

**Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo para una Caldera Vr de 700  
BHP en la Compañía Proteicol**

Laura V. Murcia y Cesar D. Cantor

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI, Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Msc. Fred Geovanny Murillo Rondón

Bogotá D.C, Colombia

2021

**Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo para una Caldera Vr de 700**

**BHP en la Compañía Proteicol**

Laura Vanessa Murcia Caamaño – 27757

Cesar David Cantor Rodríguez – 19809

Dirección de Posgrados, Universidad ECCI, Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Msc. Fred Geovanny Murillo Rondón

Bogotá D.C, Colombia

2021

## **Dedicatoria**

Darle principalmente gracias a Dios por brindarnos fuerzas para seguir adelante, por guiarnos en este proceso y así obtener uno de los mejores deseos de nuestras vidas.

A nuestros padres y hermanos por darnos apoyo incondicional, por el amor que en cada momento nos transmiten y la confianza que depositan en nosotros

A nuestros compañeros de clases y de proyecto con los que compartimos momentos y nos llenamos mutuamente de conocimientos, igualmente a nuestros docentes que cada día nos brindaban sabiduría y nos enseñaban de sus experiencias.

## **Agradecimientos**

Agradecemos enormemente a la Universidad Ecci por el apoyo, por hacer de nosotros ingenieros de valores éticos y morales. Por formar en nosotros personas de bien

A nuestras familias ya que son la razón de nuestras vidas y darnos apoyo en los momentos más duros.

A cada una de las personas que estuvieron con nosotros en todo este camino y proceso.

## Índice Contenido

1.	Introducción.....	13
2.	Título.....	13
3.	Problema de Investigación.....	13
3.1	Descripción del problema.....	13
3.2	Formulación del problema.....	15
3.2.1	Sistematización del Problema.....	15
4.	Objetivos.....	15
4.1	Objetivo general.....	15
4.2	Objetivos específicos.....	15
5.	Justificación y Delimitación.....	16
5.1	Justificación.....	16
5.2	Delimitación.....	16
	.....	17
6.	Marco de referencias.....	17
6.1	Estado del arte.....	17
6.1.1	Nacionales.....	17
6.1.2	Internacionales.....	20
7.	Marco Teórico.....	24
7.1	Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).....	24

7.2.	Mantenimiento.....	26
7.2.1	Mantenimiento Correctivo.....	26
7.2.2	Mantenimiento Preventivo.....	26
7.2.3	Mantenimiento Predictivo.....	26
7.2.4	Mantenimiento Cero Horas (Overhaul).....	27
7.2.5	Mantenimiento En Uso.....	27
7.2.6	Modelo Correctivo.....	27
7.2.7	Modelo Condicional.....	27
7.2.8	Modelo Sistemático.....	28
7.2.9	Modelo de Mantenimiento de Alta Disponibilidad.....	28
7.3	Definición de Calderas .....	29
7.3.1	Funcionamiento de la caldera.....	29
7.4	Definiciones importantes.....	30
7.4.1	Criticidad.....	30
7.4.2	Matriz de criticidad.....	30
7.4.3	Efecto de falla.....	30
7.4.4	Juicio de expertos.....	30
7.4.5	Fiabilidad.....	31
7.4.6	Confiabilidad.....	31
7.4.7	Jerarquización.....	31

7.4.7	Tiempo medio entre fallas (MTBF) .....	31
7.4.8	Tiempo medio de reparación (MTTR) .....	31
8.	Marco legal. ....	32
9.	Marco Metodológico.....	33
9.1	Metodología. ....	33
9.2	Recolecciones de datos.....	34
9.2.1	Fuentes Primarias. ....	34
9.2.2	Fuentes Secundarias. ....	34
9.2.3	Herramientas. ....	34
9.2.4	Cronograma. ....	34
10.	Recopilación de la Información .....	35
10.1	Especificaciones de la caldera .....	35
10.1.1	Elementos de la caldera.....	36
11.	Solución de Objetivos .....	44
11.1	Solución objetivo específico No. 1 .....	44
11.1.1	Encuesta al personal .....	44
11.1.2	Mantenimiento actual de la caldera.....	48
11.2	Solución objetivo específico No. 2 .....	50
11.3	Solución objetivo específico No. 3 .....	52
11.4	Solución objetivo específico No. 4 .....	55

12.	Análisis Financiero .....	61
12.1	Inversión .....	61
12.2	Proyección de costos .....	63
12.3	Cálculo de beneficio por mantenimiento preventivo.....	65
12.4	Análisis de costo beneficio .....	66
13.	Conclusiones y Recomendaciones.....	66
14.	Referencias Bibliográficas .....	67



## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación instalaciones Proteicol Colombia .....	17
Ilustración 2: Cronograma .....	35
Ilustración 3: Hogar .....	37
Ilustración 4: Parrilla viajera.....	38
Ilustración 5: Filtros de mangas .....	38
Ilustración 6: Ciclón.....	39
Ilustración 7: Tornillo húmedo .....	40
Ilustración 8: Deshollinador.....	40
Ilustración 9: Chimenea .....	41
Ilustración 10: Ventilador tiro forzado .....	42
Ilustración 11: Ventilador tiro inducido.....	42
Ilustración 12: Caldera VR 700 BHP parte frontal .....	43
Ilustración 13: Caldera VR 700 BHP parte trasera.....	43
Ilustración 14: Encuesta caldera VR 700 BHP .....	44
Ilustración 15: Ejemplo matriz criticidad equipo caldera VR 2 .....	59

## Índice de Graficas

Gráfica 2: ¿Conoce usted el principio de funcionamiento de la caldera?.....	45
Gráfica 3: ¿Conoce el programa actual de mantenimiento de la caldera? .....	46
Gráfica 4: ¿Qué tipo de mantenimiento considera que es el más adecuado para la caldera? .....	46
Gráfica 5: ¿Cuál cree que es la falla más recurrente de la caldera?.....	47
Gráfica 6: ¿Cómo considera la rotación de repuestos para la manutención de la caldera? .....	47
Gráfica 7: Amef actual.....	50
Gráfica 8: Amef esperada .....	51
Gráfica 9: Tiempo medio de reparación .....	54
Gráfica 10: Tiempo medio entre fallas .....	55

## Índice de Tablas

Tabla 1: Hoja de vida del activo .....	36
Tabla 2: Mantenimiento rutinario actua.....	49
Tabla 3: Calculo MTTR y MTBF por activo.....	53
Tabla 4: Ponderación frecuencia de fallas .....	56
Tabla 5: Ponderación impacto en la producción.....	57
Tabla 6: Ponderación seguridad y salud .....	57
Tabla 7: Ponderación costos de reparación.....	57
Tabla 8: Ponderación tiempo de reparación.....	57
Tabla 9: Ponderación tiempo de operación.....	58
Tabla 10: Matriz de criticidad.....	58
Tabla 11: Calculo criticidad.....	60
Tabla 12: Inversión .....	62
Tabla 13: Estimación de costos.....	64
Tabla 14: Proyección por el tipo de horas fraccionadas .....	65

## **Índice de Anexos**

Anexo 1: Analisis AMEF.xlsx.....	51
Anexo 2: MTTR-MTBF.xlsx.....	55
Anexo 3: Analisis Criticidad.xlsx.....	59
Anexo 4: Cronograma Mantenimiento.xlsx.....	67
Anexo 5: Cartas de Lubricacion.xlsx.....	67

## **1. Introducción.**

Hoy en día, hacer un buen plan de mantenimiento preventivo es importante para cualquier tipo de empresa o compañía, ya que con este plan se garantiza que el equipo funcione adecuadamente y que preste la mejor disponibilidad para ser utilizado.

El mantenimiento preventivo se puede basar en ajustes, análisis, verificaciones, inspecciones, verificaciones, limpieza e.t.c en el cual se realiza de forma planificada para evitar fallas en algún sistema, así mismo es un arma importante en la seguridad laboral ya que un de los porcentajes más altos de accidentes son causados por defectos en estos. El orden, la limpieza y la iluminación también hacen parte de un adecuado mantenimiento.

En el presente trabajo se planteará un plan de mantenimiento preventivo en la compañía Proteicol ubicada en el kilómetro 14 vía Bogotá – Sylvania con el fin de alargar la vida útil del equipo, también aumentar su confiabilidad y disponibilidad tomando en cuenta sus condiciones.

## **2. Título.**

Propuesta de un Plan de Mantenimiento para una Caldera Vr en la compañía Proteicol

## **3. Problema de Investigación.**

### **3.1 Descripción del problema.**

Proteicol es una empresa multinacional que tuvo inicios en 1939 es una historia familiar que ha traspasado generaciones y fronteras geográficas y a lo largo de los años ha traído consigo otras muchas empresas familiares que comparten los mismos valores y que están bien establecidos en sus respectivas comunidades en Canadá y estados unidos.

La empresa ha mostrado un crecimiento con rapidez durante el periodo de las guerras mundiales, inicialmente se hicieron varios negocios con la industria agrícola, pero con el tiempo se ha adaptado aun mundo con constantes cambios. Proteicol ha experimentado un tremendo crecimiento desde sus inicios y ahora se considera un líder en la industria de extracción de sebo en América del norte.

La empresa se diversifico y empezó explorar nichos extremadamente especializados e innovadores como el procesamiento de materiales con riesgos específicos bajo el liderazgo de la tercera generación de pioneros e innovadores. La compañía continúa llevando su misión ambiental y explorando nuevos rumbos, redefiniendo los límites y vocación de su industria, sin dejar de ser fiel a su objetivo ambiental: recupera, reutilizar y retornar.

Para el caso de estudio, se encuentra ubicado en la planta Proteicol sede Bogotá en la planta de generación de vapor, esta planta cuenta con 2 calderas VR modelo 600 H3P 165 con una potencia de 600 bhp de 3 pasos con combustible de carbón donde específicamente la caldera JCT1 cuenta con un ventilador inducido modelo BSC 300 SWSI el cual cuenta con un motor eléctrico WEG 3F 6HP 1800 RPM, cuya función es la expulsión de humos del hogar de combustión mediante la entrada o inyección del aire del ambiente esto con el fin de garantizar la combustión idónea de la caldera, este activo tiene una importante participación durante la producción de vapor.

Al día de hoy el equipo cuenta con un único plan mantenimiento rutinario, ajuste estructural y de tornillería, lubricación de bujes, limpieza de parrilla viejera y aseo en general. Este mantenimiento es básico y ha hecho que los mantenimientos correctivos aumenten significativamente.

### **3.2 Formulación del problema.**

¿Qué efectos tendría la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para una caldera VR DE 700 BHP bajo valores de confiabilidad?

#### ***3.2.1 Sistematización del Problema.***

- ¿Cuáles son las metodologías aplicables para el mantenimiento de la caldera?
- ¿Cómo implementar los procedimientos para la metodología del mantenimiento elegido?

## **4. Objetivos.**

### **4.1 Objetivo general.**

Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para la caldera VR 700 BHP en la compañía Proteicol.

### **4.2 Objetivos específicos.**

1. Diagnosticar los métodos actuales de mantenimiento que emplea la compañía para la caldera.
2. Elaboración de análisis de modo y efecto de falla
3. Cálculo de tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR)
4. Cálculo de índice de criticidad de los activos que componen la caldera.

