



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ELÉCTRICA**

**Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad  
de los equipos industriales – La Libertad.**

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

**Ingeniero Mecánico Eléctricista**

**AUTOR (ES):**

Huaripata Bardales, Jack Lee ([orcid.org/0000-0001-7047-531](https://orcid.org/0000-0001-7047-531))

León Flores Santos, Eduardo ([orcid.org/0000-0001-9205-6721](https://orcid.org/0000-0001-9205-6721))

**ASESOR:**

Mg. Salier Diaz, Cesar Dany ([orcid.org/0000-000-7430-9524](https://orcid.org/0000-000-7430-9524))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas y planes de mantenimiento

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**TRUJILLO – PERÚ**

2022

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de investigación se lo dedicamos a nuestras familias por todo el apoyo incondicional y darnos la fortaleza para seguir adelante y poder cumplir nuestras metas propuestas.

Los autores

## **Agradecimiento**

Agradecer en primer lugar a Dios que nos permite sonreír ante todos nuestros logros que son resultado de su ayuda y ponernos a prueba, aprendiendo de nuestros errores y darnos cuenta de lo que pones en frente nuestro para que mejoremos como seres humanos.

También agradecer a nuestros docentes por hacer posible ser parte de esta institución, que con el apoyo de los docentes y compañeros nos permiten lograr una de nuestras metas.

Los autores

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	11
3.2. Variables y operacionalización .....	11
3.3. Población, muestra y muestreo .....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	12
3.5. Procedimientos .....	13
3.6. Método de análisis de datos .....	13
3.7. Aspectos éticos .....	13
IV. RESULTADOS .....	15
V. DISCUSIÓN .....	33
VI. CONCLUSIONES .....	38
VII. RECOMENDACIONES .....	39
REFERENCIAS .....	40
Bibliografía .....	40
ANEXOS .....	47

## Índice de tablas

Tabla 1. Tiempo perdido por fallas (Horas).....	15
Tabla 2. Disponibilidad actual de los equipos del departamento de calderos .....	16
Tabla 3. Fallos potenciales del caldero de la función expulsión humos y gases ..	18
Tabla 4. Fallos potenciales del caldero de la función de gases de la combustión	19
Tabla 5. Fallos potenciales del caldero de la función transporta el bagazo a la caldera .....	20
Tabla 6. Rango críticos de las fallas de equipos de calderos .....	21
Tabla 7. Disponibilidad de los equipos críticos .....	22
Tabla 8. Fallos potenciales del caldero de la función de los gases de la combustión .....	23
Tabla 9. Análisis del NPR .....	24
Tabla 10. Actividades de mantenimiento para los equipos críticos .....	27
Tabla 11. Plan de mantenimiento a equipos críticos .....	28
Tabla 12. Indicadores de mantenimiento antes – después de la implementación del plan de mantenimiento .....	29
Tabla 13. Beneficios obtenidos de la implementación .....	30
Tabla 14. Costos por actividades de mantenimiento preventivo .....	31
Tabla 15. Costos por mantenimiento preventivo .....	31
Tabla 16. Evaluación beneficio/costo .....	32

## Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Parte de un caldero industrial .....	8
Figura 2. Disponibilidad de los equipos industriales caldero .....	17
Figura 3. Rango de criticidad de los equipos .....	22
Figura 4. Evaluación del proceso de mantenimiento .....	25
Figura 5. Diagrama de GANT del plan de mantenimiento .....	26
Figura 6. Indicadores de mantenimiento del área de calderos .....	30

## **Resumen**

La presente investigación se planteó como objetivo, desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos industriales en Trujillo, siendo un estudio de tipo aplicada nivel cuantitativa, enfoque explicativo y diseño pre experimental longitudinal, considerando una muestra de un caldero de la empresa agroindustrial. En sus resultados, se demostró una disponibilidad 90%, confiabilidad del 92% y mantenibilidad del 56%. En base al rango de criticidad de los equipos el 73% está en un rango crítico, el 18% semi crítico y el 9% no crítico. Concerniente a los fallos encontrados se establece los rangos NPR a cada una de las fallas interferidas en el desarrollo del AMEF. Referente al NPR, se resolvió el 54,5% de todas las fallas presentadas en los equipos del área de calderas. La diferencia de las fallas deseables y aceptables es del 37,5%. Llegando a la conclusión, que la situación actual de los equipos industriales del departamento de calderos, alcanzó una disponibilidad 95%, la confiabilidad es del 92% y la mantenibilidad es 80%.

**Palabras Clave:** Equipos industriales, mantenimiento preventivo, disponibilidad de equipos.

## **Abstract**

The objective of this research was to develop a preventive maintenance plan to improve the availability of industrial equipment in Trujillo, being a study of applied type, quantitative level, explanatory approach and longitudinal pre-experimental design, considering a sample of a cauldron from the agro-industrial company. In their results, an availability of 90%, reliability of 92% and maintainability of 56% stand out. Based on the criticality range of the equipment, 73% are in a critical range, 18% semi-critical and 9% non-critical. Concerning the faults found, the NPR ranges are established for each one of the faults interfered with in the development of the FMEA. Regarding NPR, 54.5% of all the failures presented in the equipment in the boiler area were resolved. The difference between desirable and acceptable failures is 37.5%. Coming to the conclusion, that the current situation of the industrial equipment of the boiler department, reached an availability of 95%, the reliability is 92% and the maintainability is 80%.

**Keywords:** industrial equipment, preventive maintenance, equipment availability.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La demanda de vapor en las industrias de procesos está aumentando, pudiendo ser satisfecho a través de la utilización de la capacidad de las calderas de vapor, donde muchas de las empresas dependen de las calderas de vapor industriales como un componente vital para su correcto funcionamiento (Suyog et al., 2021). La función del mantenimiento asume un papel clave en la industria, basándose en procedimientos que se deben de cumplir, que permitan la implementación de un indicador de rendimiento como un medio para controlar el rendimiento general de fabricación (Pinto et al., 2019). Los modelos de mantenimiento basados en el tiempo de retardo se han estudiado ampliamente con varias aplicaciones del mundo, en las líneas de producción, ferrocarriles, oleoductos, dispositivos médicos, bombas de agua, gas y vías férreas (Arena et al., 2022). La transformación digital hacia la Industria 4.0 aparecen las técnicas de información, el control computarizado y las redes de comunicación que es posible recopilar cantidades masivas de datos en condiciones operativas, con procesos generados en varios equipos que permiten recopilar datos para realizar una detección y diagnóstico automatizado (Murat et al., 2020). Ante un mercado competitivo, las organizaciones suelen competir entre sí sus capacidades, por tanto integran un sistema de mantenimiento adecuado que desempeña un papel importante en la reducción del costo del producto final, limitando el costo que tienen un alto impacto en la tasa de entrega de producto en toda la cadena de suministro (Seiti & Hafezalkotob, 2019).

En China, el correcto proceso de mantenimiento en las empresas, permite reducir significativamente el riesgo de fallas en los equipos que pueden conducir a un tiempo de inactividad en las líneas de producción (Ribeiro et al., 2020). La mejora de los procesos y la mejora continua son factores del Mantenimiento Productivo Total, dado que su metodología garantiza menos averías, paradas y defectos, al tiempo que reduce los costos e involucra a los empleados desde el nivel C hacia abajo (Kanti & Cudney, 2018) . Las averías imprevistas en cualquier planta industrial, allanan el camino para una gran pérdida en términos de producción y ganancias, considerando las averías del futuro cercano se conoce con muchas anticipación, se puede lograr con un tiempo de inactividad cero, manteniendo la cadena de demanda y suministro que conducta al estándar de la industria (Mohan

et al., 2021).

Existen muchos profesionistas del área de tecnologías y los que no son propiamente de esta área, han demostrado el interés en aprender sobre machine learning, donde a su vez los lenguajes de programación que pueden utilizar surgen de una duda al comenzar el proceso de desarrollo de la aplicación, para esto debe seleccionar el mejor lenguaje de programación (Rojas E. , 2020). En Grecia realizan el monitoreo de la condición de los equipos industriales, mediante el combinado con algoritmos de aprendizaje automático, mejorando significativamente las actividades de mantenimiento en los sistemas de producción ciber físicos modernos (Bampoula et al., 2021). El mantenimiento predictivo se superpone con el alcance de mantenimiento en términos de programar la actividad de mantenimiento, con anticipación para evitar fallas en la máquina (M. Paolanti, 2018). La eficiencia de las actividades, permite reducir los costos relacionados de la calidad, prediciendo con exactitud la demanda, aminorando los días de fabricación para así garantizar la satisfacción del usuario (Carlos, 2018).

La calidad del mantenimiento, suele ser un aspecto relevante en la evaluación de cualquier proceso industrial, donde su cuestionamiento de investigación es desafiante, además logra ser una mejor alternativa, debido que las acciones de mantenimiento se emplean antes de que ocurra la falla (Oana, 2019) El mantenimiento de la industria enfrenta muchos desafíos, como la presión de acelerar los tiempos de respuesta, cumplir con los pedidos de los clientes, reducir los desperdicios y aumentar la productividad, dado que la organización es clave para mejorar el rendimiento de los activos (Luders, 2021). La evaluación de fallas de motores ha obtenido diversos adelantos, entrelazando distintas herramientas de estudio que permiten la categorización de información, proporcionando ventajas como por ejemplo la tolerancia al sonido, a cambios en el punto de operación (Caballero & Rosero, 2021) . La industria manufacturera de las máquinas y los sistemas se vuelven más avanzados, los cuales los usuarios finalmente exigen un servicio de mantenimiento integral en sus equipos de producción, de tal forma se garantice una alta disponibilidad que evite los tiempos de inactividad de la máquina (De La Hoz et al., 2019). La mayoría de las empresas y fabricantes, poseen grandes cantidades de datos de sensores,

procesos y entorno, que realizan una combinación de los datos con información, referente a las fallas para así crear conjuntos de datos de tres útiles para el mantenimiento(Calabrese et al., 2020).

El estudio fue desarrollado en una empresa dedicada al sector agroindustrial, que mediante una supervisión realizada en las operaciones de la empresa, se demostró que padece paradas constante en los equipos del caldero, demostrado en un rendimiento del 65%, ocasionando malestar por el personal operario por la demora en la secuencia de las operaciones. La data histórica de los calderos se prueba las paradas de los calderos, generando una pérdida del 30% del producto culminado, siendo componente fundamental, que se pretende plantear por medio de la iniciativa de administración del mantenimiento con el propósito de mejorar la disponibilidad de las maquinarias industriales. Ante lo mencionado de la problemática, responderá la siguiente formulación del problema ¿En qué medida el plan de mantenimiento mejora la disponibilidad de los equipos industriales – Trujillo?

El presente estudio se justifica, porque mediante la propuesta del plan de mantenimiento preventivo se pretenderá reducir los inconsistencias generadas por parte de la deficiencia del mantenimiento, tales como exceso de mantenimiento correctivo, incremento de costos operativos o fallas consecutivas de los calderos. En Ambiental, pretenderá optimizar los procesos de mantenimiento de los calderos, dado que un mal procedimiento manipula sustancias que pueden ser nocivas para el mantenimiento, En lo económico, conllevará a desarrollar una propuesta de plan de mantenimiento para reducir los costos operativos en beneficio de la empresa.

El presente estudio, se planteó como propósito general; desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos industriales en Trujillo; con objetivos específicos; determinar la situación actual de los equipos industriales del departamento de calderos; estudiar el análisis de modo y efecto de fallas de los equipos del área de calderos; diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado a los resultados obtenidos; analizar el beneficio costo para la implementación del plan de mantenimiento preventivo. Finalmente, como hipótesis; El plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de los equipos industriales en Trujillo

## II. MARCO TEÓRICO

Mesa et al. (2022) aplicaron redes de sensores en diversas aplicaciones para el procesamiento manual de datos en texto libre sigue siendo engorroso para el control del mantenimiento de las calderas. En sus resultados las prácticas industriales actuales, traducen manualmente estos puntos en etiquetas que toma alrededor de 8 horas por cada 100 puntos, conllevando la clasificación de texto de varias etapas basada en la Inteligencia Artificial que traduce a los puntos de BMS. Concluyeron comparando cinco técnicas diferentes para la clasificación de texto, tales como la regresión logística, ingenuo multinomial y clasificación de vectores, que permiten mejorar el desempeño con el 90.29% de los verdaderos positivos, usando la confianza de predicción para filtrar los falsos positivos.

Carls (2019) aumentó la tasa de detección de fallas en calderas combinadas de plantas de calor y energía, reduciendo el mantenimiento no planificado, construyendo tres modelos de Machine Learning. En sus resultados a través de un autocodificador fue ligeramente mejor y alcanzó un área bajo la curva de recuperación de precisión de 0,966 y 0,615 en el periodo de entrenamiento. Concluyó, destacando que el Machine Learning se puede emplear para detectar fallas en una etapa más temprana y potencialmente eludir el costoso mantenimiento no planificado.

