aceptables, los puntajes se detallan a continuación:

Matriz para puntuación del Amef:

NPR ≥ 200	<b>FALLAS INACEPTABLES</b>
200 ≥ NPR ≤ 125	<b>FALLAS REDUCIBLES DESEABLES</b>
25 ≥ NPR	<b>FALLAS ACEPTABLES</b>

Tabla 3: Análisis del NPR

Ítem	EQUIPOS DEL AREA DE CALDEROS	FALLAS EN LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE CALDEROS	G	O	D	NPR
F1	Ventilador forzado - C17	Ruptura de acoplamiento y falla en rodamientos	9	6	5	270
F2	Ventilador inducido - C20	Ruptura de acoplamiento, de eje y falla en rodamientos	9	6	5	270
F3	Ventilador forzado - C20	Ruptura de acoplamiento, de eje y falla en rodamientos	9	6	5	270
F4	Ventilador inducido - C17	Ruptura de acoplamiento, de eje y falla en rodamientos	9	6	5	270
F5	Conductor de bagazo N° 3 - C17	Ruptura de ejes, de cadenas, de acoplamiento y arrastradores	9	6	4	216
F6	Distribuidor de bagazo N°3 - C20	Rotura de cadenas, de arrastradores y descarrilamiento de cadena	8	5	3	120
F7	Conductor de bagazo N° 15 - C20	Rotura de cadenas, de arrastradores y descarrilamiento de cadena	8	5	4	160
F8	Conductor de bagazo N° 5 - C17	Rotura de cadenas, de arrastradores y descarrilamiento de cadena	8	5	4	160

Fuente: Elaboración propia (Ref. Anexo 8)

A continuación del análisis de NPR, podemos determinar que 5 de las 8 fallas son indeseables, lo que significa un 62.5% del total; 2 fallas son reducibles a deseables, lo cual corresponde a un 25.0% del total; y, 1 fallas es aceptable, que representa el 12.5% del total. Estos porcentajes, serán determinantes para elaborar nuestra proyección de los nuevos indicadores de mantenimiento.

Asimismo, teniendo como referencia los resultados de la tabla 4, analizaremos los niveles de los indicadores de riesgo y a su vez las medidas preventivas para cada equipo de fallo, en un plan de mantenimiento detallado a continuación.

Tabla 4: Plan de mantenimiento

MODO DE FALLOS EN EL ÁREA DE CALDEROS	PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS
<b>Temperatura elevada</b>	Constituir un cronograma de revisiones ópticas y lubricación.
<b>Falla de rodamientos</b>	Constituir un programa de análisis vibracional
<b>Fisura en ejes</b>	Efectuar a los equipos pruebas de ultrasonido
<b>Fisura en acoplamientos</b>	Realizar alineamiento láser a ejes
<b>Caída de tensión</b>	Llevar un control de temperatura por termografía.
<b>Rotura de cadenas</b>	Capacitar al personal del área, conforme a las medidas de operación.
<b>Descarrilamiento de cadenas</b>	Alineamiento de sprockets
<b>Rotura de arrastradores</b>	Capacitar al personal del área, conforme a las medidas de operación.

Fuente: Cuadro AMEF.

Con esta referencia y teniendo en cuenta los cuadros del AMEF realizados, ahora elaboraremos un plan de mantenimiento para los equipos más críticos, para cuyo efecto se estimula un desarrollo anual y se construye un programa de frecuencias correspondientes en un periodo tiempo, que posteriormente se aplicara de igual manera en el transcurso del año.





En la figura 6, se detalla el plan de mantenimiento para los equipos críticos en el área de calderos en el cual se establecen actividades frecuentes a realizar a cada equipo la cual definimos a continuación:

**a. Frecuencia de lubricación.** El lubricado de componentes es uno de los métodos predictivos del mantenimiento, tiene como objetivo minimizar la fricción y deterioro de dos cuerpos en contacto creando una película entre ellos según Olarte, Botero y Cañón (2010), dicho método se aplicara bajo las condiciones de los equipos, para los cuales realizaremos la sustracción del elemento lubricante (aceite) para posteriormente ser examinados en el laboratorio basándose en las normas ASTM, para definir el estado de la muestra, en la compañía ya se encuentran realizando de manera frecuente, esta muestra es realizada de manera diaria y semanal

**b. Frecuencia de vibraciones.** Mediante este análisis evaluaremos las condiciones de los equipos y sus componentes estando en funcionamiento, la frecuencia de vibraciones será quincenal, mediante esta técnica lograremos detectar las vibraciones como: Oscilaciones, desalineamiento, rodamientos defectuosos, ejes desalineados, engranajes defectuosos, desperfectos en transmisiones. (Ideara, 2014)

**c. Frecuencia de análisis ultra sonido.** Con la aplicación de este estudio seremos capaces de percibir resultados confiables, mediante el cual lograremos determinar un gran número de modos de fallo, este procedimiento se efectuará mensualmente para el cual se ha tomado en consideración la envergadura de los equipos y recomendaciones de la empresa que presta dicho servicio (Olarte, Botero y Marcela, 2011)

**d. Alineamiento y ajuste de pernos.** Esta técnica se puede efectuar con la máquina y/o equipo en funcionamiento, paralelamente se ha establecido una frecuencia de alineamiento, ya que al momento que estos elementos (pernos) se aflojan generan el desalineamiento del componente en movimiento, por tal motivo este procedimiento se realiza de una forma directa e inmediata para el cual se

dispone de un alineador láser, mediante esta operación se lograra reducir el consumo de energía y mitigar la cantidad de fallos en un futuro (Montero, 2013)

**e. Frecuencia de mediciones de temperatura por termografía.** Este procedimiento se ejecuta con la ayuda de una cámara termográfica. Mediante la termografía por rayos infrarrojos se efectuará a los tableros eléctricos en general, esta técnica se ejecutará quincenalmente de acuerdo a las experiencias y recomendaciones de los proveedores de los equipos eléctricos. (Jaco, 2008)

**f. Mantener en capacitación al personal sobre los parámetros de producción.** Para este procedimiento, se proporcionará información referido al impacto operacional en los resultados productivos, en la regulación de normas, patrones y su debido cumplimiento, este procedimiento se llevará acabo mensualmente, de esta manera también logrando la continua retroalimentación a operadores – jefatura (Desdín, 2013)

Con este plan de mantenimiento elaborado, hemos ampliado nuestra visión respecto a las falencias y descubierto las fallas más incidentes en la estructura de los equipos del área de calderas en una empresa azucarera, hemos reconocido las causas que originan las fallas constantes que tienden a mejorar también el stock de repuestos y materiales, así como a minimizar los tiempos utilizados en reparaciones. Por lo tanto, este sistema de mantenimiento basado en el RCM constituye además del análisis modal de fallos y efectos (AMEF) realizado, así como también, las evaluaciones de criticidad y NPR, la presentación de frecuencias y programa de tareas preventivas; por lo tanto, se espera que, utilizando este sistema, se va intensificar la disponibilidad y confiabilidad y disminuir el mantenimiento correctivo, paradas inesperadas e integración de labores apropiadas.

#### **4.4. Establecer los nuevos indicadores del mantenimiento, en mejora, proyectados a partir del plan de mantenimiento.**

De acuerdo a lo obtenido, proyectaremos según el NPR, lo siguiente: Se resolverá el 62.5% de todas las fallas existentes en los equipos del área de calderas de una empresa azucarera, aun existiendo fallos entre deseables y aceptables un

37%. Por lo tanto, determinaremos los nuevos indicadores de mantenimiento detallados en la tabla 5.

Tabla 5: Plan de mantenimiento a equipos críticos

Ítem	EQUIPO CRÍTICO	Hrs. de trabajo	MTTR (Hrs / Falla)	MTBF (Hrs Fallas)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD	MANTENIBILIDAD
1	Ventilador forzado - C17	2208	14.94375	186.65625	92.59	88.84	77.18
2	Ventilador inducido - C20	2208	14.6475	186.9525	92.73	88.86	77.85
3	Ventilador forzado - C20	2208	17.41125	234.58875	93.09	91.01	71.86
4	Ventilador inducido - C17	2208	13.50375	238.50625	94.64	91.16	80.51
5	Conductor de bagazo N° 3 - C17	2208	14.17125	273.82875	95.08	92.25	78.95
6	Distribuidor de bagazo 3 - C20	2208	13.03875	322.96125	96.12	93.39	81.61
7	Conductor de bagazo N° 15 - C20	2208	11.1225	324.8775	96.69	93.43	86.26
8	Conductor de bagazo N° 5 - C17	2208	10.3125	325.6875	96.93	93.44	88.25
TOTAL			<b>109.15125</b>	<b>2094.05875</b>	<b>94.73</b>	<b>91.5475</b>	<b>80.31</b>

Fuente: Elaboración propia

**Comentario:** La proyección la hemos realizado en base al porcentaje representativo de fallas entre deseables y aceptables (37.5%), que harían variar al MTTR; por lo tanto el nuevo MTTR será el resultado del *inicial MTTR \* 0.375*, y el nuevo MTBF será el resultado de *diferencia de (MTTR inicial – MTTR proyectado) + el MTBF inicial*.