## **5. Justificación y Delimitación.**

### **5.1 Justificación.**

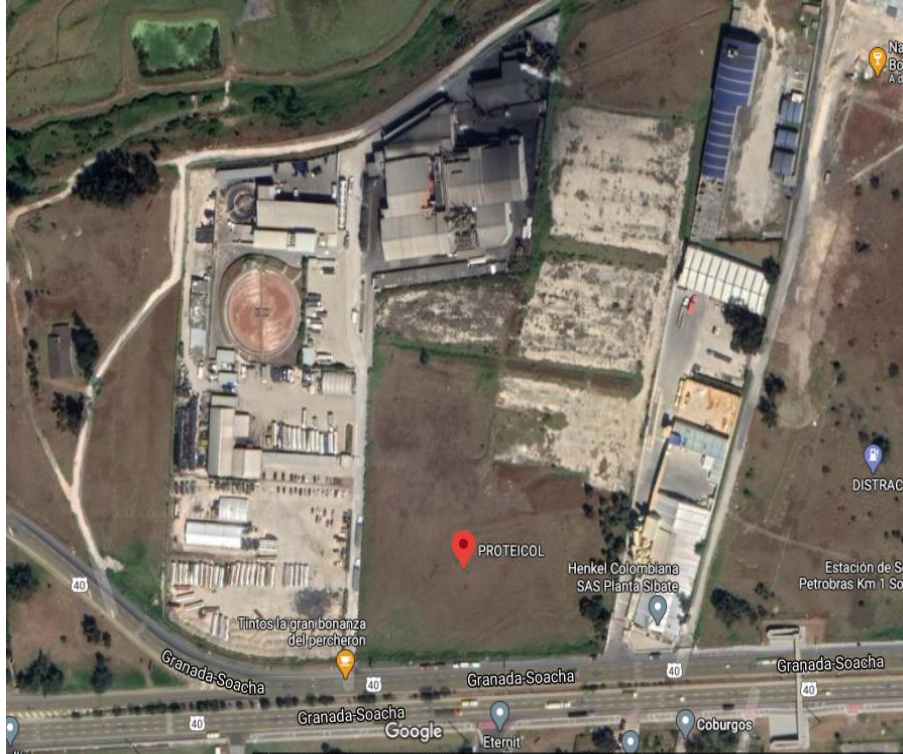
Así como para el cuerpo humano los exámenes periódicos son esenciales para prolongar la vida. Un mantenimiento regular es esencial para mantener la seguridad y la confiabilidad de los equipos también ayudan a eliminar los riesgos laborales. La falta de un mantenimiento o un mantenimiento inadecuado puede provocar situaciones peligrosas, accidentes y problemas de salud para los equipos. El mantenimiento es una actividad de alto riesgo, debe ser realizado de una forma segura, es decir, todo profesional tiene que estar capacitado.

Las actividades de mantenimiento que actualmente se están ejecutando para el equipo analizado se comprende ajuste estructural y de tornillería, lubricación de bujes, limpieza de parrilla viejera y aseo en general, aun con estas intervenciones se presentan paros del equipo por averías y alto impacto en líneas productivas por su pérdida de disponibilidad, mostrando las dificultades que actualmente se tiene queremos desarrollar en nuestro proyecto de investigación los posibles resultados y los beneficios indirectos a nuestros objetivos principales, esta implementación traerá consigo beneficios importantes en el área de mantenimiento como lo podrían ser la reducción de mano de obra, disminución de averías, aumento de disponibilidad, aumento de confiabilidad, reducción de costos directos de reparaciones, estandarización de las ejecuciones mediante tareas

### **5.2 Delimitación.**

Este proyecto de investigación se aplicará dentro de las instalaciones de la empresa Proteicol sede Bogotá la cual se encuentra ubicada en kilómetro 14 vía Silvania





*Ilustración 1: Ubicación instalaciones Proteicol Colombia*

## **6. Marco de referencias.**

### **6.1 Estado del arte.**

A continuación, se presentan diferentes investigaciones dadas al problema de investigación tanto nacionales como internacionales.

#### **6.1.1 Nacionales.**

*Martinez (2014) “Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional”*

Propone una forma de utilizar tecnologías existentes de mantenimiento basado en confiabilidad, el monitoreo a condición y el análisis de riesgo aplicada a equipos eléctricos del Sistema de Transmisión Nacional en empresas del sector eléctrico con el fin de programar las actividades de mantenimiento requeridas por los equipos. Esto se logra utilizando como base para

el análisis la metodología de Mantenimiento Centrado en, el cual entrega como resultado los modos de falla y las tareas para evitar que estos ocurran; una vez definidas las tareas se analiza la posibilidad de incorporar tecnologías de diagnóstico en línea o fuera de ella, para determinar la prioridad de realizar una acción de mantenimiento. La prioridad es definida a partir de un análisis de riesgo y criticidad, el riesgo combina la probabilidad de ocurrencia de un modo de falla, la consecuencia y la facilidad de detección entregado por la condición; la criticidad se calcula a partir del impacto en la prestación del servicio y la clasificación dada por un estudio de la UPME para las subestaciones del sistema Colombiano. La probabilidad de ocurrencia es valorada a partir del histórico de modos de falla, identificados en el estudio de RCM y las consecuencias son valoradas considerando aspectos de continuidad del servicio, seguridad de las personas, el impacto al medio ambiente y los costos de reparación.

***Valdes & San Martín (2009) “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo-predictivo aplicado a los equipos de la empresa Remaplast”***

la empresa tiene la necesidad de diseñar e implementar un plan de mantenimiento que sea adecuado a sus equipos, herramientas y procesos, permitiéndole mantener su maquinaria en un estado óptimo para sus procesos de producción, consiguiendo así, satisfacer de una manera eficaz y eficiente su demanda de producción y asegurando un mayor control en sus procesos con un objetivo general de diseñar un plan de mantenimiento preventivo-predictivo aplicado a los equipos de la empresa que optimice el funcionamiento de los equipos y disminuye el tiempo de ocio de estos.

Para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo y predictivo se empieza por realizar un estudio detallado de la situación actual de esta con respecto al mantenimiento de los equipos de producción para poder establecer cuales los problemas específicos que presenta la

empresa en la organización del mantenimiento de los equipos, luego se procede a listar cuales son las actividades críticas en el mantenimiento de los equipos para poder establecer con claridad cuáles son las actividades que se van a incluir en el plan de mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos que intervienen en el proceso de producción.

***Vega (2009) “Diseño de estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad e inspección basada en riesgo para la línea crítica de producción de la planta para concentrados de la empresa Itacol”***

Los equipos de la línea crítica deben brindar una eficaz confiabilidad a la producción, por lo cual necesitan un programa de mantenimiento que permita disminuir las posibles fallas aumentando la disponibilidad de los mismos. Por lo cual se plantea la necesidad de aplicar un programa de mantenimiento basado en Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y en la metodología de inspección basado en el riesgo,. Con las estrategias se pretende reducir costos de mantenimiento, implementar procedimientos estandarizados para cada componente de la línea crítica, reducir el tiempo de mantenimiento y aumentar la eficiencia de los equipos y por consiguiente elevar la productividad de la producción.

***Gómez (2006) “Desarrollo del mantenimiento preventivo en los equipos de producción de la compañía Pavco de occidente Ltda soportado mediante el software infomante”***

La gestión del mantenimiento supone no sólo una parte importante del presupuesto de las compañías, sino que además se hace fundamental para conseguir la eficiencia de los equipos y por tanto del proceso productivo. Además, la creciente competitividad hace que las fábricas necesiten disponer de gran flexibilidad y cortos tiempos de respuesta.

Las técnicas aplicadas al mantenimiento han evolucionado y se han logrado nueva herramientas básicas; entre otras los sistemas de información, capaces de facilitar la toma de

decisiones a través de programas de mantenimiento que ayudan a la administración del mantenimiento teniendo en cuenta tres pilares fundamentales como son la planificación, la ejecución y el control. Con estos se puede lograr un exitoso desarrollo de un mantenimiento preventivo para no solo asegurar la disponibilidad de máquinas, edificios y servicios de los mismos que se necesitan en la organización para el desarrollo y cumplimiento de su misión.

***López (2007) “Diseño e implementación del análisis proactivo de fallas en equipos médicos mediante infomante en la fundación Valle del Lili”***

En este trabajo se realizara la implementación del análisis proactivo de fallas en las labores de mantenimiento efectuadas en los equipos médicos de la Fundación Valle del Lili, la implementación se realizara bajo el sistema de información para mantenimiento por computador “infomante”, este sistema es el encargado de almacenar y administrar toda la información concerniente a los equipos manejados en las institución.

Las tareas de mantenimiento son las intervenciones tanto sistemáticas como correctivas que se deben ejecutar a un equipo o sistema. Estas tareas se deben definir correcta y detalladamente para poder realizar el análisis de falla posterior.

### ***6.1.2 Internacionales.***

***Linares (2012) “Del mantenimiento correctivo al mantenimiento centrado en la confiabilidad”***

Toda empresa necesita realizar un mantenimiento adecuado al proceso productivo y no se debe utilizarse el sistema aplicado en otra entidad sin los ajustes requeridos por las modalidades propias de cada una de ellas. Para ello se deberán tener en cuenta tanto los aspectos técnicos como los relacionados a la gestión y la organización, considerando factores económicos de seguridad y medio ambiente.

Los métodos de mejora continua que incorpore mantenimiento en sus distintas etapas de crecimiento deben adecuarse automáticamente a cada fase de desarrollo, optimizando dicho servicio, Cuba desarrolla la gestión del mantenimiento y la aplicación futura de las modernas concepciones, en un sistema integrado acorde a las condiciones actuales del país.

Aguilera, Torres & Magaña (2010) “Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad”

La planeación del mantenimiento viene cambiando en nuestros días a fin de incorporar criterios de riesgo y confiabilidad, de manera que además de asegurar un impacto de las acciones de mantenimiento en el rendimiento de los activos, se tenga un impacto en la seguridad al disminuir, evaluar y controlar el riesgo. Motivo de esto, se ha empleado un análisis de riesgo, aplicando la metodología de análisis de modos de falla, efectos y criticidad con objeto de identificar los modos de falla que representan un mayor riesgo, para posteriormente seleccionar la mejor tarea de mantenimiento, ya sea preventiva, predictiva, correctiva o en su caso acciones adicionales o complementarias.

Los modos de falla de mayor riesgo, son enviados a un proceso de selección de tareas de mantenimiento detallado, mientras que los modos de falla de medio y bajo riesgo, son tratados con un proceso genérico. Esto permite identificar las áreas donde el mantenimiento tendrá una mejor oportunidad para impactar la seguridad y confiabilidad de la instalación. Esto permite también, optimizar los recursos ya que la planeación del mantenimiento cambia al ser ahora enfocada en los modos de falla derivados de un análisis funcional y no enfocada en los equipos, es decir, el plan es por modo de falla y no por equipo. La incorporación de criterios de riesgo y confiabilidad en la planeación del mantenimiento es una tendencia global, que requiere la incorporación no solo de

nuevas tecnologías en el proceso de mantenimiento sino en la planeación misma del mantenimiento.

***Fernández (2017) “Aplicación de la herramienta AMEF para mejorar la productividad de la línea HC-1 de yogurt en una empresa láctea”***

La aplicación de la herramienta AMEF mejora la productividad de la línea HC-1 de Yogurt en una empresa Láctea, estableciendo las acciones preventivas adecuadas para el tratamiento de los defectos detectados por materiales y máquinas durante el envasado de Yogurt.

La población de estudio se compone de las producciones durante el período de 12 semanas antes y después de la medida de mis indicadores aplicados a la línea HC-1 y según el tipo de investigación la muestra para la medición de los indicadores está en su totalidad a la población.

El diseño de la tesis es de tipo cuasi experimental, que consiste en manipular la variable Independiente para observar su efecto en la variable dependiente.

***Martínez (2013) “Diseño de un plan de mantenimiento para un equipo de alta fiabilidad”***

La sociedad actual requiere que cada vez más existan procesos industriales en los que se debe garantizar la máxima disponibilidad de los sistemas y, a la vez, que exista el mínimo número de incidencias que eviten la indisponibilidad del proceso, se desarrolla un plan de mantenimiento de un equipo de alta fiabilidad, como es el caso de una central hidroeléctrica, en la que la disponibilidad instantánea y la fiabilidad son cruciales en su funcionamiento.

***Alban (2017) “Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad de las maquinarias en la empresa Construcciones Reyes S.R.L. para implementar la productividad”***

Es una empresa dedicada a la fabricación, reparación y ofrece otros servicios a la industria petrolera, pesquera y minera y no cuenta con una línea de producción definida, pero en el proceso

del desarrollo de sus actividades de producción se presentan continuamente fallas y averías por motivo de un inadecuado sistema de mantenimiento ocasionando pérdidas económicas, de tiempo, de producción y acorta el tiempo de vida de las máquinas, puesto que, frecuentemente la carga de trabajo no se puede llevar en paralelo con el estado de operatividad de las máquinas, se les exige trabajar aún con sus fallas y avería que presentan en su momento. Esto busca aumentar la satisfacción de nuestros clientes, garantizando la calidad de nuestros productos y la atención oportuna de sus necesidades a través de la mejora de nuestra capacidad de repuesta.

***Rey (2014) “Elaboración y optimización de un plan de mantenimiento preventivo”***

Incluir en un plan de mantenimiento preventivo en función de una serie de variables relacionadas con las características de la empresa y del sistema de producción.