Sukma et al. (2022) dedujeron los factores que influyeron en el bajo valor de OEE en la máquina LINAC SP fueron causados por una pérdida de avería del 76,29%, una pérdida de configuración del 9,59%, ralenti y parada menor del 8,8%, con una disminución de la velocidad del 5,29%. Llegando a la conclusión, que la implementación continua del pilar del TPM ha permitido el incremento del valor OEE de la máquina LINAC SP.

Afriyuddin et al. (2018) demostraron que la eficiencia global del equipo se encontraba en un nivel bajo con 32.95% con un bajo rendimiento de 76,08%. De tal forma concluyeron, indicando que las empresas pueden conocer la eficacia de las máquinas mediante el cálculo de la efectividad global de los equipos, para que así logren eliminar los desperdicios generados en el proceso de producción.

Ogie et al. (2018) reflejaron que el mantenimiento de las máquinas de función no está en su máximo, esto se aprecia dado que el TPR es 84,63% un valor menor del estándar del 85%, mientras que las otras máquinas alcanzar el 90%.

Concluyeron, que posterior de la implementación del TPM, se alcanzó un valor TPR del 10% en especial para la máquina número 3, donde el valor paso de 84,63% a 85,81%, con ello se destaca la importancia de mantener operativas las maquinas.

Correia et al. (2020) mencionaron que hubo una disminución del 23% en las averías en el sector de los tornos CNC y del 38% en el sector de los centros de mecanizado CNC. Concluyeron, que mediante la implementación hubo un incremento de la disponibilidad de las máquinas y la efectividad general del equipo de aproximadamente el 5%.

Subha et al. (2019) mantuvo que las estrategias del TPM, permiten conducir a un incremento en la disponibilidad, el rendimiento y la calidad de los equipos. Concluyeron, que las principales factores que contribuyen en la Efectividad General de los Equipos, se pueden lograr mediante la implementación de la propuesta estrategia.

Zhu et al. (2022) analizó los factores esenciales que influyen en las emisiones de dióxido de carbono de las centrales térmicas que son fáciles de observar, a la vez establece un modelo de predicción de las emisiones de dióxido de carbono de las centrales térmicas basado en extreme Gradient Boosting. Concluyeron sosteniendo que la mayoría de las centrales eléctricas no pueden obtener todos los parámetros requeridos por los modelos precisos en la práctica de producción real, lo cual limita su aplicación.

Salehabadi (2021) presentó un modelo de aprendizaje automático para predecir fallas de máquinas y requisitos de mantenimiento en ciertas máquinas industriales, presentando como método de aprendizaje automático que integra a los sistemas de fabricación en la toma de decisiones inteligentes a través de comunicaciones con humanos y máquinas a través de sensores. Concluye que para mejorar el rendimiento de la producción depende de varias cuestiones, tales como la eficiencia de la producción y la disponibilidad de la máquina.

Kim y Heo (2022) identificaron características significativas a través de la extracción, selección de varias características, con las métricas de evaluación de clasificación presentados mediante el Machine Learning así como el aprendizaje profundo que pretender ampliar diagnósticos de anomalías. En sus resultados, mencionaron que el monitoreo de condición utilizando sensores de internet de las

cosas, para lo cual se aplica para el mantenimiento y la administración del sistema. Concluyeron que la condición de la válvula, la fuga interna de la bomba y los datos del acumulador hidráulicos mostraron un rendimiento de TPR de 0,94 más y un rendimiento de TNR de 0,84 o más, siendo significativos para determinar los estados establece de cada componente del sistema hidráulica y formar la base por el juicio de ingenieros.

Fernandes et al. (2020) identificaron y predijeron fallos en un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado, específicamente en calderas, así como en bombas de calor, siendo un estudio de tipo aplicada. En sus resultados, sostiene que los aparatos de calefacción consumen aproximadamente 48% de la energía gastada en electrodomésticos cada año, asimismo cada dispositivo que funciona puede aumentar aún más el costo. Concluyeron presentando una infraestructura que soporta las capacidades los cuales fueron desplegadas para la detección de fallas en calderas, permitiendo de esta manera pronosticar fallas y errores.

Rojas (2021) evaluó la factibilidad de la aplicación del machine learning para el incremento de la eficiencia del mantenimiento en máquinas industriales, siendo un estudio aplicado con diseño pre experimental. En sus resultados, destaca que con la aplicación de machine learning incrementa la disponibilidad de la maquinaria 1 de 56% a 90%, en mantenibilidad de 0,51 a 0,10 y la confiabilidad de 1,96 a 8,97. Concluyó demostrando la viabilidad de la implementación del machine learning, obtendrá un VAN de S/.320.266,991 con una Tasa Interna de Retorno de 62%, siendo superior al costo del capital del 15% y un indicador beneficio/costo de 3,24. Siguiendo el mismo contexto, se detallaron los enfoques teóricos, como el mantenimiento es un componentes críticos de la gestión de instalaciones y con la proliferación de big data, internet de las cosas e industria 4.0, mantenimiento predictivo (Genevieve y Coleman, 2021). Por tanto, el modelo de evaluación en la nube administra los registros de transacciones almacenados, que comparten los servicios a los que acceden mediante diversas plataformas en la nube para cada centro de servicios, que conllevan la utilización de servidores tales como Learning Chain, que resiste el ataque de inundación del protocolo de control de transmisión, el ataque de denegación de servicio y el ataque de falsificación (Pon & Kavitha, 2021).

La gestión de mantenimiento, comprende en un método sistemático donde se planean actividades ayudadas por procedimientos, que suelen integrar una secuencia lógica a propósito de alcanzar confiabilidad y disponibilidad de los objetos a mantener, para lo cual la parte activa de los procedimientos en una organización es necesario de igual que otros departamentos, tales como producción, recursos humanos, calidad, ventas entre otros. (Sánchez, 2018).

El mantenimiento inteligente comprende el mantenimiento 4.0, basándose en la era de la Industria 5.0 concernientes a las rutinas y los procesos de mantenimiento, englobando que el operario, el equipo, así como toda la estructura de trabajo cumplan con los procedimientos fundamentales para que sean eficientes (Quiroga, 2021).

El mantenimiento predictivo, integra la forma de mantenimiento proactivo, que tiene un uso cada vez mayor, mostrando una superioridad significativa sobre el correctivo, relacionando los métodos convencionales de mantenimiento predictivo lo cual tienen limitaciones notables en la optimización y la mejora de la confiabilidad (Ren, 2021). Es la que se desarrolla mediante una predicción del status, concerniente a la operatividad de la maquinaria y por ende del momento en que el equipo queda fuera de servicio, a su vez es monitoreado su funcionamiento determinando su producción, así como su rango óptimo en el que las reparaciones son efectuadas, minimizando costos de fallas no gestionadas (Pastor, 2019)

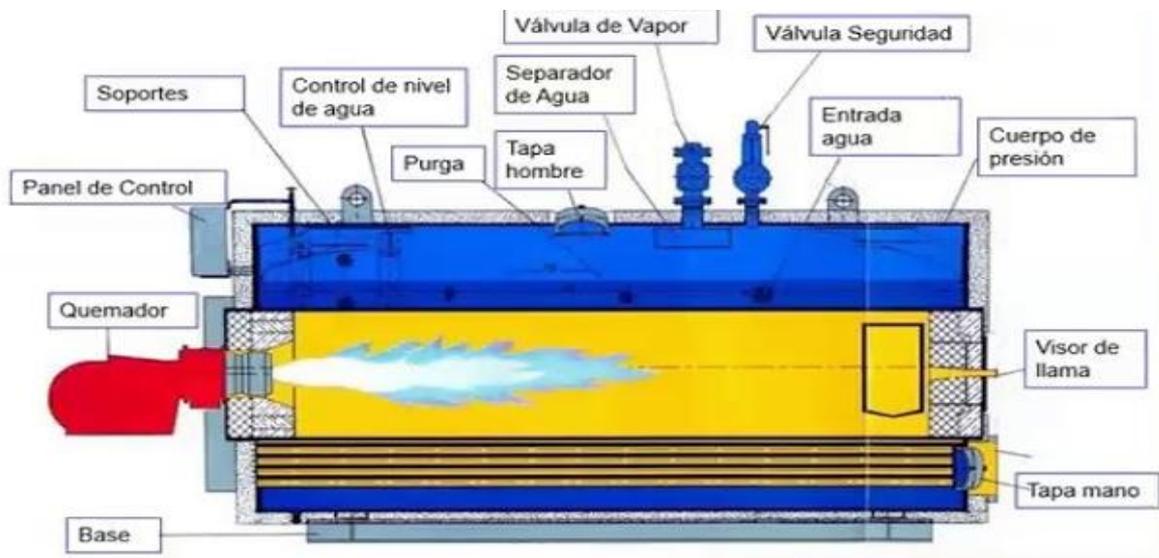
Este tipo de mantenimiento, en su aplicación, requiere de la identificación de variables físicas como temperatura, vibración, consumo de energía, cambios en los cuales pueden indicar posibles problemas con los equipos y a medida que avanza la tecnología, el mantenimiento se vuelve flexible, utilizando diferentes métodos, herramientas, es decir tener en cuenta que este tipo de mantenimiento es más técnico ya que requiere medios técnicos avanzados (Pastor, 2019).

El avance de las técnicas de mantenimiento, en especial el mantenimiento predictivo se encuentra integradas por las tecnologías habilitadas por la Industria 4.0 tales como el Internet de las Cosas (IIoT) puede ser posible realizar una supervisión de las líneas centradas en la reducción de actividades catastróficas o no planificados (Bachim et al., 2020). El mantenimiento predictivo posibilitado por la integración de múltiples sensores y técnicas de aprendizaje automático, es uno

de los beneficios más pregonados de la cuarta revolución industrial, por lo consiguiente los medios tradicionales para determinarlos a través de medición física son procesos demorosos (Hernandez, 2020).

La caldera se puede controlar empleando varios modos de control dependiendo de la demanda de energía, así como de las capacidades de la central eléctrica, donde los modos de control incluyen el seguimiento de los calderos, las turbinas, así como la supervisión coordinada en base a los diversos regímenes de control tienen diferentes respuestas, a los cambios en la carga de megavatios (Westhuizen & Gorlach, 2021).

Las centrales térmicas modernas, se desarrollan en gran medida, dado que el equipo es esencial para una sofisticación, con un avance para aumentar la eficiencia, donde el vapor que se genera en la caldera es proporcionado por la turbina de vapor (Salman et al., 2021). Un caldero es un recipiente metálico cerrado con una fuente de calor para calentar o hervir agua, es decir, es un intercambiador de calor que aprovecha el calor generado por la quema de combustible (ya sea sólido, líquido o gas), se convierte el calor de cualquier fuente de energía en energía utilizable por el medio de transporte en la fase líquida o gaseosa del fluido (Miranda, 2018).



**Figura 1.** Parte de un caldero industrial

Fuente. (Young et al., 2022).

Los sistemas inteligentes de gestión de mantenimiento, suelen desempeñar un papel importante en las máquinas industriales así como en las maquinarias utilizadas en la vida diaria (Velmurugan et al., 2022). En respuesta, a las

anomalías que suelen presentarse en los calderos, deberían contar con un sistema de recomendación de piezas de servicio basado en aprendizaje automático, que puede predecir el resultado analítico de una parte problemática que se ha recopilado de antemano utilizando datos de informes de servicios de campos registrados por ingenieros (Young et al., 2022).

La detección anticipada de fallas en el equipo puede ayudar a asegurar las paradas de mantenimiento, para así mejorar las tasas de utilización de la capacidad del equipo, donde se ha introducido un diagnóstico inteligente de fallas basado en algoritmos multivariantes en los parámetros del equipo (Salman et al., 2021). Con respecto al modelo híbrido deconstruye el aprendizaje automático en unidades individuales de absorción de calor de la caldera; integrando el economizador, pared de agua, sobre calentador y el recalentador, donde la configuración utiliza una unidad recurrente cerrada que se basa en una arquitectura de aprendizaje profundo (Machalek et al., 2022).

La disponibilidad de los equipos, comprende en una métrica que evalúa el rendimiento de los elementos que realizan una función determinada, en un momento determinado, durante un período determinado, en función de los criterios de confiabilidad, mantenibilidad y soporte para el mantenimiento de los equipos (Tasé et al., 2020, p.26). La confiabilidad, es la posibilidad de que un equipo realice una determinada función en un proyecto, conforme con las condiciones de operación (Garay y Maceda, 2020, p.2). La mantenibilidad, se basa en la capacidad del mantenimiento, para brindar facilidad, precisión y seguridad con las que se desarrollan las tareas de mantenimiento, después de detectar una avería en un activo o equipo (Garay y Maceda, 2020, p.2).

