



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE:**

MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

TEMA:

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y AMEF PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD APLICADO A PLANTAS
TERMOELÉCTRICA POR COMBUSTION DE BIOMASA.**

Autor:

CHIMBOLEMA CUÑAS JAVIER MARTIN

Tutor:

Mgtr. JHONNY DARWIN ORTIZ MATA

Milagro, 2023

Derechos de autor

**Sr. Dr.
Fabricio Guevara Viejó**
Rector de la Universidad Estatal de Milagro
Presente.

Yo, Chimbolema Cuñas Javier Martin en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magíster en producción y operaciones industriales, como aporte a la Línea de Investigación Desarrollo productivo-maestría producción de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 23 Mayo 2023



Firmado electrónicamente por:
JAVIER MARTIN
CHIMBOLEMA CUNAS

Chimbolema Cuñas Javier Martin

C.I: 0925004210

Aprobación del Director del Trabajo de Titulación

Yo, Mgtr. Jhonny Darwin Ortiz Mata en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por Chimbolema Cuñas Javier Martin, cuyo tema es Análisis de criticidad y AMEF para la elaboración de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a plantas termoeléctrica por combustión de biomasa, que aporta a la Línea de Investigación Desarrollo productivo-maestría producción, previo a la obtención del Grado Magíster en producción y operaciones industriales. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, **23 de Mayo del 2023**



Firmado electrónicamente por:
JHONNY DARWIN ORTIZ
MATA

Mgtr. Jhonny Darwin Ortiz Mata

C.I: 0927159111

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES CON MENCIÓN EN MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**, presentado por **ING. CHIMBOLEMA CUÑAS JAVIER MARTIN**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y AMEF PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN PLANTAS TERMOELÉCTRICAS POR BIOMASA, CASO DE ESTUDIO ECUADOR.", las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	54.33
DEFENSA ORAL	38.33
PROMEDIO	92.67
EQUIVALENTE	Muy Bueno



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ANGEL BUCHELI
CARPIO**

Msc. BUCHELI CARPIO LUIS ANGEL
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**ALBERTO
ANDRES LEON
BATALLAS**

Mg LEON BATALLAS ALBERTO ANDRES
VOCAL



Firmado electrónicamente por:
**JUAN JOSE PAREDES
QUEVEDO**

Mgs PAREDES QUEVEDO JUAN JOSE
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios por haberme guiado en todo momento de mi vida, dándome la fortaleza para cumplir cada una de mis metas.

A mi esposa Jazmín Pante quien ha sido mi apoyo incondicional, por su comprensión, amor y dedicación.

A mis hijos Ashley y Joshep quienes son el motor de mi vida y por quienes me supero para brindarle un mejor futuro.

A mis padres, José y Juana, quienes me inculcaron el valor de la responsabilidad y la constancia en cada proyecto que me propusiera.

A mis hermanos, amigos que han sido parte de mi vida y a quienes considero parte de este éxito.

Chimbolema Cuñas Javier Martin

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Estatal de Milagro por haber brindado los recursos necesarios para culminar con este masterado.

A los docentes quienes han sido una parte importante dentro de mi formación profesional.

A mi tutor por haberme guiado durante todo el proceso de titulación.

Chimbolema Cuñas Javier Martin

Resumen

El presente trabajo se centró en un análisis de criticidad y AMEF para la elaboración de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, aplicado a plantas termoeléctricas por combustión de biomasa, para lo cual se estableció como objetivo central desarrollar un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), a través del análisis de modo de efecto de fallos para reducir tiempos improductivos. Esto conllevó a realizar el levantamiento de información del sistema y subsistema para aplicar las técnicas de mantenimiento RCM y AMEF, elaborar Formatos de Criticidad y AMEF, clasificar los equipos según el nivel de criticidad y su posterior tabulación y análisis de los resultados obtenidos para así diseñar un plan de mantenimiento aplicable a los equipos catalogados como críticos, según los resultados de la metodología RCM y AMEF, que reduzca la tasa de fallos. La metodología consistió en especificar que etapas se desarrollaron para efecto de este proyecto basado en la Metodología RCM, siendo estas, la identificación del tipo de industria objeto de estudio, levantamiento de información e identificación de sistemas y subsistemas, elaboración de Formatos y evaluación de criticidad, tabulación de resultados y diseño del plan de mantenimiento. La propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad tiene como finalidad el garantizar que los equipos cumplan las funciones para los cuales fueron diseñados.

Palabras claves: Análisis, Criticidad, Mantenimiento, Termoeléctrica.

Abstract

This work focused on a criticality analysis and FEA for the development of a maintenance plan focused on reliability applied to biomass combustion thermoelectric plants, for which the main objective was to develop a maintenance plan applying the methodology of Reliability Based Maintenance (RCM), through the analysis of failure mode effect to reduce downtime, This led to the collection of system and subsystem information to apply RCM and AMEF maintenance techniques, to prepare Criticality and AMEF forms, to classify the equipment according to the level of criticality and its subsequent tabulation and analysis of the results obtained, and to design a maintenance plan applicable to the equipment classified as critical, according to the results of the RCM and AMEF methodology, to reduce the failure rate. The methodology consisted in specifying which stages were developed for the purpose of this project based on the RCM Methodology, being these the identification of the type of industry under study, information gathering and identification of systems and subsystems, elaboration of Forms and evaluation of criticality, tabulation of results and design of the maintenance plan. The purpose of the proposal of Reliability Centered Maintenance is to guarantee that the equipment fulfills the functions for which it was designed.

Key words: Analysis, Criticality, Maintenance, Thermoelectric.

Lista de Figuras

Figura 1 Flujograma de metodología elaborar plan de mantenimiento RCM	29
Figura 3 Flujograma de proceso planta termoeléctrica por combustión con biomasa.	32
Figura 4 Diagrama de proceso planta termoeléctrica por biomasa	34
Figura 5 Diagrama de subsistema de calderas pirotubular combustión por biomasa	35
Figura 6 Subsistema casa de fuerza	37
Figura 7 Subsistema subestación eléctrica	37
Figura 8 Diagrama de Pareto de sistema y subsistemas críticos	51
Figura 9 Análisis de Ishikawa de resultados criticidad y AMEF-Agua de alimentación	53
Figura 10 Análisis de Ishikawa de resultados criticidad y AMEF- Turbina sistema hidráulico	53
Figura 11 Análisis de Ishikawa de resultados criticidad y AMEF-Turbina	55

Lista de Tablas

Tabla 1 Jerarquización de Resultados	30
Tabla 2 Formato para análisis de criticidad.....	38
Tabla 3 Formato de evaluación de criticidad.....	39
Tabla 4 Formato impacto total de criticidad.....	40
Tabla 5 Formato para análisis AMEF	41
Tabla 6 Clasificación de sistemas y subsistemas según el nivel de criticidad.....	41
Tabla 7 Resultados formato AMEF	43
Tabla 8 Equipos críticos en el sistema y subsistema	52
Tabla 9 Formato de rutas diaria eléctrica	61
Tabla 10 Formato ruta diaria mecánica.....	62
Tabla 11 Formato de reporte de fallas	65
Tabla 12 Formato orden de trabajo de mantenimiento.....	66
Tabla 13 Formato registro de mantenimiento realizado	67
Tabla 14 Formato protocolo de mantenimiento.....	68
Tabla 15 Plan Anual de Mantenimiento.....	69
Tabla 16 Sistemas.....	78
Tabla 17 Subsistemas.....	78

Índice / Sumario

Derechos de autor.....	i
Aprobación del Director del Trabajo de Titulación.....	ii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen	vi
Abstract.....	vii
Introducción.....	1
Capítulo I: El problema de la investigación.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Delimitación del problema.....	5
1.3 Formulación del problema.....	6
1.4 Preguntas de investigación	7
1.5 Determinación del tema.....	7
1.6 Objetivo general.....	7
1.7 Objetivos específicos	8
1.8 Justificación	8
1.9 Alcance y limitaciones.....	9
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial.....	10
2.1 Antecedentes.....	10
2.1.1 Antecedentes históricos	10
2.1.2 Antecedentes referenciales	10
2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación	17
2.2.1 RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).....	17
2.2.2 Ventajas de aplicar RCM	18
2.2.3 Mantenimiento basado en la confiabilidad	19
La curva P - F	19
2.2.4 Indicadores de desempeño	20
2.2.5 Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	20
2.2.6 Disponibilidad (DISP).....	20
Intervalos de búsqueda de falla (FFI)	20
2.2.7 Normas utilizadas.....	21
2.2.8 Causas de un deficiente plan de mantenimiento	22
2.2.9 Efectos de un deficiente plan de mantenimiento.....	22
2.2.10 Modos de Falla (Causa de falla).....	22

2.2.11 Efectos de las Fallas.....	23
2.2.12 Consecuencias de los fallos	24
CAPÍTULO III: Diseño metodológico	25
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	25
3.2 La población y la muestra	25
3.2.1 Características de la población	25
3.3 Los métodos y las técnicas.....	26
3.4 Técnicas	26
3.5 Procesamiento estadístico de la información.....	27
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados	28
4.1 Análisis de la situación actual.....	28
4.2 Análisis Comparativo	29
4.2.1 Las etapas que se desarrollan para efecto de este proyecto basado en la Metodología RCM	30
4.2.1.1 Identificación del tipo de industria objeto de estudio.....	30
4.2.1.2 Levantamiento de información e identificación de sistemas y subsistemas:	30
4.3 Elaboración de Formatos y evaluación de criticidad.....	30
4.4 Tabulación de Resultados	30
4.5 Jerarquización de Resultados	30
4.6 Diseño y elaboración del plan de mantenimiento.....	31
4.7 Propuesta de solución	31
4.8 Justificación	31
4.9 Objetivos	31
4.9.1 Objetivo general	32
4.9.2 Objetivos específicos.....	32
4.10 Ubicación.....	32
4.11 Descripción de la propuesta.....	32
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones	71
5.2 Conclusiones	71
5.3 Recomendaciones	73
Referencias Bibliografía	74

Introducción

Las dinámicas y procesos industriales que han crecido en ambientes competitivos son cada vez más exigente, selectivo y cambiante. La eficiencia de todas las actividades del proceso productivo se hace una condición primordial para la subsistencia de la empresa. El éxito de las industrias está condicionado entre otros factores por la optimización de los costes de producción y una flexibilización de los procesos que permita hacer frente a un entorno cambiante.

Toda actividad desarrollada dentro de la maquinaria ya sea antes o después de que está presente una falla se denomina mantenimiento. Una adecuada gestión del mismo puede significar un incremento en la producción y generación de recursos para la empresa. Sin embargo, el desafío más grande al momento de sustentar la confiabilidad operacional radica en la toma de decisiones y definición de actividades centradas en la confiabilidad de los equipos.

Dentro de este contexto, el presente trabajo se enfocó en desarrollar un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), a través del análisis de modo de efecto de fallos para reducir tiempos improductivos, esto conllevó a realizar el levantamiento de información del sistema y subsistema para aplicar las técnicas de mantenimiento RCM y AMEF, se elaboró Formatos de Criticidad y AMEF, además de la clasificación de los equipos según el nivel de criticidad y por último se diseñó un plan de mantenimiento aplicable a los equipos catalogados como críticos, según los resultados de la metodología RCM y AMEF.

La metodología aplicada fue la basada en la contabilidad (RCM) para mantener un control de los equipos críticos de una empresa termoeléctrica, para lo cual se realizó los respectivos análisis de criticidad con la finalidad de determinar qué equipos

deben ser sometidos a la metodología antes mencionada. Se realizó un análisis de modos y efectos de falla (AMEF); para lo cual fue necesario definir las funciones principales y secundarias; sus modos de falla, los efectos de falla y las causas potenciales.

La finalidad del trabajo propuesto consistió en dar respuestas a las interrogantes que plantea la metodología para aplicar a los equipos o maquinarias que presenten fallos, dejando atrás los antiguos métodos de mantenimientos al desarrollar un plan de mantenimiento que reduzcan tiempos imprevistos a través de actividades de mantenimiento, las frecuencias y los especialistas requeridos.

Capítulo I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

La correcta planificación y programación del mantenimiento industrial garantiza una eficaz producción, calidad y seguridad. También evita pérdidas económicas y tiempos improductivos a causa de fallos imprevistos, los mismos que son controladas a través de técnicas preventivas y centradas en la condición, asegurando que el activo cumpla con las funciones determinadas. Sin embargo, existen industrias que mantienen serios problemas en la productividad a consecuencia de utilizar planes de mantenimientos obsoletos, donde no se tiene en cuenta un análisis a fondo de las funciones de los equipos, sino que se trabaja corrigiendo fallas, es decir, interviniendo los equipos únicamente cuando presentan algún tipo de deterioro en sus funciones y ocasionando paradas de planta imprevistas, que traen consigo unas considerables pérdidas en dinero y en algunos casos pueden llegar a perturbar de alguna forma la integridad de las personas o del ambiente.

El problema no radica en una mala implementación de estos procesos, sino más bien en la poca eficiencia de los mismos, por eso, partiendo de lo recomendado por cada autor de programas de mantenimiento y fabricante de componentes y equipos, se busca mejorar cada proceso de mantenimiento para conseguir un alto estándar de calidad y eficiencia.

Este proyecto de plan de mantenimiento basado en la confiabilidad se desarrolla para la planta Termo eléctrica con combustión de Biomasa para la sección de generación de vapor y generación de energía con el que se busca superar los problemas anteriormente formulados.

Estos equipos hacen parte fundamental de los procesos de la empresa, sin embargo, cada vez se hace más evidente la implementación de planes de mantenimiento incompletos, basados en la observación del técnico encargado, perdiendo así el valor total de la máquina.

Las industrias azucareras del Ecuador cuentan con un conjunto de máquinas conocido como cogeneración perteneciente al tipo de plantas Termoeléctricas, este conjunto (central termoeléctrica) constan de equipos tales como calderas acuatubulares, turbogeneradores y equipos auxiliares de diferentes capacidades de acuerdo con el tamaño de las industrias. El estudio se enfoca en las compañías dedicada a la generación de energía eléctrica ubicada en la ciudad de San Francisco de Milagro y Marcelino Maridueña, Provincia del Guayas. Estas plantas termoeléctricas cuentan con una capacidad de producción de vapor mayor de 180 Ton/ hora y un Turbogenerador de 25MVA hora de generación de energía.

En la casa de fuerza, las calderas acuatubulares y Turbogeneradoras son los equipos importantes para el proceso de generación de energía Termoeléctrica. La caldera proporciona energía térmica (Vapor recalentado a alta presión) y el turbogenerador transforma la energía térmica en energía eléctrica y en energía térmica de baja presión que es utilizado en el proceso de elaboración del jugo de caña de azúcar en los ingenios.

El problema principal que se suscitan en la casa de fuerza es la falla de equipos a causa de la falta de mantenimiento, lo cual está generando paradas no programadas, baja de producción o parada de producción y por ende pérdidas económicas.

Se ha podido observar que el plan de mantenimiento no abarca todos los equipos, debido a la falta de levantamiento de información, inventario de los equipos, análisis de criticidad, generando así el deterioro prematuro y pérdidas económicas.

Otro problema es el bajo porcentaje de fiabilidad de los equipos debido a los escasos de análisis de fallas y efectos, producido por deficientes e inadecuados planes de mantenimientos.

1.2 Delimitación del problema

Circunscribir al problema en una realidad poblacional en términos de espacio y tiempo; e identifique en el mismo las variables.

Delimitación Espacial:

País: Ecuador

Región: Cinco-Costa

Provincia: Guayas

Sector: Manufactura

Área de estudio: Área de mantenimiento

Campo de estudio: Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Objeto de estudio: Plantas termoeléctricas

Delimitación Temporal:

Tiempo: El estudio o análisis que se plantea tendrá como marco de referencia temporal el período comprendido entre el 2021-2022. Además, los datos obtenidos se convertirán en información de gran relevancia para otros estudios por un período de cinco años, posteriormente, la información deberá ser actualizada.

1.3 Formulación del problema

¿De qué manera un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), incidirá en la reducción de improductivos?

A continuación, se presentan diez aspectos que le permitirán evaluar el problema.

Delimitado:

El desarrollo del trabajo investigativo se centra por los problemas que se suscitan en la casa de fuerza provocando la falla de equipos a causa de la falta de mantenimiento, lo cual está generando paradas no programadas, baja de producción o parada de producción y por ende pérdidas económicas, para lo cual se propone un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM). Teniendo un marco de referencia temporal el período comprendido entre el 2021-2022.

Claro: de acuerdo con el problema planteado se desarrollará un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), a través del análisis de modo de efecto de fallos para reducir tiempos improductivos.

Concreto: el trabajo se desarrolla de forma concreta en cuatro capítulos donde se describe cada uno de los componentes que forman parte de la investigación, recolección de resultados y conclusión.