El objetivo de las tareas de mantenimiento preventivo que se van a aplicar sobre los componentes de un determinado sistema de producción es “mantener la funcionalidad” de dicho sistema.

***Magaña & Cumea (2015) “Propuesta de una estrategia de mantenimiento utilizando RCM”***

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), fue presentado para apoyar la toma de decisiones en la selección de los trabajos de mantenimiento, basado en la aplicación de una secuencia de tareas. En este estudio se presenta el concepto del MCC y un análisis sobre casos de aplicación que son considerandos para una propuesta en un proyecto de ingeniería real en la industria de generación eléctrica. La investigación propone implementar una metodología para la aplicación del MCC en una central eléctrica. Las fallas en el proceso de producción de energía eléctrica pueden provocar pérdidas económicas, peligro para los operadores e

inconvenientes para los usuarios, por tal motivo, la necesidad de desarrollar un programa de mantenimiento enfocado a la predicción de fallas es fundamental.

## 7. Marco Teórico.

### 7.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

Tuvo su inicio hace más de 25 años en industrias aéreas, a través del análisis de las políticas de mantenimiento de la aviación civil. A principios de los años 1970, los primeros conceptos de la RCM fueron desarrollados y documentados en trabajos científicos, expandiéndose entonces a las más diversas ramas de actividades.

El RCM es un método estructurado para establecer la mejor estrategia de mantenimiento, con el objetivo de definir un proceso sistemático de análisis que garantice la confiabilidad y seguridad de la operación del equipo con el menor costo posible.

Los siete pasos principales para realizar un análisis de RCM son los siguientes:

**Paso 1- Desarrollar Objetivos Operacionales:** Determinar lo que los usuarios quieren hacer y asegurar que es capaz de hacer lo que sus usuarios quieren.

**Paso 2 – Identificar Funciones:** Definir las funciones de cada recurso en su contexto operativo junto a su norma de rendimiento las cuales se agrupan en dos; una función primaria la cual cubre aspectos como la velocidad, rendimiento, capacidad de almacenamiento o traslado calidad del producto y servicio del cliente.

La función secundaria la cual es simplemente es completar sus funciones primarias adicionando la mejor posición por saber exactamente que contribución hace cada recurso al bienestar físico y financiero de la organización



**Paso 3 – Identificar Fallas Funcionales:** El mantenimiento logra los objetivos adoptando un enfoque conveniente de la gestión de la falla la cual necesita identificar que fallas pueden ocurrir y hay dos niveles en el proceso de RCM, el primero identifica que circunstancias suman hacia un estado de falla. El segundo pregunta que puede causar que el recurso entre en estado de falla.

**Paso 4 – Determinar Modos de Falla y Efectos:** El modo de falla es la identificación de todos los eventos que son probables que causen cada uno de los estados de las fallas. Estas fallas generalmente son causadas por deterioro o por desgaste anormal de la máquina, pero también incluye fallas causadas por errores humanos.

Los efectos de falla vinculan una lista de fallas que describe lo que pasa cuando ocurre cada modo de falla, es identificar funciones, fallas funcionales y los modos de fallas.

**Paso 5 – Identificar Equipos y Sistemas con Historial de Poca Confiabilidad:** Se debe presentar un registro de equipos e informar si existen o no y cuales están sujetos al proceso de RCM

**Paso 6 – Desarrollar Recomendaciones de Tareas:** Decidir que recursos probablemente se beneficiaran del proceso de RCM y de que manera se beneficiaran.

Evaluar las fuentes exigidas para aplicar el proceso de los recursos seleccionados.

Decidir quién auditará cada análisis, cuando y donde para así recibir el entrenamiento apropiado

**Paso 7 – Identificar Problemas de Confiabilidad y Oportunidades de Mejora:** Después de que cada revisión es aceptada, las recomendaciones son llevadas a cabo incorporando tareas de mantenimiento en el sistema de planificación y control de mantenimiento, incorporando cambios en los procedimientos estándares de operación del recurso.

## **7.2. Mantenimiento.**

Se define mantenimiento como todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

### ***7.2.1 Mantenimiento Correctivo.***

Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.

### ***7.2.2 Mantenimiento Preventivo.***

Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

### ***7.2.3 Mantenimiento Predictivo.***

Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo.

#### ***7.2.4 Mantenimiento Cero Horas (Overhaul).***

Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.

#### ***7.2.5 Mantenimiento En Uso.***

Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tal solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

#### ***7.2.6 Modelo Correctivo.***

Este modelo es el más básico, e incluye, además de las inspecciones visuales y la lubricación, la reparación de averías que surjan. Es aplicable, y con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico. En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos.

#### ***7.2.7 Modelo Condicional.***

Incluye las actividades del modelo anterior, y además, la realización de una serie de pruebas o ensayos, que condicionarán una actuación posterior. Si tras las pruebas se descubre una

anomalía, se programa una intervención; si, por el contrario, todo es correcto, no se actuara sobre el equipo.

Este modelo de mantenimiento es válido en aquellos equipos de poco uso, o equipos que a pesar de ser importantes en el sistema productivo su probabilidad de fallo es baja.

#### ***7.2.8 Modelo Sistemático.***

Este modelo incluye un conjunto de tareas que se realizan sin importar cual es la condición del equipo. Se realizan, algunas mediciones y pruebas para decidir si se realizan otras tareas de mayor envergadura. Por último, se resolverán las averías que surjan. Es un modelo de gran aplicación en equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos. Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija. Simplemente, un equipo con este modelo de mantenimiento puede tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja. Es la principal diferencia con los dos modelos anteriores, en los que para realizar una tarea debe presentarse algún síntoma de fallo.

#### ***7.2.9 Modelo de Mantenimiento de Alta Disponibilidad.***

Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos. Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir una avería o un mal funcionamiento. Son equipos a los que se exige, además, unos niveles de disponibilidad altísimos, por encima del 90%. La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es en general el alto coste en producción que tiene una avería. Con una exigencia tan alta, no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo (correctivo, preventivo sistemático). Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo, que nos permitan conocer el estado del equipo con él en marcha, y a

paradas programadas, que supondrán una revisión general completa, con una frecuencia generalmente anual o superior.

### **7.3 Definición de Calderas**

Las calderas son equipos que se utilizan para generar vapor a partir de una fuente de calor. En la industria, generalmente el calor viene de la energía química almacenada por los combustibles fósiles, como carbón, hidrocarburos, gases, combustibles, etc, los cuales se libera al reaccionar estos con el oxígeno.

#### ***7.3.1 Funcionamiento de la caldera***

El hogar está constituido por dos elementos, la cámara de combustión y el cenicero. En la primera se libera el calor por la reacción exotérmica produciendo gases calientes, el segundo se recogen los residuos de la combustión. En la zona de circulación de los gases se realiza la transmisión de calor al agua (de acuerdo al tipo de caldera, la circulación de los gases se realiza por dentro o por fuera de los tubos).

El flujo de calor que se origina al quemar el combustible, se transfiere mediante tres mecanismos: radiación, convección y conducción. La radiación es la transferencia de calor directa en forma de energía radiante, procedente de la incandescencia del combustible o de la llama de los tubos y al cuerpo de la caldera. La convección es la transferencia de calor entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente que esta en movimiento. La convección natural se debe a la diferencia de densidad que proviene del diferencial de temperatura.

La transferencia de calor al interior de la caldera se ve afectada por la temperatura de la llama y los productos de la combustión por la acumulación de escorias, cenizas volantes u hollín en las superficies en contacto con el fuego.

Normalmente la capacidad de una caldera se expresa en términos de Boiler Horsepower (BHP) para calderas de tamaños medios. Calderas relativamente grandes indican su capacidad de producción en lb/h de vapor o en kg/h de vapor. Un BHP equivale a 33465 BTU/h, lo cual significa evaporar 34.5lb/h de agua saturada a 212°F (100°C) y una atmosfera de presión.

El quemador es el componente que se encarga de manejar la combustión. Para el carbón hay tres tipos de quemadores: de parrilla, pulverización y lecho fluidizado. Cada sistema cuenta con gran variedad de arreglos debido a la forma de alimentar el carbón.

## **7.4 Definiciones importantes.**

### ***7.4.1 Criticidad.***

Permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas, equipos etc. ya con esta se facilita la toma decisiones acertadas y efectivas. Permite direccionar el esfuerzo y los recursos en algunas áreas que es importante o necesario la confiabilidad y administrar el riesgo.

### ***7.4.2 Matriz de criticidad.***

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el valor de criticidad del equipo o sistema.

En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla.

### ***7.4.3 Efecto de falla.***

Se produce después de que algún elemento falle.

### ***7.4.4 Juicio de expertos.***

Es un método de validación útil para verificar la fiabilidad de una investigación que se define como “una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas

por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones” (Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez, 2008:29).

#### ***7.4.5 Fiabilidad.***

Es la probabilidad de que un activo o bien funcione adecuadamente durante un periodo determinado bajo condiciones operativas específicas (manual de operación y especificaciones del fabricante).

#### ***7.4.6 Confiabilidad.***

Es la capacidad de un elemento de desempeñar una función requerida, en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado.

#### ***7.4.7 Jerarquización.***

Es la organización a través de categorías o escalafones que representa diversa importancia. Organiza y clasifica a diferentes áreas, campos etc. en distintos niveles.

#### ***7.4.7 Tiempo medio entre fallas (MTBF)***

El Tiempo Medio entre Fallas representa el tiempo medio que dos fallas/averías transcurre de un equipo determinado. Por lo tanto, representa la fiabilidad de la operación del activo, cuanto más alto sea el MTBF más fiable es.

#### ***7.4.8 Tiempo medio de reparación (MTTR)***

El tiempo medio de reparación es una medida de mantenibilidad de equipos y piezas reparables. Representa el promedio del tiempo necesario para reparar una avería hasta que la actividad del equipo se restablezca.

## **8. Marco legal.**

El sistema de gestión de la norma ISO 55001 provee un marco para establecer políticas de gestión de activos, objetivos y procesos, y permite que una organización alcance sus metas estratégicas. la norma ISO 55001 utiliza un proceso estructurado, eficaz y eficiente que conduce a la mejora continua y a la creación de valor en ejecución al gestionar costos, desempeño y riesgos. las normas ISO 55000 y 55002 complementan la norma ISO 55001 al proveer los aspectos generales, los principios y la terminología (ISO 55000) y las directrices para su aplicación (ISO 55002).

NTC 2354 dibujo técnico. funciones de regulación, de medida y de automatización de los procesos industriales. representación simbólica. parte 4: símbolos básicos para la representación de procesos de sistematización. los símbolos establecidos aquí están destinados a ilustrar el computador de proceso y/o las funciones de muestra de resultados en el campo de medición y control de procesos.

ISO 14224 relaciona la criticidad de los activos de la organización como fundamento primordial de la confiabilidad y del mantenimiento.

GTC 62 seguridad de funcionamiento y calidad de servicio. mantenimiento. terminología. establece las definiciones que se utilizan en el área de mantenimiento en plantas industriales y en empresas de servicios.

NTC-OHSAS 1800 Indica los requisitos para un sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional, para hacer posible que una organización controle sus riesgos de S y SO y mejore su desempeño OHSAS (occupational health and safety assessment series).



## **9. Marco Metodológico.**

### **9.1 Metodología.**

Dado que el objetivo del estudio será la elaboración de un plan de mantenimiento como método para la incidencia en las fallas relacionadas directamente a las fallas funcionales que afectan la disponibilidad del equipo, se recurrió a un diseño no experimental y se aplicará de manera transversal considerando que el tema de la investigación tiene un sustento teórico basado en recurrencias de falla, se procedió a realizar una investigación de tipo descriptivo para conocer a detalle los beneficios de la aplicación de este método basándonos inicialmente en el aumento de confiabilidad del mismos en la empresa Proteicol,

De acuerdo con Hernandez, Fernandez y Baptista (2013) la investigación no experimental “es la que se realiza con manipular deliberadamente las variables; lo que se hace en este tipo de investigación es observar fenómenos tal y como se da en su contexto natural para después analizarlos”. Estos mismos autores señalan que los diseños de investigación transversal “recolectan datos en un momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelaciones en un momento dado” por esta razón nos apoyaremos de los informes de los coordinadores de producción y serán compilados con información técnica desde el área de mantenimiento desarrollando un indicador de disponibilidad midiendo específicamente a este equipo.