Así, para obtener el primer resultado:

$$MTTR = 39.85 * 0.375 = 14.94375 \text{ horas/falla}$$

$$MTBF = (39.85 - 14.94375) + 161.75 = 186.65625 \text{ horas/falla}$$

Usando el mismo método se pudo calcular el MTTR y MTBF de cada equipo en condiciones proyectadas; y, consecuentemente los nuevos indicadores de mantenimiento.

Tabla 6: Cuadro comparativo de indicadores de mantenimiento (antes y después del Plan).

Ítem	EQUIPO CRÍTICO	Hrs. de trabajo	MTTR INICIAL (Hrs / Falla)	MTTR PROY. (Hrs / Falla)	MTBF INICIAL (Hrs Fallas)	MTBF PROY. (Hrs Fallas)	DISPONIBILIDAD INICIAL	DISPONIBILIDAD PROYECTADA	CONFIABILIDAD INICIAL	CONFIABILIDAD PROYECTADA
1	Ventilador forzado - C17	2208	39.85	14.94	161.75	186.65	80.23	92.59	87.24	88.84
2	Ventilador inducido - C20	2208	39.06	14.64	162.54	186.95	80.63	92.73	87.3	88.86
3	Ventilador forzado - C20	2208	46.43	17.41	205.57	234.58	81.58	93.09	89.82	91.01
4	Ventilador inducido - C17	2208	36.01	13.50	216	238.50	85.71	94.64	90.28	91.16
5	Conductor de bagazo N° 3 - C17	2208	37.79	14.17	250.21	273.82	86.88	95.08	91.55	92.25
6	Distribuidor de bagazo N° 3 - C20	2208	34.77	13.03	301.23	322.96	89.65	96.12	92.93	93.39
7	Conductor de bagazo N° 15 - C20	2208	29.66	11.12	306.34	324.87	91.17	96.69	93.05	93.43
8	Conductor de bagazo N° 5 - C17	2208	27.5	10.31	308.5	325.68	91.82	96.93	93.09	93.44
<b>TOTAL</b>			<b>291.07</b>	<b>109.15</b>	<b>1912.14</b>	<b>2094.06</b>	<b>85.96</b>	<b>94.73</b>	<b>90.66</b>	91.55

Fuente: Elaboración propia.

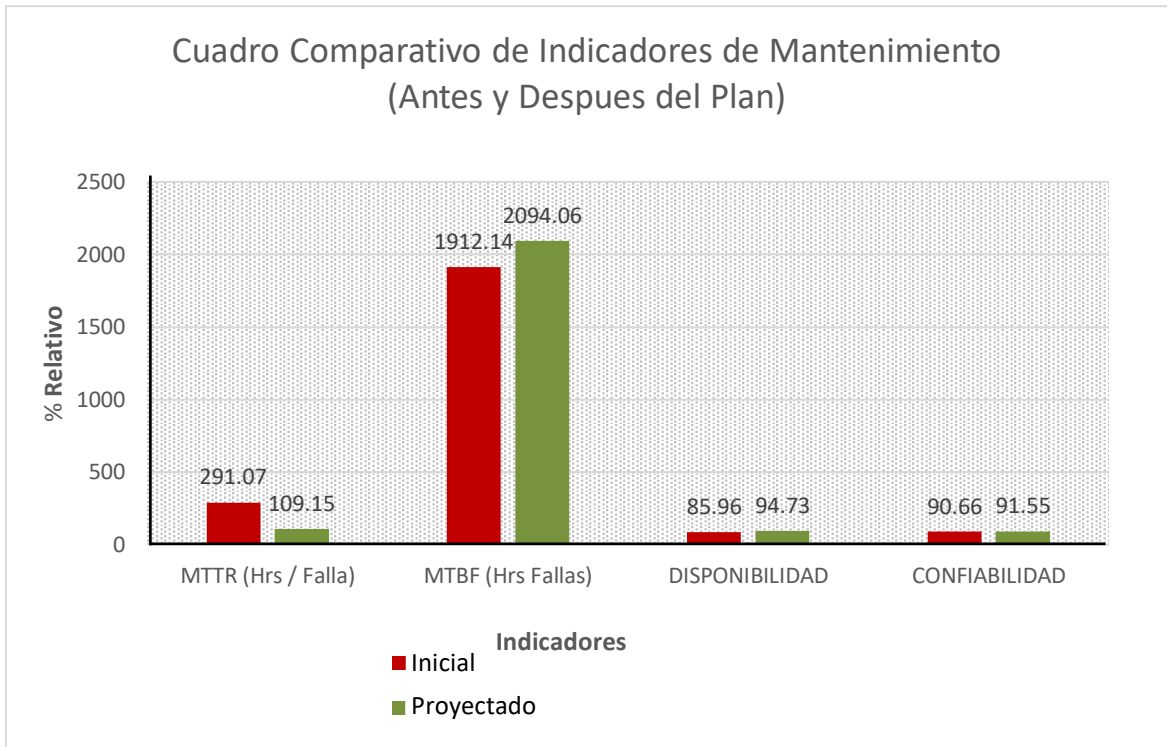


Figura 7. Gráfico comparativo de indicadores de mantenimiento

Fuente: Tabla 9.

En la tabla 6 y figura 7, se muestra los datos de la simulación del programa que refleja el promedio de disponibilidad de los equipos del área de Calderos entre Octubre – Diciembre equivalente a 94.73%, con estos resultados evaluamos el impacto que origina el implementar este sistema de mantenimiento RCM en la cual obtuvimos una superación del 8.77% de disponibilidad en comparación al periodo Julio – Setiembre (85.96%), porcentaje que favorece a la empresa. También se muestra el número de horas de operación del equipo (2208) en el trimestre y notamos que al reducir las paradas no programadas reducimos el MTTR (Tiempo medio para reparar) y mejoramos el MTBF (Tiempo medio entre fallos), potenciando los índices de productividad.

**4.5. Evaluar la inversión, proyectar el beneficio económico y retorno operacional de la inversión, para el caso de implementación del sistema.**

**4.5.1. Beneficio económico por reajuste de tiempos perdidos.**

Tabla 7: Beneficio debido al reajuste de tiempos perdidos.

Ítem	EQUIPO CRÍTICO	Hrs. de trabajo	MTTR INICIAL (Hrs./año)	MTTR PROYEC. (Hrs./año)	Ahorro en horas perdidas (Hrs./año)	Costos de Operación (US\$/hr)	AHORRO (US\$/AÑO)
1	Ventilador forzado - C17	8760	1594.00	525.75	1068.25	18.00	19228.50
2	Ventilador inducido - C20	8760	1490.40	513.90	976.50	18.00	17577.00
3	Ventilador forzado - C20	8760	1413.76	485.16	928.60	18.00	16714.80
4	Ventilador inducido - C17	8760	1080.32	360.12	720.20	18.00	12963.60
5	Conductor de bagazo N° 3 - C17	8760	986.12	324.80	661.33	18.00	11903.85
6	Distribuidor de bagazo N°3 - C20	8760	762.48	240.93	521.55	18.00	9387.90
7	Conductor de bagazo N° 15 - C20	8760	639.84	194.94	444.90	18.00	8008.20
8	Conductor de bagazo N° 5 - C17	8760	588.00	175.50	412.50	18.00	7425.00
<b>TOTAL</b>		<b>8760</b>	<b>8554.92</b>	<b>2821.10</b>	<b>5733.83</b>	<b>18.00</b>	<b>103208.85</b>

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el beneficio económico y el ahorro mediante la disminución de fallos es:

$$B_{\text{ahorro por fallos}} = 103\,208.85 \text{ US\$/año}$$

#### 4.5.2. Costos para la implementación del mantenimiento

Tabla 8: Costos en mantenimiento predictivo en equipos del área de Calderos:

Acción	Frecuencia (veces/año)	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (US\$/año)
Trabajos de Alineamiento	12	35.00	420.00
Análisis Vibracional	24	40.00	960.00
Análisis de Termografía	24	35.00	840.00
Análisis de Lubricantes	48	15.00	720.00
<b>Total</b>			<b>2940.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Costo total en mantenimiento predictivo:  $2940 * 8 \text{ unidades} = 23\,520.00 \text{ US\$/año}$ .