Relevante: El desarrollo del trabajo es de gran beneficio para las plantas termoeléctricas, puesto que un mantenimiento basado en la confiabilidad sería de gran aporte para maximizar la productividad.

Original: la aplicación de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad es una alternativa innovadora que ha sido poco utilizada en las plantas termoeléctricas, por lo tanto, es factible su aplicación.

Factible: la implementación de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad es factible porque los resultados se los podrá obtener en un corto tiempo.

Variables: Las variables identificadas en este trabajo son las siguientes:

Variable independiente: plan de mantenimiento

Variable dependiente: Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM)

1.4 Preguntas de investigación

¿Qué importancia tiene un levantamiento de información del sistema y subsistema para la aplicación de técnicas de mantenimiento RCM y AMEF?

¿En qué consiste los análisis de criticidad y AMEF?

- ¿Qué equipos según el nivel de criticidad permitirán obtener buenos resultados?

- ¿Qué mejoras se aplicaría a los equipos catalogados como críticos, según los resultados de la metodología RCM y AMEF?

1.5 Determinación del tema

Análisis de criticidad y AMEF para la elaboración de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a plantas termoeléctrica por combustión de biomasa.

1.6 Objetivo general

Desarrollar un plan de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), a través del análisis de modo de efecto de fallos para reducir tiempos improductivos.

1.7 Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento de información del sistema y subsistema para aplicar las técnicas de mantenimiento RCM y AMEF.
- Elaborar Formatos de Criticidad y AMEF
- Clasificar los equipos según el nivel de criticidad y su posterior tabulación y análisis de los resultados obtenidos.
- Diseñar y elaborar un plan de mantenimiento aplicable a los equipos catalogados como críticos, según los resultados de la metodología RCM y AMEF, que reduzca la tasa de fallos.

1.8 Justificación

La presente investigación se centra en buscar mejoras en los procesos industriales tales como en el mantenimiento, que es la fuente principal de este estudio debido a problemas que se suscitan en la casa de fuerza provocando la falla de equipos a causa de la falta de mantenimiento, lo cual está generando paradas no programadas, baja de producción y por ende pérdidas económicas.

En este sentido se justifica el trabajo ya que las plantas termoeléctricas no deben tener paradas imprevistas de sus equipos, esto se ha intensificado también por la falta de análisis a fondo de las funciones de los equipos, es decir, interviniendo los equipos únicamente cuando presentan algún tipo de deterioro en sus funciones y ocasionando paradas de planta imprevistas.

La metodología se basa en la aplicación de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM). Esta consiste en elaborar un plan de mantenimiento dentro de una planta industrial, todo que trae consigo una serie de ventajas sobre otras técnicas aplicadas. Donde un equipo de trabajo es el responsable de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que trabaja bajo diferentes condiciones de trabajo,

estableciendo para ello una serie de actividades efectivas de mantenimiento de acuerdo con las criticidad de los activos.

Los beneficiarios de esta trabajo con las plantas termoeléctricas, puesto que contaran con un referente para mejorar sus procesos de mantenimiento, que en consecuencia trae consigo un incremento de la operatividad y rentabilidad de la empresa.

1.9 Alcance y limitaciones

Alcance

El procedimiento para la aplicación del Mantenimiento centrado en la confiabilidad comprende, el desarrollo una sucesión de fases para cada uno de los sistemas que componen el objeto de estudio práctico. Primero se realizó un levantamiento de información de los equipos, identificarlos y clasificarlos en sistemas, subsistemas, equipos y máquinas, luego mediante el estudio de criticidad y análisis de efecto de modo de fallo se clasificó las maquinas por el grado de criticidad. Toda esta información fue tabulada y analizada para luego elaborar el plan de mantenimiento basado en el RCM y así adoptar medidas preventivas que eviten o minimicen sus efectos.

Limitaciones

Dentro de las limitaciones que se puedan presentar en el desarrollo de la investigación es la resistencia del personal a cambios innovadores, que desencadenaría el desarrollo de nuevos procesos a los cuales requiere en primera instancia de tiempo para aprender a manejarlos.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes históricos

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.). Esta metodología fue desarrollada inicialmente por la industria comercial de aviación de los Estados Unidos para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, fue definida por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978 y ha sido utilizada para determinar estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo en los países industrializados del mundo.

El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos. El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga [3]. John Moubroy definió el RCM como un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional (Chuchuca, 2020).

2.1.2 Antecedentes referenciales

El desarrollo del estado del arte se centra en analizar estudios similares al propuesto, de esta manera se podrá conocer las mejoras que se han propuesto en cuanto al análisis de criticidad y AMEF.

Un estudio realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la ciudad de Riobamba sobre un plan de mantenimiento para las unidades de generación de la central térmica Ishpingo Tambococha Tiputini de la Corporación Eléctrica del Ecuador bajo la metodología de mantenimiento basado en la condición, diagnóstico e inventario de equipos, análisis AMEF (Samaniego, 2019). De acuerdo al mantenimiento que se centra en la condición sin duda alguna es una estrategia de mantenimiento que se basa en los resultados de un diagnóstico previo de los equipos, obteniendo beneficios en cuanto a la reducción de tareas, optimización de la vida útil, incremento de la disponibilidad, costos de mantenimiento y la seguridad de los activos como de los sistemas, de acuerdo con lo mencionado sea direccionado el trabajo en crear un plan de mantenimiento para las unidades de generación de la central térmica de Tambococha, para lo cual se realizó la evaluación de mantenimiento a las unidades HHI Hyundai 9H21/32 utilizando indicadores de disponibilidad y sobre todo confiabilidad del software que posee la empresa, esto sirvió para la elaboración de un inventario jerárquico codificado basado en la norma ISO 14224, para lo cual se realizó un análisis de criticidad de los activos y determinar los modos de fallas y efecto (AMFE), de esta manera con lo añadido se ha realizado se determinó las tareas de mantenimiento tanto correctivas como preventivas. Entre las recomendaciones dadas en este estudio esta la evaluación anual que se debe realizar al plan a través de indicadores, además de plantear metas de confiabilidad que permitan tomar una adecuada toma de decisiones para la mejora continua.

De la misma manera un estudio realizado en la Universidad del Azuay sobre una propuesta de implantación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de los Activos Críticos de la Central Hidroeléctrica Ocaña (Zambrano, 2018). En muchos países el servicio de energía eléctrica conlleva una alta demanda de disponibilidad,

así como de confiabilidad para poder cumplir con las exigencias de cada uno de los Estados, puesto que constituye una de las centrales de mayor desarrollo dentro de una región, razón por la cual es importante contar con un plan de mantenimiento sobre los activos más críticos, a fin de poder medir su rendimiento en función a su actividad. básicamente se realizó un análisis de criticidad de los activos para poder determinar los fallos que presenta y con ello todo lo concerniente a los costos, impactos y seguridad. este estudio permitió identificar 3 sistemas que presentan fallas funcionales y modos de falla y efecto de acuerdo con la aplicación del diagrama de decisión RCM. Todo este trabajo permitió establecer un adecuado plan de mantenimiento con el objetivo de incrementar la disponibilidad y confiabilidad del central objeto de estudio.

Otro trabajo basado en el mantenimiento RCM fue realizado por (Belli, 2018). Dentro de las operaciones de las centrales eléctricas el mantenimiento centrado en la confiabilidad es una alternativa efectiva para poder determinar la criticidad de los activos. la confiabilidad se la considera como parte esencial de la calidad que se espera obtener tanto de un producto como de un servicio. es así como esta investigación se ha inclinado por realizar el análisis a través de la ejecución de RCM en la central térmica antes mencionada. en cuanto al enfoque metodológico se efectuó el análisis de las Cortes eléctricos que no estaban programados pero que son de vital significante, la identificación de las principales causas de los daños fue evaluados de acuerdo con la vida útil de los activos.

Dentro de la investigación se encontró un trabajo realizado por (Zorrilla, 2019) en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa sobre una propuesta de implementación del plan de mantenimiento basado en criterios de RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) para una línea de transmisión de 500kV.

para efectividad de este estudio se consideraron los principales principios del RCM realizando para ello el ajuste de los mismos a la gestión de mantenimiento realizada la línea de transmisión, con el objeto de que la metodología sea aplicada para establecer un debido plan de mantenimiento basado en la confiabilidad. el desarrollo del marco teórico solo argumentó con los fundamentos generales de la teoría RCM, con el propósito de dar respuestas a las interrogantes que plantea la metodología, de esta manera podrá entender la filosofía de la misma para aplicar a los equipos o maquinarias que presenten fallos. Las acciones emprendidas en este estudio consistió en manejar toda la información que tenga relación con las técnicas de mantenimiento predictivo que se usan en las líneas de transmisión, junto a esto también se realizó un ajuste en relación a la filosofía del RCM y finalmente se estableció como propuesta la aplicación de la metodología para la mejora de los procesos en pro del desarrollo integral de la empresa.

El RCM en sí, se maneja de la mano de las Normas SAE JA1011/1012, que básicamente brindan las pautas de evaluación de la Gestión del mantenimiento, que ayudan a las empresas a mejorar sus condiciones de funcionamiento. Según varios autores, los factores que influyen al momento de desarrollar un Plan de Mantenimiento son la codificación de piezas y elementos, la seguridad al momento de implementar un programa de mantenimiento, una adecuada gestión de residuos que beneficia a la empresa y al propio medio ambiente y básicamente el diseño en sí del plan de mantenimiento. La importancia del presente artículo radica en el estudio para la optimización de las tareas de mantenimiento, y evitar llegar al punto de fallo de la maquinaria, debido a las consecuencias que esto genera, como el sacrificio de ciertos procesos de producción, o materia prima, con la finalidad de no perder clientes

potenciales con productos de mala calidad o en mal estado, resultado de la mala aplicación de tareas conjuntas de mantenimiento.

Según varios estudios similares, existen empresas del sector productivo que han mejorado notablemente su gestión de equipos y básicamente se debe a un excelente trabajo de evaluación de riesgos, determinación de modos de falla. Así también se han desarrollado varios estudios destacados en diseño e implementación de sistemas de gestión de mantenimiento industrial, apoyados principalmente por el personal de planta de las industrias. Se da el caso de una empresa ambateña, la misma que diseñó la metodología RCM para tres de sus máquinas, con detalle de sistemas y subsistemas, analizando aquellos con mayor índice de criticidad y NPR sumamente elevado, para en lo posterior desarrollar propuestas de mantenimiento preventivo y en el peor de los casos correctivo, en equipos cuya importancia sea inferior a equipos considerados principales, que al final del estudio logra mejorar el nivel de calidad y prolongar la vida útil de los equipos analizados.

Así mismo existen varias empresas que, por el contrario, pretenden defender el mantenimiento correctivo, aduciendo un valor menor al cambiar una pieza dañada, sin pensar que el funcionamiento óptimo de la maquinaria se debe básicamente a un cambio a tiempo de piezas, adecuada gestión de repuestos y limpieza de equipos con la debida planificación. Sin embargo, cada vez se hace más evidente la implementación de planes de mantenimiento incompletos, basados en la observación del técnico encargado, perdiendo así el valor total de la máquina.

Un artículo de revista presentó un trabajo sobre el análisis de modos y efectos de falla expandido: Enfoque avanzado de evaluación de fiabilidad, presentado por (Perdomo & Salomón, 2017), se centró en mostrar las características principales de un nuevo método de naturaleza semicuantitativa, implementado en el programa ASeC

que logra reunir las bondades de los métodos cualitativos y algunas de las fortalezas más importantes de los métodos cuantitativos más completos. Se realizó una comparación de los análisis de criticidad a través ASeC FMEAe y la fiabilidad del análisis del árbol de fallas, para lo cual se hizo necesario la utilización del software ARCÓN. Las respectivas gestiones y análisis aplicado dio como resultado la determinación de debilidades como potencialidades de dicho diseño objeto de estudio, te mostrando de esta manera la necesidad de realizar análisis completos para dar un enfoque integral de apoyo en el proceso de toma de decisiones que se enmarquen en la seguridad de los sistemas que maneja la empresa.

Continuando con la revisión de estudio sobre la evaluación de la confiabilidad, un artículo de la revista Dialnet presenta un trabajo sobre un sistema para evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial realizado por (Gasca,et. al, 2017). Para efectos de este trabajo se realizó evaluaciones individuales de cada uno de los equipos, así como en la distribución de los mismos en cada proceso. La herramienta que se aplicó básicamente se centra en evaluar la confiabilidad a partir de las distribuciones Log normal Weibull y normal. La implementación de esta herramienta permitió la manipulación estadística de los registros como de una interfaz gráfica, esta última hizo posible incrementar el uso del sistema ya que éste tiene la capacidad de integrar en un mismo espacio las entradas y salidas de datos.

Un trabajo investigativo se centró en realizar una Aportación al mantenimiento centrada en la contabilidad para determinar los fallos en los equipos que consumen energía. Este artículo fue realizado por (Espinosa, 2020). En base a lo mencionado se estableció como objetivo central he realizado el estudio de los fallos en los equipos que generan mayor consumo eléctrico, para ello se utilizó diferentes herramientas tales como el análisis de criticidad, trabajo en grupo tanto para el área de

mantenimiento como de energética, A esto se sumó las entrevistas realizadas al personal y a la revisión de los documentos que brindan un soporte al desarrollo de este trabajo. los resultados obtenidos de dicha metodología permitieron la determinación de las funciones de los equipos los efectos de dichos fallos, las consecuencias de seguridad, los fallos funcionales, y los costos de mantenimiento. Por último, se obtuvo la identificación de los equipos el nivel más crítico que genera un alto consumo eléctrico los mismos que corresponden al 85% de la estructura energética Tel empresa, para lo cual se pudo realizar la identificación de las causas de Falla y sobre todo al mantenimiento que se debe realizar en consecuencia a los fallos identificados.

Siguiendo con el levantamiento de información una tesis realizada en la Universidad Técnica de Ambato, se enfocó en el análisis de Criticidad y AMEF para Gestión de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, donde (Espín, 2018) observó que el área de mantenimiento no contaba con un plan preventivo, lo cual causaba varias fallas en los subsistemas de las diferentes máquinas y equipos, generando costos de mantenimiento correctivo, sustitución de piezas, y en el peor de los casos, paradas de planta lo cual implica a su vez reducción de la producción y de ingresos a la empresa. A partir de esta problemática la aplicación del mantenimiento centrado en la contabilidad se basa al análisis como de los riesgos de los fallos de las máquinas, para lo cual se realizó la evaluación del riesgo de una manera objetiva a través de 2 análisis, es decir el análisis de criticidad y el AMEF, el primero se centra básicamente en valorar la criticidad de los subtemas, enfocándose en los siguientes aspectos, impacto operacional, frecuencia de las fallas y costo de mantenimiento, en cuanto al segundo análisis éste se centra en la ocurrencia y detección de la falla y la gravedad, todo esto hizo posible identificar que existen 48 subsistemas en alto riesgo, donde 5

maquinarias cuentan con un nivel de criticidad elevado, razón por la cual, se hizo necesario establecer un adecuado plan de mantenimiento preventivo a las maquinarias identificadas con alto nivel de criticidad, generando a su vez la debida documentación con el fin de contar con datos actualizado que permitan mejorar la productividad de la empresa así como el de alargar la vida útil de los equipos antes mencionado.

2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.2.1 RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad)

RCM. (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una metodología que se basa en elaborar un plan de mantenimiento dentro de una planta industrial, todo que trae consigo una serie de ventajas sobre otras técnicas aplicadas (Espín, Hugo, 2018).

EL RCM se lo define como una filosofía de la gestión de mantenimiento, en la casa donde un equipo de trabajo es el responsable de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que trabaja bajo diferentes condiciones de trabajo, estableciendo para ello una serie de actividades efectivas de mantenimiento de acuerdo a las criticidad de los activos, considerando los posibles efectos que se dan en los modos de fallas de tales activos así como al medio ambiente, la seguridad y las operaciones (Chuchuca, 2020).

Para un mejor entendimiento, el RCM es una metodología con la cual se puede identificar estrategias acertadas de mantenimiento que haga posible garantizar el cumplimiento de las actividades que conllevan en los procesos de producción.

Esta metodología permite analizar los indicadores de desempeño de cada 1 de los sistemas operativos utilizando para ello los datos necesarios que hagan posible el mejoramiento del diseño del activo, así como el optimizar las tareas de

mantenimiento. dicha estrategia de mantenimiento se la puede aplicar de forma independiente, en donde se puede integrar las fortalezas que contienen para mejorar las gestiones internas y maximizar la eficiencia en la gestión de mantenimiento (Reaño, 2019).

Para dar inicio al análisis del RCM, es importante conocer varias preguntas que consisten en:

¿En qué consisten las funciones y los modelos de desempeño de un activo dentro del ámbito operacional hoy en día?

¿De qué manera falla un activo?

¿Cómo se identifica la causa de un fallo funcional?

¿Qué acciones se realiza cuando ocurre un fallo?

¿Cómo se puede hacer para prevenir un fallo?