Del enfoque cuantitativo nos basaremos en los datos MTTR (tiempo medio entre reparación) y MTTB (tiempo medio entre fallas) donde podremos tener los datos enfocados a los equipos a medir, la población se define como “un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones“ (Levin y Rubin, 1996).

## **9.2 Recolecciones de datos.**

Para el desarrollo del objetivo uno se realizará una encuesta para verificar la condición actual del manejo de la caldera y disponibilidad de repuestos. Histórico de mantenimiento actual del activo.

En el desarrollo del objetivo dos se implementará la técnica AMEF este análisis se elaborará con el grupo de mantenimiento e ingeniería.

Finalmente, para el desarrollo del objetivo 3 se realizará un trabajo de campo para identificar la totalidad de mecanismos que necesitan frecuencias de lubricación.

### ***9.2.1 Fuentes Primarias.***

Las fuentes primarias para la obtención de datos serán recopiladas mediante la hoja de vida del activo, historial de fallas, indicadores MTBF y MTTR, y encuestas al personal directamente involucrado a la mantenibilidad del equipo.

### ***9.2.2 Fuentes Secundarias.***

Las fuentes secundarias para la obtención de información serán los mantenimientos predictivos como vibraciones, termografía y análisis de espesores a los piro tubos que se realizan semestralmente al activo y a los equipos que lo componen.

### ***9.2.3 Herramientas.***

- Análisis de modo y efecto de falla.
- Índice de criticidad.

### ***9.2.4 Cronograma.***

A continuación, se presenta el cronograma donde se observa las tareas y actividades a desarrollar para cumplir los objetivos específicos

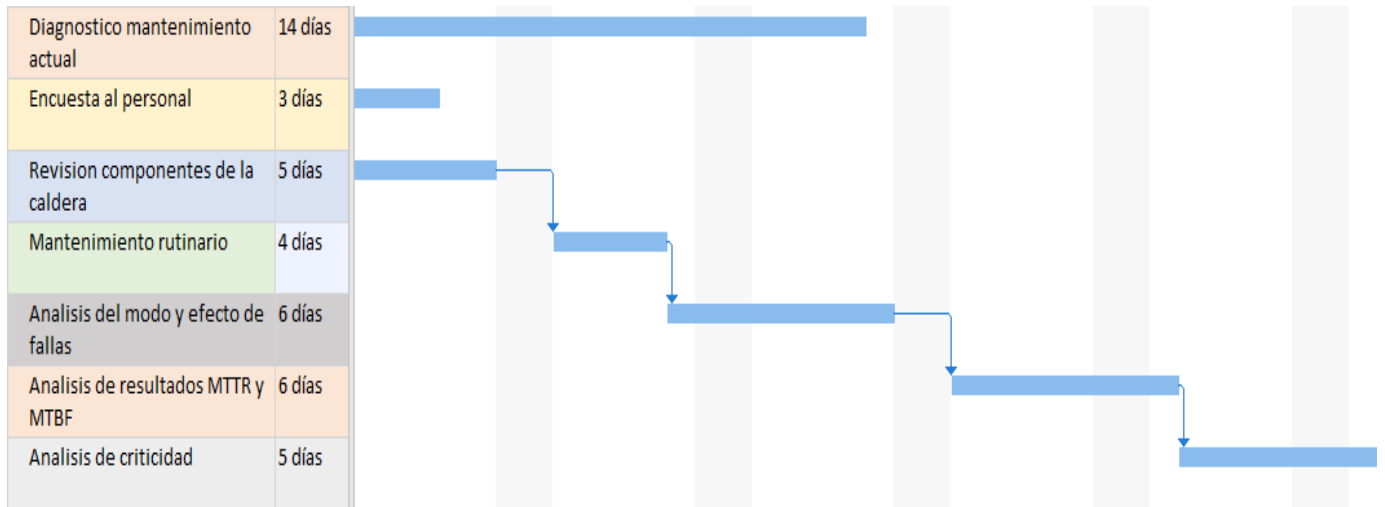


Ilustración 2: Cronograma

## 10. Recopilación de la Información

### 10.1 Especificaciones de la caldera

FICHA TECNICA	
<b>Nombre del activo:</b>	VR 700 BHP
<b>Año de fabricación:</b>	2011
<b>Combustible:</b>	Carbón
<b>Tipo de alimentación:</b>	Parrilla viajera
<b>Capacidad:</b>	700 BHP (10.627 kilos de vapor con alimentación de agua 105°C)
<b>Presión max. Operación:</b>	200 Psi
<b>Serie de fabricación:</b>	T-508

EQUIPO	DESCRIPCION
PTCAL0004	CALDERA VR 2
PTVEN0004	VENTILADOR TIRO INDUCIDO CALDERA VR 2
PTFMA0004	FILTRO MANGAS CALDERA VR 2

PTMOT0639	MOTOREDUCTOR TORNILLO FILTRO MANGAS CALDERA VR2
PTTER0023	TERMÓMETRO TEMPERATURA SALIDA DE GASES VR2
PTMOT0576	MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA CICLON CALDERA VR 2
PTMOT0811	MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA VR 2
PTTOR0103	TORNILLO SALIDA ESCORIA CALDERA VR 2
PTMOT0596	MOTOREDUCTOR ROTATIVA FILTRO MANGAS CALDERA VR2
PTMOT0645	MOTOR VENTILADOR TIRO INDUCIDO CALDERA VR2
PTMOT0240	MOTOREDUCTOR TORNILLO SALIDA DE ESCORIA CALDERA VR 2
PTTRA0002	TRANSMISOR FLUJO DE VAPOR VR2
PTTRA0008	TRANSMISOR PRESIÓN DE HOGAR VR2
PTTRA0011	TRANSMISOR NIVEL DE AGUA VR2
PTTRA0028	TRANSMISOR PRESIÓN DE VAPOR CALDERA VR2
PTTRA0033	TRANSMISOR PRESIÓN FILTROS DE MANGAS VR2
PTMAN0019	MANÓMETRO PRESIÓN CALDERA VR2
PTTER0022	TERMÓMETRO TEMPERATURA SALIDA DE GASES VR1
PTVEN0009	VENTILADOR TIRO FORZADO PRIMARIO CALDERA VR 2
PTCIC0011	MULTICICLON CALDERA VR 2
PTMOT0383	MOTOR ALARMA SIRENA CALDERA VR 2
PTMOT0154	MOTOR VENTILADOR TIRO FORZADO PRIMARIO CALDERA VR 2
PTMOT0156	MOTOR VENTILADOR TIRO FORZADO SECUNDARIO CALDERA VR 2
PTVAL0008	VALVULA SEGURIDAD CALDERA VR 2
PTVAL0017	VALVULA SEGURIDAD CALDERA VR 2
PTPLE0006	PLENIUM CALDERA VR 2
PTRED0083	REDUCTOR PARRILLA VIAJERA CALDERA VR2
PTVEN0010	VENTILADOR TIRO FORZADO SECUNDARIO CALDERA VR 2

Tabla 1: Hoja de vida del activo

Tabla 2: Repuestos del activo

### 10.1.1 Elementos de la caldera

A continuación, se describe los componentes básicos de la caldera

**Hogar – pirotubo:** Una sección acuotubular (hogar) y un recuperador de calor pirotubular (pirotubo). El hogar y el pirotubo se encuentran interconectados por el lado de agua y por el lado de vapor garantizándose que estos trabajen como un solo elemento a la misma presión y condición.



*Ilustración 3: Hogar*

**Parrilla viajera:** El combustible alimenta el hogar por medio de la parrilla viajera construida por eslabones fabricados en función de hierro. La combustión del carbón se realiza en forma controlada sobre la parrilla viajera con aire primario (insuflado por entre unas ranuras ubicadas entre los eslabones de la parrilla) y secundario o de sobrefuego. Estos aires son suministrados al hogar por ventiladores centrífugos y los gases de combustión son extraídos de la caldera por un ventilador de tiro inducido. Estos ventiladores son comandados por los instrumentos de la caldera y se deberán apagar cuando el conjunto llegue a su presión máxima de ajuste o cuando se presente un problema de bajo nivel de agua (Controles de nivel).



*Ilustración 4: Parrilla viajera*

**Filtros de mangas:** Tipo pulsa-jet de limpieza automática asistida por aire comprimido.



*Ilustración 5: Filtros de mangas*

**Ciclón:** Colector de polvo que por acción centrífuga y de gravedad separa las partículas más pesadas que son recogidas en la válvula rotatoria.



*Ilustración 6: Ciclón*

**Tornillo húmedo:** Para el retiro de las escorias producidas por la parrilla, la caldera cuenta con un sistema de banda húmeda.



*Ilustración 7: Tornillo húmedo*

**Deshollinador:** Limpieza de los tubos usando vapor de la caldera, del tipo boquilla por tubo en contraflujo con los gases de combustión.



*Ilustración 8: Deshollinador*

**Chimenea:** Incluye plataforma para estudios isocinéticos y escalera de gato para su



acceso.



*Ilustración 9: Chimenea*

**Ventilador tiro forzado:** Están asociados a los sistemas de ventilación en hornos para forzar el aire al interior del mismo y de esta forma incrementar la eficiencia del horno.



*Ilustración 10: Ventilador tiro forzado*

**Ventilador tiro inducido:** que se utilizan para evacuar el aire de un espacio o para crear una presión de aire negativa



*Ilustración 11: Ventilador tiro inducido*



*Ilustración 12: Caldera VR 700 BHP parte frontal*



*Ilustración 13: Caldera VR 700 BHP parte trasera*

## 11. Solución de Objetivos

### 11.1 Solución objetivo específico No. 1

#### 11.1.1 Encuesta al personal

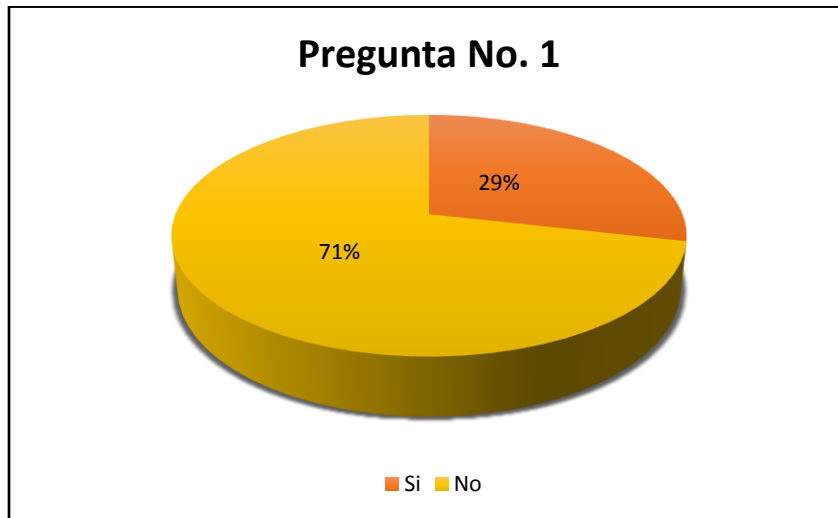
Mediante la encuesta presentada a continuación se recopila información del manejo del mantenimiento de la caldera y sus respectivos repuestos, esta encuesta se realiza con el fin de analizar el mantenimiento actual que emplea la compañía con respecto a la caldera.

La encuesta fue realizada a siete (7) personas, cuatro (4) operarios y tres (3) técnicos de mantenimiento.