#### 4.5.3. Costos para la implementación del mantenimiento preventivo

Tabla 9: Costos en mantenimiento preventivo en el área de calderos

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
<b>Motor</b>			
Mantenimiento de estator de motor del ventilador de tiro forzado C-17	1	200.00	200.00
Mantenimiento del rotor del motor del ventilador de tiro inducido C-17	1	175.00	175.00
Mantenimiento de estator de motor del ventilador de tiro forzado C-20	1	200.00	200.00
Mantenimiento del rotor del motor del ventilador de tiro inducido C-20	1	175.00	175.00
Rodamientos	8	50.00	400.00
Colector	4	35.00	140.00
Mantenimiento de caja de conexiones	4	100.00	400.00
Linealidad de eje	4	60.00	240.00
Limpieza y pintura	4	35.00	140.00
<b>Ventiladores</b>			
Mantenimiento de paletas del ventilador	4	400.00	1600.00
Balaceo dinámico de rotores	4	200.00	800.00
Rodamientos	8	150.00	1200.00
Sellos mecánicos	8	60.00	480.00
Lubricación (grasa)	8	80.00	640.00
<b>Transmisión de potencia</b>			
<b>Mantenimiento de reductores del conductor</b>			
Aceite para engranajes 80W90 (20 litros)	60	50.50	3030.00
Mantenimiento de engranajes del reductor	3	200.00	600.00
Rodamientos de reductores	6	175.00	1050.00
Sellos mecánicos	6	60.00	360.00
<b>Conductores y distribuidores de bagazo</b>			
Mantenimiento de fajas conductoras	2	100.00	2000.00
Mantenimiento de polines y bastidores	2	1200.00	2400.00
Mantenimiento de paletas del distribuidor	1	1750.00	1750.00
Mantenimiento de piso del distribuidor	1	3000.00	3000.00
<b>Total:</b>			<b>20980.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Costo total en mantenimiento preventivo 20980.00 US\$/año



#### 4.5.4. Beneficio útil

Tabla 10: Resumen de los costos en mantenimiento

Descripción	Valor (USD/año)
Ahorro en horas perdidas	+103 208.85
Costos predictivos	-23 520.00
Costos preventivos	-20 980.00
<b>Beneficio útil</b>	<b>58 708.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Beneficio útil total en mantenimiento 58 708.00 USD/año

#### 4.5.5. Inversión en activos fijos y tecnología para la implementación del ACR basado en el AMEF.

Tabla 11: Inversión de activos fijos

Activos fijos	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Bomba de alimentación de agua a calderos	6	4200.00	25200.00
Vibrometro PCE-VD 3	1	8000.00	8000.00
Cámara termográfica PCE-TC 31	1	5000.00	5000.00
Equipo de alineamiento laser	1	3000.00	3000.00
Horno para secado de rotores y estatores	1	2000.00	2000.00
Instrucción al personal	5	150.00	750.00
<b>Costo total</b>			<b>43 950.00</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.6. Retorno operacional de la inversión

$$R.O.I = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio útil}}$$

$$R.O.I = \frac{43\,950.00 \text{ USD}}{58\,708.00 \text{ USD/año}}$$

$$R.O.I = 0.7486 \text{ años} \approx 9 \text{ meses}$$

## V. DISCUSIÓN

En virtud al desarrollo de nuestra investigación, podemos expresar que se ha demostrado la acción positiva del mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), a través de la cual se ha podido establecer indicadores de mantenimiento inicial y posterior de la mejora, para nuestro modelo de gestión. De igual forma, hemos determinado los equipos que constituyen la parte crítica del área de calderas en una empresa agroindustrial de la región, se ha aplicado el AMEF como base de planes de mantenimiento y se ha expuesto la metodología de implementación del ACR, con sus requisitos correspondientes que deben ser cumplidos como proceso de mejora en las tareas de mantenimiento.

Con la finalidad de confrontar nuestros resultados y determinar su acuerdo o desacuerdo, tomamos como referencia a los antecedentes escogidos en la parte introductoria de nuestra investigación, para la respectiva contrastación:

En la investigación de Idrogo (2016). se realizó un análisis de un método de mantenimiento fundamentado en la confiabilidad para la empresa Cogorno S.A. a fin de incrementar indicadores de motores asíncronos; el estudio solamente fue de tipo descriptivo y orientado a simular resultados mediante estudio de tiempos y movimientos, la mejora en los indicadores de disponibilidad y confiabilidad progresaron en el orden del 90.45% y 90.48% hasta 97.4% y 97.31%, respectivamente, bajo un estudio de criticidad y cumplimiento del AMEF, como parte del RCM. Si bien es cierto la metodología es acertada para el análisis y sus resultados fundamentados en el AMEF y criticidad son válidos, ello no deja suponer que sus datos fueron trabajados en el orden de tiempos y no fehacientemente con el análisis de fallas característico como lo es la utilización del NPR (Número de prioridad de riesgos), tal como nosotros hemos realizado en nuestra investigación y llegado a determinar disponibilidad y confiabilidad antes y después del Plan basado en el RCM, en el orden de 85.96% y 90.65% hasta 94.73% y 91.55% respectivamente. Contrastando diferencias, nuestro antecedente logra 6.95% el mejoramiento de la disponibilidad, frente al 8.77% de mejoramiento en nuestro estudio.

Asimismo, en la investigación de Soto (2016), consistente en un plan de mantenimiento enfocado en la confiabilidad usando una metodología para optimizar la operatividad de los equipos y maquinas en la empresa "FAW en G & M S.A., utiliza un método de estudio de tipo elemental y de grado descriptivo, mediante determinación de hechos que originan fallas derivadas del desgaste de las partes en los sistemas hidráulicos de la estructura de volquetes, logrando pasar de un 90.14% de funcionabilidad hasta 92.00% de disponibilidad. Si bien es cierto el propósito de este estudio fue optimizar la operatividad de las máquinas, el método ha sido meramente descriptivo y hasta cierto punto empírico, ya que no utilizaron herramientas científicas tales como criticidad, AMEF u otra como el NPR. Solamente proyectaron una mejora en 1.86% en disponibilidad, frente al 8.77% de nuestra investigación.

Contrastando con la investigación de Casanatan (2017), quien trazó un plan de mantenimiento de la sala de calderas en el hospital de Chepén, para garantizar la operación y producción de vapor de este equipo crítico utilizando una hoja de inspecciones y planificación de mejora, logró aumentar desde un 79% hasta el 92% la confiabilidad; sin embargo, a pesar de haber logrado ingresar a una cifra aceptable en confiabilidad, se nota que la forma de operatividad inicial era rudimentaria, pues un 79% de confiabilidad es alarmante y desde todo punto de vista ineficiente, lejana al mínimo aceptable que es 90%. Nuestra investigación, inicial y finalmente está dentro de los parámetros válidos en confiabilidad en el orden del 91 y 92% redondeados.

Similarmente la investigación de Alvares et al. (2003), en su tesis denominada Plan de mantenimiento enfocado en la confiabilidad, para una planta dedicada a la producción de pastas alimenticias, explica que se puede lograr el aumento de la producción de la planta, mediante el modelo elemental de grado descriptivo para encontrar causas que pueden originar paradas imprevistas, cifrando mejoras desde una disponibilidad del 67% hasta una de 91% , gracias a poner en práctica un procedimiento basado en la confiabilidad identificando el origen de las fallas para ser corregidas de manera tecnológica. Al igual que el anterior antecedente, en este estudio se ha utilizado metodologías netamente técnicas y no científicas pues únicamente verifican el origen de la

falla, corrigen y miden el parámetro disponibilidad en un tiempo de muestreo; mas no se percatan que la falla identificada tiene o no el grado de alta, media o moderada criticidad, ni establecen las frecuencias y/o intervalos de seguimiento, lo que la hace caer una vez más en metodología empírica y no científica como la nuestra.