¿Cómo se debería actuar al identificar una tarea proactiva?

2.2.2 Ventajas de aplicar RCM

Dentro de las ventajas que brinda la metodología RCM están las siguientes:

Optimizar la confiabilidad operacional e incrementar la disponibilidad en el mantenimiento de las plantas como de sus activos.

Fomentar el trabajo en grupo.

Aumentar los niveles de seguridad dirección ambiental y salud de los trabajadores

Involucrar a todo el personal responsable del mantenimiento de la empresa.

Mejorar la producción.

Disminuir los presupuestos del área de mantenimiento.

Alargar la vida útil de cada uno de los activos.

Facilitar los procesos de normalización por medio de procedimientos de trabajo.

2.2.3 Mantenimiento basado en la confiabilidad

De acuerdo con diferentes definiciones la confiabilidad se la define como la confianza que se tiene de un equipo o un sistema que desempeña una función específica durante un periodo determinado siguiendo estándares de operación. mientras que otra definición se centra en la probabilidad que tiene un ítem para desempeñar una función dentro de un intervalo de tiempo en base a condiciones de uso (Prado, 2018).

Para expresar la confiabilidad de un equipo se utiliza la siguiente fórmula:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Dónde:

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

e: constante neperiana (e=2.303)

t: tiempo

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación), es el inverso del tiempo de buen funcionamiento (TMEF).

$$\lambda = 1/TMEF \quad (4)$$

La confiabilidad no es otra cosa que la probabilidad de que no pase nuevamente una falla de un determinado equipo que está destinada para una misión específica y con un nivel de confianza establecido.

La curva P - F

En cuanto a la curva P – F estas permiten visualizar las diferentes condiciones de un activo dentro de un lapso de tiempo, además ayuda a explicar en qué consiste el mantenimiento basado en la condición. en la curva claramente se puede visualizar

el instante en que inicia una falla, ya que la condición del activo empieza a decaer con el tiempo, llevando esto a una falla funcional. el objetivo central del mantenimiento que se basa en la condición es el detectar el deterioro del equipo, hacer un seguimiento adecuado y aplicar los correctivos pertinentes donde se manifiesta la falla, de otra manera se presentarán los defectos en los demás componentes del equipo, lo cual generaría altos costos e incremento del número de horas en la reparación del activo, lo cual afectaría directamente a la gestión de producción (Suárez, 2018).

2.2.4 Indicadores de desempeño

Se conocen diferentes indicadores para evaluar la gestión de mantenimiento, siendo los indicadores más importantes los siguientes:

2.2.5 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Este indicador permite medir la frecuencia entre fallas promedio transformándose en una medida de la confiabilidad de los equipos o dispositivos (Parra, 2015).

$$\text{MTBF} = \frac{\text{\#Equipos} \times \text{Tiempo operativo}}{\text{\#De fallas}}$$

2.2.6 Disponibilidad (DISP)

La disponibilidad de un equipo o activo se define como el porcentaje de tiempo en que está operativo, o disponible a funcionar en cualquier instante. Las unidades de medida pueden ser horas, días, etc.

$$\text{DISP} = \frac{\text{Tiempo de Operación}}{\text{Tiempo de operación} + \text{Tiempo de parada de operación}}$$

$$\text{DISP} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Intervalos de búsqueda de falla (FFI)

En inglés "*Failure Finding Interval*" y está dado por la expresión (Parra, 2015):

$$\text{FFI} = 2 \times (100\% - \text{Disp}\%) \times \text{MTBF}$$

2.2.7 Normas utilizadas

Las normas que se utilizan, así como las guías internacionales permiten garantizar los intereses tanto de los fabricantes, usuarios, gobierno y comunidades científicas. tales normas tienen su alcance en todos los campos, sin embargo, existe una excepción de esta normalización de tecnología eléctrica, así como la electrónica, la cual es regulada por la Comisión Electrotécnica Internacional. En la actualidad existen diferentes normativas que establecen pasos para realizar una debida implementación de un proceso de mantenimiento, entre las cuales tenemos las que se centran en el mantenimiento basado en la confiabilidad:

- SAE JA 1011: Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad
- UNE 20001-3-11: Gestión de confiabilidad, mantenimiento centrado en la fiabilidad
- UNE-EN 60300-3-14: Gestión de la confiabilidad, mantenimiento y logística de mantenimiento
- ASME BPVC SECCIÓN I-2010: Reglas para la construcción de calderas de energía
- ISO 14001: Conjunto de normas que regulan un sistema de gestión ambiental
- ISO 9001-2008: Es una norma internacional que es la base de un sistema de gestión de calidad
- OSHA: Es un conjunto normas que se refieren a la prevención de riesgos del trabajo.

2.2.8 Causas de un deficiente plan de mantenimiento

Entre las primeras causas que determinan un plan de mantenimiento deficiente están las siguientes:

Maquinarias en mal estado.

Planes de mantenimiento desactualizados.

Equipos con fallas críticas.

Maquinarias con constantes fallas

Falta de un historial y hoja de vida de los equipos

Maquinaria que se desconocen su identificación en el proceso.

2.2.9 Efectos de un deficiente plan de mantenimiento

Entre los efectos más deficientes en un plan de mantenimiento están los siguientes:

Escasa seguridad dentro del ámbito medioambiental

Deficiente desempeño operativo

Deficiencias en el sistema y subsistemas

Deficiencias de los equipos de producción

Elevados costos de mantenimiento.

Constante paras de los procesos

2.2.10 Modos de Falla (Causa de falla)

Son aquellas causas físicas que son originadas a partir de las fallas funcionales.

(Aguilar & Tandazo, 2017) mencionan que “Dentro de un modo de Falla se puede definir todo evento que pueda causar esta falla en un activo físico”. para esto es importante distinguir la falla funcional para determinar el estado de Falla o modo de Falla, que hace referencia al origen en donde se produce dicha falla. como primer

paso se debería realizar un listado de todas las fallas funcionales padre no posterior registrar los diferentes modos de Falla y de esta manera poder tener un control preventivo. A demás se debe tener en cuenta la importancia de identificar el origen de las fallas de esta manera se podrá optimizar el tiempo y reducir los costos de mantenimiento.

En el proceso de análisis de los modos de falla, se debe buscar información relacionada a la ocurrencia de los modos de falla a partir de:

- Los mantenedores y operadores que estén involucrados en el funcionamiento del equipo a analizar.
- Los vendedores y fabricantes de equipos.
- Los registros técnicos del equipo.
- El historial de fallas y trabajos realizados en el equipo.

2.2.11 Efectos de las Fallas

En el momento en que se identifican los distintos modos de fallo se requiere hacer un registro de todos aquellos que pueden causar daños en los equipos y maquinarias de forma constante, esto permitirá determinar un adecuado plan de mantenimiento ya que se contará con toda la información necesaria para poder determinar un fallo específico y continuar con la productividad de la empresa (Cañaverall & Heredia, 2017):

- La evidencia (si la hay) de que se ha producido un fallo.
- Las formas en que el fallo puede afectar a la seguridad y/o al medio ambiente.
- Las formas en que el fallo afecta a las operaciones o a la producción.
- Los daños físicos causados por el fallo.
- Qué debe hacerse para reparar el fallo.

2.2.12 Consecuencias de los fallos

Al hablar de las consecuencias de los fallos esto permite definir la naturaleza y a su vez la gravedad de los mismos es decir se describe cómo y cuándo usted debe considerar un modo de fallo. entre las consecuencias más relevantes están

Modos de fallo con consecuencias para la seguridad humana y/o el medio ambiente.

Modos de fallo con consecuencias operativas.

Modos de fallo con consecuencias no operativas.

Modos de fallo con consecuencias ocultas.

La realización de una tarea proactiva es importante para reducir las consecuencias de los modos de fallo que se relacionan directamente con los costos tanto directos como indirectos de la empresa.

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

3.1 Tipo y diseño de investigación

La metodología de investigación que se requirió en este trabajo fue de tipo bibliográfico, cuantitativo, experimental y estadístico. A continuación, se describe la aplicación de cada una de ellas.

Investigación bibliográfica. - Por medio de esta investigación se realizó la recopilación de información en relación con el tema de estudio “Análisis de criticidad y AMEF para la elaboración de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a plantas termoeléctrica por combustión de biomasa”, con la finalidad de comprender cada uno de los apartados desarrollados en el marco teórico.

Investigación cuantitativa. - A través de esta investigación se tomará datos cuantitativos del análisis de los procesos que realizan una clasificación que cumplan una misma función y dentro de los cuales existen subsistemas para el análisis del conjunto de equipos, de donde se va a extraer los históricos de mantenimientos de máquinas y equipos.

Investigación experimental. - Por medio de esta investigación se analizó sistema y subsistema, y clasificar los equipos según el nivel de criticidad.

Investigación Estadística. - De acuerdo con esta investigación se requirió analizar la información necesaria para clasificar los equipos según el nivel de criticidad.

3.2 La población y la muestra

3.2.1 Características de la población

De acuerdo con el trabajo de investigación no se cuenta con población y muestra, se trabajó con información de los históricos que se maneja en sistema y

subsistemas, que sirvió para los equipos según el nivel de criticidad entre otros aspectos.

3.3 Los métodos y las técnicas

Histórico lógico

Realiza el estudio de todos los aspectos que tienen que ver con los fenómenos cómo los acontecimientos que han sucedido durante la historia. Este método indaga las leyes generales de cómo funcionan y se desarrollan cada uno de los fenómenos (Torres, 2020).

A través de este método se realizó una investigación sobre el tema planteado analizando una serie de estudios sobre el inventario y todos los aspectos que les concierne, así como la conceptualización de cada una de las variables que intervienen en el estudio.

Método deductivo

Es el razonamiento que parte en casos específicos y hace posible el planteamiento de las hipótesis para verificarlas durante el proceso de recolección de información de una manera más efectiva y completa (Valdés, 2019).

El método fue de gran aporte en el análisis de la información obtenida de forma general a lo particular, es decir, sobre las diferentes aportaciones de autores que han estudiado un problema de inventario y han buscado las mejores alternativas, y de esta manera poder llegar a una conclusión particular en relación con el problema planteado y establecer las soluciones pertinentes.

3.4 Técnicas

Como técnicas de recolección de información se recurrió a la revisión de datos históricos sobre los equipos y maquinarias, levantamiento de información e Identificación de sistemas y subsistemas, elaboración de Formatos y evaluación de

criticidad y evaluación AMEF, para lo cual se demostró a través de tablas toda la información recopilada tanto de la observación, documentos físicos como de sistema.

3.5 Procesamiento estadístico de la información

Los datos obtenidos en los instrumentos aplicados serán tabulados y resumidos en tablas estadísticas, desarrollándose estas en Excel, con el uso de tablas dinámicas, etc.; posteriormente los datos se presentarán de manera escrita, tabulada y graficada, empleándose grafica de tipo circular con el respectivo análisis de los resultados obtenidos, además se emplearán las frecuencias relativas y absolutas (porcentaje).

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1 Análisis de la situación actual

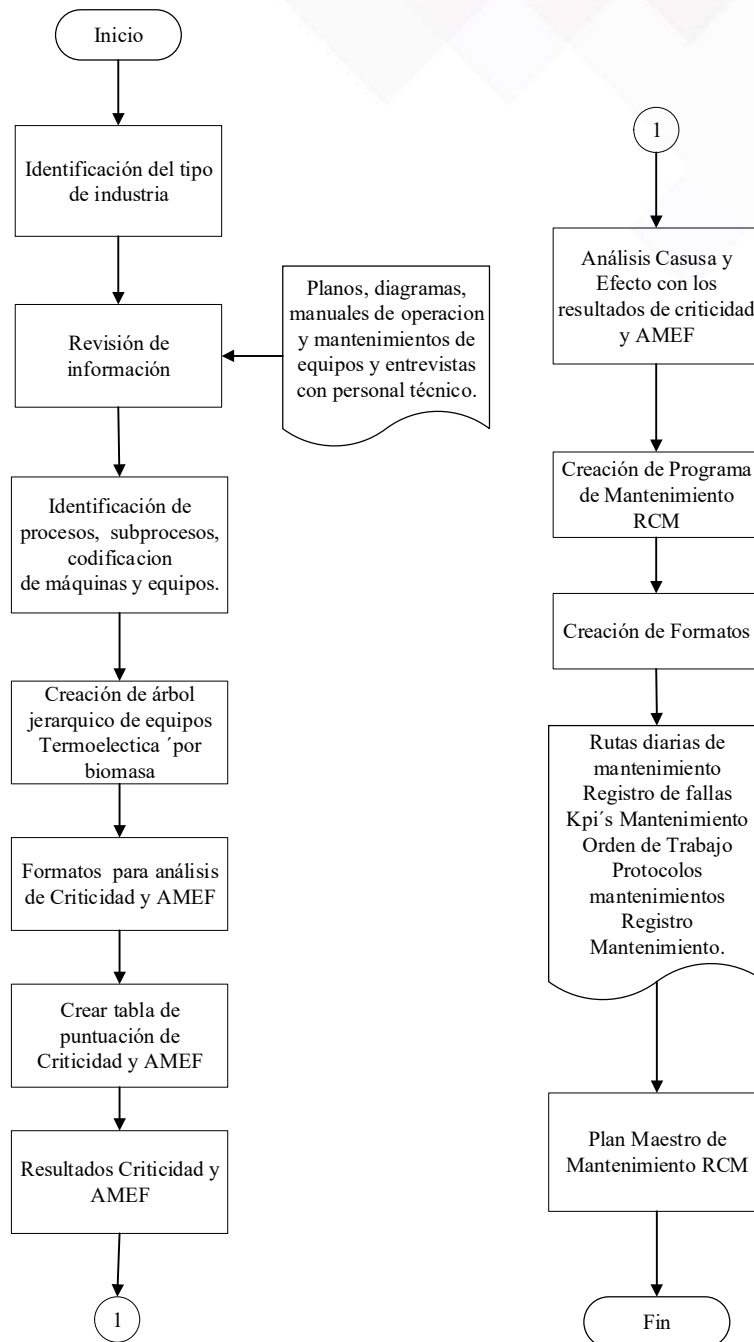
En este capítulo se muestra una guía para elaborar un plan de mantenimiento considerando solo los aspectos que afectan al problema de estudio, siendo lo suficientemente detallado para poder obtener conclusiones que se apliquen al sistema real.

Se describe el problema que se plantea y que va a ser objeto de estudio, así como la metodología que se llevará a cabo. Existen varias herramientas para el desarrollo del RCM, la usada en la investigación describe explícitamente el desarrollo de un plan de mantenimiento desde cero, es decir desde el levantamiento de información, evaluación de subsistemas, hasta llegar a la descripción de tareas y elaboración de cronogramas de mantenimiento. El Plan de Mantenimiento por desarrollar se basa en las siguientes etapas:

- Reconocimiento de la empresa
- Levantamiento de información e Identificación de sistemas y subsistemas (Árbol de equipos)
- Elaboración de Formatos y evaluación de criticidad
- Elaboración de Formatos y evaluación AMEF.
- Tabulación de Resultados y Jerarquización de Resultados
- Diseño y elaboración del plan de mantenimiento

4.2 Análisis Comparativo

Figura 1 Flujograma de metodología elaborar plan de mantenimiento RCM



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Las etapas que se desarrollan para efecto de este proyecto basado en la Metodología RCM

4.2.1.1 Identificación del tipo de industria objeto de estudio

La identificación de la industria se la realiza a través de flujogramas de procesos, en donde se evidencia la estructura que define los procedimientos, actividades que se llevan a cabo en las industrias termoeléctricas.

4.2.1.2 Levantamiento de información e identificación de sistemas y subsistemas:

Consistió en la revisión de diseño de planos de proyectos, registros de instalaciones físicas y manuales. En cuanto la identificación de sistemas y subsistemas se efectuó mediante el análisis de los procesos que realizan una clasificación que cumplan una misma función y dentro de los cuales existen subsistemas para el análisis del conjunto de equipos.

4.3 Elaboración de Formatos y evaluación de criticidad

La elaboración de estos formatos se los realizó en base a normas ISO 22301, para los criterios de evaluación se orientó a través de la norma SAE J1739.

4.4 Tabulación de Resultados

Se realiza la clasificación de sistemas y subsistemas, así como la evaluación de los datos obtenidos mediante historiales de mantenimientos de máquinas y basados en las normas antes mencionadas.

4.5 Jerarquización de Resultados

Consistió en jerarquizar los resultados entre alto, medio y bajo, como se observa a continuación:

Tabla 1 Jerarquización de Resultados

Criticidad alta	$50 \leq CT \leq 125$
Criticidad media	$21 \leq CT \leq 49$
Criticidad baja	$5 \leq CT \leq 20$

4.6 Diseño y elaboración del plan de mantenimiento

Luego del análisis de los equipos críticos y del resultado de análisis de falla se realizó un cronograma de actividades donde se especificó nombre del equipo, código, frecuencias, tipos de mantenimiento, especialidad, entre otros.