<b>Encuesta: Caldera VR 700 BHP</b>	
Fecha: _____	
<b>1. ¿Conoce usted el principio de funcionamiento de la caldera?</b>	
Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
<b>2. ¿Conoce el programa actual de mantenimiento de la caldera?</b>	
Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
<b>3. ¿Qué tipo de mantenimiento considera que es el más adecuado para la caldera ?</b>	
Preventivo <input type="checkbox"/>	Correctivo <input type="checkbox"/>
Predictivo <input type="checkbox"/>	Overhaul <input type="checkbox"/>
<b>4. ¿Cuál cree que es la falla mas recurrente de la caldera?</b>	
_____	
_____	
<b>5. ¿Cómo considera la rotación de repuestos para la manutención de la caldera?</b>	
Baja <input type="checkbox"/>	
Media <input type="checkbox"/>	
Alta <input type="checkbox"/>	

Ilustración 14: Encuesta caldera VR 700 BHP

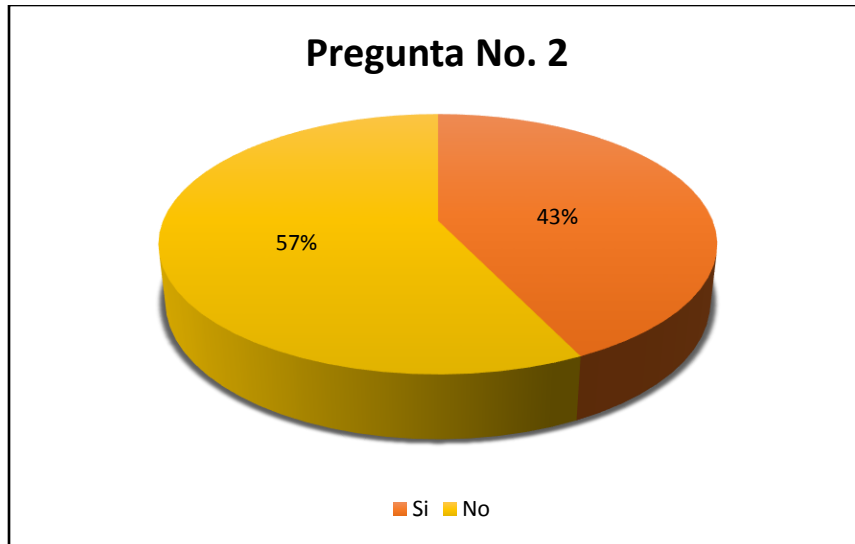
A continuación, se muestran los resultados de la encuesta realizada



*Gráfica 1: ¿Conoce usted el principio de funcionamiento de la caldera?*

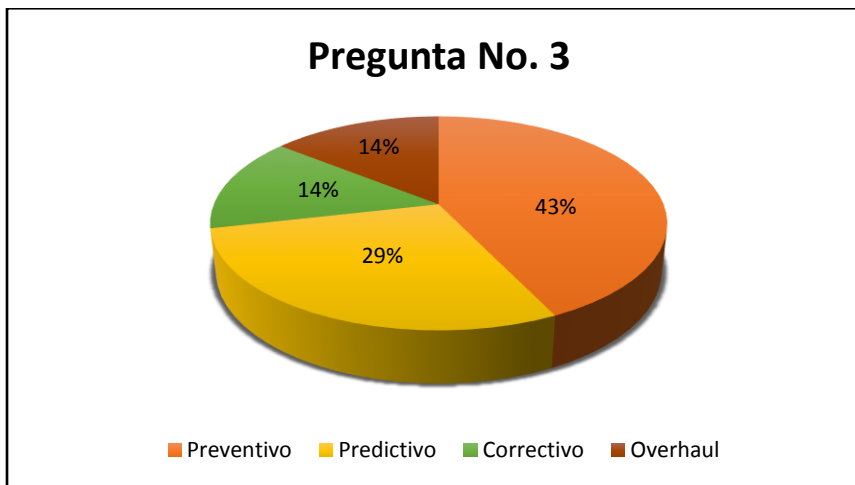
De la encuesta realizada el 29 % (2 personas) conoce el funcionamiento del activo, mientras que el 71 % restante no conoce el funcionamiento de este.

Es importante que las personas encargadas de la operación y mantenimiento conozcan todos los componentes que forman la caldera y su principio de funcionamiento para así mantener el equipo en óptimas condiciones.



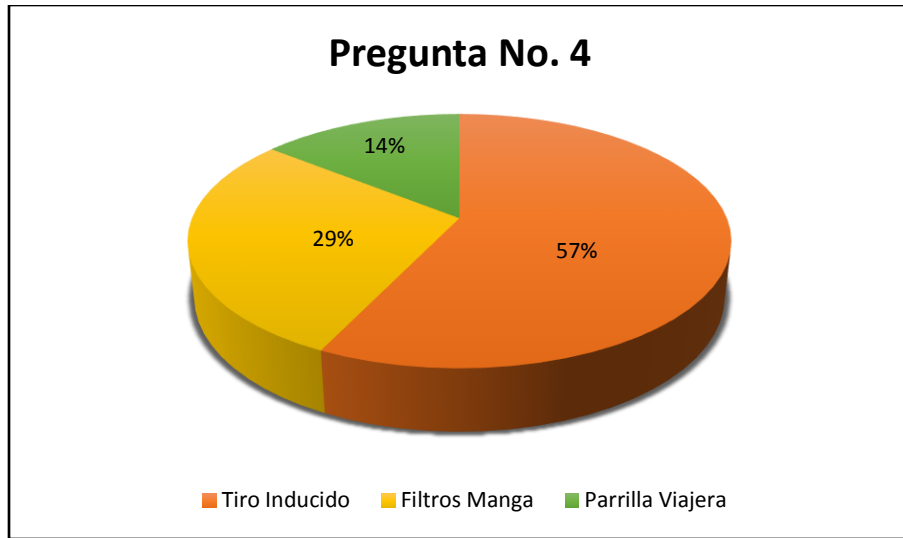
*Gráfica 2: ¿Conoce el programa actual de mantenimiento de la caldera?*

Según las encuestas realizadas el 57 % (4 personas) coincide en que no conocen el programa actual de mantenimiento de la caldera.



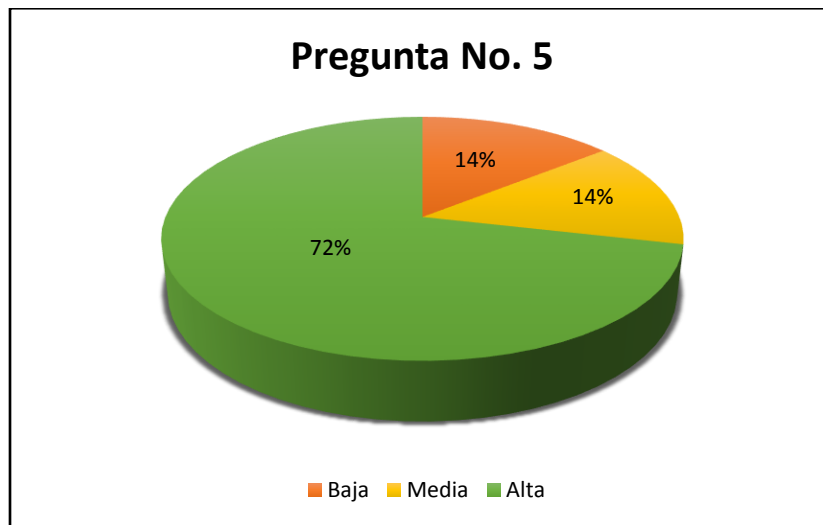
*Gráfica 3: ¿Qué tipo de mantenimiento considera que es el más adecuado para la caldera?*

En los resultados de la pregunta #3 el 43% (3 personas) consideran que el mantenimiento más apropiado para para la caldera es el preventivo ya que este se adelanta a las averías que pueda presentar el equipo o hace que las fallas sean menos graves, consta de un trabajo de prevención de efectos y fallas que podrían originar que la caldera quede inhabilitada.



Gráfica 4: ¿Cuál cree que es la falla más recurrente de la caldera?

El 57% (4 personas) creen que la falla mas recurrente de la caldera es producida por el tiro inducido.



Gráfica 5: ¿Cómo considera la rotación de repuestos para la manutención de la caldera?

Para el 72% (5 personas) de los entrevistados consideran que es muy baja la rotación de lo repuestos, esto afecta la disponibilidad y confiabilidad del equipo ya que aumenta los tiempos de parada por falla y aumenta perdidas.

### ***11.1.2 Mantenimiento actual de la caldera.***

Para el desarrollo del objetivo específico número 1 se requiere conocer el mantenimiento preventivo actual que lleva a cabo la compañía con respecto a la caldera esto con el fin de poner analizar porque este procedimiento no es del todo óptimo para la manutención de la caldera.