Sí existe conformidad con la metodología desarrollada por Parra y Crespo (2012), quienes establecen que el análisis de criticidad, es el procedimiento idóneo para evaluar y hacer un estudio general de la situación real de los componentes, pues al poner en práctica este método se realizan matrices y cálculos de valoración, para determinar resultados, priorizando los tipos de mantenimiento asociada a la seguridad, medio ambiente, costos, etc., para optimizar los ciclos de trabajo de las plantas como la que ha sido materia de nuestra investigación, crucial en el aparato productivo de la empresa: área de calderas.

Finalmente, en contrastación con la investigación desarrollada por Yliquin (2014), quien, cifró como objetivo principal proponer mejoras para reducir las paradas imprevistas e incrementar la disponibilidad de los equipos de la empresa OBRAINSA, mediante un diagnóstico de la escenario inicial del mantenimiento basado en información de características, averías, indicadores de gestión de mantenimiento y control del nivel de cumplimiento de los programas, encontró por debajo del 88% la disponibilidad, debido a fallas por el deterioro que determinaron las causas de origen de las averías de los equipos críticos; nuestra investigación tiene coincidencia en el análisis inicial y parámetro de confiabilidad (85.96%) y basado también en la información y características de avería y estudio de la criticidad, hemos llegado a determinar la mejora hasta el índice de 94.73% de disponibilidad y 91.55% de confiabilidad, más el antecedente indicado no lo llega a determinar, lo deja solamente como factibilidad.

## VI. CONCLUSIONES

El desarrollo de nuestro primer objetivo, obedece a evaluar el escenario inicial del área de calderas de una empresa azucarera de la región, determinándose luego de describir a una empresa referente, sus equipos en el área y las fallas preponderantes, se determinó que los indicadores de mantenimiento de los equipos en general tienen una disponibilidad de 83.45% y confiabilidad de 92.18%; resultado de un tiempo promedio entre fallas de 4149.09 horas/fallo en total y un tiempo promedio para reparar 406.12 horas/fallo en total por los catorce equipos del área de calderas.

De acuerdo al análisis de criticidad establecido para los fallos de los 14 equipos del área de calderas de una empresa azucarera de la región, en base a los 5 criterios respectivos: Frecuencia en fallos, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos por mantenimiento, impacto de seguridad y medio ambiente, se estableció que los fallos preponderantes generales son 8, identificadas como 8 críticas y 2 mediamente críticas y 4 no críticas, identificadas para cada equipo en el cuadro correspondiente.

A través del AMEF (Análisis de modo y efecto de fallos), se trabajaron los fallos críticos y mediante críticas de los equipos del área de calderos de la empresa azucarera, determinando mediante el NPR (número prioritario de riesgos) que 5 fallos (62,5%) son indeseables, 2 fallos (25.0%) es reducibles a deseables y 1 fallo (12.5%) se considera aceptable.

Se ha desarrollado un Plan de mantenimiento basado en RCM, en la cual se ha incluido adicionalmente del estudio del AMEF y NPR de los 8 equipos críticos del área de calderas de la empresa azucarera, el respectivo programa calendarizado de actividades de mantenimiento, como propuesta y parte integrante del Plan, frecuencias de lubricación, análisis vibracional, ultrasonido, alineamiento y ajustes, termografía y capacitación al personal.

Se ha determinado que en estado de mejora, utilizando el método de mantenimiento basado en el RCM, los equipos del área de calderas de la empresa azucarera tienen una disponibilidad de 94.73% y una confiabilidad de

91.55%; resultado de un tiempo promedio entre fallos de 2094.06 horas/falla en total, y un tiempo promedio para reparar de 109.15 horas/fallo en total por las ocho unidades del área de calderas.

El análisis económico referente a la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para el sistema de equipos del área de calderas de una empresa azucarera de la región, tiene una inversión de 43 950.00 USD, beneficio útil de 58 708.00 USD/año, con un tiempo de retorno de la inversión de 9 meses, lo cual es positivo para la empresa.

Se han considerado en Anexos, los cuadros de Equipos principales del área de calderas, reportes de paradas no programadas, criterios de análisis de criticidad, criterios de evaluación del NPR: Numero prioritario de riesgos, formato de determinación de equipos críticos del área y formatos de modelos de AMEF: Análisis de modos y efectos de fallas.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Recomendamos que el personal técnico de la empresa azucarera de la región, sea actualizado en las instrucciones, definiciones e interpretaciones de los índices variantes de los indicadores de mantenimiento, así podrán tomar conciencia del desarrollo de actividades productivas y también podrán identificar los puntos críticos de los activos tangibles del área de calderas con el fin de obtener un establecimiento de mejora continua a través de lo que ahora se denomina el operador-mantenedor o tendencias a consolidar los mantenimientos basados en el RCM y Autónomo.

Se recomienda establecer frecuencias, por lo menos anuales para el desarrollo de las actividades correspondientes a la comprobación de actualización del sistema de gestión de mantenimiento basado en RCM, instaurado mediante el presente estudio de investigación, sobre todo a los equipos denominados hoy críticos del área de calderas de la empresa azucarera de la región; de esta manera se estará dando cumplimiento estricto a lo establecido en las hojas de decisiones del AMEF.

Recomendamos, asimismo, establecer el seguimiento continuo, inspecciones y evaluaciones utilizando herramientas de mantenimiento predictivo, las mismas que deben ser actualizadas mediante los softwares de innovación, sobre todo en análisis vibracional; de esta manera, se mejorará el desempeño de los equipos del área y las tareas de mantenimiento serán dosificadas y no arduas ni molestosas que son consecuencia de mantenimientos correctivos o emergentes. De esta manera, se busca obtener resultados inherentes a la disminución de tiempos perdidos y efectividad en el mantenimiento cuya consecuencia será disminución de los costos por cambio/reparación de fallas en equipos.

## REFERENCIAS

- ALVARES, S; Manuel, A; Salas, C; Juan, A: *Plan De Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Para Una Planta De Pastas Alimenticias, Ubicada en el Carril de Venezuela.* 2003
- ALFARO Rodríguez, Pedro Eduar, et al. Estrategias y actividades para reducir los costos de mantenimiento industrial (Trabajo de investigación-Parcial). 2018.
- AMENDOLA, Luis José. *Organización y gestión del mantenimiento: mantenimiento como negocio" balanced scorecard"*. PMM Institute for Learning, 2012.
- AMENDOLA, Luis, *Criterios de evaluación del análisis de criticidad. Universidad Politécnica de Valencia,* 2012
- AMENDOLA, Luis, et al. *Aplicación de técnicas y herramientas del Project Management en la implementación de proyectos de Gestión de Activos: Planta de Refinación-España.* 2012.
- AMENDOLA, Luis. *Confiabilidad operacional. Universidad Politécnica de Valencia,* 2011.
- AFAMEINSA, S.A. *Calderas piro-tubulares para lavanderias.* 2020
- ASTIER Peña, María Pilar, et al. Análisis proactivo del riesgo: el análisis modal de fallos y efectos (AMFE). *Revista clínica electrónica en atención primaria,* 2010, no 18, p. 0001-8.
- ARJONA Aguado, Ana. *Revisión de métodos para la determinación de pérdidas y eficiencia energética en generadores de vapor.* 2019.
- BAHAMONDES, Pedro Abarca. *Descripción de Calderas y Generadores de Vapor.* 2006.
- BAHAMONDES, Pedro Abarca. *Potencia y Rendimiento de la Caldera.* Santiago de Chile, 2006.
- BELTRAN Miranda, William David, et al. *Elaboración del sistema de gestión de mantenimiento de la empresa cantera villa carmen sas, en la ciudad de montería.* 2020.
- BURGOS, A; Lobelo, L. estudio de confiabilidad de los equipos críticos. 2009
- CALDERASINDUSTRIALES, *Caldera acuotubular. Funcionamiento.* 2015
- CALVA, M. V. M., et al. *Análisis de modo y efecto de falla.* 2017.
- CAMACHO Muñoz, Jose Manuel, et al. *Diseño de una caldera acuotubular.* 2008.}



COSANATAN Flores, Adolfo Enrique. *Plan de mantenimiento de la sala de calderas del Hospital de Apoyo Chepen*. 2017.

CHAVEZ VILLAMIL, Jorge Armando; BOLAÑO RIVERA, Arlenson Amed. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las bombas hidráulicas que trasiegan combustible diésel marino del bote Urabá de la empresa Petrocomercial SA. 2012.