Las industrias de proceso dependen de calderas de vapor industriales para muchas operaciones, por tanto la disponibilidad de la caldera de vapor es una grave preocupación para el rendimiento de las industrias, asimismo se garantiza la confiabilidad de los equipos con el propósito de reducir los fallos (Suyon et al., 2021). El mantenimiento correctivo, consta en la actividad que se desarrolla a una avería para restaurar la operación en su estado operativo, asimismo que el mantenimiento preventivo se basa en un mantenimiento regular y de rutina para ayudar a mantener el equipo en funcionamiento, con el propósito de disminuir la probabilidad de falla (Amiri et al., 2018). El mantenimiento preventivo, es crucial

para muchas industrias de servicios y fabricación, mediante la aplicación rutinaria evita averías inesperadas de los equipos que no afectarían negativamente la confiabilidad de la cadena logística, sino que causarían pérdidas considerables, con una productividad reducida y una calidad deteriorada de los productos y servicios (Alhamad et al., 2021). En otro estudio, resaltan que el mantenimiento preventivo de equipos es esencial para construir y mantener las instalaciones de fabricación robustas con el propósito de cubrir la demanda en un patrón confiable, donde la mayoría de las empresas enfrentan problemas ya sea para programar el tiempo de parada del equipo, para el mantenimiento preventivo o con el propósito de reservar recursos de mantenimiento (Hourani, 2020) . Un mantenimiento correctamente programado influye directamente en la vida útil de los equipos y su productividad especialmente para equipos complejos que trabajan en diversas condiciones y entornos hostiles, seguidamente que las tecnologías de la información están integrando en todos los aspectos de fabricación lo que está acelerando la industrias (Wang et al., 2020).

### **III. METODOLOGÍA**

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

##### **Tipo de investigación**

El presente estudio, es de tipo aplicada, caracterizada por activa debido que se encuentra ligada a la investigación pura o básica, porque depende de sus descubrimiento y aportes teóricos (Alan y Cortez, 2018).

De nivel cuantitativa, debido que brinda la posibilidad de repetición, integrada de acuerdo a un parámetros específico sobre un evento, que permitió desarrollar comparaciones entre estudios similares (Alan y Cortez, 2018).

De enfoque explicativo, pretenden encontrar situaciones para alcanzar ciertos fenómenos o establecer relaciones de causalidad entre variables (Alan y Cortez, 2018).

##### **Diseño de investigación**

Es pre experimental – longitudinal. De acuerdo Hernández y Mendoza (2018) es pre experimental, debido que el estudiador trata de aproximarse a una investigación experimental pero no cuenta con los medios e control suficientes que permitan la validez interna. Es longitudinal, difiere en realizar el seguimiento a una muestra de estudio, durante un período establecido, lo cual implica realizar diversas evaluaciones con la finalidad de estudiar una situación específica (Alan y Cortez, 2018).

$$O_1 \times O_2$$

##### **Donde:**

$O_1$  = Pre Test Disponibilidad de los equipos industriales.

$X$  = Plan de mantenimiento

$O_2$  = Post Test Gestión de mantenimiento

#### **3.2. Variables y operacionalización**

##### **Variable independiente: Mantenimiento Preventivo**

Consta en las intervenciones que previenen las averías y disminuyen la probabilidad de que un activo falle, refiriéndose en un tipo de mantenimiento planificado que se realiza incluso cuando un equipo mantiene su capacidad operativa.

**Variable dependiente: Disponibilidad de los equipos industriales**

Comprende en una métrica que evalúa el rendimiento de los elementos que realizan una función determinada, en un momento determinado, durante un período determinado, en función de los criterios de confiabilidad, mantenibilidad y soporte para el mantenimiento de los equipos (Tasé et al., 2020, p.26).

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

#### **Población:**

La población estuvo conformada por el departamento de calderos de las empresas agroindustriales. De acuerdo, Alan y Cortez (2018) deducen que la población incluye a diversos objetos a analizar, asimismo su selección se encuentra relacionada por la características que permitan obtener data necesaria para analizar el problema.

- **Criterios de inclusión:**

- Calderos operativos

- **Criterios de exclusión:**

- Equipos no operativos.

#### **Muestra:**

La muestra estará conformada por un caldero de la empresa agroindustrial. De acuerdo, Alan y Cortez (2018) dedujeron que la muestra está conformada por un subgrupo que tiene un carácter representativo de los casos o elementos de una población.

#### **Muestreo:**

El muestreo no probabilístico por conveniencia. De acuerdo Hernández y Mendoza (2018) sostuvieron que el muestreo selección de un conjunto de personas que se consideran representativos del grupo al que pertenecen, con el propósito de ser estudiadas.

#### **Unidad de análisis:**

La unidad de análisis estuvo compuesta por el caldero de la empresa agroindustrial. De acuerdo Hernández y Mendoza (2018) deduce que la unidad de análisis, produce la información que se examinará mediante procedimientos estadísticos.

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

#### **Técnicas de recolección de datos**

**Observación**, permitió examinar de manera directa el fenómeno de estudio tal como se representa en la recolección de datos, respecto a la gestión de mantenimiento de los equipos industriales.

**Análisis de documentos**; se analizaron artículos, informes, así como normas que permitan sustentar la realización del presente estudio.

### **Instrumentos de recolección de datos**

**Ficha de observación**, comprende en la realización de un formato para la supervisión del mantenimiento de los equipos industriales.

**Ficha de análisis**, son conocidas por recopilar y organizar información de forma analítica sobre un autor en específico.

### **3.5. Procedimientos**

El desarrollo de la investigación, se realizó los siguientes procedimientos:

- a) Solicitar permiso a la empresa agroindustrial, para la recolección de la información.
- b) Determinar la disponibilidad de los equipos industriales
- c) Diseñar el plan de mantenimiento preventivo
- d) Evaluar los nuevos indicadores de la disponibilidad de los equipos industriales
- e) Evaluar el beneficio/costo del plan de mantenimiento preventivo
- f) Se representaran los resultados, haciendo uso de tablas y gráficos.

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

En este apartado se desarrolló mediante el método de análisis, para el desarrollo del estudio en lo cual es el descriptivo, debido que los resultados serán representados mediante tablas y gráficos con el propósito de resolver los objetivos plasmados en el contenido de la investigación. De acuerdo Hernández y Mendoza (2018) dedujeron que el método descriptivo, comprende en un método relacionado con la observación, donde es de gran importancia basado en los factores relacionados con la validez interna y externa de la investigación.

### **3.7. Aspectos éticos**

Conforme a la resolución del consejo estudiantil N° 0262 de la Universidad César Vallejo 2020, enfatizó que el Código de Ética, es de carácter obligatorio para los profesionales, que desarrollen algún tipo de estudio científico en la UCV. Por lo

tanto, para el presente estudio se considerará la recopilación de data, que se basa en diferentes autores buscando la originalidad de la investigación, para así evadir cualquier tipo de similitud, con el correcto citado, tal como se sustenta en el Código de Ética (Vicerrectorado de Investigación, 2020).

Finalmente el desarrollo del estudio, se basará de acuerdo a los aspectos éticos y los principios de la bioética, que comprenderá en respetar la veracidad de los resultados y la data brindada por los participantes basando en el marco legal estipulado.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Determinar la situación actual de los equipos industriales

La planta procesadora de caña de azúcar, cuenta con un sistema de operaciones que empieza desde la recepción de la materia prima de los campos agrícolas y el procesamiento, contando con procesos energéticos y agroindustriales necesarias para el sistema de trabajo. Ante ello, se evaluó los reportes de las horas inoperativas trimestrales, con la finalidad de analizar los fallos más significativos que han sido originadas por las paradas no registradas, debido al deficiente mantenimiento

**Tabla 1.** Tiempo perdido por fallas (Horas)

Evento	Fallas mecánicas Hrs	Hrs paradas	Detalle	Activo
Falla de rodamientos	96,5	496,05	Ventilador Inducido	Caldero 1
	50,57		Bomba de alimentación	Caldero 2
	90,22		Ventilador Inducido	Caldero 2
	76,59		Bomba de alimentación	Caldero 1
	34,04		Bomba de condensado N°1	Caldero 1
	148,13		Ventilador Forzado	Caldero 1
	58,05		Conductor de MP N°1	Caldero 2
Descarrilamiento de cadenas	55,41	301,38	Conductor de MP N°2	Caldero 1
	42,19		Conductor de MP N°3	Caldero 1
	48,3		Distribuidor de bagazo 3	Caldero 2
	35,13		Conductor de bagazo N° 16	Caldero 2
	10,02		Distribuidor de bagazo 2	Caldero 2
	52,28		Conductor de bagazo N° 5	Caldero 1

Fuente. Elaboración propia

El análisis de fallos de los equipos del área del caldero, nos indica las interrupciones registradas en el proceso, lo cual permitió evaluar la disponibilidad trimestral de cada uno de los equipos que cuenta dicha área, con el propósito de obtener el indicador de la disponibilidad actual.

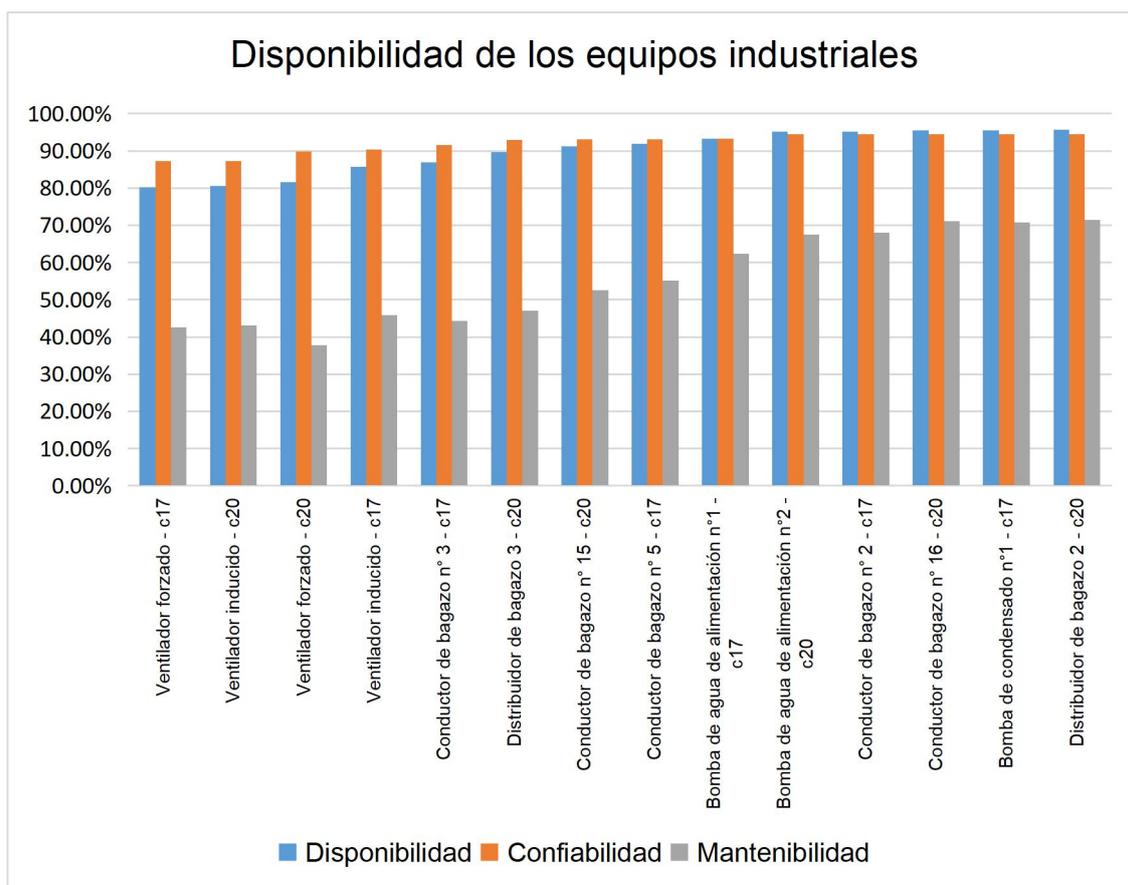
**Tabla 2. Disponibilidad actual de los equipos del departamento de calderos**