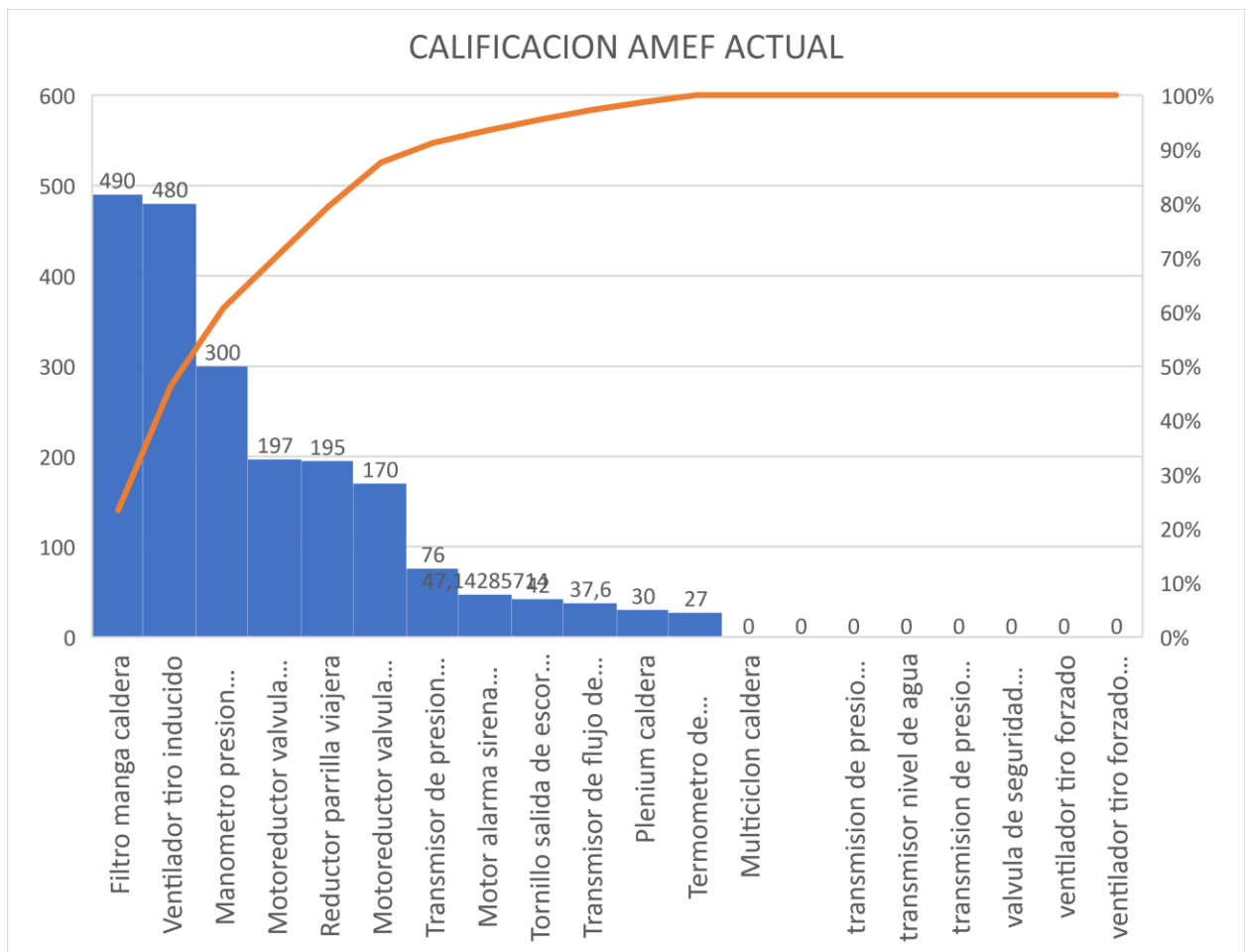


<b>MANTENIMIENTO RUTINARIO</b>			
<b>Continuamente</b>	<b>Cada cuatro horas</b>	<b>Cada tercer día</b>	<b>Cada semana</b>
1. Revisar la cama de carbón en combustión y mantener libre de combustible y aseado el lugar de trabajo al igual que las puertas de manejo de la caldera.	1. Desalojar las cenizas que se hayan depositado en los puntos de recolección de partículas.	1. Lubricar los bujes de la parrilla con grasa especial, especificada para alta temperatura	1. Purgar el control de nivel Mc Donnell y la línea de vapor del manómetro ubicada en el frente de la caldera 2. Destapar las compuertas de acceso a los cajones de aire ubicados en la parrilla y desalojar las cenizas que allí se encuentren depositadas.
<b>Cada mes</b>	<b>Cada tres meses</b>	<b>Cada seis meses</b>	<b>Cada seis meses</b>
1. Por lo menos una vez al mes y coincidiendo con una purga de la caldera se deberá verificar que las alarmas de bajo nivel se encuentren operando correctamente 2. Revisar el estado de ensuciamiento de la tubería del recuperador de calor pirotubular y sin razón de la intensidad de la operación o calidad del carbón, se encuentra una gran cantidad de ceniza depositada en los tubos, programar una limpieza de estos. 3. Revisar cuidadosamente la parrilla para detectar eslabones defectuosos que puedan causar daños a la parrilla.	1. Revisar el estado de los refractarios protectores de la compuerta reguladora de carbón y si se encuentra algún deterioro, se deberá realizar un mantenimiento correctivo de estos para evitar que este deterioro dañe la compuerta de fundición de hierro. 2. Destapar la compuerta de inspección del ventilador de tiro inducido y limpiar los restos de cenizas depositadas sobre el rotor. Una vez limpio se deberá revisar el estado general del mismo.	1. Verificar en forma concluyente que todas las líneas de purga estén evacuando libremente el agua de la caldera y que por ninguna razón alguna de estas esté obstruida parcial o totalmente. 2. Revisar los sellos de las botellas separadores del multiciclón. 3. Revisar el estado del arco refractario de ignición y realizarle un mantenimiento si es del caso. En la operación de la caldera es normal que las cenizas se adhieran a este. Estas cenizas no se deberán retirar pues con esta operación se le pueden causar daños al arco.	1. Revisar el balanceo del ventilador de tiro inducido. 2. Revisar el estado de las pantallas protectoras de las puertas de manejo y si se encuentran deterioradas deterioradas cambiarlas. 3. Retirar uno de los pines de la parrilla viajera y revisar cuidadosamente el estado de los piñones motrices y locos y de las superficies sobre las cuales se desliza la parrilla. Esta revisión se debe realizar por todos los puntos por los cuales se tenga acceso a la parrilla viajera y revisar.

*Tabla 2: Mantenimiento rutinario actua*

## 11.2 Solución objetivo específico No. 2

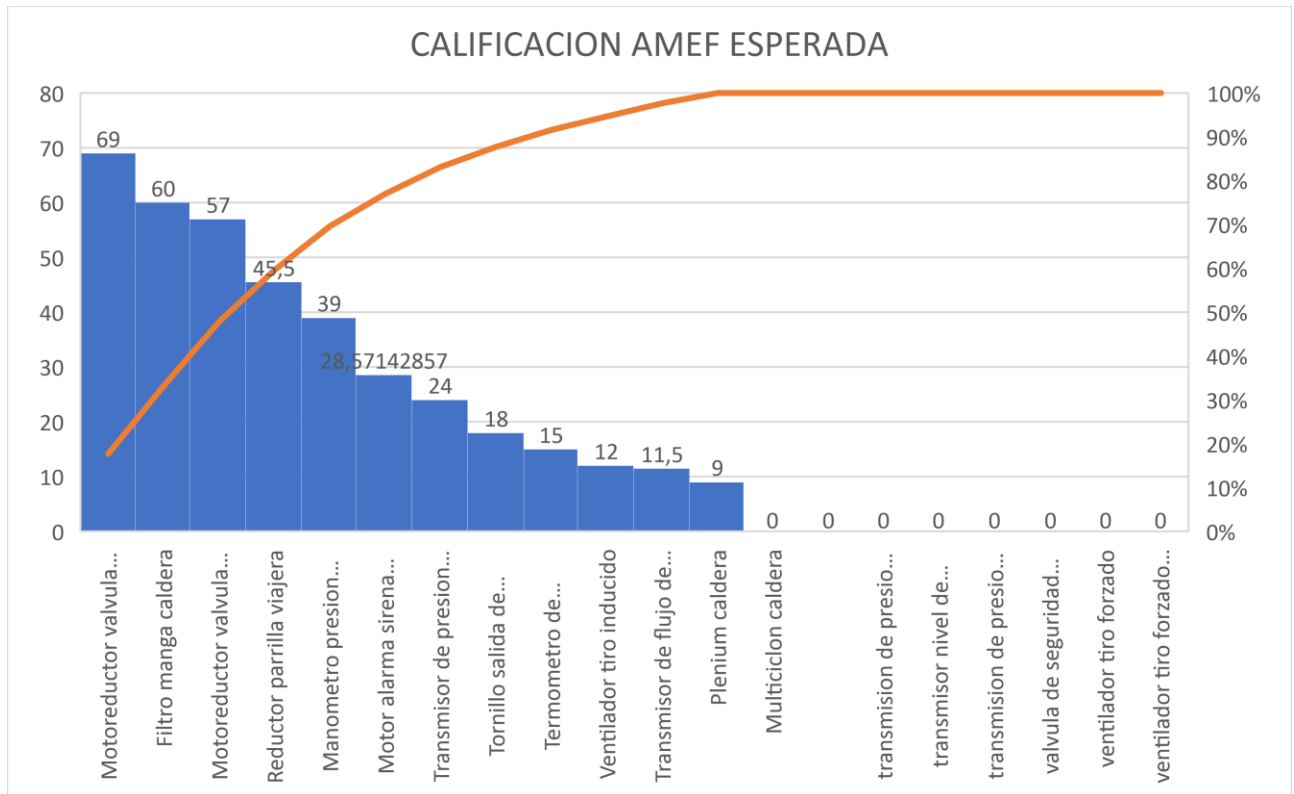
Para dar solución a este objetivo se emplea la metodología de análisis del modo y efecto de fallas AMEF, con este procedimiento se busca identificar las fallas en procesos y sistemas, evaluar y clasificar de manera más adecuada sus efectos y causas esto con el fin de minimizar riesgos y fallas potenciales.



Gráfica 6: Amef actual

La finalidad del cálculo AMEF para cada quipo es con el propósito de evaluar la confiabilidad en la medida que determinamos los efectos de las fallas en los mismos donde detectando el ventilador de tiro inducido con alta grado de fallo con una calificación de 480, este

análisis da una probabilidad de anticipación a los efectos que puedan llegar a tener en procesos de producción de vapor, si se comparan los resultados del AMEF con MTTR y MTBF se ven coincidencia que este equipo es unos de los que más han fallado durante el tiempo analizado.



Gráfica 7: Amef esperada

Con la elaboración y aplicación adecuada del plan de mantenimiento propuesto controla y mejora la ocurrencia y detección bajando considerablemente la calificación a 69 visto para el ventilador inducido, siendo esto valores tolerables de este modo se pueden ver la efectividad de las medidas propuestas en este proyecto.

Anexo 1: [Análisis AMEF.xlsx](#)

### 11.3 Solución objetivo específico No. 3

Dando solución a este objetivo, se genera el cálculo de tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación en el cual se tomaron 151 días con fecha de inicio del 1 de enero de 2021 al 1 de junio de 2021 realizando las siguientes formulas.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo de Paro}}{\textit{Tiempo O.T}}$$

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo Requerido} - \textit{Tiempo de Paro}}{\textit{Total O.T}}$$

DESCRIPCION	CALCULO MTTR					CALCULO MTBF
	TIEMPO REQUERIDO	TIEMPO PARO	TIEMPO FUNCION	TOTAL O.T	MTTR	MTBF
CALDERA VR 2	3324	383,23	2940,77	29	13,2	101,4058621
VENTILADOR TIRO INDUCIDO CALDERA VR 2	3324	1061,64	2262,36	6	176,9	377,06
FILTRO MANGAS CALDERA VR 2	3324	255,07	3068,93	7	36,4	438,4185714
MOTOREDUCTOR TORNILLO FILTRO MANGAS CALDERA VR2	3324	105,42	3218,58	5	21,1	643,716
TERMÓMETRO TEMPERATURA SALIDA DE GASES VR2	3324	31,25	3292,75	3	10,4	1097,583333
MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA CICLON CALDERA VR 2	3324	7,13	3316,87	3	2,4	1105,623333
MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA VR 2	3324	311,75	3012,25	2	155,9	1506,125
TORNILLO SALIDA ESCORIA CALDERA VR 2	3324	14,73	3309,27	2	7,4	1654,635
MOTOREDUCTOR ROTATIVA FILTRO MANGAS CALDERA VR2	3324	5,7	3318,3	2	2,9	1659,15
MOTOR VENTILADOR TIRO INDUCIDO CALDERA VR2	3324	3,37	3320,63	2	1,7	1660,315
MOTOREDUCTOR TORNILLO SALIDA DE ESCORIA CALDERA VR 2	3324	2,76	3321,24	2	1,4	1660,62
TRANSMISOR FLUJO DE VAPOR VR2	3324	1,83	3322,17	2	0,9	1661,085
TRANSMISOR PRESIÓN DE HOGAR VR2	3324	1,83	3322,17	2	0,9	1661,085
TRANSMISOR NIVEL DE AGUA VR2	3324	1,83	3322,17	2	0,9	1661,085
TRANSMISOR PRESIÓN DE VAPOR CALDERA VR2	3324	1,83	3322,17	2	0,9	1661,085
TRANSMISOR PRESIÓN FILTROS DE MANGAS VR2	3324	1,83	3322,17	2	0,9	1661,085
MANÓMETRO PRESIÓN CALDERA VR2	3324	1,75	3322,25	2	0,9	1661,125
TERMÓMETRO TEMPERATURA SALIDA DE GASES VR1	3324	1,5	3322,5	2	0,8	1661,25
VENTILADOR TIRO FORZADO PRIMARIO CALDERA VR 2	3324	15	3309	1	15,0	3309
MULTICICLON CALDERA VR 2	3324	10	3314	1	10,0	3314
MOTOR ALARMA SIRENA CALDERA VR 2	3324	2,7	3321,3	1	2,7	3321,3
MOTOR VENTILADOR TIRO FORZADO PRIMARIO CALDERA VR 2	3324	2,7	3321,3	1	2,7	3321,3
MOTOR VENTILADOR TIRO FORZADO SECUNDARIO CALDERA VR 2	3324	1,52	3322,48	1	1,5	3322,48
VALVULA SEGURIDAD CALDERA VR 2	3324	0	3324	1	0,0	3324
VALVULA SEGURIDAD CALDERA VR 2	3324	0	3324	1	0,0	3324
PLENIUM CALDERA VR 2	3324	0	3324	0	0,0	0
REDUCTOR PARRILLA VIAJERA CALDERA VR2	3324	0	3324	0	0,0	0
VENTILADOR TIRO FORZADO SECUNDARIO CALDERA VR 2	3324	0	3324	0	0,0	0

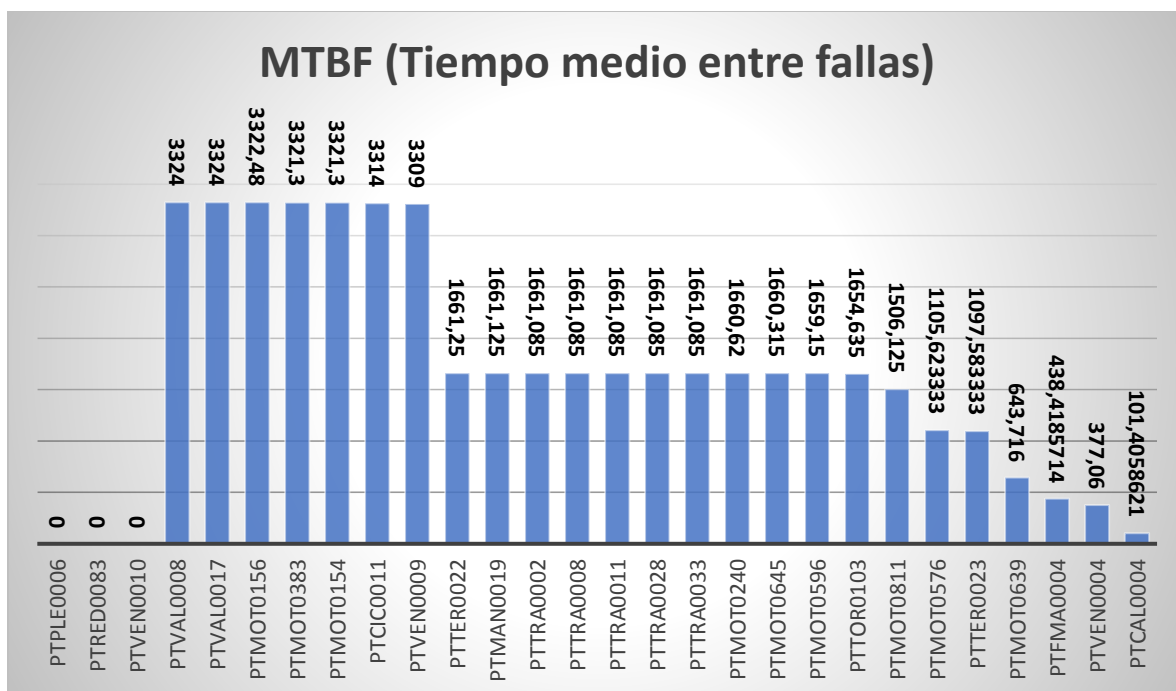
Tabla 3: Calculo MTTR y MTBF por activo

De los 151 días analizados iniciando desde el 1 ene 2021 al 01 de junio del 2021 la caldera como conjunto es la que más tiene intervenciones en temas de instrumentación seguido por el ventilador inducido por averías ocasionadas por altas vibraciones y daños estructurales con 1061.64 horas de paro, viendo de forma global vemos que el MTBF me muestra el tiempo medio entre cada ocurrencia de una parada específica por falla o avería del proceso de generación de vapor y el MTTR es el tiempo medio hasta haber reparado la avería.