4.7 Propuesta de solución

Programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

4.8 Justificación

La propuesta se centra en proponer un programa de mantenimiento centrado en la contabilidad, basado en el levantamiento de información e identificación de sistemas y subsistemas en donde se realizó un análisis de los procesos que se emplean para la clasificación del cumplimiento de funciones que fueron de gran aporte en el análisis del conjunto de equipos.

El trabajo propuesto consistió en primer instante, la identificación del tipo de industria a través de un flujograma en donde se observa los procesos que se llevan a cabo, así mismo se realizó la descripción de los mismos. Se efectuó el inventario, levantamiento e identificación de sistemas y subsistemas y equipos para clasificar de acuerdo con su función, lo cual sirvió para realizar el análisis de criticidad. Se elaboró los formatos y evaluación de criticidad a fin de identificar los aspectos más críticos de los sistemas y subsistemas. A continuación, se realizó la tabulación de datos en donde se clasificó los sistemas y subsistemas críticos y finalmente se realizó el diseño de un plan de mantenimiento que consistió en la programación y planificación de mantenimiento basado en la confiabilidad a todos los equipos críticos de una planta termoeléctrica. De este modo se garantiza que los equipos cumplan las funciones para los cuales fueron diseñados.

4.9 Objetivos

4.9.1 Objetivo general

Elaborar un Programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad aplicado a plantas termoeléctrica por combustión de biomasa.

4.9.2 Objetivos específicos

- Identificar el tipo de industria objeto de estudio, a través de flujogramas de procesos, donde se observe los procedimientos, actividades que se llevan a cabo en las industrias termoeléctricas.

- Realizar un levantamiento de información e identificación de sistemas y subsistemas, a través de revisión de diseño de planos de proyectos, registros de instalaciones físicas y manuales.

- Elaborar los Formatos y evaluación de criticidad, para utilizarlos en los criterios de evaluación.

- Realizar la tabulación de Resultados de la clasificación de los sistemas y subsistemas.

- Diseñar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad a todos los equipos críticos de una planta termoeléctrica.

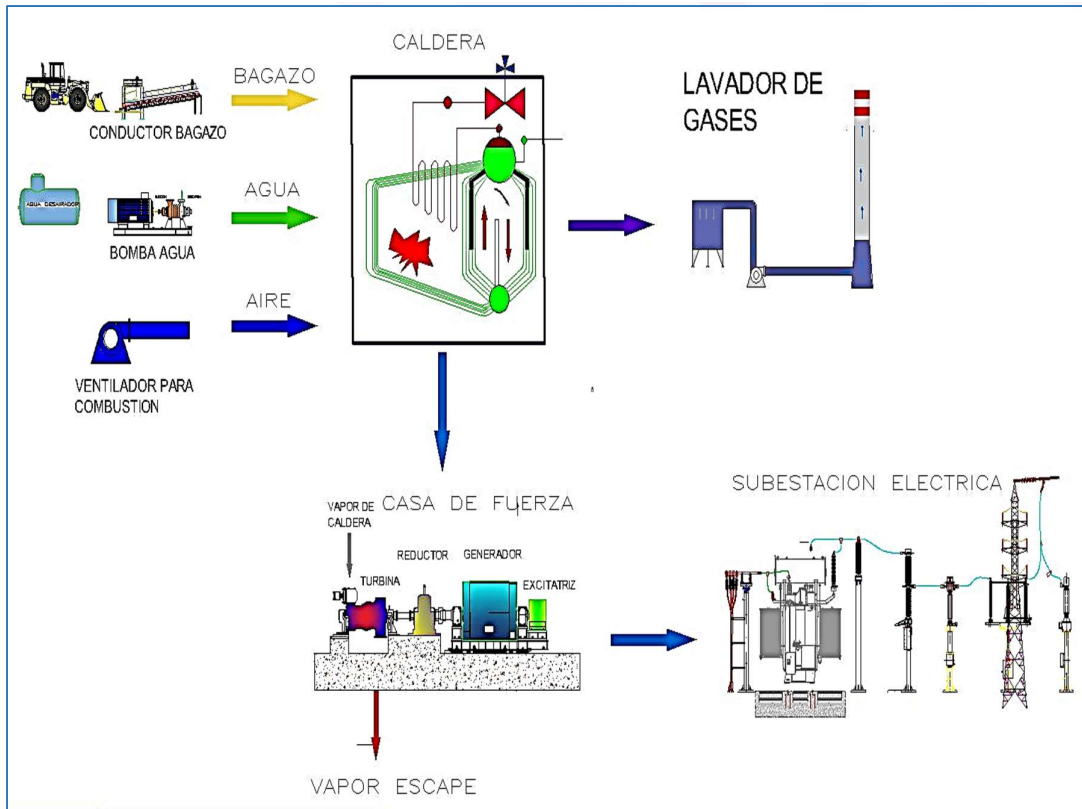
4.10 Ubicación

El estudio se centra en la industria termoeléctrica ubicada en la provincia del Guayas, república del Ecuador.

4.11 Descripción de la propuesta

Figura 2 Flujograma de proceso planta termoeléctrica por combustión con biomasa.

Figura 3 Diagrama de proceso planta termoeléctrica por biomasa



Fuente: Elaboración propia.

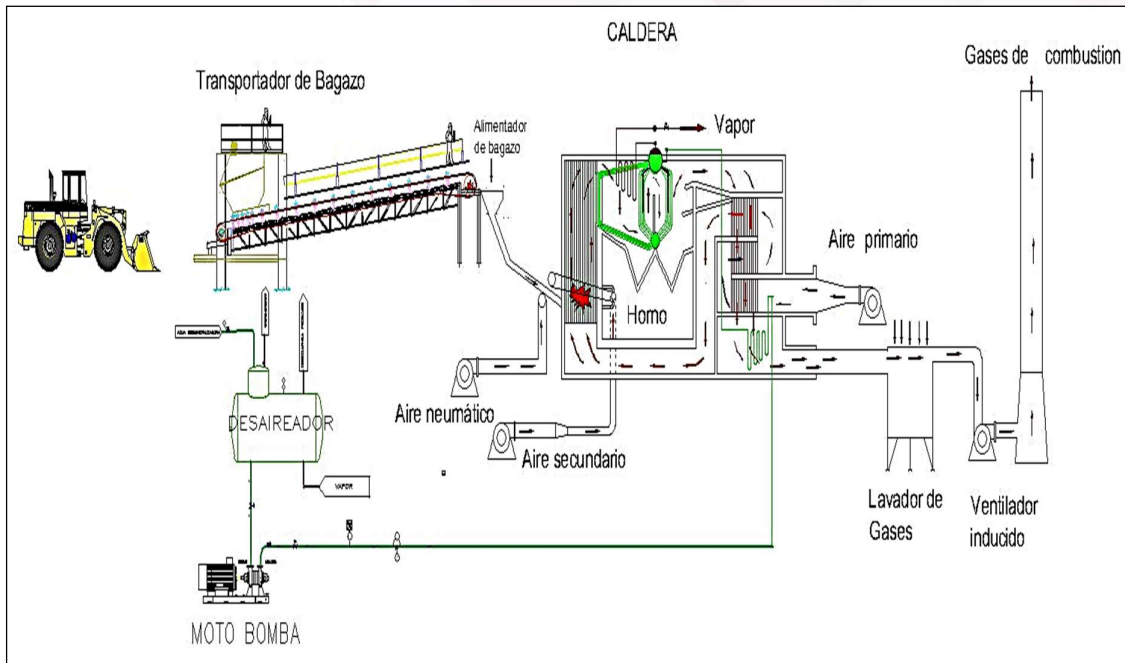
Descripción del Proceso

Las plantas termoeléctricas a través de la combustión de biomasa están conformadas de equipos principales y auxiliares mecánicos y eléctricos de gran tamaño, capacidad y peso considerable, por tal razón son diseñados con una cimentación e infraestructura robusta capaz de resistir el propio peso, vibraciones y movimientos sísmicos.

Las áreas principales de este tipo de plantas son 2:

- Caldera.
- Casa de Fuerza.
- Equipo Auxiliares.

Figura 4 Diagrama de subsistema de calderas piro tubular combustión por biomasa



Fuente: Elaboración propia.

Caldera

El área de caldera está conformada de los siguientes sistemas:

Horno, Economizador, Lavador de Gases, extracción de gases, aires de combustión, transportadores y agua de alimentación.

Las calderas piro tubulares es donde se realiza el proceso de transformar el agua en vapor sobrecalentado (Potencia Térmica) a través de la quema de biomasa dentro del horno (bagazo de la caña de azúcar). El bagazo almacenado en un patio es trasladado por medio de bandas transportadoras hacia el horno de la caldera donde se combustióná.

Los gases productos de combustión poseen gran carga térmica por esto antes de ser expulsados a la atmosfera son aprovechados por medio de un intercambiador (Precalentador) para calentar los aires de entrada de combustión (Aire Primario y Secundario) y para calentar el agua de alimentación de caldera a través del Economizador.

Los gases de combustión poseen partículas en suspensión de ceniza producto del proceso de la quema de combustible sólido (Bagazo), por esta razón estos gases con previamente tratados en el proceso de lavadores de cenizas, donde por medio de unas series de duchas de agua, humedecen y precipitan los sólidos y de esta forma se separa la ceniza de los gases de combustión.

Una vez separado los gases de combustión son conducidos con ayuda de ventiladores (Ventilador Inducido) hacia la chimenea para ser expulsados a la atmosfera.

El agua de alimentación a calderas es suministrada a través de:

- Vapor condensado (proceso de calentamiento de jugo de caña)
- Agua tratada (planta des mineralizadora).

Casa de fuerza

El área de casa de fuerza está constituida por los siguientes sistemas principales:

- Turbina contrapresión.
- Reductor.
- Generador.
- Servicio Auxiliar.
- Cuarto de Control de Motores.
- Subestación Eléctrica.

El vapor de la caldera es suministrado hacia la turbina por medio de una tubería aislada térmicamente de 14" Sch 80 y el vapor de salida o escape es utilizado en los diferentes procesos industriales.

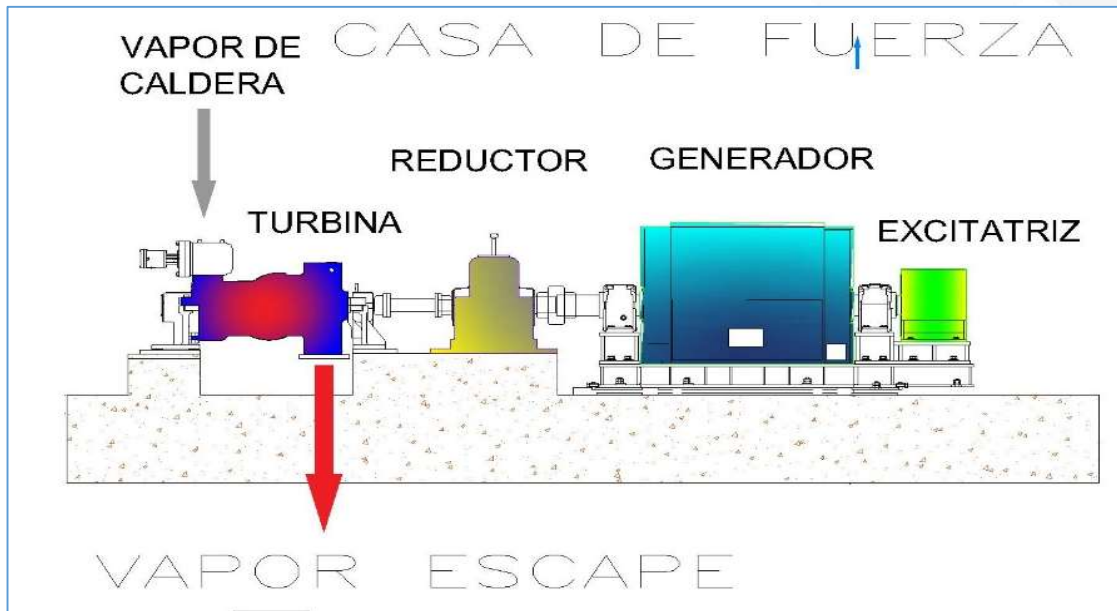
La turbina es capaz de transformar la energía cinética del vapor en energía mecánica de movimiento hacia el reductor.

El reductor disminuye la velocidad y transmite movimiento y potencia al generador.

El generador recibe la potencia mecánica y la convierte en potencia eléctrica a través del proceso de excitación del generador.

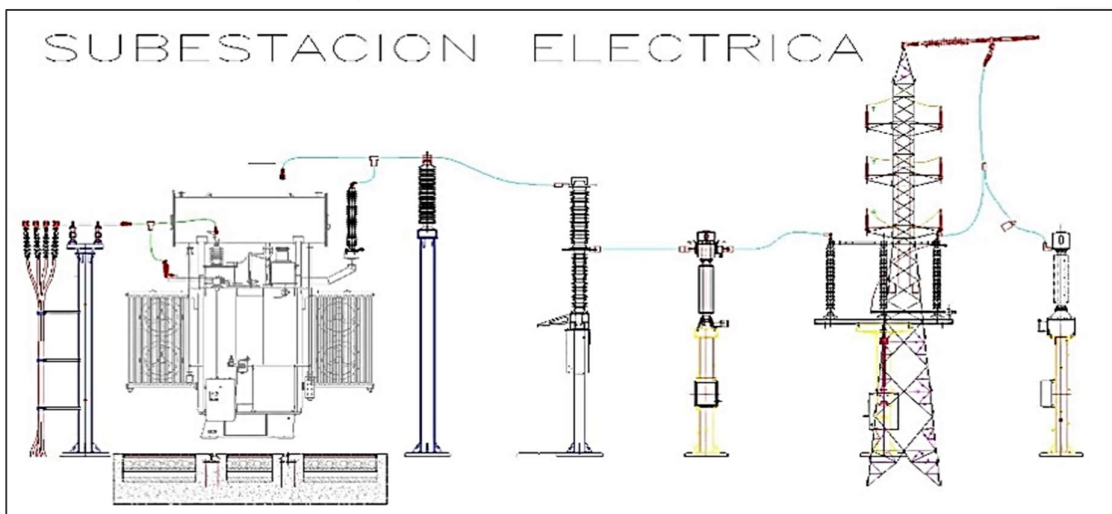
El conjunto turbo Generador y posee los siguientes subsistemas tales como: Protección y alarma, regulación de velocidad, lubricación, vibraciones, temperaturas, enfriadores, etc.

Figura 5 Subsistema casa de fuerza



Luego toda la potencia eléctrica proporcionada del generador es distribuida y transportado a los diferentes clientes por medio del sistema de Subestación eléctrica.

Figura 6 Subsistema subestación eléctrica



Fuente: Elaboración propia.

La subestación eléctrica está conformada de los siguientes equipos:

Seccionador tripolar, pórticos, transformador de potencia trifásico de 69KV/13.8KV, transformadores de corriente, de potencial, paneles de protección y control.

✓ **Levantamiento de información e identificación de sistemas y subsistemas (Árbol de equipos).**

De acuerdo con el levantamiento de información se identificó 15 sistemas tales como horno, economizador, lavador de gases, extracción de gases, insuflación, transportador de bagazo, agua de alimentación, tratamiento de agua, aire comprimido, turbina, reductor, generador, servicio auxiliar, CCM y subestación eléctrica. En cuanto a los subsistemas se encontraron 45 entre los cuales están alimentador de bagazo 1, alimentador de bagazo 2, alimentador de bagazo 3, alimentador de bagazo 4, esparcidor de bagazo, cuerpo, colector, purga domo, alivio de presión domo, nivel domo, temperatura domo, limpiadores de hollín, entre otros (Ver anexo 1).

✓ **Elaboración de Formatos y evaluación de criticidad**

Tabla 2 Formato para análisis de criticidad

Nº	PLANTA	AREA	SISTEMA	SUBSISTEMA	CODIGO	FF	IO	IM	CM	IS	IA	CRITICIDAD	CLASIFICACION
1													
2													
3													
4													
5													
6													

Fuente: Elaboración propia

Este formato sirvió para realizar le análisis de criticidad, de esta manera se identificó los aspectos más críticos de los sistemas y subsistemas, a través del método de los puntos.

FF: Frecuencia de fallas;

IO: Impacto operacional

IM: Impacto de mantenimiento

CM: Costo de mantenimiento

IS: Impacto de seguridad

IA: Impacto ambiental.