DESDÍN Hidalgo, Alejandro. *Procedimiento para la evaluar el impacto de la capacitación en los trabajadores de la empresa de Diseño e Ingeniería Las Tunas*. 2013. Tesis Doctoral.

DEL AMO, Manuel Sanz; MOLINA, M<sup>a</sup> ROSARIO PATIÑO. *Manual práctico del operador de calderas industriales 2*. Ediciones Paraninfo, SA, 2018.

DELGADO Loza, Freddy Luis. *Análisis económico y financiero de la sostenibilidad fiscal del sistema de reparto Períodos 1970-2012*. 2015. Tesis Doctoral.

DÍEZ Fernández, Pedro. *Centrales Térmicas*. 2009.

DÍEZ Fernández, Pedro. *Termodinámica técnica*. España: Universidad de Cantabria. 1996.

DÍEZ Fernández, Pedro. *Ingeniería térmica II*. España. Universidad de Cantabria. Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 1995

FERNANDEZ Mozo, Jhelikza Marleny. Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF). 2019.

FLO DURBAN, Jordi. *Estudio y mejora de la instalación de agua sobrecalentada del Centro Técnico de SEAT*. 2017. Tesis de Maestría. Universitat Politècnica de Catalunya.

GARDELLA Gonzáles, Marc, et al. *Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos*. 2011. Tesis Doctoral.

GARRIDO, Santiago García. *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Ediciones Díaz de santos, 2010.

GARRIDO, Santiago García. *Mantenimiento programado en centrales de ciclo combinado: Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado*. Ediciones Díaz de Santos, 2012.

GARRIDO, Santiago García. *La contratación del mantenimiento industrial*. Ediciones Díaz de Santos, 2010.

GARRIDO, Santiago García. *Ingeniería del mantenimiento*. Madrid, España. 2009-2012

GALLEGOS Londoño, César Marcelo. *Elaboración de una metodología para medir la mantenibilidad en los grupos electrógenos de la empresa POWERON*. 2016.

HUNG, Alberto J. *Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC*. Ingeniería Energética, 2009, vol. 30, no 2, p. 13-19.

IDEARA, S. L. *Vibraciones Mecánicas. Factores relacionados con la fuente y medidas de control*. 2014.

IDROGO Cruzado, Wilmer Francisco. *Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo*. 2016.

ISO. *Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. ISO 14224:2016, 272. USA, USA: International Organization for Standardization. 2016

JACO, Lancho; Edgardo Enrique. *Mantenimiento predictivo de equipos e instalaciones eléctricas mediante termografía*. 2008.

KOHAN, Anthony L. *Manual de calderas Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas*. McGraw-Hill, 2000.

LEMOS, Ct Abelardo Moreno; Fac, *oficial mantenimiento aeronáutico; aeronáutico, administrador. Doctrina del mantenimiento, mantenibilidad, fiabilidad y aplicación en equipos aeronáuticos*. 2004.

MEMORIA del directorio Cartavio S.A.A. *Estados financieros auditados*. 2017-2016

MOUBRAY, Jhon. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM II)*. Sitio web: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/35711506/MANTENIMIENTO\\_CENTRADO\\_EN.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/35711506/MANTENIMIENTO_CENTRADO_EN.pdf), 1997.

MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Gran Bretaña: Aladon Ltda, 2004.

MONTALBAN Loyola, Edith, et al. *Herramienta de mejora AMEF (Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial) como documento vivo en un área operativa. Experiencia de aplicación en empresa proveedora para Industria Automotriz*. Volumen 2, Número 5—Octubre—Diciembre-2015, 2015, vol. 2, no 5, p. 230-240.

MONTERO, Peña; Javier, Francisco. *Alineamiento y balanceo mediante el análisis de señales vibratorias*. 2013.

OLARTE, William; Botero, Marcela; Cañón, Benhur. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia et technica*, 2010, vol. 2, no 45, p. 223-226.

OLARTE, William; BOTERO, Marcela. La detección de ultrasonido: una técnica empleada en el mantenimiento predictivo. *Scientia et technica*, 2011, vol. 17, no 47, p. 230-233.

OLARTE, William; Botero, Marcela; Cañón, Benhur. Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. *Scientia et technica*, 2010, vol. 1, no 44, p. 354-356.

PARRA, Carlos; Crespo, Adolfo. *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. INGECON, 2012.

PÉREZ Pinto, Sergio Kevin. *Programa de mantenimiento preventivo–predictivo para el área de producción de la empresa Licoram*. 2020. Tesis de Licenciatura.

RODRÍGUEZ Díaz, Yasmany. *Definición de la política de mantenimiento para el equipamiento productivo de la UEB “Elpidio Sosa” de la Electroquímica de Sagua la Grande a partir de la metodología de Análisis de riesgo*. 2014. Tesis Doctoral. Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas.

ROJAS Gonzales, Jaime Roman. *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos en la planta de chancado de una unidad minera en La Libertad*, 2019. 2020.

ROJAS Vásquez, Hemerson Omar. *Reducción de fallas en bombas centrífugas mediante técnicas predictivas-Planta Gold Mill-Yanacocha*. 2018.

SAINZ De Rozas Lafita, Fernando. *Optimización del proceso de definición y seguimiento de los indicadores KPIS (key performace indicator) en actividades de formación universitaria*. 2016.

SILVA, Jorge. *Implantación del TMP en la zona de enderezadoras de Aceros Arequipa*. *Documento en línea*. Disponible en, 2005.

SMITH, D. *Reliability, Maintanability and Risk*. 2016

SOTO Baltazar, Jean Pierre Fitzgerald. *Mantenimiento basado en la confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los volquetes Faw en Gym S.A*. 2016.

UDEP. *Mantenimiento Productivo Total*. Beneficios del TPM. 2010

VALLEJO, Tenemaza; Nicolás, Renato. *Análisis e interpretación de la gestión productiva empleando el método de Eficiencia General de los Equipos (OEE) en el área de acero al carbono de la Empresa*

*ACINDEC S.A para el período enero–junio del 2015. 2016. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.*

*YLIQUIN, Jehison Miguel Tuesta. Plan de mantenimiento para mejorar su disponibilidadde calderos en la empresa Obrainsa. Repositorio UNAC. 2019*

ANEXOS

ANEXO 1 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	ESCALA
Sistema de mantenimiento RCM.	RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) Técnica que sirve para elaborar un sistema de mantenimiento, su objetivo principal en plantas industriales es ampliar su fiabilidad se su instalación, en otros términos, es disminuir paradas por fallas inesperadas que frenen los propósitos de la producción.	MTBF	Tiempo medio de un activo de cada parada por fallo o avería operacional, (frecuencia con que ocurre cada parada).	$\frac{\text{Tpo. total de operación}}{\text{Nro. de fallas}}$	Cuantitativo.
		MTTR	Tiempo medio que la maquina esta inoperativa hasta haber reparado la falla o avería del equipo.	$\frac{\text{Tpo. total de reparación}}{\text{Nro. de fallas}}$	
		Taza de fallas	También llamado ratio Fallas/H	$\mu = \frac{1}{\text{MTBF}}$	
		Taza de reparación	También llamado ratio (N° Veces)/H	$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$	

Fuente: Elaboración propia.

Variable dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN TEÓRICA	MEDIDA (%)	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	ESCALA
Disponibilidad de equipos	Disponibilidad en una instalación es el principal indicador de mantenimiento junto con los costes.	Confiabilidad	Es un activo es la capacidad de realizar un trabajo bajo ciertas condiciones durante un intervalo de tiempo.	$R_t = e^{-\lambda t}$ $R_t = e^{\frac{-\lambda * t}{100}} * 100.$	Cuantitativo
	También se dice que la disponibilidad es la seguridad que se tiene a un equipo y/o componente se desempeñe correctamente en un tiempo dado según fichas técnicas.	Disponibilidad	Porcentaje de tiempo de un equipo en funcionamiento.	$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$	
		Mantenibilidad	Esto simboliza la monto o cantidad de fatiga para preservar funcionamiento en el trabajo o bien para reponer después que se haya presentado la falla.	$M_t = 1 - e^{\frac{-\lambda * t}{100}} * 100.$	

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 2

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

### Técnicas e instrumentos del estudio

Técnica	Instrumento
Análisis documental	Fichas de registro

Fuente: Elaboración propia

**Análisis Documental**, es la técnica por la cual se analizarán en este caso los reportes u hoja de trabajo de los operadores. En estos se muestran la cantidad de paralizaciones y fallas de las calderas de la empresa Cartavio S.A.