Gráfica 8: Tiempo medio de reparación

Este es un indicador de facilidad de mantenimiento (mide que tan rápida es la reparación de un equipo). Un tiempo medio de reparación elevado puede indicar que la sustitución de un determinado activo es más económico o preferible que la reparación, adicionalmente a los equipos con un MTTR muy bajo se puede sugerir usar hasta averiar esto bajo una estrategia diferente contemplando repuestos críticos y su stock en almacén.



Gráfica 9: Tiempo medio entre fallas

El MTBF es el tiempo medio entre averías de un activo, es una métrica importante donde la tasa de indisponibilidad de los activos se debe gestionar, en otras palabras, es el tiempo medio cuando el equipo funciona correctamente entre los fallos, siendo este un indicador de rendimiento muy importante para los activos más críticos. Entre mayor sea el valor del indicador mejora.

Anexo 2: [MTTR-MTBF.xlsx](#)

#### 11.4 Solución objetivo específico No. 4

Para identificar los equipos críticos se realiza el análisis de criticidad, evaluando la frecuencia de la falla por su consecuencia, a través de la encuesta a un conjunto de personas previamente seleccionadas del área de mantenimiento y de operación, de la industria; la validación del instrumento se obtuvo a través del juicio de tres expertos en el área, y la confiabilidad por el método de Alfa Cronbach, con un coeficiente de 0,81. Con base en los resultados de las encuestas,

se jerarquizan los equipos de la planta de producción, mediante la cuantificación de un índice de criticidad.

$$IC = FF * (IP + SS + CR + TR + TO)$$

**IC:** Índice de criticidad.

**FF:** Frecuencia de falla (se evalúa a partir de la tasa estimada de incidencia de fallas.

**IP:** Registra porcentualmente la producción aproximada que se deja de obtener por día, debido a fallas ocurridas.

**SS:** Registra la ocurrencia de eventos en los cuales alguna persona puede resultar lesionada, para este indicador se sugiere obtener la información y colaboración del personal de: recursos humanos, comités paritarios y salud ocupacional de la empresa.

**CR:** Hace referencia al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.

**TR:** Es el tiempo promedio por día empleado para reparar la falla, se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente

**TO:** Es el tiempo que dura el equipo en producción

**¿Qué tan frecuente son las fallas ocurridas?**

<b>Frecuencia de Fallas (FF)</b>	<b>Valor</b>
Menos de 1 vez por año	1
Entre 2 y 12 veces por año	2
Entre 13 y 52 veces por año	3
Más de 52 veces por año (mas de una por semana)	4

*Tabla 4: Ponderación frecuencia de fallas*

**¿Cuál es el impacto en la producción?**

<b>Impacto en la Producción (IP)</b>	<b>Valor</b>
--------------------------------------	--------------



Menos al 25%	1
25% de impacto	2
50 % de impacto	3
75% de impacto	4

Tabla 5: Ponderación impacto en la producción

**¿Cuál es la lesión más significativa que puede presentar en la operación del equipo?**

<b>Seguridad y Salud (SS)</b>	<b>Valor</b>
No hay ningún riesgo de lesión	1
Lesiones leves (son asistidas dentro de la fábrica, no tiene incapacidad)	2
Lesiones significativas (incapacidad entre 1 y 30 días)	3
Lesiones de incapacidad parcial o permanente (mayor de 30 días)	4

Tabla 6: Ponderación seguridad y salud

**¿Cuál es el costo anual de mantenimiento del equipo?**

<b>Costos de Reparación (CR)</b>	<b>Valor</b>
Menos de 1,000 dólares	1
Entre 1,000 y 5,000 dólares	2
Entre 5,001 y 10,000 dólares	3
Mas de 10,000 dólares	4

Tabla 7: Ponderación costos de reparación

**¿Cuál es el tiempo promedio para reparar el equipo?**

<b>Tiempo de Reparación (TR)</b>	<b>Valor</b>
Menos de 4 horas	1
Igual o mayor a 4 horas y menor a 6 horas	2
Igual o mayor a 6 horas y menos a 12 horas	3
Mayor a 12 de horas	4

Tabla 8: Ponderación tiempo de reparación

**¿Cuál es el tiempo de trabajo de esta máquina?**

Tiempo de Operación (TO)	Valor
Opcionalmente	1
Un turno de trabajo	2
Dos turnos de trabajo	3
Totalmente	4

Tabla 9: Ponderación tiempo de operación

Frecuencia	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	Consecuencia																
	Baja					Media					Alta						

Tabla 10: Matriz de criticidad

$$IC = FF * (IP + SS + CR + TR + TO)$$

Como ejemplo, se seleccionará la Frecuencia de Fallas del equipo caldera VR 2 es dada por el Total de O.T dividido entre 5 meses que es el resultado de los 151 días tomados, multiplicados por los 12 meses del año

$$FF = \left(\frac{29}{5}\right) * 12 = 69,6$$

Para el Índice de Criticidad se toma la ecuación

$IC = FF * (IP + SS + CR + TR + TO)$  y se reemplazan los valores según las tablas 5,6,7,8, y 9

$$IC = 4 * (4 + 2 + 3 + 3 + 4)$$

$$IC = 64$$

La Frecuencia es igual a Frecuencias de Fallas (FF)

$$Frecuencia = 4$$

Para hallar la consecuencia se suma de los resultados de las tablas 6,7,8,9,10

$$\text{Consecuencia} = 4 + 2 + 3 + 3 + 4$$

$$\text{Consecuencia} = 16$$

Para identificar la intensidad del riesgo con el valor de criticidad se presenta un código de color que permite identificar la mayor o menor intensidad, baja. Se toma el valor de la frecuencia (4) horizontalmente y el valor de la consecuencia (16) verticalmente.

Frecuencia	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15	17	18	19	20
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15	17	18	19	20
		Consecuencia															
		Baja					Media					Alta					

Ilustración 15: Ejemplo matriz criticidad equipo caldera VR 2

A continuación, se muestra el cálculo de criticidad de cada equipo de la caldera

Anexo 3: [Análisis Criticidad.xlsx](#)

DESCRIPCION	FF	FF	IP	SS	CR	TR	TO	IC	FREC	CONSE
CALDERA VR 2	69,6	4	4	2	3	3	4	64	4	16
VENTILADOR TIRO INDUCIDO CALDERA VR 2	14,4	3	4	1	3	3	4	45	3	15
FILTRO MANGAS CALDERA VR 2	16,8	3	4	1	3	4	4	48	3	16
MOTOREDUCTOR TORNILLO FILTRO MANGAS CALDERA VR2	12	2	4	1	2	3	4	28	2	14
TERMÓMETRO TEMPERATURA SALIDA DE GASES VR2	7,2	2	4	1	2	3	4	28	2	14
MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA CICLON CALDERA VR 2	7,2	2	4	1	2	1	4	24	2	12
MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA VR 2	4,8	2	4	1	2	1	4	24	2	12
TORNILLO SALIDA ESCORIA CALDERA VR 2	4,8	3	4	1	3	3	4	45	3	15
MOTOREDUCTOR ROTATIVA FILTRO MANGAS CALDERA VR2	4,8	3	4	1	2	1	4	36	3	12
MOTOR VENTILADOR TIRO INDUCIDO CALDERA VR2	4,8	3	3	1	2	1	4	33	3	11
MOTOREDUCTOR TORNILLO SALIDA DE ESCORIA CALDERA VR 2	4,8	2	3	1	2	1	4	22	2	11
TRANSMISOR FLUJO DE VAPOR VR2	4,8	2	2	1	2	1	4	20	2	10
TRANSMISOR PRESIÓN DE HOGAR VR2	4,8	2	4	1	2	1	4	24	2	12
TRANSMISOR NIVEL DE AGUA VR2	4,8	2	4	1	2	1	4	24	2	12
TRANSMISOR PRESIÓN DE VAPOR CALDERA VR2	4,8	2	4	1	2	1	4	24	2	12
TRANSMISOR PRESIÓN FILTROS DE MANGAS VR2	4,8	2	4	1	2	1	4	24	2	12
MANÓMETRO PRESIÓN CALDERA VR2	4,8	2	1	1	2	1	4	18	2	9
TERMÓMETRO TEMPERATURA SALIDA DE GASES VR1	4,8	2	1	1	2	1	4	18	2	9
VENTILADOR TIRO FORZADO PRIMARIO CALDERA VR 2	2,4	2	4	1	2	3	4	28	2	14
MULTICICLON CALDERA VR 2	2,4	2	4	1	2	3	4	28	2	14
MOTOR ALARMA SIRENA CALDERA VR 2	2,4	2	1	1	2	1	4	18	2	9
MOTOR VENTILADOR TIRO FORZADO PRIMARIO CALDERA VR 2	2,4	2	2	1	2	1	4	20	2	10
MOTOR VENTILADOR TIRO FORZADO SECUNDARIO CALDERA VR 2	2,4	2	2	1	2	1	4	20	2	10
VALVULA SEGURIDAD CALDERA VR 2	2,4	2	1	1	2	1	4	18	2	9
VALVULA SEGURIDAD CALDERA VR 2	2,4	2	1	1	2	1	4	18	2	9
PLENIUM CALDERA VR 2	0	1	4	1	2	1	4	12	1	12
REDUCTOR PARRILLA VIAJERA CALDERA VR2	0	1	4	1	2	1	4	12	1	12
VENTILADOR TIRO FORZADO SECUNDARIO CALDERA VR 2	0	1	4	1	2	1	4	12	1	12

Tabla 11: Calculo criticidad

Con el cálculo de criticidad se contemplan factores importantes como los son la frecuencia de falla, impacto en la producción, seguridad y salud, costo de reparación, tiempo de reparación y tiempo de operación esto permite establecer jerarquía o prioridades en la elaboración del plan de mantenimiento facilitando la toma de decisiones de manera acertada y efectiva, direccionando el esfuerzo y los recursos en el área de mantenimiento en este caso el ventilador inducido, sistema de captura de material particulado (filtros manga) etc. Entre mayor sea el valor del indicador empeora.

## **12. Análisis Financiero**

A continuación, se presenta el análisis financiero del mantenimiento preventivo para una Caldera Vr de 700 BHP, el cual se soporta con los requerimientos de necesidades y las cifras obtenidas en cada uno de los estudios anteriores, en los cuales se convierten en datos de entrada para el cálculo de beneficio del sistema actual de generación de vapor, con el fin de evaluar la rentabilidad y la viabilidad económica realizando un estudio detallado para el desarrollo de este.

Este análisis se estima con un horizonte de evaluación en el mantenimiento preventivo donde se analiza, verifica, inspecciona, realizando de forma planificada evitar fallas en algún sistema, en el cual impacta directa y proporcionalmente a los costos involucrados, este indicador se proyecta de acuerdo a los datos estimados preventivo en la compañía Proteicol.