Criticidad = FF X (IO + IM+ CM+IS+IA)

Tabla 3 Formato de evaluación de criticidad

FRECUENCIA DE FALLA (FF)	PUNTAJE
Mas de 12 por año	5
Entre 9 a 12 por año	4
Entre 5 a 8 por año	3
Entre 2 a 4 por año	2
1 por año	1
1.- IMPACTO OPERACIONAL (IO)	PUNTAJE
Perdidas mayores 2 % producción por mes	5
Perdidas mayores 1.4 al 2 % producción por mes	4
Perdidas mayores 0.1 al 1.4 % producción por mes	3
Perdidas mayores 0.5 al 0.9 % producción por mes	2
Perdidas inferiores al 0.5 % producción por mes	1
2.- IMPACTO MANTENIMIENTO (IM)	PUNTAJE
No existe stock, más de 1 mes	5
Stock Parcial, más de 24 horas a 1 mes	4
Stock Parcial, entre 8 y 24 horas	3
Stock suficiente, entre 4 y 7 horas	2
Stock suficiente, inferiores a 4 horas	1
3.- COSTOS DE MANTENIMIENTO (CM)	PUNTAJE
Mas de \$ 100,000	5
Entre \$50,000 a \$100,000	4
Entre \$10,000 a \$50,000	3
Entre \$1,000 a \$ 10,000	2
Inferior a \$ 1,000	1

IMPACTO SEGURIDAD (IS)	PUNTAJE
Muerte o incapacidad	5
Incapacidad parcial o permanente	4
Daños o enfermedades severas	3
Daños leves en personas	2
Sin impacto en la seguridad	1
IMPACTO MEDIO AMBIENTE (IA=)	PUNTAJE
Daños irreversibles	5
Daños severos al ambiente	4
Daños medios al ambiente	3
Daños mínimos al ambiente	2
Sin daños al medioambiente	1

Fuente: Elaboración propia

Este formato consiste en dar puntuaciones a los diferentes impactos señalados en la tabla 3, que sirve para evaluar la criticidad en la tabla 2.

Tabla 4 Formato impacto total de criticidad

FRECUENCIA DE FALLA (FF)	CONSECUENCIA																								
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125				
4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100				
3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75				
2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50				
1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4 demuestra los rangos para clasificar sistemas y subsistemas alta, media y baja de criticidad.

Formatos para análisis de AMEF

Tabla 5 Formato para análisis AMEF

Área	Sistema	Subsistema	FUNCION	MODO FALLO	EFEECTO	CAUSAS	CONTROL	DET	NPR
Puede ser un Sistema o Subsistema				¿Cuál es la falla potencial o el resultado no deseado?	Si se produce el modo de fallo, ¿cuál será el efecto?	¿Qué es / son la causa / del fallo?	¿Qué controles evitan que la causa se produzca o se la pueda detectar ?		

Fuente: Elaboración propia

Este formato es una herramienta para analizar eficazmente la detección de problemas potenciales y sus efectos dentro del proceso productivo.

✓ Tabulación de Resultados

Tabla 6 Clasificación de sistemas y subsistemas según el nivel de criticidad

Nº	PLANTA	AREA	SISTEMA	SUBSISTEMA	CODIGO	CRITICIDAD	CLASIFICACION
1	Planta de generación	Calderas	Agua de alimentación	Electrobomba	AGU-CALAGUA_ELEC	60	Criticidad Alta
2	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Turbina contrapresión	SAL-CASTUR_ESTA	57	Criticidad Alta
3	Planta de generación	Calderas	Agua de alimentación	Turbobomba	AGU-CALAGUA_TURB	55	Criticidad Alta
4	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Protección y seguridad	SAL-CASTUR_ROTO	52	Criticidad Alta
5	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Sistema hidráulico	SAL-CASTUR_PROT	52	Criticidad Alta
6	Planta de generación	Calderas	Extracción de gases	Inducido 1	SAL-CASCON_SIST	52	Criticidad Alta
7	Planta de generación	Calderas	Extracción de gases	Inducido 2	SAL-CALEXTR_INDU	50	Criticidad Alta
8	Planta de generación	Calderas	Insuflación	Aire forzado primario	SAL-CALEXTR_INDU	50	Criticidad Alta
9	Planta de generación	Calderas	Horno	Alivio de presión domo superior	AIR-CALAIRES_PRIM	50	Criticidad Alta
10	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Tableros de distribución	HOG-CALHORN_ALIV	45	Criticidad Media
11	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Enfriamiento	SUB-CASSUBE_PATI	45	Criticidad Media
12	Planta de generación	Calderas	Horno	Colectores	SAL-CASGEN_EXIT	40	Criticidad Media
13	Planta de generación	Calderas	Horno	Nivel domo	HOG-CALHORN_COLE	39	Criticidad Media
14	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Reductor de velocidad	HOG-CALHORN_NIVE	39	Criticidad Media
15	Planta de generación	Calderas	Horno	Tanden de combustión	SAL-CASREDU_REDU	39	Criticidad Media
16	Planta de generación	Calderas	Insuflación	Aire forzado secundario	SAL-CASCCM_TRAN	39	Criticidad Media
17	Planta de generación	Calderas	Economizador	Colector	HOG-CALHORN_TAND	36	Criticidad Media

18	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Regulación de velocidad	AIR-CALAIRESecu	36	Criticidad Media
19	Planta de generación	Calderas	Agua de alimentación	Control de agua	SAL-CASGENROTO	36	Criticidad Media
20	Planta de generación	Calderas	Tratamiento de agua	Dilución soda	PRE-CALECONCOLE	35	Criticidad Media
21	Planta de generación	Calderas	Tratamiento de agua	Dilución clorhídrica	SAL-CASTURCONT	33	Criticidad Media
22	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Admisión & escape vapor	AGU-CALAGUACONT	32	Criticidad Media
23	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Generador	PLA-EQUTRATDILU	32	Criticidad Media
24	Planta de generación	Calderas	Transportador de bagazo	Transportador de bagazo 1	PLA-EQUTRATDILU	32	Criticidad Media
25	Planta de generación	Calderas	Horno	Alimentador de bagazo 1	SAL-CASADM_TUBE	30	Criticidad Media
26	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Subestación	SAL-CASCCM_VARI	30	Criticidad Media
27	Planta de generación	Calderas	Horno	Neumático	SAL-CASGEN_ESTA	28	Criticidad Media
28	Planta de generación	Calderas	Horno	Esparcidor de bagazo	ALI-CALTRAN_BAND	27	Criticidad Media
29	Planta de generación	Calderas	Economizador	Limpieza ceniza	SUB-CASSUBE_CUAR	27	Criticidad Media
30	Planta de generación	Calderas	Horno	Limpiadores de hollín	ALI-CALHORN_ALIM	24	Criticidad Media
31	Planta de generación	Calderas	Tratamiento de agua	Filtro carbón	AIR-CALAIRESecu	22	Criticidad Media
32	Planta de generación	Calderas	Tratamiento de agua	Columna catiónica	SAL-CASENF_ENFR	22	Criticidad Media
33	Planta de generación	Calderas	Tratamiento de agua	Columna aniónica	ALI-CALHORN_ESPA	21	Criticidad Media
34	Planta de generación	Calderas	Horno	Purga domo inferior	PRE-CALECON_LIMP	21	Criticidad Media
35	Planta de generación	Calderas	Extracción de gases	Instrumentos de control	HOG-CALHORN_LIMP	18	Criticidad Baja
36	Planta de generación	Calderas	Tratamiento de agua	Evaporador	PLA-EQUTRAT_TANQ	18	Criticidad Baja
37	Planta de generación	Casa de fuerzas	Turbogenerador	Estructuras	HOG-CALHORN_PURG	16	Criticidad Baja
38	Planta de generación	Calderas	Horno	Cuerpo	SAL-CASCCM_PANE	16	Criticidad Baja
39	Planta de generación	Calderas	Lavador de gases	Estructura	SAL-CALEXTR_INST	15	Criticidad Baja
40	Planta de generación	Calderas	Extracción de gases	Ductos de gases	HOG-CALHORN_CUER	8	Criticidad Baja
41	Planta de generación	Calderas	Agua de alimentación	Desairador	SAL-CASCCM_TABL	8	Criticidad Baja
42	Planta de generación	Calderas	Tubería alta presión	Control vapor	TRA-CALLAVA_ESTR	7	Criticidad Baja
43	Planta de generación	Calderas	Tubería alta presión	Purgas	SAL-CALEXTR_DUCT	7	Criticidad Baja
44	Planta de generación	Calderas	Tratamiento de agua	Almacenamiento soda	AGU-CALAGUA_DESA	6	Criticidad Baja
45	Planta de generación	Calderas	Tratamiento de agua	Almacenamiento ácido clorhídrico	SAL-CASSERV_COMP	5	Criticidad Baja

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Resultados formato AMEF

Área	Sistema	Subsistema	Función	Modo fallo	Efecto	GRAV	Causas	OCU	Control	DET	NPR	
Puede ser un Sistema o Subsistema	Puede ser un Sistema o Subsistema			¿Cuál es la falla potencial o el resultado no deseado?	Si se produce el modo de fallo, ¿cuál será el efecto?		¿Qué es / son la causa /del fallo?		¿Qué controles evitan que la causa se produzca o se la pueda detectar ?			
Casa fuerza	Turbina	Rotor turbina	Convertir la energía cinética de vapor de alta presión en movimiento rotacional y en vapor de escape de baja presión.	Aumento del desplazamiento axial	Trip turbina	4	Aumento de desplazamiento al inicio del arranque.	2	Controlar tolerancia axial.	2	16	
							Exceso de desgastes en pistas axiales	2	Revisión interna de alabes y sustituir pastillas de los cojinetes	2	16	
							Sobre velocidad	2	En tiempos con carga fija se debe variar carga del generador para verificar accionamiento periódicamente	2	16	
							Temperatura alta en Cojinetes	Esfuerzo muy elevado en el cojinete axial	2	Tolerancias máximas recomendadas).	1	8
								Desalineamiento	2	Verificar el alineamiento	2	16
								Daños en el metal del cojinete por fricción.	2	Rectificar los cojinetes sin exceder las tolerancias máximas recomendadas.	2	16
								Termómetro en mal estado	2	Mantenimiento y calibración	1	8
								Turbina trabajando en vacío por tiempo excesivo.	1	Monitorear temperaturas	1	4
							Temperatura alta de aceite de lubricación	2	Monitorear temperaturas de lubricación.	1	8	
	Falta de aceite en tanque reservorio.	2	Inspección diaria de nivel de aceite	2	16							
Turbina	Protección y seguridad	Proteger a la turbina para actuar instantáneamente	Falla de sobre velocidad constantemente.	Trip turbina	5	Sensores y control de velocidad en falla	2	Calibración de sensores y revisión del control de velocidad.	2	16		

			a cualquier señal de anomalía durante la operación	Desplazamiento axial no se desactiva		4	Daño en sensor o cableado.		Calibración de instrumentos.		
				Válvula de cierre rápido no opera	Turbina no desarma	5	Presión baja o fugas de aceite en válvula, tuberías mal conectadas	2	Verificar fugas y ajustar presión.	2	20
Turbina	Control de velocidad	Controlar de acuerdo con la necesidad de carga, el flujo de vapor a ser enviado al interior de la turbina	Rotación y/o potencia no se estabiliza	Variación de frecuencia en el generador	4	Válvulas de regulación y servomotor no responden correctamente	3	Revisión y mantenimiento de equipos	2	24	
						Presencia de aire en el aceite de regulación	2	Verificar nivel y retornos de aceite al tanque reservorio.	2	16	
						Control PID del regulador inadecuado	1	Ajuste del control PID.	1	4	
Turbina	Sistema hidráulico	Suministrar de aceite para lubricación y enfriamiento de los cojinetes, y para el sistema de regulación de la turbina	Presión baja de aceite	Incremento de temperatura en cojinetes	4	Bomba no levanta presión o no enciende.	2	Revisar encendido Eléctrico de la bomba, cebado, sellos y estado completo de la bomba	2	16	
						Filtro de aceite sucio	4	Limpieza o cambio de elemento filtrante	2	32	
						Fugas	2	Revisar conexiones.	1	8	
			Presencia de impureza en el aceite	Disminución de vida útil en cojinetes.	3	Elemento filtrante deteriorado	3	Inspección de diferencial.	2	18	
						Intercambiador de calor con fuga	2	Verificar estanqueidad en los intercambiadores	3	18	
Obstrucción en orificios de los elementos de control	3	Sedimentos en tubería de instrumentos.	2	Limpieza y drenaje de tubería de instrumentos.	4	24					
Servicio auxiliar	Enfriamiento	Enfriar a través de un sistema de intercambiador el aceite de la turbina y el aire del generador	Control Eléctrico del ventilador se dispara	Aumento de temperatura del agua de enfriamiento	3	Ventilador con fallas en reductor o motor.	3	Control de nivel de aceite en reductores y verificar caja de bornes del motor	3	27	
			Bombas encendidas,	Baja presión de agua	3	Nivel bajo de reservorio	2	Inspeccionar diariamente niveles de piscina	2	12	

				pero no hay presión			Bombas no están cebadas	2	Inspección diaria.	2	12
							Deterioro en sistema de sellos de la bomba.	3	Inspección y ajuste diario.	2	18
Generador	Reductor de velocidad	Reducir el número de vueltas de salida, sin disminuir de manera la potencia y/o aumentando el par motor.	Sonido extraño en interior.		Aumento de temperatura de piñones	5	Problemas en dientes de piñones.	2	Inspección.	2	20
						3	desalineación.	3	Verificar alineación.	3	27
	Excitación	Generar campo electromagnético en el estator.	Equipos de sincronización en falla	No sincroniza	4	Parámetros de voltaje y frecuencia no se igualas al bus infinito	2	Verificar regulador de voltaje en excitatriz y regulador de velocidad.	2	16	
						No hay voltajes y corrientes de referencias de la red y del generador	2	Verificar estado de los TC's y PT's	2	16	
						Reloj Sincronoscopio no responde	2	Calibración y mantenimiento de instrumentos.	2	16	
	Servicio auxiliar	Enfriamiento	Enfriar aire hacia las bobinas.	Temperatura alta en devanados	Calentamiento en devanados	3	No hay flujo de Agua de enfriamiento en intercambiador de calor	2	Verificar presiones de agua de enfriamiento, bombas, instrumentos de medición.	2	12
Temperatura alta de agua de entrada.							2	Verificar ventilador de torre de enfriamiento.	2	12	
Generador	Protección y control	Proteger y controlar los valores nominales de voltaje, frecuencia y corrientes.	Protección de relé activado	Disparo de protecciones del generador	2	Falla a tierra	1	Revisión y pruebas de mediciones de parámetros de bobinas	2	4	
						Sobre corriente	1		2	4	
						Sobre voltaje	2		2	8	
CCM	Tableros distribución	Distribuir la energía a	Temperatura alta	Cortocircuito	5	Desbalance de fases	3	Análisis de consumo energético	2	30	
						Mala calidad de energía	2		2	20	

			diferentes áreas y/o equipos				Presencia de puntos calientes	3	Análisis cámara termográfica.	2	30
							Ambiente caluroso	2	Control de temperatura ambiente	2	20
	Subestación	Patio de maniobras	Transformar la energía eléctrica a niveles de voltaje adecuado	Temperatura alta de aceite del transformador	Daños en bobinas por sobre temperatura	3	Ventilación forzada de enfriamiento no encienden.	3	Revisión y mantenimiento de equipos	2	18
Carga alta del transformador							2	Revisión y mantenimiento de equipos	2	12	
Bajo nivel de aceite							3	Revisión y mantenimiento de equipos	2	18	
Sobrecalentamiento en bobinado							2	Revisión y mantenimiento de equipos	2	12	
Caldera	Aires de combustión	Neumático	Variar de forma constante la presión y distribuir mejor el bagazo por toda la parrilla	Pérdida de flujo de aire	Perdida de combustión	4	Control del ventilador defectuoso	2	Revisión y mantenimiento de equipos	3	24
							Actuadores defectuosos como: motor, reductor, acoplamientos, etc.	3	Revisión y mantenimiento de equipos	3	36
							Ductos rotos u obstruidos	2	Revisión y mantenimiento de equipos	2	
	Horno	Cuerpo	Cámara de combustión de biomasa	Explosión dentro de cámara	Daño interno del horno	4	Ventilador extractor de gases antes de la partida no funciona.	2	Revisión y mantenimiento de equipos	2	16
							Exceso de fuga de combustible por los alimentadores de bagazo	2	Revisión y mantenimiento de equipos	2	16
							Baja proporción de aire de insuflación en el horno	2	Revisión y mantenimiento de equipos	2	16
	Horno	Colectores	Conversión del agua en vapor	Nivel bajo de agua.	Daño en tuberías y colectores	5	Daño en transmisor de nivel de domo	2	Revisión periódica durante la operación purgar periódicamente los tubing del equipo.	2	20

					internos del horno		Bomba de agua de alimentación insuficiente	3	Verificar presiones y flujo de agua de alimentación.	2	30
							Válvula de control admisión de agua defectuosa	3	Verificar y calibrar válvula de control	2	30
							Fugas en los tubos de agua en las calderas	1	Revisión periódica de temperatura del horno, gases de salida y presencia de humo blanco.	2	10
	Horno	Alivio de presión domo	Sistema de seguridad del domo	Aumento de presión del domo	Sobre presión	5	Válvula mecánica descalibrada u obstruida	2	Mantenimiento y calibración	2	20
							Válvula de control de alivio descalibrada u obstruida	2	Mantenimiento y calibración	2	20
							Medidor de presión no funciona o descalibrado	2	Mantenimiento y calibración	2	20
	Horno	Parrilla de combustión	Tanden de combustión de biomasa	Barajas rotas	Bagazo sin combustionar	2	Elementos solidos de grandes tamaños como piedras o metal caen desde los alimentadores	2	Revisión de amperaje en Alimentadores.	2	8
	Economizador	Colector	Pre calentador de agua	Tubos rotos	Fuga de agua a caldera	3	Desgaste de espesor de tuberías	4	Control de espesores dentro de especificaciones.	2	24
							Sobrepresión	2	Monitoreo de temperatura	2	12
							Sobre temperatura	2	Monitoreo de temperatura	2	12
	Economizador	Limpieza ceniza	Limpieza de acumulación de ceniza	Limpieza inadecuada	Ceniza acumulada	3	Corriente alta de equipo	2	Inspección y mantenimiento de equipo (Motor y reductor)	2	12
							Tornillo sin fin Extractor de ceniza se atora	2	Inspección interna de ducto.	2	12
							vibraciones altas en tornillo sin fin	3	Inspección de excentricidad de tornillo sin fin.	3	27