N°	EQUIPO	Horas Tiempo de trabajo	Paradas (Hrs)	N° de fallas	MTTR	MP + TTR	MTBF	Disponibilidad	Confiabilidad	Mantenibilidad
					(Hrs Falla) /	(Mant. Prog + T. de paradas)	(Hrs Fallas)			
1	Ventilador forzado	2408	398,48	10	39,85	590,48	161,75	80,23%	87,24%	42,54%
2	Ventilador inducido - c20	2408	390,6	10	39,06	582,6	162,54	80,63%	87,30%	43,18%
3	Ventilador forzado - c20	2408	371,44	8	46,43	563,44	205,57	81,58%	89,82%	37,84%
4	Ventilador inducido - c17	2408	288,04	8	36,01	480,04	216	85,71%	90,28%	45,84%
5	Conductor de bagazo n° 3 - c17	2408	264,53	7	37,79	456,53	250,21	86,88%	91,55%	44,25%
6	Distribuidor de bagazo 3 - c20	2408	208,64	6	34,77	400,64	301,23	89,65%	92,93%	47,00%
7	Conductor de bagazo n° 15 - c20	2408	177,94	6	29,66	369,94	306,34	91,17%	93,05%	52,50%
8	Conductor de bagazo n° 5 - c17	2408	164,99	6	27,5	356,99	308,5	91,82%	93,09%	55,20%
9	Bomba de agua de alimentación n°1 - c17	2408	135,91	6	22,65	327,91	313,35	93,26%	93,20%	62,27%
10	Bomba de agua de alimentación n°2 - c20	2408	98,34	5	19,67	290,34	383,53	95,12%	94,41%	67,45%
11	Conductor de bagazo n° 2 - c17	2408	96,77	5	19,35	288,77	383,85	95,20%	94,41%	68,04%
12	Conductor de bagazo n° 16 - c20	2408	89,09	5	17,82	281,09	385,38	95,58%	94,43%	71,03%
13	Bomba de condensado n°1 - c17	2408	88,62	5	17,72	281,62	385,28	95,55%	94,43%	70,82%
14	Distribuidor de bagazo 2 - c20	2408	88,2	5	17,64	280,2	385,56	95,63%	94,43%	71,39%
<b>Promedio</b>		<b>2408</b>	<b>204,4</b>	<b>7</b>	<b>28,99</b>	<b>396,47</b>	<b>296,36</b>	<b>90%</b>	<b>92%</b>	<b>56%</b>

Fuente. Elaborado por los investigadores.

El análisis de la disponibilidad de los equipos del área de calderos, se obtuvo que la disponibilidad actual es del 90%, de acuerdo a la información analizada del período de Enero a Junio del 2022

**Figura 2.** Disponibilidad de los equipos industriales caldero



Fuente. Elaboración propia

Posterior al análisis de los equipos que conforman el área de calderos, se demuestra una disponibilidad de 90%, confiabilidad del 92% y mantenibilidad de 56%.

#### 4.2. Estudiar el análisis de modo y efecto de fallas de los equipos del área de calderos.

El análisis de modo y efecto de fallos de los equipos, se desarrolló en base de los siguientes factores: de frecuencia y las consecuencias, que integra a los de impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento e impacto de seguridad, ambiente e higiene, por tanto, dicho rangos son estudiados mediante la data adquirida en la tabla de información y operación mostrada.

**Tabla 3.** Fallos potenciales del caldero de la función expulsión humos y gases

Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)	
		Modos del fallo	Efectos	Causas	Consecuencia	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>		Falla de rodamientos	La vibración se incrementa, originando averías en los componentes que impide el correcto funcionamiento.	Baja eficiencia mecánica, generado por trabas y deterioros	Mecánicas	Establecer un diagrama de frecuencia para el análisis de las vibraciones.
	Paros constantes del equipo incumpliendo su función	Fisura en ejes	Rotura del eje, ocasionando paradas en el molino afectando al proceso productivo.	Debilitación y fractura	Mecánicas	Desarrollo de una evaluación de ultrasonido.
		Rotura y acoplamiento	Paradas en la producción, debido que los componentes del equipos se funden.	Acoplamiento en tolerancia montaje	de Mecánicas	Realizar un alineamiento laser de ejes.
		Temperatura elevada	Paradas de producción y fundir los componentes del equipo.	Carece lubricación desgaste	de y Mecánicas	Desarrollo de un diagrama frecuencia para la inspección y lubricación.
	Descarga en la protección del motor eléctrico	Caída de tensión	Paradas del motor eléctrico en el momento del paso de la masa.	Sobrecarga deterioro rodamientos	y de Eléctricas	Establecer una supervisión de temperatura por termografía

**Tabla 4.** Fallos potenciales del caldero de la función de gases de la combustión

Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES			SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)
		Modos del fallo	Efectos	Causas	Consecuencia Acción Correctora
Gases expulsados por aspiración	Incumplimiento de la actividad del equipo, por paradas consecutivas.	Fisura en ejes.	Al generarse la rotura del eje, se detiene el funcionamiento, ocasionando paradas relevante al molino.	Debilitación y fractura	Mecánicas Evaluación del ultrasonido
		Falla de rodamientos	La vibración de los rodamiento se incrementa, ocasionando el paro del funcionamiento, afectando el proceso de producción.	Habilidad mecánica, inconvenientes por traba y deterioro.	Mecánicas Establecer un Cronograma frecuencial
	Descarga en protección del motor eléctrico.	Temperatura elevada.	Paradas de la producción, por fundición de los equipos.	Carece de lubricación	Mecánicas Realizar un alineamiento laser de ejes.
		Caída de tensión.	Paradas del motor eléctrico en el momento del paso de la masa.	Sobrecarga y deterioro de rodamientos	Eléctricas Supervisión de temperatura por termografía

**Tabla 5.** Fallos potenciales del caldero de la función transporta el bagazo a la caldera

Operación o Función	Avería funcional	FALLOS POTENCIALES				SITUACIÓN DE MEJORA (AMEF)	
		Modos del fallo	Efectos	Causas	Consecuencia	Acción Correctora	
Traslado del bagazo a la calera	No hay una efectiva alimentación de bagazo	Descarrilamiento de cadenas.	Al descarrilarse genera tensión de los sprockets, ocasionando parada del equipo.	Estancar el transporte de la caña	Mecánicas	Alineamiento de sprockets	
		Rotura acoplamientos	La rotura de los componentes del equipo, podría causar una parada imprevista de la producción.	Acoplamientos sin tolerancia de montaje	Mecánicas	Realizar un alineamiento laser de ejes.	
	Descarga en la protección del motor eléctrico	Caída de tensión.	Al detenerse el motor eléctrico, deja de trabajar y a la vez impide el paso de las masas.	Deterioro de los rodamientos.	Eléctricas	Supervisión de la temperatura por termografía	
	Aumento de carga	Rotura de arrastradores	Suspende la alimentación de la caldera	Aforo de bagazo	Operativas	Capacitación al personas sobre las medidas preventivas	

**Tabla 6.** Rango críticos de las fallas de equipos de calderos

Ítem	Elemento en falla	Detalle de la falla	Frec. De falla	IO.	F.O	C.M	I.S. y M.A.	Consecuencia IO*FO*CM*ISMA	Rango de criticidad
1	ventilador forzado - c17	Desgaste de los acoplamiento y falla en los rodamientos	3	10	4	2	2	160	crítico
2	ventilador inducido - c20	Desgaste del eje y falla en los rodamientos	3	10	4	2	2	160	crítico
3	ventilador forzado - c20	Desgaste del eje y falla en los rodamientos	3	10	4	2	2	160	crítico
4	ventilador inducido - c17	Desgaste del eje y falla en los rodamientos	3	10	4	2	2	160	crítico
5	conductor de bagazo n° 3 - c17	Desgaste del eje, cadena y arrastradores.	2	8	4	2	2	128	crítico
6	distribuidor de bagazo 3 - c20	Desgaste de las cadenas, los arrastradores y descarrilamiento de la cadena.	2	10	3	2	2	120	crítico
7	conductor de bagazo n° 15 - c20	Desgaste de las cadenas, los arrastradores y descarrilamiento de la cadena.	2	10	3	2	2	120	crítico
8	conductor de bagazo n° 5 - c17	Desgaste de cadenas, los arrastradores y descarrilamiento de los ejes.	2	10	1	2	2	40	crítico
9	Bomba de alimentación	Fugas de aceite y agua del sistema de refrigeración, desalineamiento	3	7	3	1	2	42	semi crítico
10	Bomba de alimentación	Fugas de aceite y agua del sistema de refrigeración; 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

Fuente. Elaborado por los investigadores

**Figura 3. Rango de criticidad de los equipos**



Fuente. Elaborado por los investigadores

De acuerdo al rango de criticidad de los equipos perteneciente al área de calderos, que el 73% está en un rango crítico, el 18% semi crítico y el 9% no crítico, de tal forma se resalta la problemática proveniente del caldero que impide la eficiencia de la producción.

**Tabla 7. Disponibilidad de los equipos críticos**

N°	Detalle	Hrs laboradas	Paradas (Hrs)	MTTR	MTBF	Disp.	Conf.	Mant.
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	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	Difusor de materia prima N1	2208	177,94	29,66	306,34	91,17%	93,05%	52,50%
8	Difusor de materia prima N5	2208	164,99	27,5	308,5	91,82%	93,09%	55,20%

Fuente. Elaborado por los investigadores

Los ocho equipos críticos considerados fueron los ventiladores C17 – C20; ventilador inducido C17 – C20; conductor de bagazo N°13 - N° 15 – N° 5; distribuidor de bagazo 3 – C20.

**Tabla 8.** Fallos potenciales del caldero de la función de los gases de la combustión

Operación o Función	FALLOS POTENCIALES					SITUACION DE MEJORA (AMEF)
	Avería funcional	Modos del fallo	Efectos	Causas	Consecuencia	Acción Correctora
Gases de combustión son expulsados mediante aspiración.	Paradas constantes de los equipos del área del caldero por incumplimiento de su función.	Temperatura elevada	Puede ocasionar parada imprevistas de la producción, así como la fundición de lo elemento.	Falto de lubricación y el desgaste.	Mecánicas	Establecer un diagrama frecuencial para la inspección y lubricación.
		Falla de rodamientos	Incrementó de la vibración, originado por avería en sus componentes, impidiendo el correcto funcionamiento.	Habilidad mecánica, inconvenientes por traba y deterioro.	Mecánicas	Establecer un diagrama frecuencial, para el análisis vibracional.
		Rotura de acoplamientos	Puede ocasionar paradas en la producción así como la fundición de los componentes del equipo.	Acoplamientos sin tolerancia de montaje.	Mecánicas	Establecer un alineamiento laser de ejes.

Fuente. Elaborado por los investigadores.

En base de los fallos encontrados, se integró el estado de mejora para cada uno de los fallos concernientes a los equipos en riesgos, por tanto se establece los rangos NPR a cada una de las fallas interferidas en el desarrollo del AMEF, que ha sido desarrollado una ponderación inaceptable, reducible y aceptable.

**Tabla 9.** Análisis del NPR

Detalle de los equipos	Fallas de los equipos	G	O	D	P	N R
Ventilador forzado - C17	Desgaste de los acoplamientos y fallas en rodamientos.	9	6	5	27	0
Ventilador inducido - C20	Desgaste de los acoplamientos y fallas en rodamientos.	9	6	5	27	0
Ventilador forzado - C20	Desgaste de los acoplamientos y fallas en rodamientos.	9	6	5	27	0
Ventilador inducido - C17	Desgaste de los acoplamientos y fallas en rodamientos.	9	6	5	27	0
Conductor de bagazo N° 3 - C17	Desgaste de los componentes tales como; ejes, de cadenas, de acoplamiento y arrastradores	9	6	4	21	6
Distribuidor de bagazo N°3 - C20	Desgaste de los acoplamientos tales como cadenas, de arrastradores y descarrilamiento de cadena	8	5	3	12	0
Conductor de bagazo N° 15 - C20	Desgaste de los acoplamientos en las cadenas.	8	5	4	16	0
Conductor de bagazo	Desgaste de los acoplamientos	8	5	4	16	0

Fuente. Elaborado por los investigadores.

En base del análisis del NPR se tiene que los equipos del departamento de caldero presentan fallas inaceptables, entre ellos se refleja los ventiladores forzados C17 – C 20 y ventilador inducido - C 17 – C 20. Una vez obtenido los resultados, se plantea medidas preventivas para cada indicador de riesgo, detallado de la siguiente manera.

- **Temperatura elevada.** Establecer un programa de revisión de la lubricación de los dispositivos.
- **Falla de rodamientos.** Establecer una programación para el análisis vibracional.
- **Fisura en ejes.** Efectuar a los equipo pruebas de ultrasonido.
- **Fisura en acoplamiento.** Desarrollar un procedimiento para la limpieza de los ejes.
- **Caída de tensión.** Programar el control consecutivo de la temperatura mediante termografía.
- **Rotura de cadenas.** Capacitar a los trabajadores del departamento, considerando los rangos de operación.
- **Rotura de arrastradores.** Capacitar a los trabajadores del departamento, conforme a las rangos de operación.