**Instrumentos**, técnica donde se especifica el modo en que se realizan las actividades y el tiempo que se emplean hasta su culminación. Según (Hernandez, 2016), esta técnica radica en el ordenamiento metódico, la cual es confiable y validos con respecto a conductas o comportamientos que se muestran.

ANEXO 3

Principales equipos del área de calderos.

UBICACIÓN TÉCNICA	DENOMINACIÓN DE UBICACIÓN TÉCNICA	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA /EQUIPO
CT-AZ-01-300-01-02	CALDERO 17	ALIMENTADOR N°1 DE BAGAZO CALDERO 17
		ALIMENTADOR N°2 DE BAGAZO CALDERO 17
		ALIMENTADOR N°3 DE BAGAZO CALDERO 17
		ALIMENTADOR N°4 DE BAGAZO CALDERO 17
		QUEMADOR DE PETROLEO N° 1 CALDERO 17
		QUEMADOR DE PETROLEO N° 2 CALDERO 17
		VALVULA ROTATIVA N° 1
		VALVULA ROTATIVA N° 2
		SOPLADOR DE HOLLIN 1 – CALDERA 17
		SOPLADOR DE HOLLIN 2 – CALDERA 17
		DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 1 DE CALDERO 17
		DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 2 DE CALDERO 17
		DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 3 DE CALDERO 17
		DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 4 DE CALDERO 17
		VENTILADOR DE TIRO FORZADO CALDERO 17
		VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO CAL 17
		CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3
		CONDUCTOR DE BAGAZO N° 4
		CONDUCTOR DE BAGAZO N° 5
		BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°1
BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°2		
BOMBA DE CONDENSADO N° 1		

Fuente: Data de la empresa azucarera.



UBICACIÓN TÉCNICA	DENOMINACIÓN DE UBICACIÓN TÉCNICA	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA /EQUIPO
<b>-AZ-01-300-01-03</b>	<b>CALDERO 20</b>	ALIMENTADOR N°1 DE BAGAZO CALDERO 20
		ALIMENTADOR N°2 DE BAGAZO CALDERO 20
		QUEMADOR DE PETROLEO N° 1 CALDERO 20
		QUEMADOR DE PETROLEO N° 2 CALDERO 20
		QUEMADOR DE PETROLEO N° 3 CALDERO 20
		QUEMADOR DE PETROLEO N° 4 CALDERO 20
		VALVULA ROTATIVA N° 1
		VALVULA ROTATIVA N° 2
		SOPLADOR DE HOLLIN 1 - CALDERA 20
		SOPLADOR DE HOLLIN 2 - CALDERA 20
		DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 1 DE CALDERO 20
		DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 2 DE CALDERO 20
		DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 3 DE CALDERO 20
		DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 4 DE CALDERO 20
		VENTILADOR DE TIRO FORZADO CALDERO 20
		VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO CALDERO 20
		CONDUCTOR DE BAGAZO N° 13
		CONDUCTOR DE BAGAZO N° 14
		CONDUCTOR DE BAGAZO N° 15
		CONDUCTOR DE BAGAZO N° 16
BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°1		
BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°2		
BOMBA DE CONDENSADO N° 1		
BOMBA DE CONDENSADO N° 2		

Fuente: Data de la empresa azucarera.

ANEXO 4

Reporte de paradas no programadas

REPORTE DE PARADAS NO PROGRAMADAS									
EVENTO	TIEMPO PERDIDO POR FALLAS (HORAS)						TIEMPO DE MANTENIMIENTO	COMPONENTE	ACTIVO
	OPERACIÓN	MECÁNICAS	ELÉCTRICAS	GENERACION Y MEDIA TENSION	INSTRUMENTACIÓN	OTROS	TOTAL DE HORAS POR PARADAS NO PROGRAMADAS		
FALLA DE RODAMIENTOS		96.5					496.05	VENTILADOR INDUCIDO	CALDERO 17
		50.57						BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°2	CALDERO 20
		90.22						VENTILADOR INDUCIDO	CALDERO 20
		76.59						BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°1	CALDERO 17
		34.04						BOMBA DE CONDENSADO N°1	CALDERO 17
		148.13						VENTILADOR FORZADO	CALDERO 17
DESCARRILAMIENTO DE CADENAS		58.05					301.38	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 15	CALDERO 20
		55.41						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3	CALDERO 17
		42.19						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 2	CALDERO 17
		48.3						DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 3	CALDERO 20
		35.13						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 16	CALDERO 20
		10.02						DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 2	CALDERO 20
		52.28						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 5	CALDERO 17

Fuente. Área de Calderos

REPORTE DE PARADAS NO PROGRAMADAS									
EVENTO	TIEMPO PERDIDO POR FALLAS (HORAS)					TIEMPO DE MANTENIMIENTO	COMPONENTE	ACTIVO	
	OPERACIÓN	MECÁNICAS	ELEÉTRICAS	GENERACION Y MEDIA TENSION	INSTRUMENTACIÓN	OTROS			TOTAL DE HORAS POR PARADAS NO PROGRAMADAS
ROTURA DE ARRASTRADORES		28.28					131.93	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3	CALDERO 17
		51.02						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 15	CALDERO 20
		30.34						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 5	CALDERO 17
		22.29						DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 2	CALDERO 20
TEMPERATURA ELEVADA		95.19					636.66	VENTILADOR INDUCIDO	CALDERO 17
		36.26						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 2	CALDERO 17
		59.32						BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°1	CALDERO 17
		54.58						BOMBA DE CONDENSADO N° 1	CALDERO 17
		89.56						VENTILADOR INDUCIDO	CALDERO 20
		33.45						BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°2	CALDERO 20
		99.54						VENTILADOR FORZADO	CALDERO 20
		51.59						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3	CALDERO 17
		117.17						VENTILADOR FORZADO	CALDERO 17

Fuente. Área de Calderos

## REPORTE DE PARADAS NO PROGRAMADAS

EVENTO	TIEMPO PERDIDO POR FALLAS (HORAS)						TIEMPO DE MANTENIMIENTO	COMPONENTE	ACTIVO
	OPERACIÓN	MECÁNICAS	ELÉCTRICAS	GENERACION Y MEDIA TENSION	INSTRUMENTACION	OTROS	TOTAL DE HORAS POR PARADAS NO PROGRAMADAS		
ROTURA DE CADENAS		58.35					212.56	DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 3	CALDERO 20
		54.32						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 15	CALDERO 20
		29.42						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 16	CALDERO 20
		24.23						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 5	CALDERO 17
		46.34						CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3	CALDERO 17
CAIDA DE TENSION			18.25				190.22	CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3	CALDERO 17
			18.32					CONDUCTOR DE BAGAZO N° 2	CALDERO 17
			26.43					VENTILADOR INDUCIDO	CALDERO 20
			44.27					VENTILADOR FORZADO	CALDERO 20
			17.45					DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 3	CALDERO 20
			24.54					CONDUCTOR DE BAGAZO N° 16	CALDERO 20
			14.32					BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION N°2	CALDERO 20
			12.09					CONDUCTOR DE BAGAZO N° 5	CALDERO 17
			14.55					CONDUCTOR DE BAGAZO N° 15	CALDERO 20

Fuente. Área de Calderos

## REPORTE DE PARADAS NO PROGRAMADAS

EVENTO	TIEMPO PERDIDO POR FALLAS (HORAS)						TIEMPO DE MANTENIMIENTO	N° DE FALLAS	COMPONENTE	ACTIVO
	OPERACIÓN	MECÁNICAS	ELÉCTRICAS	GENERACION Y MEDIA TENSION	INSTRUMENTACIÓN	OTROS	TOTAL DE HORAS POR PARADAS NO PROGRAMADAS			
ROTURA DE EJES		96.35					355.57		VENTILADOR INDUCIDO	CALDERO 17
		118.32							VENTILADOR FORZADO	CALDERO 20
		88.12							VENTILADOR INDUCIDO	CALDERO 20
		32.44							DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 2	CALDERO 20
		20.34							CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3	CALDERO 17
ROTURA DE ACOPLAMIENTOS		46.05					537.12		CONDUCTOR DE BAGAZO N° 5	CALDERO 17
		133.18							VENTILADOR FORZADO	CALDERO 17
		96.27							VENTILADOR INDUCIDO	CALDERO 20
		23.45							DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 2	CALDERO 20
		84.54							DISTRIBUIDOR DE BAGAZO 3	CALDERO 20
		44.32							CONDUCTOR DE BAGAZO N° 3	CALDERO 17
		109.31							VENTILADOR FORZADO	CALDERO 20