Extracción de gases	Inducido 1	Extracción de gases del interior del horno	Vibración alta	Daño de elementos	3	Ventilador desgastado	3	Control de espesores de ventilador	3	27
						Desalineación motor-reductor-ventilador	3	Verificar alineación de motor-reductor-ventilador.	3	27
						Desgaste de elementos de motrices	3	Inspección de elementos en equipos	3	27
						Desbalance de ventilador	3	Verificar Balanceo estático y dinámico	3	27
extracción de gases	Inducido 2	Extracción de gases del interior del horno	Vibración alta	Daño de elementos	4	Ventilador desgastado	3	Control de espesores de ventilador	3	36
						Desalineación motor-reductor-ventilador	3	Verificar alineación de motor-reductor-ventilador.	3	36
						Desgaste de elementos de motrices	3	Inspección de elementos en equipos	3	36
						Desbalance de ventilador	3	Verificar Balanceo estático y dinámico	3	36
Aires combustión	Primario	Inyectar aire precalentado al horno para suspender el combustible	Pérdida de control del flujo de aire	Trip Caldera	5	Control del ventilador defectuoso	4	Monitore constante de parámetros de trabajos	2	40
						Actuadores defectuoso como: motor, reductor, acoplamientos, etc.	2		2	20
						Ductos rotos u obstruidos	1		2	10
						Vibraciones y temperaturas altas de trabajo en motor, reductor, ventilador y chumacera.	3		2	30
Aires combustión	Secundario	Crear turbulencia dentro del horno	Presión baja de aire Secundario	Combustión deficiente	5	Controlador del ventilador defectuoso	3	Monitore constante de parámetros de trabajos	2	30

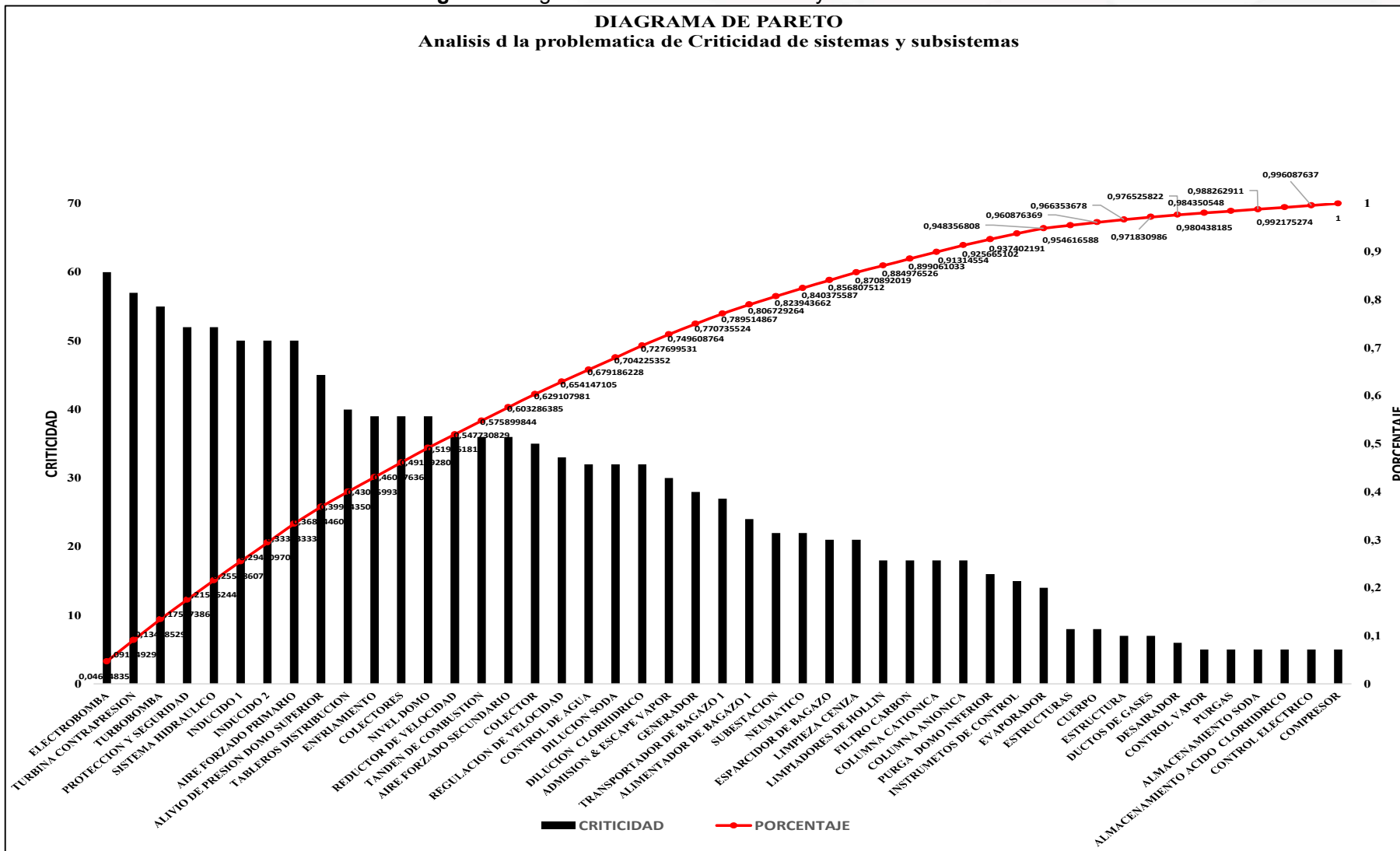
			para una quema eficiente de Biomasa.				Actuadores en falla: motor, reductor, acoplamientos, etc.	2		2	20
							Ductos rotos u obstruidos	1		1	5
							Vibraciones y temperaturas altas de trabajo en motor, reductor, ventilador y chumacera.	3		2	30
Agua de alimentación	Electrobomba	Bomba principal de agua a caldera	Pérdida de nivel de agua en domo superior	Flujo de agua deficiente	5	3	Obstrucción y/o fugas en equipos: Bomba, válvulas, filtros, tubería de succión y descarga	3	Plan de Mantenimiento, Protocolos de actividades de mantenimiento	2	30
							Pérdida de eficiencia de Bomba y motor.	3	Pruebas eléctricas y mecánicas	2	30
							Cavitación	2	Medidores de presión	2	20
	Turbobomba	Bomba auxiliar de agua a caldera	Flujo de agua deficiente	Pérdida de nivel de agua en domo superior	2	3	Obstrucción y/o fugas en equipos: Bomba, filtros, válvulas, tubería de succión y descarga	3	Plan de Mantenimiento, Protocolos de actividades de mantenimiento	2	12
							Gobernador no actúa correctamente	4	Plan de Mantenimiento, Protocolos de actividades de mantenimiento	2	16
							Cavitación	1	Medidores de presión	2	4
Agua de alimentación	Control de agua	Mantiene el nivel óptimo de agua en el interior del Domo	Controles defectuosos.	Baja producción de vapor	3	3	Obstrucción en válvulas de control	3	Mantenimiento de equipos	2	18
							Válvula de control defectuosa	3	Mantenimiento de equipos	2	18
							Control PID	1	calibración de instrumentos	1	3
Tratamiento de agua	Dilución soda	Solución química para limpieza de columna Aniónica		Detención de proceso de	4	4	Equipos no funciona (bomba, motor)	4	Mantenimiento de equipos	2	32

	Tratamiento de agua	Dilución clorhídrica	Solución química para limpieza de columna Aniónica	Bombeo deficiente de químicos	limpieza de columna	4	Fuga en tuberías	3	Mantenimiento de equipos	2	24
Equipos auxiliares	Tratamiento de agua	Dilución clorhídrica	Solución química para limpieza de columna Aniónica	Bombeo deficiente de químicos	Detención de proceso de limpieza de columna	4	Equipos no funciona (bomba, motor)	4	Mantenimiento de equipos	2	32
							Fuga en tuberías	2	Mantenimiento de equipos	2	16
							Válvulas de control no accionan	2	Mantenimiento de equipos	1	8

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 7 se presenta los resultados de prioridad de riesgos NPR de fallas, donde se identificó la gravedad, ocurrencia y detectabilidad de los sistemas y subsistemas que tienen un puntaje mayor a 25, en los cuales nos indica la prioridad que se le debe dar a cada falla para tratar de minimizarlas o eliminarlas.

Figura 7 Diagrama de Pareto de sistema y subsistemas críticos



De acuerdo con la información presentada en la figura 6 se observa la cantidad de equipos críticos que posee esta industria termoeléctrica, entre los más altos encontrados en sistemas y subsistemas están los siguientes:

Tabla 8 Equipos críticos en el sistema y subsistema

SISTEMA	SUBSISTEMA
Agua de alimentación	Electrobomba
Turbogenerador	Turbina contrapresión
Agua de alimentación	Turbobomba
Turbogenerador	Protección y seguridad
Turbogenerador	Sistema hidráulico
Extracción de gases	Inducido 1
Extracción de gases	Inducido 2
Insuflación	Aire forzado primario

Fuente: Elaboración propia

✓ **Diseño y elaboración del plan de mantenimiento**

Figura 8 Análisis de Ishikawa de resultados criticidad y AMEF-Agua de alimentación

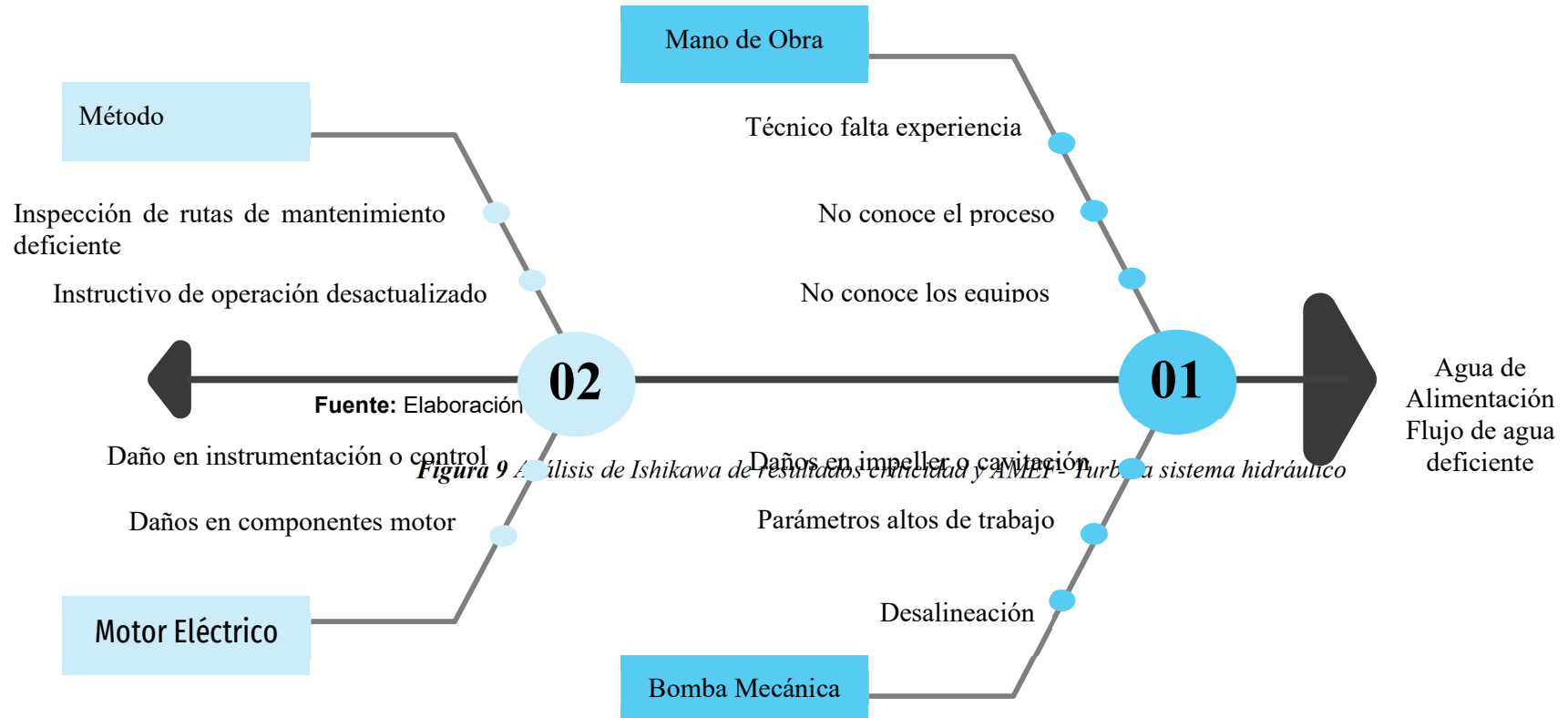
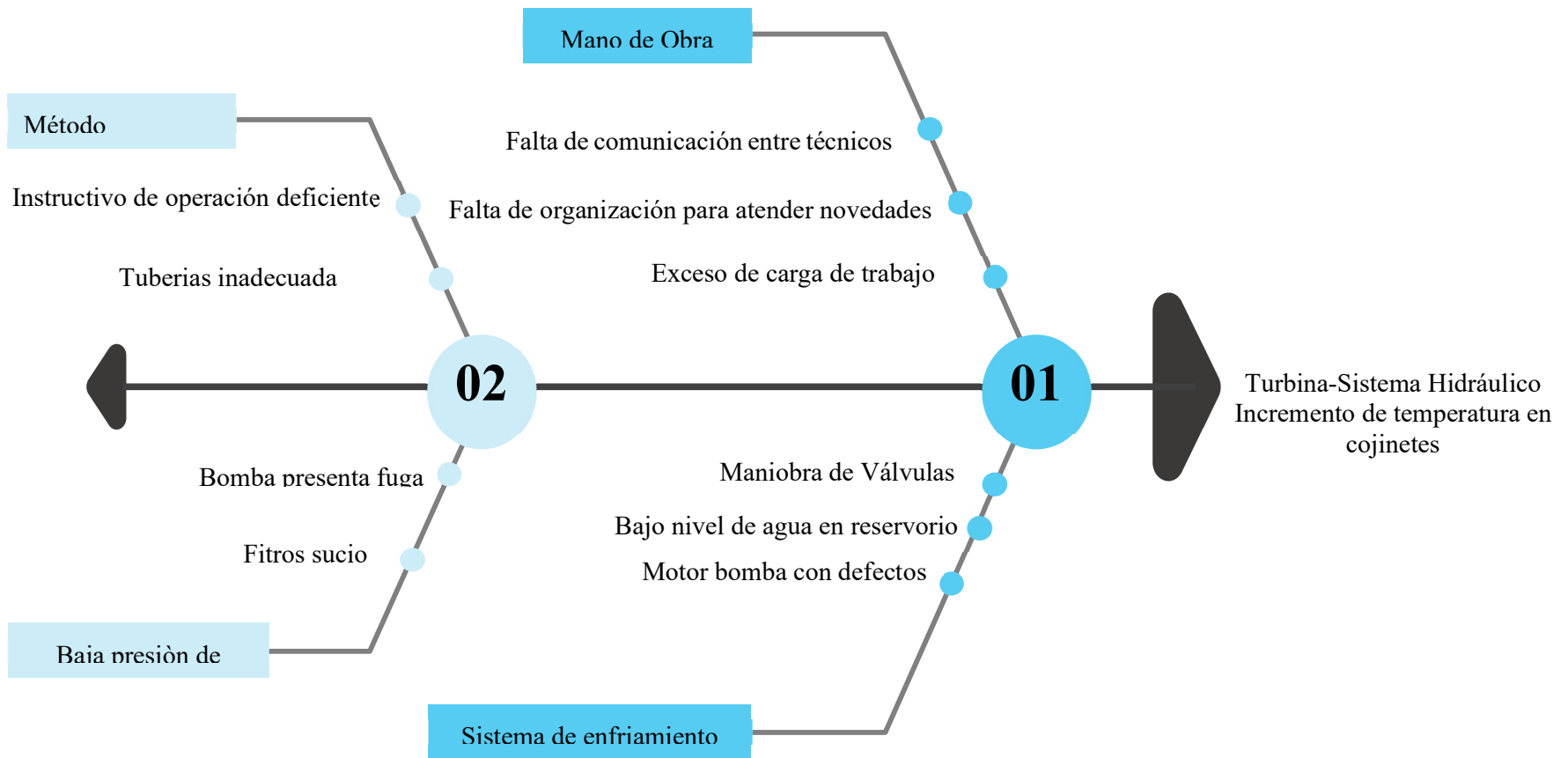
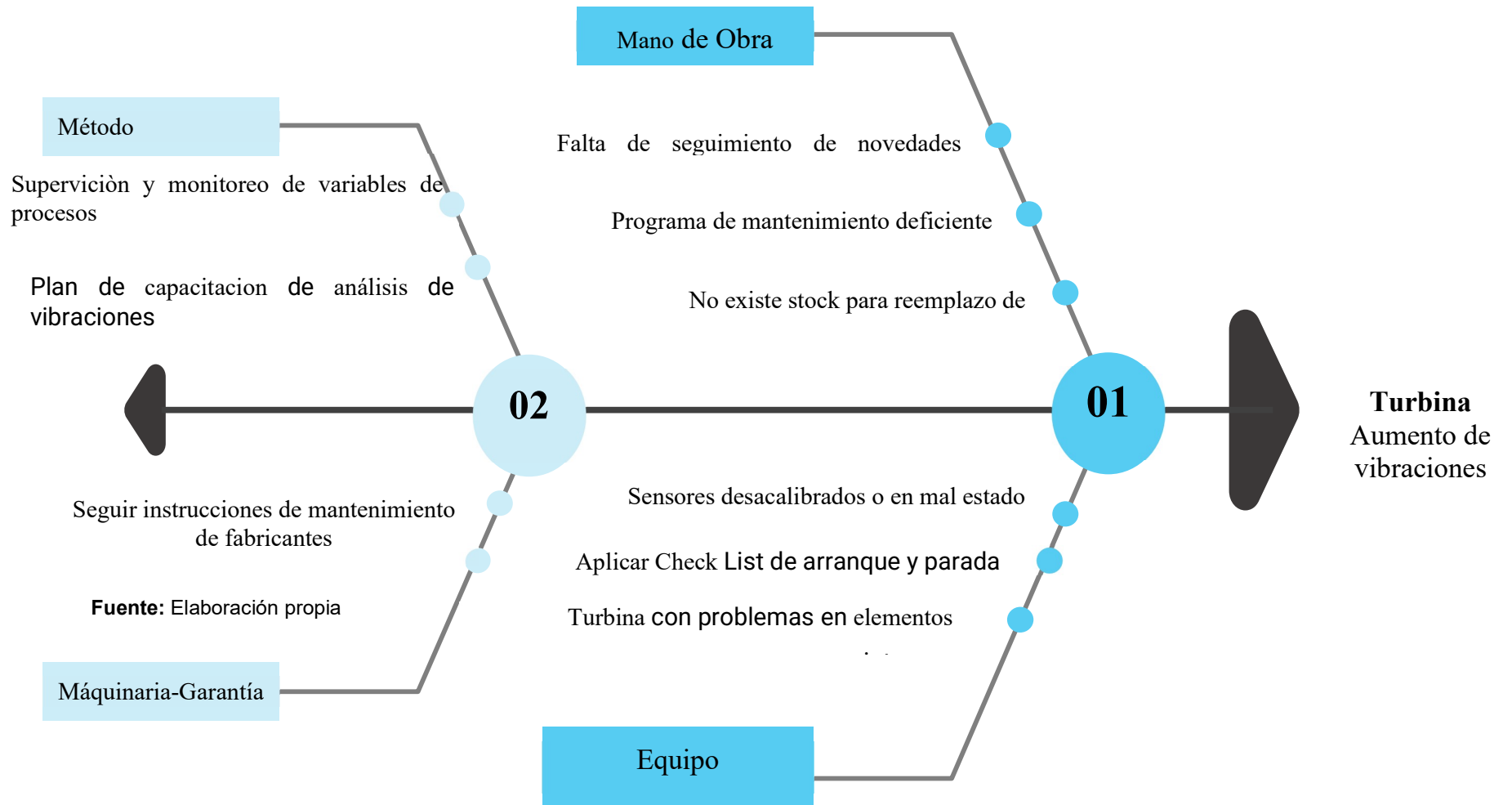