### 4.3. Diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado a los resultados obtenidos

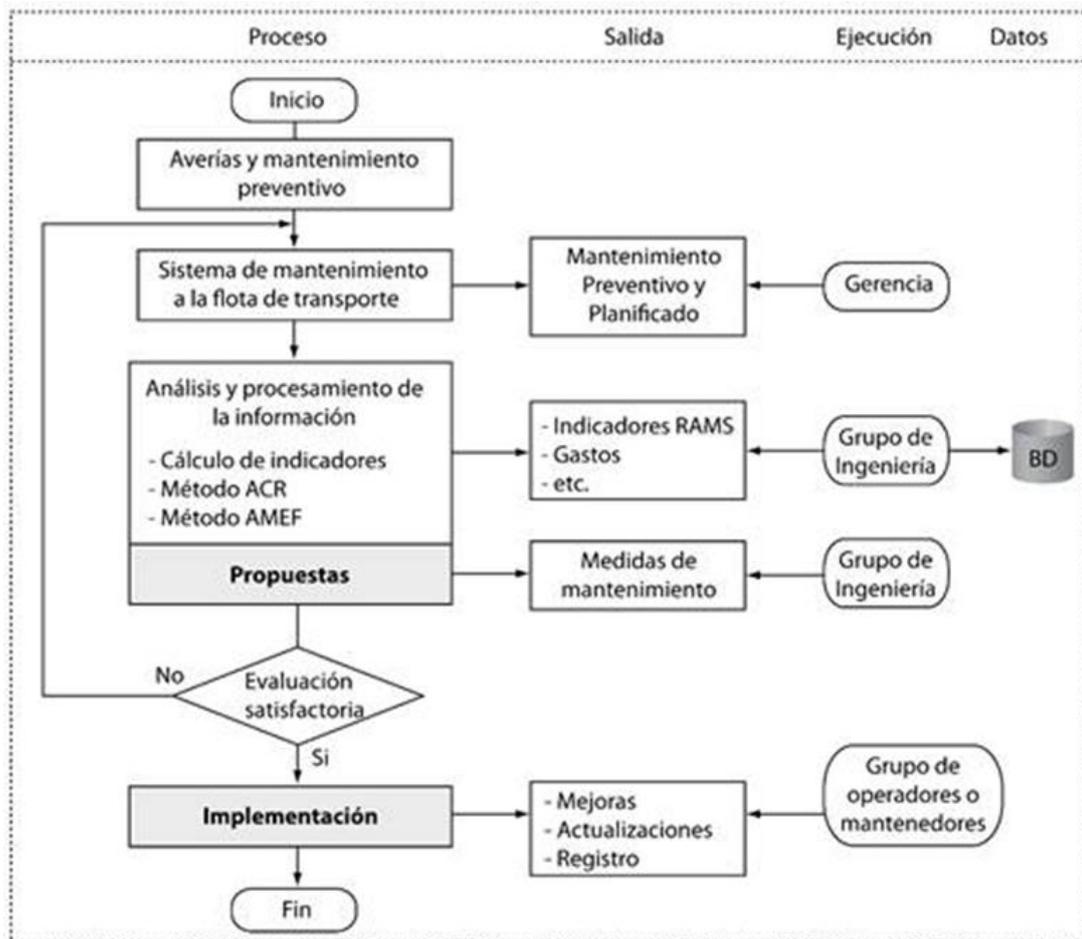


Figura 4. Evaluación del proceso de mantenimiento

Fuente. Elaboración propia

En el plan de mantenimiento desarrollado muestra amplia visión respecto a las interrupciones, donde se identificó las fallas más presentes en el funcionamiento de los equipos del área de caldero, con el propósito de reconocer las causas que originan las fallas consecutivas que permitieron mejorar el stocks de repuestos y materiales, asimismo reduce los tiempos empleados en reparaciones.

Figura 5. Diagrama de GANT del plan de mantenimiento

Id	i	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero
							jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene
1		✈	Lubricación V.T.F. Caldero 1	36 días	mar 12/07/22	mar 30/08/22							
2		✈?	SEMANAL										
3		✈	Lubricación diaria Conductor de bagazo N° 3 Caldero 1	36 días	dom 07/08/22	vie 23/09/22							
4		✈	Análisis vibracional V.T.F. Caldero 01	31 días	vie 09/09/22	vie 21/10/22							
5		✈	Análisis vibracional V.T.I. Caldero 02	31 días	lun 12/09/22	lun 24/10/22							
6		✈	Análisis termográfico Distribuidor de bagazo N° 3	21 días	mié 05/10/22	mié 02/11/22							
7		✈	Análisis vibracional V.T.F. Caldero 2	21 días	sáb 15/10/22	vie 11/11/22							
8		✈?	QUINCENAL										
9		✈	Análisis ultrasonido V.T.I. Caldero 20 -	21 días	dom 30/10/22	vie 25/11/22							
10		✈?	QUINCENAL										
11		✈	Lubricación V.T.F. Caldero 20 -	36 días	sáb 12/11/22	vie 30/12/22							
12		✈?	SEMANAL										
13		✈	Análisis termográfico - Conductor de bagazo N° 5 - Caldero 1-	23 días	vie 18/11/22	mar 20/12/22							
14		✈?	MENSUAL										
15		✈	Capacitar al personal de Mantenimiento y operación de Calderos - SEMANAL	26 días	dom 20/11/22	vie 23/12/22							

Fuente. Elaboración propia

En el diagrama de actividades se establecen, los principales labores de actividades para los equipos críticos del departamento de caldero, estableciendo la frecuencia que debe desarrollar cada una de ellas:

Tabla 10. Actividades de mantenimiento para los equipos críticos

<b>Actividades de mantenimiento</b>	<b>Acción a realizar</b>
Frecuencia de lubricación	Se debe considerar uno de los elementos predictivos del mantenimiento, lo cual cumple con el propósito de reducir la fricción, así como el deterioro de los cuerpos en contacto, creando un desenvolvimiento óptimo.
Frecuencia de análisis ultrasonido	La aplicación de ello, será capaz de percibir resultados confiables, a través de ello se determinó un mayor número de modos de fallos, dicho procedimiento será desarrollo mensualmente.
Alineamiento y ajuste de pernos	Esta técnica se desarrolla con la máquina y/o equipo en funcionamiento, estableciendo una frecuencia de alineamiento, debido a que las pernos se aflojan ocasionando un desalineamiento del componente en movimiento.
Mediciones de temperatura por termografía	Método desarrollado mediante una cámara termográfica, a través de rayos infrarrojos que se efectúan con los tableros eléctricos.
Capacitar al personal sobre los rangos de producción	Comprende en el procedimiento que se desarrolla brindando data referida, al impacto operacional a los resultados productivos, mediante la regulación de los procedimientos para el correcto cumplimiento.

Fuente. Elaboración propia

El sistema referido al mantenimiento integra un análisis modal de fallos y efectos, desarrollados con evaluaciones de criticidad y NPR, la presentación de frecuencias y programas de labores preventivas. De acuerdo al planeamiento establecido, se obtiene un NPR, por tanto, se resolvió el 54,5% de todas las fallas presentadas en los equipos del área de calderas en la industria, aun existiendo fallos entre deseables un 37%, asimismo se indicó los nuevos indicadores de mantenimiento.

**Tabla 11.** Plan de mantenimiento a equipos críticos

Ítem	EQUIPO CRÍTICO	Hrs. de trabajo	MTTR	MTBF	Disponibilidad	Confiabilidad	Mantenibilidad
			(Hrs / Falla)	(Hrs Fallas)			
1	Ventilador forzado - C17	2408	14,95	186,66	92,59	88,84	77,18
2	Ventilador inducido	2408	14,64	186,95	92,73	88,86	77,85
3	Ventilador forzado - C20	2408	17,41	234,60	93,09	91,01	71,86
4	Ventilador inducido	2408	13,50	238,51	94,64	91,16	80,51
5	Conductor de bagazo N° 3 - C17	2408	14,17	273,83	95,08	92,25	78,95
6	Distribuidor de bagazo 3 - C20	2408	13,04	322,96	96,12	93,39	81,61
7	Conductor de bagazo N° 15 - C20	2408	11,11	324,88	96,69	93,43	86,26
8	Conductor de bagazo N° 5 - C17	2408	10,31	325,69	96,93	93,43	88,26
	Total	2408	13,64	261,76	94,73	91,55	80,31

Fuente. Elaboración propia

El resultado de la diferencia de las fallas deseables y aceptables es del 37,5% que hacen variar al MTTR, donde el nuevo indicador de MTTR \* 0,375 y el nuevo MTBF será el resultado de diferencia de (MTTR inicial – MTTR proyectado) + MTBF inicial.

De esta manera el primer resultado será:

$$MTTR = 39,85 \times 0,375 = 14,94 \frac{\text{horas}}{\text{falla}}$$

$$MTTR = (39,85 - 14,94) + 161,75 = 186,66 \frac{\text{horas}}{\text{falla}}$$

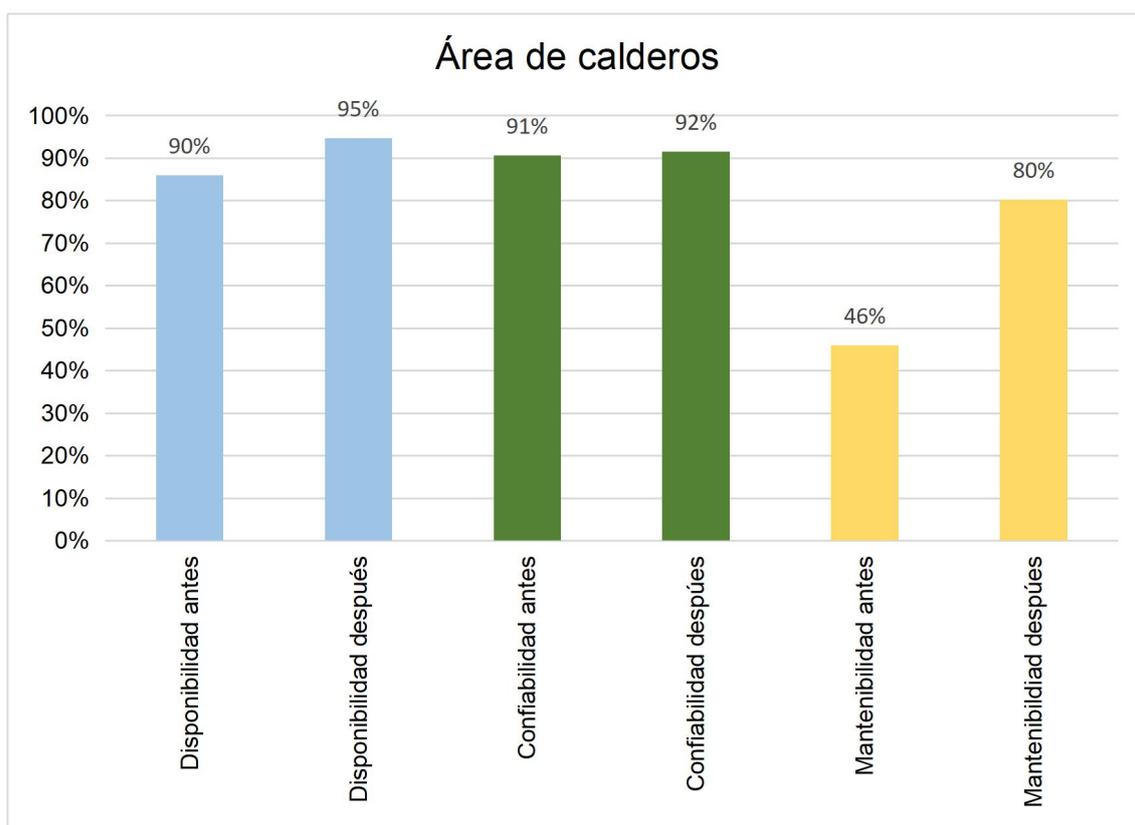
Empleando el método de la disponibilidad, se calculó el MTTR y MTBF de cada equipos en condiciones proyectadas, asimismo se estableció los nuevos indicadores de mantenimiento.