Fuente. Área de Calderos

ANEXO 5

Cuadro AMEF – V.T.I Caldero N° 20

AMEF: ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS POTENCIALES (PROCESO)						
ÁREA: Calderos					REALIZADO POR:	
DEPARTAMENTO: Generación de vapor					SUPERVISOR:	
DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / EQUIPO: Ventilador inducido caldero 20					NOMBRE DEL PROCESO:	
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE:			Fecha AMFE inicial:		Fecha AMFE última revisión:	
Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			Consecuencia	SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)
		Modos del fallo	Efectos	Causas del modo de fallo		Acción Correctora
<b>Expulsión de humos y gases de la combustión mediante la instalación de una boquilla que inyecta el aire ambiental, situado en un punto cualquiera de la chimenea</b>	Paros constantes del equipo incumpliendo su función	Falla de rodamientos	La vibración se eleva, esto origina averías en sus mecanismos la cual impide el funcionamiento de los mismos, afectando el proceso de producción.	Habilidad mecánica, inconvenientes por traba y deterioro.	Mecánicas	Constituir un cronograma de frecuencias para análisis de vibraciones.
		Fisura en ejes	Al romperse un eje detiene el funcionamiento la cual ocasiona una parada al molino, afectando el proceso de producción.	Debilitación y fractura	Mecánicas	Establecer análisis de ultrasonido
		Rotura acoplamientos	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Acoplamientos sin tolerancia de montaje	Mecánicas	Realizar un alineamiento laser de ejes.
		Temperatura elevada	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Falta de lubricante y desgaste	Mecánicas	Constituir un cronograma de frecuencia para inspección y lubricación.
	Descarga en la protección del motor eléctrico	Caída de tensión	Se detiene el motor eléctrico dejando de trabajar y a la vez paralizando el paso de las masas.	Sobrecarga y deterioro de rodamientos	Eléctricas	Llevar un control de temperatura por termografía

Fuente: Elaboración propia

Cuadro AMEF – V.T.F Caldero N° 20

## AMEF: ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS POTENCIALES (PROCESO)

ÁREA: Calderos				REALIZADO POR:		
DEPARTAMENTO: Generación de vapor				SUPERVISOR:		
DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / EQUIPO: Ventilador forzado caldero 20				NOMBRE DEL PROCESO:		
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE:		Fecha AMFE inicial:		Fecha AMFE última revisión:		
Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			Consecuencia	SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)
		Modos del fallo	Efectos	Causas del modo de fallo		Acción Correctora
Permite que los gases de la combustión sean expulsados mediante aspiración	Paros constantes del equipo incumpliendo su función	Fisura en ejes	Al romperse un eje detiene el funcionamiento la cual ocasiona una parada al molino, afectando el proceso de producción.	Debilitación y fractura	Mecánicas	Establecer análisis de ultrasonido
		Falla de rodamientos	La vibración se eleva, esto origina averías en sus mecanismos la cual impide el funcionamiento de los mismos, afectando el proceso de producción.	Habilidad mecánica, inconvenientes por traba y deterioro.	Mecánicas	Constituir un cronograma de frecuencias para análisis de vibraciones.
		Temperatura elevada	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Falta de lubricante y desgaste	Mecánicas	Constituir un cronograma de frecuencia para inspección y lubricación.
		Rotura acoplamiento	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Acoplamiento sin tolerancia de montaje	Mecánicas	Realizar un alineamiento laser de ejes.
	Descarga en la protección del motor eléctrico	Caída de tensión	Se detiene el motor eléctrico dejando de trabajar y a la vez paralizando el paso de las masas.	Sobrecarga y deterioro de rodamientos	Eléctricas	Llevar un control de temperatura por termografía

Fuente: Elaboración propia

Cuadro AMEF – V.T.I Caldero N° 17

## AMEF: ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS POTENCIALES (PROCESO)

<b>ÁREA:</b> Calderos					<b>REALIZADO POR:</b>	
<b>DEPARTAMENTO:</b> Generación de vapor					<b>SUPERVISOR:</b>	
<b>DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / EQUIPO:</b> Ventilador inducido caldero 17					<b>NOMBRE DEL PROCESO:</b>	
<b>CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE:</b>			<b>Fecha AMFE inicial:</b>		<b>Fecha AMFE última revisión:</b>	
Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			Consecuencia	SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)
		Modos del fallo	Efectos	Causas del modo de fallo		Acción Correctora
<b>Expulsión de humos y gases de la combustión mediante la instalación de una boquilla que inyecta el aire ambiental, situado en un punto cualquiera de la chimenea</b>	Paros constantes del equipo incumpliendo o su función	Temperatura elevada	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Falta de lubricante y desgaste	Mecánicas	Constituir un cronograma de frecuencia para inspección y lubricación.
		Falla de rodamientos	La vibración se eleva, esto origina averías en sus mecanismos la cual impide el funcionamiento de los mismos, afectando el proceso de producción.	Habilidad mecánica, inconvenientes por traba y deterioro.	Mecánicas	Constituir un cronograma de frecuencias para análisis de vibraciones.
		Fisura en ejes	Al romperse un eje detiene el funcionamiento la cual ocasiona una parada al molino, afectando el proceso de producción.	Debilitación y fractura	Mecánicas	Establecer análisis de ultrasonido

Fuente: Elaboración propia



Cuadro AMEF – Conductor de Bagazo N° 3 - C17

AMEF: ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS POTENCIALES (PROCESO)						
ÁREA: Calderos					REALIZADO POR:	
DEPARTAMENTO: Generación de vapor					SUPERVISOR:	
DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / EQUIPO: Conductor de bagazo N° 3 – C17					NOMBRE DEL PROCESO:	
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE:			Fecha AMFE inicial:		Fecha AMFE última revisión:	
Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			Consecuencia	SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)
		Modos del fallo	Efectos	Causas del modo de fallo		Acción Correctora
Transporta el bagazo a la caldera N° 17	No hay una efectiva alimentación de bagazo	Fisura en ejes	Al romperse un eje detiene el funcionamiento la cual ocasiona una parada al molino, afectando el proceso de producción.	Debilitación y fractura	Mecánicas	Establecer análisis de ultrasonido
		Descarrilamiento de cadenas	Al descarrilarse ocasiona tensión en los sprockets y su vez causando una parada al equipo.	Estancar el transporte de la caña	Mecánicas	Realizar un alineamiento de sprockets
		Temperatura elevada	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Falta de lubricante y desgaste	Mecánicas	Constituir un cronograma de frecuencia para inspección y lubricación.
		Rotura acoplamiento	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Acoplamiento sin tolerancia de montaje	Mecánicas	Realizar un alineamiento laser de ejes.
	Descarga en la protección del motor eléctrico	Caída de tensión	Se detiene el motor eléctrico dejando de trabajar y a la vez paralizando el paso de las masas.	Sobrecarga y deterioro de rodamientos	Eléctricas	Llevar un control de temperatura por termografía
	Exceso de carga (bagazo)	Rotura de cadenas	Suspende la alimentación de la caldera	Aforo de bagazo	Operativas	Capacitar al personal del área, conforme a las medidas de operación.
		Rotura de arrastradores	Suspende la alimentación de la caldera	Aforo de bagazo	Operativas	Capacitar al personal del área, conforme a las medidas de operación.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro AMEF – Distribuidor de Bagazo N° 3 – C20

AMEF: ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS POTENCIALES (PROCESO)						
ÁREA: Calderos					REALIZADO POR:	
DEPARTAMENTO: Generación de vapor					SUPERVISOR:	
DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / EQUIPO: Distribuidor de bagazo 3 – C20					NOMBRE DEL PROCESO:	
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE:			Fecha AMFE inicial:		Fecha AMFE última revisión:	
Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			Consecuencia	SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)
		Modos del fallo	Efectos	Causas del modo de fallo		Acción Correctora
Transporta el bagazo a la caldera N° 20	No hay una efectiva alimentación de bagazo	Descarrilamiento de cadenas	Al descarrilarse ocasiona tensión en los sprockets y su vez causando una parada al equipo.	Estancar el transporte de la caña	Mecánicas	Realizar un alineamiento de sprockets
		Rotura acoplamiento	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Acoplamiento sin tolerancia de montaje	Mecánicas	Realizar un alineamiento laser de ejes.
	Descarga en la protección del motor eléctrico	Caída de tensión.	Se detiene el motor eléctrico dejando de trabajar y a la vez paralizando el paso de las masas.	Sobrecarga y deterioro de rodamientos	Eléctricas	Llevar un control de temperatura por termografía
	Exceso de carga (bagazo)	Rotura de arrastradores	Suspende la alimentación de la caldera	Atoro de bagazo	Operativas	Capacitar al personal del área, conforme a las medidas de operación.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro AMEF – Conductor de Bagazo N° 15 – C20