### **12.1 Inversión**

Se proyecta una inversión anual total de nueve millones ochocientos cuarenta y ocho mil ochocientos setenta y cinco pesos \$ 9.848.075 por concepto de:

<b>LUBRICACION SEMANAL</b>	<b>TOTAL, ANUAL</b>
CHUMACERAS VENTILADOR TIRO FORZADO	\$ 137.269
RODAMIENTOS PARRILLA VIAJERA	\$ 145.806

REDUCTOR PARRILLA VIAJERA	\$ 255.481
EXTRACTOR TIRO INDUCIDO	\$ 48.576
MOTOREDDUCTOR VALVULA ROTATIVA CICLON	\$ 255.483
CHUMACERAS VALVULA ROTATIVA CICLON	\$ 23.068
MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA 1 FILTRO MANGAS	\$ 23.068
MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA 2 FILTRO MANGAS	\$ 255.483
CHUMACERAS VALVULA ROTATIVA 2 FILTRO MANGAS	\$ 30.113
MOTOREDUCTOR TORNILLO FILTRO MANGAS	\$ 5.875
CHUMACERAS TORNILLO FILTRO MANGAS	\$ 30.113
MOTOR TORNILLO SALIDA ESCORIA	\$ 29.751
CADENA TORNILLO SALIDA ESCORIA	\$ 433.174
RODAMIENTO TORNILLO SALIDA ESCORIA	\$ 23.068
BOMBA ALIMENTACION AGUA VR 2	\$ 24.035
PTEPVMAN01: REVISIÓN CUATRIMESTRAL DE MANÓMETRO	\$ 6.129
EPREVMOT02: REV ELEC CUATRIMESTRAL DE MOTORES	\$ 48.399
PTEPVMAN02 REVISIÓN SEMESTRAL DE MANÓMETRO	\$ 26.419
PTEPVTER01 REVISIÓN CUATRIMESTRAL DE TERMOMETRO	\$ 6.975
PTEPVTER02 REVISIÓN CUATRIMESTRAL DE TERMOMETRO	\$ 24.728
MPREVTOR05 REV MECANICA TORNILLOS TRANSPORTADORES DE PROCESO	\$ 57.699
PTEPVTRA01 REVISIÓN CUATRIMESTRAL DE TRANSMISOR	\$ 8.877
PTEPVTRA02 REVISIÓN SEMESTRAL TRANSMISOR	\$ 30.012
EPREVVAL01 CALIBRAC Y CERTIFICACION EXTERNA VALV SEGURIDAD	\$ 567.045
PTMPVRED02 CAMBIO ANUAL DE ELEMENTOS MOTRICES	\$ 3.221.135
EPREVINS48 REVISION ELEC MEN INSTRUMENTACION CALDERA VR	\$ 2.212.424
PTMPVCAL01 REVISION MECANICA MENSUAL CALDERA JCT-VR	\$ 1.525.110
PTMPVCAL02 REVISION MECANICA TRIMESTRAL CALDERAS JCT-VR	\$ 302.937
PTMPVCAL03 REVISION MECANICA ANUAL CALDERA JCT-VR	\$ 89.824

Tabla 12: Inversión

se detalla la inversión inicial requerida para el montaje y la puesta en marcha del mantenimiento preventivo.

## 12.2 Proyección de costos

Para efectos de estimación de costos del mantenimiento preventivo, se definen valores para las variables macroeconómicas que impactan la proyección de costo base a la cantidad semanal y anual:

LUBRICACION SEMANAL	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	\$ SEMANAL	\$ ANUAL
CHUMACERAS VENTILADOR TIRO FORZADO	Kg	0,0024	\$ 242	\$ 12.806
RODAMIENTOS PARRILLA VIAJERA	Kg	0,004	\$ 403	\$ 21.344
REDUCTOR PARRILLA VIAJERA	Gal	5,5	\$ 250.197	\$ 250.197
EXTRACTOR TIRO INDUCIDO	Kg	0,43	\$ 43.292	\$ 43.292
MOTOREDDUCTOR VALVULA ROTATIVA CICLON	Gal	5,5	\$ 250.197	\$ 250.197
CHUMACERAS VALVULA ROTATIVA CICLON	Kg	0,0016	\$ 161	\$ 1.933
MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA 1 FILTRO MANGAS	Kg	0,0016	\$ 161	\$ 1.933
MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA 2 FILTRO MANGAS	Gal	5,5	\$ 250.197	\$ 250.197
CHUMACERAS VALVULA ROTATIVA 2 FILTRO MANGAS	Kg	0,0016	\$ 161	\$ 1.933
MOTOREDUCTOR TORNILLO FILTRO MANGAS	Gal	0,013		\$ 591
CHUMACERAS TORNILLO FILTRO MANGAS	Kg	0,0016	\$ 0	\$ 1.933
MOTOR TORNILLO SALIDA ESCORIA	Kg	0,0013	\$ 0	\$ 1.571
CADENA TORNILLO SALIDA ESCORIA	Und	1	\$ 0	\$ 432.000
RODAMIENTO TORNILLO SALIDA ESCORIA	Kg	0,0016	\$ 0	\$ 1.933
BOMBA ALIMENTACION AGUA VR 2	Kg	0,0024	\$ 0	\$ 2.900
EPREVV01 CALIBRAC Y CERTIFICACION EXTERNA VALV SEGURIDAD	Und	1	\$ 0	\$ 560.000

PTMPVRED02 CAMBIO ANUAL DE ELEMENTOS MOTRICES	Und	1	\$ 0	\$ 3.200.000
--	-----	---	------	--------------

Tabla 13: Estimación de costos

En esta tabla se consolido todos los costos asociados a tiempos, observando una detallada proyección por el tipo de horas fraccionadas para el mantenimiento preventivo:

LUBRICACIÓN SEMANAL	TIEMPO MIN	HORA FRACCIÓN
CHUMACERAS VENTILADOR TIRO FORZADO	20	0,333333333
RODAMIENTOS PARRILLA VIAJERA	20	0,333333333
REDUCTOR PARRILLA VIAJERA	45	0,75
EXTRACTOR TIRO INDUCIDO	20	0,333333333
MOTOREDDUCTOR VALVULA ROTATIVA CICLON	45	0,75
CHUMACERAS VALVULA ROTATIVA CICLON	15	0,25
MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA 1 FILTRO MANGAS	15	0,25
MOTOREDUCTOR VALVULA ROTATIVA 2 FILTRO MANGAS	45	0,75
CHUMACERAS VALVULA ROTATIVA 2 FILTRO MANGAS	20	0,333333333
MOTOREDUCTOR TORNILLO FILTRO MANGAS	45	0,75
CHUMACERAS TORNILLO FILTRO MANGAS	20	0,333333333
MOTOR TORNILLO SALIDA ESCORIA	20	0,333333333
CADENA TORNILLO SALIDA ESCORIA	10	0,166666667
RODAMIENTO TORNILLO SALIDA ESCORIA	15	0,25
BOMBA ALIMENTACION AGUA VR 2	15	0,25
PTEPVMAN01: REVISIÓN CUATRIMESTRAL DE MANÓMETRO	17,4	0,29
EPREVMOT02: REV ELEC CUATRIMESTRAL DE MOTORES	137,4	2,29
PTEPVMAN02 REVISIÓN SEMESTRAL DE MANÓMETRO	75	1,25
PTEPVTER01 REVISIÓN CUATRIMESTRAL DE TERMOMETRO	19,8	0,33
PTEPVTER02 REVISIÓN CUATRIMESTRAL DE TERMOMETRO	70,2	1,17
MPREVTOR05 REV MECANICA TORNILLOS TRANSPORTADORES DE PROCESO	163,8	2,73
PTEPVTRA01 REVISIÓN CUATRIMESTRAL DE TRANSMISOR	25,2	0,42



PTEPVTRA02 REVISIÓN SEMESTRAL TRANSMISOR	85,2	1,42
EPREVVAL01 CALIBRAC Y CERTIFICACION EXTERNA VALV SEGURIDAD	30	0,5
PTMPVRED02 CAMBIO ANUAL DE ELEMENTOS MOTRICES	180	3
EPREVINS48 REVISION ELEC MEN INSTRUMENTACION CALDERA VR	1570,2	26,17
PTMPVICAL01 REVISION MECANICA MENSUAL CALDERA JCT-VR	1082,4	18,04
PTMPVICAL02 REVISION MECANICA TRIMESTRAL CALDERAS JCT-VR	645	10,75
PTMPVICAL03 REVISION MECANICA ANUAL CALDERA JCT-VR	765	12,75

*Tabla 14: Proyección por el tipo de horas fraccionadas*

### **12.3 Cálculo de beneficio por mantenimiento preventivo.**

El proceso metodológico de evaluación, comparación y decisión entre alternativas operacionales o proyectos de inversión tiene que empezar por la caracterización de la situación en análisis, para de allí definir las necesidades de información, hacer los modelos y supuestos requeridos, definir el tipo de criterio decisorio y, finalmente, escoger la herramienta específica que mejor se adapta a la situación análisis.

En este caso en particular, las alternativas producen el mismo servicio – generación de mantenimiento preventivo siendo el escenario más fácil y simple de analizar, dado que la información a tener en cuenta son las inversiones y los costos asociados a cada alternativa.

Para efecto de análisis, los criterios decisorios son:

- La minimización de los costos equivalentes mediante el cálculo de los costos presente equivalente (CPE).
- La comparación de la tasa mínima de retorno del beneficio entre las alternativas con la tasa mínima de retorno de la organización. De acuerdo al área financiera, la tasa mínima de retorno es del 18% aproximadamente.

- La estimación del impacto de realizar un cambio un sistema en marcha, mediante el indicador costo – beneficio.

#### **12.4 Análisis de costo beneficio**

Este criterio de evaluación se usa para analizar el impacto de realizar un cambio en un sistema en marcha, se basa en una inversión requerida, ahorros en costos y valores de mercado.

Para efectos de análisis, se define:

- La vida útil del sistema actual de la generación del mantenimiento preventivo que requiere un tipo de inversión en el horizonte del tiempo.
- El proyecto de inversión en el sistema de mantenimiento preventivo genere más beneficio que la inversión requerida.

### **13. Conclusiones y Recomendaciones**

- Una buena planificación del mantenimiento y de los equipos respetando un acuerdo entre el costo y beneficio, entre cuanto gastar y que se resuelve con ello, supone a largo plazo un ahorro económico considerable aumentado la vida útil de los activos
- El mantenimiento a nivel industrial construye una actividad esencial para alcanzar un alto nivel de eficacia en los sistemas productivos de la empresa y así garantizar la ventaja competitiva en cuanto a los productos y servicios ofrecidos en la compañía, llevando a niveles de calidad superiores a los actuales.
- Con relación a la aplicación del objetivo específico numero 1 donde diagnosticamos los métodos actuales de mantenimiento empleados por la compañía para la caldera

VR se concluye que la empresa no tiene un plan de mantenimiento preventivo sólido. Se plantea un cronograma de mantenimiento

Anexo 4: [Cronograma Mantenimiento.xlsx](#)

- En cuanto a la identificación de elementos relevantes en la investigación, por medio de la investigación y la aplicación de la entrevista se concluye que los equipos no se les presta una correcta atención evidenciado en el cálculo de criticidad para activos como el filtro de mangas y ventilador tiro inducido.
- Desde el cálculo MTTR Y MTBF comparado con el de criticidad vemos una gran oportunidad de trabajo y posible ampliación de análisis de fallas por métodos alternos como el CAPDO para dichos equipos ya que son activos con alta frecuencia de falla e impacto con paro de línea.
- No se tiene definido un plan de inventarios para disminuir tiempos de intervención de los equipos.
- Este plan de mantenimiento ajusta el gasto en cuanto al presupuesto de mantenimiento controlando por ejecuciones sistemáticas.
- Elaboración cartas de lubricación identificando los mecanismos que componen la caldera.

Anexo 5: [Cartas de Lubricacion.xlsx](#)

#### **14. Referencias Bibliográficas**

- Álvarez, E. F. (2018). Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM. Oviedo.
- Neto, Edwin (2008). Mantenimiento Industrial. Ecuador, Macas.

- Norma COVENIN 2500-93. Manual para la evaluación de sistemas de mantenimiento en la industria. Fondonorma.
- Hernández, P., Fernández, S., & Carro, M. (2008). Optimización del Mantenimiento Preventivo, utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Resultados finales y evaluación económica. Ingeniería Energética.
- Monchy, F. (1990) Teoría y práctica del Mantenimiento Industrial. Editorial: Masson, SA editorial. Barcelona, España