**Tabla 12.** Indicadores de mantenimiento antes – después de la implementación del plan de mantenimiento

Ítem	Equipo crítico	Disponibilidad antes	Disponibilidad después	Confiabilidad antes	Confiabilidad después	Mantenibilidad antes	Mantenibilidad después
1	Ventilador forzado	80,23%	92,59%	87,24%	88,84%	42,54%	77,18%
2	Ventilador inducido	80,63%	92,73%	87,30%	88,86%	43,18%	77,85%
3	Ventilador forzado	81,58%	93,09%	89,82%	91,01%	37,84%	71,86%
4	Ventilador inducido	85,71%	94,64%	90,28%	91,16%	45,84%	80,51%
5	Conductor de bagazo N° 3 - C17	86,88%	95,08%	91,55%	92,25%	44,25%	78,95%
6	Distribuidor de bagazo N° 3 - C20	89,65%	96,12%	92,93%	93,39%	47,00%	81,61%
7	Conductor de bagazo N° 15 - C20	91,17%	96,69%	93,05%	93,43%	52,50%	86,26%
8	Conductor de bagazo N° 5 - C17	91,82%	96,93%	93,09%	93,43%	55,20%	88,26%

Fuente. Elaboración propia

Figura 6. Indicadores de mantenimiento del área de calderos



En los indicadores de mantenimiento del área de caldero, se obtiene que la disponibilidad anterior es del 90% y posterior de la implementación se alcanzó un 95%; asimismo la confiabilidad antes es del 91% alcanzando una mejora con un indicador del 92%; mientras que la mantenibilidad alcanzó una mejora del 46 % al 80%, de esta forma se demuestra la viabilidad de la ejecución del plan de mantenimiento.

#### 4.4. Analizar el beneficio costo para la implementación del plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 13. Beneficios obtenidos de la implementación

Ítem	EQUIPO CRÍTICO	Beneficio (Hrs./año)	Costo (US\$/hrs)	Beneficio (US\$/AÑO)
1	Ventilador forzado - C17	1068,25	21	22433,25
2	Ventilador inducido	976,5	21	20506,5
3	Ventilador forzado - C20	928,6	21	19500,6
4	Ventilador inducido	720,2	21	15124,2
5	Conductor de bagazo N° 3 - C17	661,23	21	13885,83

6	Distribuidor de bagazo N°3 - C20	521,55	21	10952,55
7	Conductor de bagazo N° 15 - C20	44,9	21	942,9
8	Conductor de bagazo N° 5 - C17	412,5	21	8662,5
<b>TOTAL</b>				112008,33

Fuente. Elaboración propia

El beneficio alcanzado, mediante la disminución de fallos:

$$B = 112\,008,33 \frac{s/.}{año}$$

**Tabla 14.** Costos por actividades de mantenimiento preventivo

Actividad	(f) (veces/año)	Costo (US\$)	Total (US\$/año)
Labores de alineamiento	12	32	384
Evaluación vibracional	24	38	912
Evaluación de termografía	24	25	600
Evaluación de lubricantes	48	30	1440
Total			3336

Fuente. Elaborado por los investigadores

Los costos del mantenimiento preventivo es un total de 3336 US\$/año.

**Tabla 15.** Costos por mantenimiento preventivo

Descripción	Und.	Costo Unitario	Total
<b>Motor</b>			
Mantenimiento del motor del ventilador de tiro forzado	2	250	500
Mantenimiento del motor del ventilador de tiro	1	185	185
Mantenimiento de estator de motor del ventilador	1	250	250
Mantenimiento del rotor del ventilado inducido	1	375	375
Rodamientos	10	50	500
Colector	4	45	180
Mantenimiento de caja de conexiones	5	150	750
Linealidad de eje	5	70	350
Limpieza y pintura	5	45	225
<b>Ventiladores</b>			
Mantenimiento de paletas del ventilador	6	550	3300
Balanceo dinámico de rotores	5	250	1250
Rodamientos	10	250	2500
Sellos mecánicos	8	90	720

Lubricación (grasa)	8	10	80
<b>Transmisión de potencia</b>			
<b>Mantenimiento de los componentes del conductor</b>			
Aceite para engranajes 80W90 (20 litros)	70	60,5	4235
Mantenimiento de engranajes del reductor	4	250	1000
Rodamientos de reductores	7	185	1295
Sellos mecánicos	7	70	490
<b>Conductores y distribuidores de bagazo</b>			
Mantenimiento de la conducción de las fajas	3	150	450
Mantenimiento de polines y bastidores	3	1300	3900
Mantenimiento de paletas del distribuidor	2	1850	3700
Mantenimiento de piso del distribuidor	2	3500	7000
	Total		33235

Los costos de mantenimiento preventivo son de 33235 US\$/año.

**Tabla 16. Evaluación beneficio/costo**

Costo por actividades de mantenimiento (Tabla 14)	3336
Costo por mantenimiento (Tabla 15)	33235
Costo de la implementación	36571
Beneficio (Tabla 13)	112008,33
B/c	3,06

Fuente. Elaboración propia

En la evaluación del beneficio/costo, se tiene un indicador de 3,06 indicando que por cada 1.00 invertido se obtiene un beneficio de 2,06.

## V. DISCUSIÓN

Se planteó como primer objetivo específico determinar la situación actual de los equipos industriales del departamento de calderos en la industria de Trujillo, obteniendo el análisis de los equipos conformados por el área de calderos, se demuestra una disponibilidad 90%, la confiabilidad es del 92% y la mantenibilidad es 56%, realizado la evaluación de forma trimestral de las interrupciones que son generados en el proceso de producción, resultados que se corroboran con el aporte de Mesa et al. (2022) establecieron las prácticas industriales actuales, traducen manualmente estos puntos en etiquetas que toma alrededor de 8 horas por cada 100 puntos, conllevando la clasificación de texto de varias etapas basada en la Inteligencia Artificial que traduce a los puntos de BMS, asimismo compara cinco técnicas diferentes para la clasificación de texto, tales como la regresión logístico ingenuo multinomial y clasificación de vectores, que permiten mejorar el desempeño con el 90.29% de los verdaderos positivos, usando la confianza de predicción para filtrar los falsos positivos. Carlos (2019) mediante un autocodificador fue ligeramente mejor y alcanzó un área bajo la curva de recuperación de precisión de 0,966 y 0,615 en el periodo de entrenamiento. Concluyó, destacando que el Machine Learning se puede emplear para detectar fallas en una etapa más temprana y potencialmente eludir el costoso mantenimiento no planificado.

Lo encontrado se sustenta con el aporte teórico de Salman et al. (2021) debido que las centrales térmicas modernas, se desarrollan en gran medida, dado que el equipo es esencial concernientes a una mucha sofisticación, con un avance para aumentar la eficiencia, donde el vapor que se genera en la caldera es proporcionado por la turbina de vapor. Seguidamente Miranda (2018) un caldero es un recipiente metálico cerrado con una fuente de calor para calentar o hervir agua, es decir, es un intercambiador de calor que aprovecha el calor generado por la quema de combustible (ya sea sólido, líquido o gas), se convierte el calor de cualquier fuente de energía en energía utilizable por el medio de transporte en la fase líquida o gaseosa del fluido.

El segundo objetivo específico, estudiar el análisis de modo y efecto de fallas de los equipos del área de calderos; refieren al análisis del NPR se tiene que los equipos del departamento de caldero presentan fallas inaceptable, entre

ellos está reflejado los ventiladores forzados C17 – C 20 y ventilador inducido - C 17 – C 20; resultados que se corroboran con el aporte de Sukma et al. (2022) dedujeron los factores que influyeron en el bajo valor de OEE en la máquina LINAC SP fueron causados por una pérdida de avería del 76,29%, una pérdida de configuración del 9,59%, ralentí y parada menor del 8,8%, con una disminución de la velocidad del 5,29%. Llegando a la conclusión, que la implementación continua del pilar del TPM ha permitido el incremento del valor OEE de la máquina LINAC SP. Afriyuddin et al. (2018) demostraron que la eficiencia global del equipo se encontraba en un nivel bajo con 32.95% con un bajo rendimiento de 76,08%. De tal forma concluyeron, indicando que las empresas pueden conocer la eficacia de las máquinas mediante el cálculo de la efectividad global de los equipos, para que así logren eliminar los desperdicios generados en el proceso de producción. Asimismo, Ogie et al. (2018) reflejaron que el mantenimiento de las máquinas de función no está en su máximo, esto se aprecia dado que el TPR es 84,63% un valor menor del estándar del 85%, mientras que las otras máquinas alcanzaron el 90%, indicando que mediante la implementación del TPM, se alcanzó un valor TPR del 10% en especial para la máquina número 3, donde el valor paso de 84,63% a 85,81%, con ello se destaca la importancia de mantener operativas las maquinas.

Lo mencionado se sustenta con el aporte teórico de Sánchez (2018) que la gestión de mantenimiento comprende en un método sistemático donde se planean actividades ayudadas por procedimientos, que suelen integrar una secuencia lógica a propósito de alcanzar confiabilidad y disponibilidad de los objetos a mantener, para lo cual la parte activa de los procedimientos en una organización es necesario al igual que otros departamentos, tales como producción, recursos humanos, calidad, ventas entre otros. Seguidamente, Quiroga (2021) el mantenimiento inteligente comprende el mantenimiento 4.0, basándose en la era de la Industria 5.0 concernientes a las rutinas y los procesos de mantenimiento, englobando que el operario, el equipo, así como toda la estructura de trabajo cumplan con los procedimientos fundamentales para que san eficiente.

El proyecto de mantenimiento desarrollado muestra una extensa perspectiva en relación a la fallas imprevistas, ante ello se ha identificado que las

fallas más presentes ocurren en el área de calderos, lo cual ha permitido reconocer las razones que producen las falencias, con el propósito de mejorar el stock de repuestos y materiales, así como reducir los tiempos empleados en reparaciones, resultados corroborados con el aporte de Correia et al. (2020) mencionaron que hubo una disminución del 23% en las averías en el sector de los tornos CNC y del 38% en el sector de los centros de mecanizado CNC, sosteniendo que mediante la implementación hubo un incremento de la disponibilidad de las máquinas y la efectividad general del equipo de aproximadamente el 5%. Subha et al. (2019) mantuvo que las estrategias del TPM, permiten conducir a un incremento en la disponibilidad, el rendimiento y la calidad de los equipos, indicando que las principales factores que contribuyen en la Efectividad General de los Equipos, se pueden lograr mediante la implementación de la propuesta estrategia. Zhu et al. (2022) analizó los factores esenciales que influyen en las emisiones de dióxido de carbono de las centrales térmicas que son fáciles de observar, a la vez establece un modelo de predicción de las emisiones de dióxido de carbono de las centrales térmicas basado en extreme Gradient Boosting, sosteniendo que los modelos precisos, la mayoría de las centrales eléctricas no pueden obtener todos los parámetros requeridos por los modelos precisos en la práctica de producción real, lo cual limita su aplicación.

El tercero objetivo específico es diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en los resultados obtenidos; indicando que los indicadores de mantenimiento del área de caldero, se obtiene que la disponibilidad antes es del 90% y posterior de la implementación se alcanzó un 95%; asimismo la confiabilidad antes es del 91% alcanzando una mejora con un indicador del 92%; mientras que la mantenibilidad alcanzó una mejora del 46 % al 80%, de esta forma se demuestra la viabilidad de la ejecución del plan de mantenimiento, resultados corroborados con el aporte de Salehabadi (2021) presentó un modelo de aprendizaje automático para predecir fallas de máquinas y requisitos de mantenimiento en ciertas máquinas industriales, presentando como método de aprendizaje automático que integra a los sistemas de fabricación en la toma de decisiones inteligentes a través de comunicaciones con humanos y máquinas a través de sensores. Kim y Heo (2022) mencionaron que el monitoreo de condición utilizando sensores de internet de las cosas, para lo cual se aplica para el

mantenimiento y la administración del sistema, sosteniendo que la condición de la válvula, la fuga interna de la bomba y los datos del acumulador hidráulicos mostraron un rendimiento de TPR de 0,94 más y un rendimiento de TNR de 0,84 o más, siendo significativos para determinar los estados establece de cada componente del sistema hidráulica y formar la base por el juicio de ingenieros.

Lo mencionado se sustenta con el aporte teórico de Westhuizen y Gorchach (2021) refiere que una caldera se puede controlar empleando varios modos de control dependiendo de la demanda de energía, así como las capacidades de la central eléctrica, donde los modos de control incluyen el seguimiento de los calderos, las turbinas, así como la supervisión coordinada en base a los diversos regímenes de control tienen diferentes respuestas, a los cambios en la carga de megavatios.