Figura 9 Análisis de Ishikawa de resultados criticidad y AMEF-Turbina sistema hidráulico



Fuente: Elaboración propia

Figura 10 Análisis de Ishikawa de resultados criticidad y AMEF-Turbina



Plan anual de mantenimiento basado en la confiabilidad

Propósito

El presente plan de mantenimiento establece los lineamientos generales de la programación y planificación de mantenimiento basado en la Confiabilidad a todos los equipos críticos de una planta termoeléctrica. De este modo se garantiza que los equipos cumplan las funciones para los cuales fueron diseñados.

Alcance

Está dirigido a los ingenieros, supervisores y técnicos del área de mantenimiento.

Este Plan de mantenimiento RCM está contemplando todas las máquinas y equipos de producción, y servicios existentes en los procesos productivos de la planta.

Descripción

Este plan de mantenimiento está basado en manuales técnicos de máquinas y equipos de producción y servicios, así como la recopilación de información de fabricantes y proveedores de partes y dispositivos sobre las recomendaciones de sus productos, también se toma muy en cuenta la experiencia adquirida en el tiempo de funcionamiento de la planta, recopilando información de las áreas técnicas y sobre los eventos ocurridos y su frecuencia.

La generación de actividades de mantenimiento RCM está diseñada para los 12 meses del año incluido Inter zafra.

Los trabajos son registrados en el documento Reporte de mantenimiento, en el que se detalla las actividades realizado, fecha, descripción del trabajo y el tiempo de ejecución del mantenimiento del equipo que están contemplado en el Plan de Mantenimiento RCM, esta información es almacenada como un historial de mantenimiento y/o fallas de máquinas.

Para el control diario del estado de los equipos críticos el técnico responsable utilizará un formato Hoja de Control de Equipos.

Se considera como inspecciones rutinarias eléctricas, electrónicas, mecánicas y lubricación a la inspección visual o física de los equipos, para evidenciar su normal funcionamiento, las inspecciones se registran diariamente análisis vibraciones, temperatura, ruta Eléctrica, Ruta Mecánica.

El mantenimiento mecánico programado que se efectúa a las máquinas y equipos que conforman los sistemas y subsistemas de producción de la Planta Termoeléctrica, se realiza de acuerdo con su tipo y función, dividida de la siguiente manera:

Lubricación

Engrasar y lubricar los diferentes sistemas de rodadura como son: rodamientos, piñones, cadenas, chumaceras, bandas de transmisión, acoples y partes de máquina que según catálogo indican el sitio, la cantidad y tipo de grasa a utilizar. En este mantenimiento se incluye el control de nivel de aceite de cajas reductoras. Cada seis meses se realiza cambio de aceite de acuerdo con especificaciones de estudio de lubricación efectuado.

Sistema de transmisión

Rutas diarias de inspección de temperatura y vibraciones en equipos críticos, revisar el ajuste y alineación de cadenas, piñones, poleas, bandas, verificando el estado de las mismas.

Transportadoras se revisa si existe desgaste, deformación en tambores motriz, en los ejes extremos, rodillos, guidores, condición de pernos, barajas, cadena, estado de la carcasa, estado de banda.

Caldera

Se revisa cada mes las válvulas de seguridad, trampas de vapor, filtros y válvulas de purga, presiones en salida de vapor, presión en bomba de alimentación de agua, nivel de agua, niveles de agua tratada en tanques reservorios inspección de horno y tuberías internas.

La limpieza y verificación de funcionamiento se realiza diariamente, así como la revisión de las purgas continuas de condensados.

Se realiza una limpieza de las descargas y tubos precalentadores, mediciones de espesores de banco de convección, tubos de economizador, colectores, domos y planchas de las paredes de caldera, ductos de aire, ventiladores, chimenea desairador.

Sistema de aire comprimido

Limpieza diaria de filtros de aire y de compresores de acuerdo con especificaciones del fabricante. Se realiza cambio de aceite elemento separador filtros de aire y aceite revisión de bandas y dispositivos de control.

Sistema de enfriamiento

Limpieza y lubricación de equipos, limpieza de celdas, revisión de sellos de juntas

Turbina

Revisión diaria de calidad de vapor, calidad y pureza de agua de enfriamiento, propiedades del aceite, cambio de aceite, limpieza de filtros de aceite, enfriadores de aire del generador, enfriadores de aceite, estanqueidad e bombas de aceite, tanque reservorio de aceite.

Revisión mensual de válvulas de regulación, de cierre rápido, equipos de monitoreo de temperatura, vibraciones.

Verificar imperfecciones, rayadura, corrosión de los álabes del rotor, diafragmas, cintas. daños leves y aislados provocados por cuerpos extraños deben ser eliminados recuperando los álabes alcanzados. Al recuperar cuidar para no rayar las aristas de los álabes.

Verificar alineamiento, metal patente de cojinetes, pastillas de cojinete axial, inspección de tuberías,

Planta desmineralizadora

Revisión mensual de bombas, tuberías, válvulas de control, tanques de resinas, tanques de carbón, tanque de almacenamiento

Mantenimiento Eléctrico

Se realiza inspección mensual termográfica, limpieza, ajuste a dispositivos de potencia y tableros de control de motores como son: contactores, breakers, relés térmicos, botoneras, barras, transformadores de potencia, etc. Equipos electrónicos como variadores de velocidad, arrancadores suaves y sensores de nivel, posición, presión, temperatura, flujo.

Motores eléctricos

Rutas diarias de medición de temperatura, vibraciones y amperaje de motores críticos. Se realiza limpieza, verificación de conexiones, ajuste y revisión de ventilador, reajuste de pernos de sujeción de a bases. incluye pruebas de funcionamiento para controlar temperatura y amperaje, aislamiento dieléctrico.

Subestación

Se realiza inspección termográfica, limpieza, ajuste de terminales, verificación de nivel de aceite de transformadores y toma de muestras para enviar a laboratorio a que realicen análisis de rigidez dieléctrica.

Las líneas de distribución se reajusta sus terminales, aisladores, seccionador y

pararrayos verificando que no exista sulfataciones y puntos calientes. En baja tensión se revisa aislamiento de conductores, limpieza de electro canales y reajuste de terminales.

Sistema de puesta a Tierra y Pararrayos.

Revisión, limpieza y ajuste físico de todos los conectores y terminales, medición de la resistividad de puesta a tierra, revisión y ajuste de conectores y terminales, dependiendo la vida útil de los electrodos de puesta a tierra, se realizará una exploración de conexiones de electrodos de tierra para ver su estado y diagnosticar posibles rediseños y/o correcciones.

Medio ambiente, seguridad y salud en el trabajo

Para la operación detallada en este documento se deben aplicar los siguientes controles operacionales:

- Casco
- Orejeras
- Gafas de seguridad
- Pantalla de protección visual
- Mascara para soldar
- Mascarillas (Respiradores 3M serie 6200)
- Calzado de Seguridad (Botas dieléctricas con punta de composite)
- Guantes(neopreno/Nitrilo/dieléctricos/napa)
- Pechera y mangas para soldar
- Arnés para trabajos en alturas / Eslinga

Formatos para llevar el control de los equipos de los subsistemas

Tabla 9 Formato de rutas diaria eléctrica

RUTA DIARIA ELECTRICA									
FECHA:									
HORA: 07:00									
Caldera-agua alimentación	UNIDAD	LUN	MAR	MIER	JUEV	VIE	SAB	DOM	OBSERVACION
Corriente motor	Amp								
Temperatura rodamientos	°C								
Frecuencia de velocidad	Hz								
Vibración axial motor	m/s ²								
Vibración radial motor	m/s ²								
Válvula & lazo de control	%								
Turbina-generador									
Sensor vibración turbina	m/s ²								
Sensor vibración reductor	m/s ²								
Sensor vibración generador	m/s ²								
Temperatura cojinete la	°C								
Temperatura cojinete la	°C								
Carga del generador	Kw								
Torre enfriamiento									
Corriente motor ventilador	Amp								
Turbina-protección seguridad									
Visual - válvula cierre rápido	Ok								
Visual disparador de cierre rápido	Ok								
Turbina-sistema hidráulico									
Corriente - Motor principal	Amp								
Corriente - Motor auxiliar	Amp								
Extracción gases-inducido 1									
Corriente motor	Amp								
Temperatura rodamientos	°C								
Frecuencia de velocidad	Hz								
Vibración axial motor	m/s ²								
Vibración radial motor	m/s ²								
Extracción gases-inducido 2									
Corriente motor	Amp								
Temperatura rodamientos	°C								
Frecuencia de velocidad	Hz								
Vibración axial motor	m/s ²								
Vibración radial motor	m/s ²								
Aire combustión-primario									
Corriente motor	Amp								
Temperatura rodamientos	°C								
Frecuencia de velocidad	Hz								
Vibración axial motor	m/s ²								
Vibración radial motor	m/s ²								
Aire combustión-secundario									
Corriente motor	Amp								
Temperatura rodamientos	°C								
Frecuencia de velocidad	Hz								
Vibración axial motor	m/s ²								
Vibración radial motor	m/s ²								
Aire combustión- neumático									
Corriente motor	Amp								
Temperatura rodamientos	°C								
Frecuencia de velocidad	Hz								
Vibración axial motor	m/s ²								
Vibración radial motor	m/s ²								
Subestación eléctrica-patio maniobras									

Inspección visual transformador	Ok									
Inspección visual pórticos	Ok									
Inspección visual interruptor sf6	Ok									
Inspección visual cuarto control	Ok									
Técnico responsable.:										

Fuente: Elaboración propia

El presente formato servirá para llevar el control diario de los equipos eléctricos de los subsistemas que poseen clasificación de alta criticidad.