AMEF: ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS POTENCIALES (PROCESO)						
ÁREA: Calderos					REALIZADO POR:	
DEPARTAMENTO: Generación de vapor					SUPERVISOR:	
DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / EQUIPO: Conductor de bagazo N° 15 – C20					NOMBRE DEL PROCESO:	
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE:			Fecha AMFE inicial:		Fecha AMFE última revisión:	
Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			Consecuencia	SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)
		Modos del fallo	Efectos	Causas del modo de fallo		Acción Correctora
<b>Transporta el bagazo a la caldera N° 20</b>	No hay una efectiva alimentación de bagazo	Descarrilamiento o de cadenas	Al descarrilarse ocasiona tensión en los sprockets y su vez causando una parada al equipo.	Estancar el transporte de la caña	Mecánicas	Realizar un alineamiento de sprockets
	Descarga en la protección del motor eléctrico	Caída de tensión	Se detiene el motor eléctrico dejando de trabajar y a la vez paralizando el paso de las masas.	Sobrecarga y deterioro de rodamientos	Eléctricas	Llevar un control de temperatura por termografía
	Exceso de carga (bagazo)	Rotura de arrastradores	Suspende la alimentación de la caldera	Atoro de bagazo	Operación	Capacitar al personal del área, conforme a las medidas de operación.
		Rotura de cadenas	Suspende la alimentación de la caldera	Atoro de bagazo	Operación	Capacitar al personal del área, conforme a las medidas de operación.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro AMEF – Conductor de Bagazo N° 5 – C17

AMEF: ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS POTENCIALES (PROCESO)						
ÁREA: Calderos					REALIZADO POR:	
DEPARTAMENTO: Generación de vapor					SUPERVISOR:	
DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / EQUIPO: Conductor de bagazo N° 5 – C17					NOMBRE DEL PROCESO:	
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE:			Fecha AMFE inicial:		Fecha AMFE última revisión:	
Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			Consecuencia	SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)
		Modos del fallo	Efectos	Causas del modo de fallo		Acción Correctora
Transporta el bagazo a la caldera N° 17	No hay una efectiva alimentación de bagazo.	Descarrilamiento de cadenas	Al descarrilarse ocasiona tensión en los sprockets y su vez causando una parada al equipo.	Estancar el transporte de la caña.	Mecánicas	Realizar un alineamiento de sprockets
		Rotura acoplamientos.	Puede parar la producción y fundir los elementos del equipo	Acoplamientos sin tolerancia de montaje.	Mecánicas	Realizar un alineamiento laser de ejes.
	Descarga en la protección del motor eléctrico	Caída de tensión.	Se detiene el motor eléctrico dejando de trabajar y a la vez paralizando el paso de las masas.	Sobrecarga y deterioro de rodamientos.	Eléctricas	Llevar un control de temperatura por termografía
	Exceso de carga (bagazo).	Rotura de cadenas.	Suspende la alimentación de la caldera	Atoro de bagazo.	Operativas	Capacitar al personal del área, conforme a las medidas de operación.
Rotura de arrastradores.		Suspende la alimentación de la caldera	Atoro de bagazo.	Operativas	Capacitar al personal del área, conforme a las medidas de operación.	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6

Matriz de evaluación para el análisis de criticidad (Améndola, 2012)

FACTOR DE FRECUENCIA (FF)	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20/40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1
FACTORES DE CONSECUENCIAS	
IMPACTO OPERACIONAL	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
No existe opción igual o equipo similar de desperfecto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-2
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1
COSTO DE MANTENIMIENTO	
Mayor o igual a US\$ 400 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 400 (incluye repuestos)	1
IMPACTO A SEGURIDAD AMBIENTE E HIGIENE	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
Cuasi accidente o incidente menor	2-3
Desvió	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Figura 8. Factores frecuencia y consecuencia

Fuente. Améndola (2012)

**En la siguiente Gráfica, “Matriz de Criticidad” se muestra la intersección de la consecuencia y la frecuencia de falla ponderada dando como resultado una falla media crítica para el elemento.**

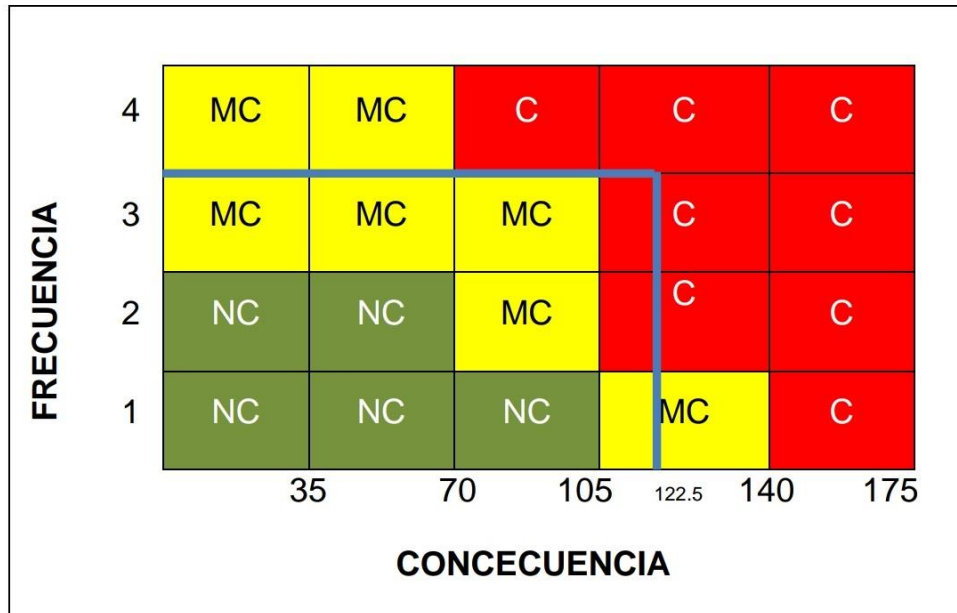


Figura 9. Intersección de la falla según la frecuencia y consecuencia

Fuente. Amendola (2012).

## ANEXO 7

### Criterios para evaluación del NPR (Améndola, 2012)

Matriz de características para análisis del NPR (Numero prioritario del riesgo)

$NPR \geq 200$  Fallas inaceptables (I)

$125 < NPR \leq 200$  Fallas reducibles deseables (R)

$NPR \leq 125$  Fallas aceptables (A)

GRAVEDAD	
DESCRIPCION	PUNTAJE
Imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla critica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

OCURRENCIA	
DESCRIPCION	PUNTAJE
1 falla en mas de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

DETECCIÓN	
DESCRIPCION	PUNTAJE
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Figura 10. Criterios para evaluación del NPR

**Fuente:** (Amendola, 2012)

## ANEXO 8

### Determinación de los equipos más críticos del área de calderos

Ítem	Tipo de desperfecto	Frecuencia	Consecuencia	Criticidad
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
TOTAL				

Fuente. Elaboración propia

Obteniendo los datos de las frecuencias ya estructuradas, los porcentajes como relativos y acumulados procedemos a efectuar el diagrama de Pareto.



ANEXO 9

Formato Análisis modal de fallos y efectos

<b>AMEF: ANÁLISIS MODAL DE EFECTOS Y FALLOS POTENCIALES (PROCESO)</b>						
<b>ÁREA:</b>				<b>REALIZADO POR:</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>				<b>SUPERVISOR:</b>		
<b>DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / EQUIPO:</b>				<b>NOMBRE DEL PROCESO:</b>		
<b>CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE:</b>			<b>Fecha AMFE inicial:</b>		<b>Fecha AMFE última revisión:</b>	
Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			Consecuencia	SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)
		Modos del fallo	Efectos	Causas del modo de fallo		Acción Correctora

Fuente: Elaboración propia