Como parte del cuarto objetivo específico, analizar el beneficio costo para la implementación del plan de mantenimiento preventivo, demostrándose que con la implementación de un plan de mantenimiento permitió mejorar la disponibilidad de los equipos del área de calderos, asimismo se demuestra su viabilidad con un indicador de beneficio/costo de 3,06 que por cada 1.00 invertido se obtiene un beneficio de 2,06; resultados que fueron corroborados con el aporte de Fernández et al. (2020) sostuvieron que los aparatos de calefacción consumen aproximadamente 48% de la energía gastada en electrodomésticos cada año, asimismo cada dispositivo que funciona puede aumentar aún más el costo, presentando una infraestructura que soporta las capacidades los cuales fueron desplegadas para la detección de fallas en calderas, permitiendo de esta manera pronosticar fallas y errores. Rojas (2021) destacó que con la aplicación de machine learning incrementa la disponibilidad de la maquinaria 1 de 56% a 90%, en mantenibilidad de 0,51 a 0,10 y la confiabilidad de 1,96 a 8,97, demostrando la viabilidad de la implementación del machine learning, obtendrá un VAN de S/.320.266,991 con una Tasa Interna de Retorno de 62%, siendo superior al costo del capital del 15% y un indicador beneficio/costo de 3,24.

Lo mencionado se sustenta con el aporte teórico de Pastor (2019) que el tipo de mantenimiento, se refiere en la aplicación que necesita la identificación de variables físicas como temperatura, vibración, consumo de energía, cambios en los cuales pueden indicar posibles problemas con los equipos y a medida que

avanza la tecnología, el mantenimiento se vuelve flexible, utilizando diferentes métodos, herramientas, es decir tener en cuenta que este tipo de mantenimiento es más técnico ya que requiere medios técnicos avanzados. El avance de las técnicas de mantenimiento, en especial el mantenimiento predictivo se encuentra integradas por las tecnologías habilitadas por la Industria 4.0 tales como el Internet de las Cosas (IO) puede ser posible realizar una supervisión de las líneas centradas en la reducción de actividades catastróficos o no planificados (Bachim et al., 2020). El mantenimiento predictivo posibilitado por la integración de múltiples sensores y técnicas de aprendizaje automático, es uno de los beneficios más pregonados de la cuarta revolución industrial, por lo consiguiente los medios tradicionales para determinarlos a través de medición física son procesos demorosos (Hernandez, 2020). Asimismo, Alhamad et al. (2021) sostuvieron que el mantenimiento preventivo, es crucial para muchas industrias de servicios y fabricación, mediante la aplicación rutinaria evita averías inesperadas de los equipos que no afectarían negativamente la confiabilidad de la cadena logística, sino que causarían pérdidas considerables, con una productividad reducida y una calidad deteriorada de los productos y servicios.

En otro estudio, resaltan que el mantenimiento preventivo de equipos es esencial para construir y mantener las instalaciones de fabricación robustas con el propósito de cubrir la demanda en un patrón confiable, donde la mayoría de las empresas enfrentan problemas ya sea para programar el tiempo de parada del equipo para el mantenimiento preventivo o con el propósito de reservar recursos de mantenimiento (Hourani, 2020). Un mantenimiento correctamente programado influye directamente en la vida útil de los equipos y su productividad especialmente para equipos complejos que trabajan en diversas condiciones y entornos hostiles, seguidamente que las tecnologías de la información están integrando en todos los aspectos de fabricación lo que está acelerando la industrias (Wang et al., 2020).

## VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó la situación actual de los equipos industriales del departamento de calderos, se demostró una disponibilidad 90%, la confiabilidad es del 92% y la mantenibilidad es 56%.
2. Se estudio el análisis de modo y efecto de fallas de los equipos del área de calderos, en base del análisis del NPR se tiene que los equipos del departamento de caldero presentan fallas inaceptables, entre ellos se refleja los ventiladores forzados C17 – C 20 y ventilador inducido - C 17 – C 20.
3. Se diseñó un plan de mantenimiento preventivo basado a los resultados, muestra una extensa perspectiva en relación a las fallas imprevistas, ante ello se ha identificado que las fallas más presentes ocurren en el área de calderos, lo cual ha permitido reconocer las razones que producen las falencias, con el propósito de mejorar el stock de repuestos y materiales.
4. Se analizó el beneficio/costo para la implementación del plan de mantenimiento preventivo, se obtuvo un indicador de 3,06 indicando que por cada 1.00 invertido se obtiene un beneficio de 2,06.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Ejecutar el plan de mantenimiento preventivo con el propósito de optimizar la disponibilidad de los equipos industriales en Trujillo.
2. Para contribuir a la mejora del stock de repuestos y materiales, en primera instancia se tiene que identificar las causas o motivos que producen aquellas falencias, lo cual según el estudio ejecutado es el área de calderos donde se originan dichas causas (ventiladores forzados C17 – C 20 y ventilador inducido - C 17 – C 20).
3. Evaluar las ventajas y desventajas del beneficio/costo para la implementación del plan de mantenimiento preventivo, pues se determinó que por cada 1.00 invertido se obtiene un beneficio de 2,06.
4. Llevar a cabo, investigaciones de esta índole, con referencia a los planes de mantenimiento, correspondiente a la mejora de la disponibilidad de los equipos industriales en la ciudad de Trujillo.

## REFERENCIAS

- Afriyuddin, C., Akmal, Y., Diky, H., & Erry, R. (2018). *Implementation of Total Productive Maintenance (Tpm) in the Application of Overall Equipment (Oee) in Pt.Xyz. International Journal of Innovative Science and Research Technology. ISSN No:-2456-2165 3(9)*. Obtenido de <https://ijisrt.com/wp-content/uploads/2018/09/IJISRT18SP118.pdf>
- Alhamad, K., Rym, M., & Lucas, C. (2021). *A Mathematical Program for Scheduling Preventive Maintenance of Cogeneration Plants with Production. Journals*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/math9141705>
- Amiri, S., Honavar, M., & Sadegheih, A. (2018). *Providing an integrated Model for Planning and Scheduling Energy Hubs and preventive maintenance. Energy*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.046>
- Arena, S., Floria, E., Orrú, P., & Sgarbossa, F. (2022). *A novel decision support system for managing predictive maintenance strategies based on machine learning approaches. Safety Science*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105529>
- Bampoula, X., Siartelis, G., Nikolakis, N., & Alexopoulos, K. (2021). *A Deep Learning Model for Predictive Maintenance in Cyber-Physical Production Systems Using LSTM Autoencoders*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/s21030972>
- Caballero, J., & Rosero, J. (2021). *Diagnóstico descentralizada de fallas entre espiras de motores de inducción basado en redes inalámbricas de sensores*. Obtenido de <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n216.88851>
- Calabrese, M. C., Fiume, F., Manfrin, M., Romeo, L., Ceccaci, S., Paolanti, M., . . . Carotta, A. (2020). *SOPHIA: An Event-Based IoT and Machine Learning Architecture for Predictive Maintenance in Industry 4.0. MDPI*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/info11040202>
- Carlos, O. (2018). *Las fábricas de coches invierten en 'big data' para ahorrar en*

- mantenimiento. Cinco Dias.* Obtenido de <https://www.proquest.com/newspapers/las-fábricas-de-coches-invierten-en-big-data-para/docview/1914921456/se-2?accountid=37408>
- Carls, F. (2019). *Evaluation of machine learning methods for anomaly detection in combined heat and power plant. Digitala Vetenskapliga Arkivet.* Obtenido de <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1337242&dswid=-1837>
- Correira, G., Da Silva, J., Fernandes, O., Casais, C., Silva, B., & Carvalh, J. (2020). *Implementing a maintenance strategic plan using TPM methodology. ACAAP.* Obtenido de <http://hdl.handle.net/10400.22/18994>
- Dueñas, R., & Villegas, L. (2020). *Computer science development and technologies associated with industry 4.0 applied to industrial maintenance in colombia. Journal of Physics: Conference Series, 1513(1).* Obtenido de <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1513/1/012002>
- Fernandez, S., Antunes, M., Rita, A., Barranca, J., Gomes, D., & Aguiar, R. (2020). *Forecasting Appliances Failures: A Machine-Learning Approach to Predictive Maintenance. Information.* Obtenido de <https://doi.org/10.3390/info11040208>
- Hernandez, R. (2020). *Habilitando Confiabilidad Digitalmente - Más allá del Mantenimiento Predictivo.* Obtenido de <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=144399529&lang=es&site=ehost-live>.
- Hourani, A. (2020). *Rescheduling Preventive Maintenance For Utilities Equipment Using Criticality Analysis. 2020 Industrial & Systems Engineering Conference.* Obtenido de [10.1109/ISEC49495.2020.9229946](https://doi.org/10.1109/ISEC49495.2020.9229946).
- Kanti, T., & Cudney, E. (2018). *Total productive maintenance. Total Quality Management & Business Excellence.* Obtenido de <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1438843>
- Kim, D., & Young. (2022). *Anomaly Detection with Feature Extraction Based on Machine Learning Using Hydraulic System IoT Sensor Data. Sensors.* Obtenido de <https://doi.org/10.3390/s22072479>
- M. Paolanti, L. R. (2018). *Machine Learning approach for Predictive Maintenance in Industry 4.0. Conferences.* Obtenido de

- <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8449150>
- Machalek, D., Tuttle, J., Andersson, K., & Powell, K. (2022). *Dynamic energy system modeling using hybrid physics-based and machine learning encoder–decoder models*. *Energy and AI*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2022.100172>
- Management Solutions. (2018). *Machien learning, una pieza clave en la transformación de los modelos d enegocio*. ManagementSolutions. Obtenido de <https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/esp/machine-learning.pdf>
- Mesa, J., Syokes, L., & Yang, Q. (2022). *MACHINE LEARNING FOR TEXT CLASSIFICATION IN BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS*. *Journal of Civil Engineering & Management*. Obtenido de <https://doi.org/10.3846/jcem.2022.16012>
- Miranda, R. (2018). *Calderas: Clasificación, usos y mecanismos de transferecia de calor*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Moat, G., & Coleman, S. (2021). *Survival Analysis and Predictive Maintenance Models for non-sensored Assets in Facilities Management*. *IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. Obtenido de <https://doi.org/10.1109/BigData52589.2021.9671625>.
- Murat, Z., Abdussalam, A., & Zeeshan. (2020). *Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4.0. Sustainability*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/su12198211>
- Murat, Z., Abdussalam, A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M., & Safaei, B. (2020). *Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4.0*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/su12198211>
- Oana, M. (2019). *On the Use of Predictive Models for Improving the Quality of Industrial Maintenance: an Analytical Literature Review of Maintenance Strategies*. *Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8860031>
- Ogie, K., Denny, H., Alfa, O., EL, H., & Erry, R. (2018). *An Analysis of Total*

- Productive Maintenance (TPM) using Total Production Ratio (TPR) Method on Aluminum Die Casting Products in PT XYZ. International Journal of Innovative Science and Research Technology.* Obtenido de <https://ijisrt.com/wp-content/uploads/2018/06/An-Analysis-of-Total-Productive-Maintenance-TPM-using-Total-Production-Ratio-TPR-Method-on-Aluminum-Die-Casting-Products-in-PT-XYZ-2.pdf>
- Paolanti, M., Romeo, L., Felicetti, A., Mancini, A., & Frontoni, E. (2018). *Machine Learning approach for Predictive Maintenance in Industry 4.0. 14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA).* Obtenido de 10.1109/MESA.2018.8449150.
- Pastor, C. (2019). *El mantenimiento como herramienta para conseguir infraestructura de alta calidad y durabilidad. BID .* Obtenido de [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El\\_mantenimiento\\_como\\_herramienta\\_para\\_conseguir\\_infraestructura\\_de\\_alta\\_calidad\\_y\\_durabilidad\\_es.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El_mantenimiento_como_herramienta_para_conseguir_infraestructura_de_alta_calidad_y_durabilidad_es.pdf)
- Pinto, G., Campilho, R., Casais, R., & Baptista, F. (2019). *Continuous improvement in maintenance: a case study in the automotive industry involving Lean tools. Procedia Manufacturing.* Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.127>
- Pon, P., & Kavitha, V. (2021). *Blockchain based cloud service security architecture with distributed machine learning for smart device traffic record transaction. Concurrency and Computation: Practice and Experience.* Obtenido de <https://doi.org/10.1002/cpe.6583>
- Qiushi, C., Zanni, C., Samet, A., Reich, C., Bertrand, F., Beckmann, A., & Giannetti, C. (2021). *KSPMI: A Knowledge-based System for Predictive Maintenance in Industry 4.0. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584521001617>
- Quiroga, H. (2021). *¿Qué es el mantenimiento inteligente?* Obtenido de <https://predictiva21.com/que-es-el-mantenimiento-inteligente/>
- Ren, Y. (2021). *Optimizing Predictive Maintenance With Machine Learning for Reliability Improvement. Risk Uncertainty Part .* Obtenido de