Tabla 10 Formato ruta diaria mecánica

SISTEMA /SUBSISTEMA	MAQUINA/EQUIPO	UN	LUN	MAR	MIER	JUEV	VIE	SAB	DOM	OBSERVACIÓN
CALDERA/ AGUA DE ALIMENTACIÓN	Revisar y/o cambiar aceite	Ok								
	Temperatura cojinete l/a	°C								
	Temperatura cojinetes ln/a	°C								
	Vibración axial bomba l/a	m/s ²								
	Vibración vertical bomba l/a	m/s ²								
	Vibración horizontal bomba l/a	m/s ²								
	Vibración axial bomba ln/a	m/s ²								
	Vibración vertical bomba ln/a	m/s ²								
	Vibración horizontal bomba ln/a	m/s ²								
	Presión agua de enfriamiento	Psi								
	Temperatura agua de enfriamiento	°C								
TURBINA- ROTOR ESTADO	Vibración axial turbina lna	m/s ²								
	Vibración horizontal turbina lna	m/s ²								
	Vibración vertical turbina lna	m/s ²								
	Vibración axial turbina la	m/s ²								
	Vibración horizontal turbina la	m/s ²								
	Vibración vertical turbina la	m/s ²								
	Presión aceite lubricación	Psi								
	Temperatura cojinete l/a	°C								
	Temperatura cojinete ln/a	°C								
TURBINA- REDUCTOR	Vibración axial alta	m/s ²								
	Vibración horizontal alta	m/s ²								
	Vibración vertical alta	m/s ²								
	Vibración axial baja lna	m/s ²								
	Vibración horizontal baja la	m/s ²								
	Vibración vertical baja la	m/s ²								
	Carga de generación	Kw								
SISTEMA ENFRIAMIENTO	Vibración horizontal bomba lna	m/s ²								

	Vibración vertical bomba Ina	m/s ²																		
	Vibración axial bomba Ina	m/s ²																		
	Vibración horizontal reductor Ina	m/s ²																		
	Vibración vertical reductor Ina																			
	Vibración axial reductor Ina	m/s ²																		
	Niveles de aceite reductor	Ok																		
	No existe fuga agua	Ok																		
	Presión de agua	Psi																		
	Niveles de aceite bomba	Ok																		
TURBINA-PROTECCIÓN SEGURIDAD	Presión aceite válvula cierre rápido	Psi																		
	Presión aceite disparador de cierre rápido	Psi																		
TURBINA-SISTEMA HIDRAULICO	Vibración horizontal bomba Ina	m/s ²																		
	Vibración vertical bomba Ina	m/s ²																		
	Vibración radial bomba Ina	m/s ²																		
	Presión aceite disparador de cierre rápido	Psi																		
	Inspección de fugas en el sistema	Ok																		
EXTRACCIÓN GASES-INDUCIDO 1	Revisar y/o cambiar aceite reductor	Ok																		
	Temperatura cojinete ventilador l/a	°C																		
	Temperatura cojinetes ventilador In/a	°C																		
	Vibración axial reductor l/a	m/s ²																		
	Vibración horizontal reductor l/a	m/s ²																		
	Vibración vertical reductor l/a	m/s ²																		
	Vibración axial reductor In/a	m/s ²																		
	Vibración horizontal reductor In/a	m/s ²																		
	Vibración vertical reductor In/a	m/s ²																		
	Presión agua de enfriamiento	Psi																		
	Frecuencia de velocidad motor	Hz																		
EXTRACCIÓN GASES-INDUCIDO 2	Revisar y/o cambiar aceite reductor	Ok																		
	Temperatura cojinete ventilador l/a	°C																		
	Temperatura cojinetes ventilador In/a	°C																		
	Vibración axial reductor l/a	m/s ²																		
	Vibración horizontal reductor l/a	m/s ²																		
	Vibración vertical reductor l/a	m/s ²																		
	Vibración axial reductor In/a	m/s ²																		
	Vibración horizontal reductor In/a	m/s ²																		
	Vibración vertical reductor In/a	m/s ²																		

	Presión agua de enfriamiento	Psi																		
	Frecuencia de velocidad	Hz																		
AIRE COMBUSTIÓN- PRIMARIO	Revisar y/o cambiar aceite reductor	Ok																		
	Temperatura cojinete ventilador l/a	°C																		
	Temperatura cojinetes ventilador ln/a	°C																		
	Vibración axial reductor l/a	m/s ²																		
	Vibración horizontal reductor l/a	m/s ²																		
	Vibración vertical reductor l/a	m/s ²																		
	Vibración axial reductor ln/a	m/s ²																		
	Vibración horizontal reductor ln/a	m/s ²																		
	Vibración vertical reductor ln/a	m/s ²																		
	Presión agua de enfriamiento	Psi																		
	Frecuencia de velocidad	Hz																		
	AIRE COMBUSTIÓN- SECUNDARIO	Revisar y/o cambiar aceite reductor	Ok																	
		Temperatura cojinete ventilador l/a	°C																	
Temperatura cojinetes ventilador ln/a		°C																		
Vibración axial reductor l/a		m/s ²																		
Vibración horizontal reductor l/a		m/s ²																		
Vibración vertical reductor l/a		m/s ²																		
Vibración axial reductor ln/a		m/s ²																		
Vibración horizontal reductor ln/a		m/s ²																		
Vibración vertical reductor ln/a		m/s ²																		
Presión agua de enfriamiento		Psi																		
Frecuencia de velocidad	Hz																			
AIRE COMBUSTIÓN- NEUMÁTICO	Temperatura cojinete ventilador l/a	°C																		
	Temperatura cojinetes ventilador ln/a	°C																		
	Frecuencia de velocidad	Hz																		
	Técnico responsable:																			

Fuente: Elaboración propia

En la table 10 se observa el formato ruta diaria mecánica servirá para llevar el control diario de los equipos mecánicos de los subsistemas que poseen clasificación de alta criticidad.

Tabla 11 Formato de reporte de fallas

REPORTE DE FALLAS										
ELÉCTRICO			ELECTRÓNICO				MECÁNICO		OTROS	
DESCRIPCIÓN DE LA FALLA										
Nº	Fecha inicio	Hora inicio	Sistema	Subsistema	Equipo	Código	Descripción falla	Fecha cierre	Hora fin	Paro proceso
001										
002										
003										
004										
005										
006										
007										
008										
009										
010										
011										
012										
013										
014										
015										
Jefe de área: _____										

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 se observa el formato que servirá para llevar **las estadísticas** de las fallas ocurridas en los equipos dentro de un lapso de tiempo y de esta manera poder estudiarlas para minimizar o eliminarlas las desviaciones en nuevos equipos o subsistemas.

Tabla 12 Formato orden de trabajo de mantenimiento

ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO		
NUMERO OT: _____	TIPO DE MANTENIMIENTO: _____	
	FRECUENCIA: _____	
	ESPECIALIDAD: _____	
SOLICITUD VINCULADA: _____	PRIORIDAD: _____	
DESCRIPCION DEL EQUIPO :		
NOMBRE: _____	MARCA: _____	
CÓDIGO: _____	SERIE: _____	
MODELO: _____		
FECHA DE EMISION: _____	HORA: _____	HORAS DURACION REAL: _____
FECHA DE INICIO: _____	HORA: _____	
FECHA DE ENTREGA: _____	HORA: _____	HORAS FUERA DE SERVICIO: _____
DETALLE DEL TRABAJO HA REALIZAR:		

RECURSOS/REPUESTOS:		
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	
SERVICIOS EXTERNOS		
NOMBRE TALLER: _____		
SUPERVISOR / RESPONSABLE : _____		FIRMA: _____
SERVICIOS PRESTADOS		
Nombre de empresa / contratista _____		
SUPERVISOR / RESPONSABLE : _____		FIRMA: _____
FIRMAS RESPONSABLES		
EMITIDO POR: _____	FIRMA: _____	
RECIBIDO POR _____	FIRMA: _____	
CERADA POR: _____	FIRMA: _____	
APROBADO POR: _____	FIRMA: _____	

Fuente: Elaboración propia

A través de este formato el departamento técnico podrá llevar los registros, descripción, tiempo y recursos de las actividades que deben ser ejecutadas a los sistemas, subsistemas y equipos.

Tabla 13 Formato registro de mantenimiento realizado

REGISTRO DE MANTENIMIENTO REALIZADO			
TÉCNICO RESPONSABLE:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	MODELO	<input style="width: 95%;" type="text"/>
TIPO MANTENIMIENTO	<input style="width: 95%;" type="text"/>	MARCA	<input style="width: 95%;" type="text"/>
TIPO TRABAJO :	<input style="width: 95%;" type="text"/>	SERIE	<input style="width: 95%;" type="text"/>
FRECUENCIA :	<input style="width: 95%;" type="text"/>	FECHA DE INICIO	<input style="width: 95%;" type="text"/>
SUBSISTEMA	<input style="width: 95%;" type="text"/>	HORA INICIO	<input style="width: 95%;" type="text"/>
NOMBRE DEL EQUIPO	<input style="width: 95%;" type="text"/>	FECHA DE FIN	<input style="width: 95%;" type="text"/>
CODIGO	<input style="width: 95%;" type="text"/>	HORA FIN	<input style="width: 95%;" type="text"/>
DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO REALIZADO			
<hr/>			
<hr/>			
<hr/>			
SUMINISTRO UTILIZADOS			
CANTIDAD		DESCRIPCIÓN	
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>
<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>	<input style="width: 95%;" type="text"/>
<u>OBSERVACIONES</u>			
<hr/>			

Fuente: Elaboración propia

Con este formato el departamento técnico llevará el registro de mantenimiento realizado a cada uno de los equipos, mismo que servirán como historial de las actividades ejecutadas a los activos.

Tabla 14 Formato protocolo de mantenimiento

PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO

PLANTA: **FECHA REVISIÓN:**

SISTEMA: **CÓDIGO:**

SUBSISTEMA:

EQUIPO:

N°	TAREAS DE MANTENIMIENTO	TIPO	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Fuente: Elaboración propia

El formato de protocolo de mantenimiento sirve para enlistar de manera sistemática las tareas a realizar a un sistema, subsistema o equipo.

Con este plan de mantenimiento (Tabla 15) se busca priorizar de acuerdo con los resultados de análisis de criticidad y análisis de modo efecto y falla un cronograma que abarque todos los equipos de criticidad alta y de esta manera reducir la criticidad, el número de fallas, costos, reducir tiempos improductivos, aumento de disponibilidad, mejorar los recursos técnicos, seguridad del personal, seguridad de los equipos y maquinarias y optimización de la producción.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.2 Conclusiones

De acuerdo con la información realizada en todo el trabajo investigativo, a los resultados obtenidos sobre el análisis de criticidad y AMEF para la elaboración de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad se concluye con lo siguiente:

- El levantamiento de información del sistema y subsistema se la realizó a través de la revisión de diseño, planos, registros de instalaciones físicas, manuales y diagramas de proceso, donde se clasificó e identificó en tres áreas (Calderas, casa de fuerza y equipo de suministro) 15 sistemas, 45 subsistemas y 263 equipos, que fueron la base para el análisis de criticidad.

Para el análisis de los sistemas y subsistemas se elaboró formatos de evaluación de criticidad, formato impacto total de criticidad, con la finalidad de identificar los aspectos más críticos de los sistemas y subsistemas, a través del método de los puntos como los impactos de frecuencia de fallas, operacionales, mantenimiento, costos de mantenimiento, seguridad y ambiente con respecto al análisis RCM. Mientras que para el análisis AMEF, el formato utilizado sirvió para analizar la detección de las causas de los problemas potenciales y sus efectos dentro del proceso productivo.

- Aplicando las técnicas de RCM y AMEF a las tres áreas de la planta termoeléctrica se constató 9 subsistemas de alta criticidad, 24 subsistemas de criticidad media y 9 de criticidad baja. En cuanto a los resultados de formato AMEF se obtuvieron 24 equipos con puntajes mayores de 25 (NPR) en los cuales fueron analizados para determinar las diferentes actividades y estrategias de mantenimiento para minimizar los efectos de modo de falla.

El diseño del plan de mantenimiento según los resultados de la metodología RCM y AMEF, que elaboró los siguientes formatos: ruta diaria eléctrica, ruta diaria mecánica, reporte de fallas, orden de trabajo de mantenimiento, registro de mantenimiento realizado, protocolo de mantenimiento y el plan anual de mantenimiento. Con esto se busca reducir la criticidad, el número de fallas, costos, reducir tiempos improductivos, aumento de disponibilidad, mejorar los recursos técnicos, seguridad del personal, seguridad de los equipos y maquinarias y optimización de la producción.

5.3 Recomendaciones

- Enfocar este estudio a los equipos de criticidad media para evitar el crecimiento de fallas y así evitar que entre en el rango de criticidad alta, de esta manera se podrá disminuir los altos costos de mantenimiento, paradas imprevistas de los equipos entre otros aspectos que pueden influir en la productividad y eficiencia de los procesos.
- Gestionar el formato de reporte de fallas mensual , servirá además de un indicador, identificar las prontas desviaciones de sistemas, subsistemas y equipos críticos, de esta manera se podrá mantener la confiabilidad de los procesos en las empresas termoeléctricas.
- Agregar al sistema de KPI's los siguientes indicadores: Tiempo Medio entre Fallos, Tiempo Medio hasta el fallo, Tiempo Medio hasta la reparación e Índice de costo de mantenimiento y presentarlos mensualmente para controlar y mejorar la eficiencia del departamento de mantenimiento.
- Capacitar al personal técnico de mantenimiento en montajes de elementos críticos de precisión, mantenimiento de máquinas rotativas, montaje y desmontaje de elementos mecánicos, aplicaciones de sistema de bandas, poleas, lubricación de máquinas mecánica y eléctricas.
- Desarrollar un plan estratégico anual de capacitación al personal técnico sobre mantenimiento centrado en confiabilidad, análisis termográficos, análisis vibracional, análisis de ultrasonido, análisis de causa raíz, herramientas de mejora continua, entre otros.

Referencias Bibliografía

- Aguilar, A., & Tandazo, L. F. (2017). *"Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) del sistema de inyección de un motor de encendido provocado corsa evolution 1.4l empleando herramientas de aprendizaje y clasificación para la programación del mantenimiento.* Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14606/1/UPS-CT007176.pdf>
- Belli, O. (2018). *"Propuesta de gestión de mantenimiento RCM en plantas de energía a gas natural".* Lima . Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/624416/Belli_HO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cañaveral, C., & Heredia, D. (2017). *Desarrollo de una metodología para correlacionar técnicas de análisis en confiabilidad con los ciclos de vida y la gestión de activos.* Pereira. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/fc059a15-e814-4630-ad2d-51056421f24a/content>
- Chuchuca, F. (2020). *Desarrollo de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, mediante operaciones de Pulling a los Pozos del campo "Gustavo Galindo Velasco.* La Libertad, Santa Elena-Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5405/1/UPSE-TIP-2020-0009.pdf>
- Espín, H. (2018). *análisis de Criticidad y AMEF para Gestión de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.* Ambato-Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28584>

Espín, Hugo. (2018). *El RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad) de los equipos del área húmeda y de acabados del cuero de la. Ambato Ecuador.* Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28584>

Espinosa, e. a. (2020). Contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica. *Revista Centro Azúcar*, 47(1). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612020000100022

Gasca,et. al. (2017). sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. *Revista Información Tecnológica*, 28(4). Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v28n4/art14.pdf>

Perdomo, M., & Salomón, J. (2017). análisis de modos y efectos de falla expandido: Enfoque avanzado de evaluación de fiabilidad. *Revista Cubana de Ingeniería*, 2(2). Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi25PGFx9H5AhWEZTABHWIQC-gQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Frci.cujae.edu.cu%2Findex.php%2Frci%2Farticle%2Fdownload%2F509%2Fpdf%2F1359&usg=AOvVaw0F7DJQu2na7l2SvyGfXh6y>

Prado, N. (2018). *Aplicación del RCM para mejorar la gestión de mantenimiento de la empresa Industrias del papel S.A, Chaclacayo, 2018.* Lima. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33110/Prado_MNJ.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Reaño, L. (2019). *“Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad en una empresa reprocesadora de subproductos de arroz para minimizar el número de averías”*. Chiclayo. Obtenido de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2058/Leonardo%20Rea%C3%B1o_Tesis_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Samaniego, J. (2019). *Plan de mantenimiento para las unidades de generación de la central térmica ishpingo Tambococha Tiputini de la Corporación Eléctrica del Ecuador bajo la metodología de mantenimiento basado en la condición*. Riobamba. Obtenido de <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/13542/1/25T00365.pdf>

Suárez, J. (2018). *Desarrollo de un sistema de gestión de mantenimiento para reducir la presencia sistemática de fallas y paras imprevistas en equipos y maquinarias*. Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19318/1/CD-8687.pdf>

Torres, T. (2020). En defensa del método histórico-lógico desde la Lógica como ciencia. *Revista Cubana de Educación Superior*, 39(2). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142020000200016#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20de%20an%C3%A1lisis%20hist%C3%B3rico,15

Valdés, F. (2019). *Metodología de la investigación*. México. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/105291/Methodolog%C3%ADa+de+la+Investigaci%C3%B3n+Unidad+II.pdf?sequence=1>

Zambrano, R. (2018). *Propuesta de implantación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de los Activos Críticos de la Central Hidroeléctrica Ocaña*. Cuenca-Ecuador. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6853/1/12824.pdf>

Zorrilla, J. (2019). *Propuesta de implementación del plan de mantenimiento basado en criterios de RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) para una línea de transmisión de 500kV*. Arequipa-Perú. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10653/IEzosaja%281%29.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Anexos

Anexo 1 Identificación de sistemas y subsistemas

Tabla 16 Sistemas

N.º	Sistemas
1	Horno
2	Economizador
3	Lavador De Gases
4	Extracción De Gases
5	Insuflación
6	Transportador De Bagazo
7	Agua De Alimentación
8	Tratamiento De Agua
9	Aire Comprimido
10	Turbina
11	Reductor
12	Generador
13	Servicio Auxiliar
14	Centro Control Motores
15	Subestación Eléctrica

Tabla 17 Subsistemas

N.º	Subsistema
1	Alimentador De Bagazo 1
2	Esparcidor de Bagazo

3	Cuerpo
4	Colector
5	Purga Domo
6	Alivio De Presión Domo
7	Nivel Domo
8	Temperatura Domo
9	Limpiadores De Hollín
10	Tanden De Combustión
11	Colector
12	Limpieza Ceniza
13	Estructura
14	Lavado
15	Inducido 1
16	Inducido 2
17	Ductos
18	Instrumento De Control
19	Primario
20	Secundario

21	Neumático
22	Banda Transportador 1
23	Desairador
24	Electrobomba
25	Turbobomba
26	Control De Agua
27	Dilución Clorhídrico
28	Tanque Reactor
29	Control Agua Admisión

30	Estator
31	Rotor
32	Protección Y Seguridad
33	Control Velocidad
34	Sistema Hidráulico
35	Reductor
36	Rotor
37	Estator
38	Excitación
39	Enfriamiento
40	Tableros
41	Variadores Motores
42	Transformadores
43	Paneles Distribución
44	Cuarto Maniobra
45	Patio De Maniobras

En la tabla se observa los sistemas analizados en este tipo de industria, a fin de clasificar los equipos de acuerdo con las funciones de cada uno, para poder hacer el estudio de criticidad

UNEMI
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