<https://doi.org/10.1115/1.4049525>

- Rojas, D. (2021). *Machine learning para mejorar la gestión de mantenimiento de maquinas industriales*. Universidad César Vallejo. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/85837/Rojas\\_BDP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/85837/Rojas_BDP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rojas, E. (2020). *Machine learning: Análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo*. *Revista Ibérica De Sistemas e Tecnologias De Informação*, , 586-599. Obtenido de <https://www.proquest.com/scholarly-journals/machine-learning-análisis-de-lenguajes/docview/2388304894/se-2>
- Salehabadi, N. (2021). *Maintenance Decision Support Procedures Based on Machine Learning*. Concordia. Obtenido de <https://spectrum.library.concordia.ca/id/eprint/990075/>
- Salman, K., Hwang, H., & Soo, H. (2021). *Real-World Data-Driven Machine-Learning-Based Optimal Sensor Selection Approach for Equipment Fault Detection in a Thermal Power Plant*. *Mathematics*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/math9212814>
- Sánchez, A. (2018). *Técnicas de mantenimiento predictivo. Metodología de aplicaciones en las organizaciones*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/151749409.pdf>
- Sanchez, J., Gómez, L., Alarcón, G., Martínez, F., & Belén, E. (2021). *Mantenimiento predictivo para el uso eficiente de agitadores industriales en destiladores y reactores*. *DYNA - Ingeniería e Industria*, [s. l.], v. 96, n. 1, p. 17–21. Obtenido de <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=147916943&lang=es&site=ehost-live>.
- Seiti, H., & Hafezalkotob, A. (2019). *Developing the R-TOPSIS methodology for risk-based preventive maintenance planning: A case study in rolling mill company*. *Computers & Industrial Engineering*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.012>
- Subha, S., Sudharsanan, T., Vijaya, V., & Padmakumar, M. (2019). *Overall Equipment Effectiveness (OEE) analysis and improvement in a spinning unit*. *International Journal of Applied Engineering Research*. Obtenido de

- [https://www.researchgate.net/profile/Padmakumar-Muthuswamy-2/publication/283782277\\_Overall\\_equipment\\_effectiveness\\_OEE\\_analysis\\_and\\_improvement\\_in\\_a\\_spinning\\_unit/links/62908f14c660ab61f8490fd1/Overall-equipment-effectiveness-OEE-analysis-and-improvement-](https://www.researchgate.net/profile/Padmakumar-Muthuswamy-2/publication/283782277_Overall_equipment_effectiveness_OEE_analysis_and_improvement_in_a_spinning_unit/links/62908f14c660ab61f8490fd1/Overall-equipment-effectiveness-OEE-analysis-and-improvement-)
- Sukma, D., Prabowo, H., Setiawan, I., Kurnia, H., & Fahturizal, M. (2022). *Implementation of Total Productive Maintenance to Improve Overall Equipment Effectiveness of Linear Accelerator Synergy Platform Cancer Therapy. International Journal of Engineering*. 32(7) 1246 - 1256. Obtenido de 10.5829/IJE.2022.35.07A.04
- Suyog, P., Rajkumar, B., & Patil, B. (2021). *Preventive maintenance plan to improve boiler availability. Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems*. Obtenido de <https://doi.org/10.1115/1.4049007>
- Suyon, P., Rajkumar, B., Patil, B., & Mellal, A. (2021). *Maintenance Data-Trends Based Reliability Availability and Maintainability (RAM) Assessment of a Steam Boiler*. Obtenido de <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003083177-15/maintenance-data-trends-based-reliability-availability-maintainability-ram-assessment-steam-boiler-suyog-patil-anand-bewoor-rajkumar-bhimgonda-patil-mohamed-arezki-mellal>
- Velmurung, K., Saravanasankar, S., & Bathrinath, S. (2022). *Smart maintenance management approach: Critical review of present practices and future trends in SMEs 4.0. MaterialstodayProceeding*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.622>
- Wang, N., Yang, L., Jun, W., & Huisingh, D. (2020). *An active preventive maintenance approach of complex equipment based on a novel product-service system operation mode. Journal of Cleaner Production*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123365>
- Westhuizen, V., & Gorchach, I. (2021). *Optimización del rendimiento del control de calderas de carbón utilizando el entorno de simulación Flownex® y la IA*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.17159/2309-8988/2019/v37a2>
- Young, C., Lee, J., & Yang, J. (2022). *Development of a service parts recommendation system using clustering and classification of machine learning. Expert Systems with Applications*. Obtenido de

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116084>

ZHu, C., Li, Z., Zhang, H., & Ding, T. (2022). *Carbon Emission Prediction of Thermal Power Plants Based on Machine Learning Techniques*. Publisher.

Obtenido de 1109/CEEPE55110.2022.9783417

## ANEXOS

### Anexo 1A

#### Matriz de operacionalización

VARIABLE	Definición conceptual	Definición operacional	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	ESCALA
Plan de mantenimiento preventivo.	Consta en las intervenciones que previenen las averías y disminuyen la probabilidad de que un activo falle, refiriéndose en un tipo de mantenimiento planificado que se realiza incluso cuando un equipo mantiene su capacidad operativa (Hoyos, 2020).	El plan de mantenimiento preventivo, será medido por el tiempo medio de un activo (MTBF), el tiempo medio de la máquina (MTTR), tasa de fallas y tasa de reparación.	MTBF	Tiempo medio de un activo de cada parada por fallo o avería operacional, (frecuencia con que ocurre cada parada).	Tpo. total de operación Nro. de fallas	<b>Razón</b>
			MTTR	Tiempo medio que la máquina esta inoperativa hasta haber reparado la falla o avería del equipo.	Tpo. total de reparación Nro. de fallas	
			Taza de fallas	También llamado ratio Fallas/H.	$\mu = \frac{1}{MTBF}$	
			Taza de reparación	También llamado ratio (N° Veces)/H	$1/\mu = MTTR$	

Fuente. Elaborado por los investigadores.

## Anexo 1B

### Matriz de operacionalización

VARIABLE	Definición conceptual	Definición operacional	Disponibilidad	INDICADOR	ESCALA
Disponibilidad de los equipos.	Comprende en una métrica que evalúa el rendimiento de los elementos que realizan una función determinada, en un momento determinado, durante un período determinado, en función de los criterios de confiabilidad, mantenibilidad y soporte para el mantenimiento de los equipos (Tasé et al., 2020, p.26).	La disponibilidad de los equipos, será medido en base de la confiabilidad, disponibilidad y la mantenibilidad.	Confiabilidad	$R_t = e^{-\lambda t}$ $- \lambda * t$ $R_t = e^{-\lambda t} * 100$	RAZÓN
			Disponibilidad	MTBF $D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$	
			Mantenibilidad	$- \lambda * t$ $Mt = 1 - e^{-\lambda t} * 100$	

## Anexo 2. Galería de fotos



**Fotografía del Caldero**



**Caldero Operativo**



**Ejecución del mantenimiento del caldero**

### Anexo 3. Orden de trabajo de mantenimiento

<b>ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO N°: _____</b>		<b>CÓDIGO: PAL-MTT-046</b>					
		<b>VERSIÓN: 1.01</b>					
		<b>FECHA APRO:</b>					
<b>I .DATOS DEL EQUIPO Y DE LA ACTIVIDAD</b>							
<b>EQUIPO</b>		<b>TIPO DE OT</b>	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">M.PROGRAMADO</td> <td style="text-align: center;">M.NO PROGRAMADO</td> </tr> </table>			M.PROGRAMADO	M.NO PROGRAMADO
M.PROGRAMADO	M.NO PROGRAMADO						
<b>HOROMETRO</b>		<b>PRIORIDAD</b>					
<b>KILOMETRAJE</b>		<b>SISTEMA DEL EQUIPO</b>					
<b>UNIDAD MINERA</b>		MOTOR	ELECTRICO	TRANSMISION	CABINA		
<b>NOMBRE W.</b>		SUSPENSION	BASTIDOR	HIDRAULICO			
<b>PLANNER:</b>		FRENOS	TOLVA	NEUMATICO			
<b>II. FECHAS Y TIEMPOS</b>							
		<b>FECHA DE EMISION</b>					
<b>FECHA DE INICIO PROYECTADO.</b>		<b>F. INICIO REALIZADA</b>		<b>HORA INICIAL:</b>			
<b>FECHA DE TERMINO PROY.</b>		<b>F. TERMINO REALIZADA</b>		<b>HORA TERMINO:</b>			
				<b>DURACION ESTIMADA</b>			
<b>IV DESCRIPCION DEL TRABAJO</b>							
No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	REPUESTO O INSUMO	T. ESTIMADO	T. REAL	M.R MP M.PR	% DE CUMPLIMIENTO
1							
2							
3							
4							
5							
6							
5							
6							
7							
	<b>Total del tiempo</b>				0		
<b>VI. PERSONAL REQUERIDO.</b>							
<b>NOMBRE</b>		<b>TRABAJOS REALIZADOS</b>		<b>OBSERVACION PARRA RQ.</b>			
<b>VII. OBSERVACIONES Y BACKLOG</b>							

<b>CAUSA DEL INCUMPLIMIENTO</b>	LOGISTICO	MANO DE OBRA	OPERACION	OTROS:
<b>III. RESPONSABLES</b>				
NOMBRE Y FIRMA RESPONSABLE:				
		VERIFICADO POR:		
<b>POSTERGACION DE LA OT, NOMBRE Y FIRMA DEL RESPONSABLE:</b>				
LEYENDA: M.R (Mantto reactivo) - M.P (M. Programado) - M.PR (Mantto. Preventivo)				

#### Anexo 4. Programa de mantenimiento

EQUIPO	MARCA	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	ESPECIFICACIONES	F	MATERIALES	PERSONAL	TIEMPO	EJECUCION
CALDERO	INTESA	1 Limpieza del Caldero	Limpieza externa del caldero, despolvORIZACION	D	Waipe, Agua, trapo	1 operario o técnico del área	30 min	REALIZADO
CALDERO	INTESA	2 Mantenimiento a Filtros de Combustible	Limpieza de filtros, lavado de malla metálica, Cambio de filtros de combustible y pruebas.	M	gasolina, cambio de filtros,	1 operario o técnico del área	30 min	REALIZADO
CALDERO	INTESA	3 Ajustes Electromecánicos en General	Ajustes eléctricos Ajustes mecánicos, ajustes de las borneas	D	Juego de llaves, llave francesa, herramientas	2 operario o técnico del área	60 min	REALIZADO
CALDERO	INTESA	4 Mantenimiento a Sistema de Alimentación de Combustible	Limpieza, ajustes a estructura	T	Waipe y materiales de limpieza Herramientas mecánicas	2 operario o técnico del área	180 min	REALIZADO
CALDERO	INTESA	5 Mantenimiento a Sistema de Alimentación de Agua y Dosificador	Test químico, prueba de alcalinidad, y ph	M	Herramientas mecánicas, instrumento de prueba química	1 operario o técnico del área	30 min	REALIZADO
CALDERO	INTESA	6 Mantenimiento a Sistema de Seguridad (Presostato, Electrodo de Nivel y de Seguridad, Válvulas de descarga de vapor)	pruebas en vacío y con carga programada	M	Herramientas mecánicas, llaves para ajustes	1 operario o técnico del área	30 min	REALIZADO
CALDERO	INTESA	7 Regulación y Calibración de gases de combustión. Regulación y calibración de parámetros de operación.	Análisis de gases y verificación de sensor de temperatura	T	Instrumentos de medición, analizador de gases, sensor de temperatura y herramientas	1 personal por tercero (contratación)	6 hrs ( de acuerdo a terceros)	POR PROGRAMAR
CALDERO	INTESA	8 Mantenimiento a Quemador y sistema de atomización. Mantenimiento a sistema de encendido. Mantenimiento a Sistema de Ventilación.	Calibración con llaves al sistema de ventilación, verificación, revisión y ajustes del sistema de encendido y quemador, y sistema de automatización	ST	Herramientas mecánicas, llaves para la calibración	2 miembros de empresa tercerizada	24 hrs ( de acuerdo a terceros)	POR PROGRAMAR
CALDERO	INTESA	9 Mantenimiento Interno de la Caldera (Varillado y Limpieza de tubos, Lavado con alta presión y retirar incrustaciones; Resane de partes de la pared refractaria que estén en mal estado).	Lavado químico para desincrustar el kaliche, estudios químicos al agua, placas, prueba de tinte.	ST	escobilla acerada, tinte placas	2 miembros de empresa tercerizada	36 hrs ( de acuerdo a terceros)	POR PROGRAMAR



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, SIALER DIAZ CESAR DANY, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los calderos", cuyos autores son LEON FLORES SANTOS EDUARDO, HUARIPATA BARDALES JACK LEE, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 21.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 07 de Diciembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
SIALER DIAZ CESAR DANY <b>DNI:</b> 16731363 <b>ORCID:</b> 0000-0002-7430-9524	Firmado electrónicamente por: SIALERDC el 20-12- 2022 16:37:56

Código documento Trilce: TRI - 0477628