

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**SISTEMATIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN CON APLICACIONES
WEB DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD (RCM) PARA INSTALACIONES DE
GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR, SATURADO**

**SISTEMATIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN CON WEB APP, DEL
PROCESO RCM PARA UNA INSTALACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE
VAPOR SATURADO Y RETORNO DE CONDENSADO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN
MECÁNICA**

ALISSON MIREYA ACOSTA GUARNIZO

alisson.acosta@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. ALVARO GONZALO XAVIER AGUINAGA BARRAGÁN

alvaro.aguinaga@epn.edu.ec

DMQ, Febrero 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Alisson Mireya Acosta Guarnizo declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

ALISSON MIREYA ACOSTA GUARNIZO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Alisson Mireya Acosta Guarnizo, bajo mi supervisión.

ÁLVARO GONZALO AGUINAGA BARRAGÁN
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ALISSON MIREYA ACOSTA GUARNIZO

ÁLVARO GONZALO AGUINAGA BARRAGÁN

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Yony Guarnizo y Alberto Acosta, ya que con su dedicación, esfuerzo y apoyo han ayudado a que mis logros y objetivos se cumplan brindándome su sabiduría, consejos, experiencia, valores y mucha fortaleza; se lo dedico a mis hermanas Erika y Yajaira ya que con su ejemplo he aprendido a ser una persona de bien y hoy por hoy ser una profesional más de la familia.

Se lo dedico a mi abuelito Alfonso Acosta que siempre ha sido un apoyo incondicional en mi vida, durante mi infancia fue quien estuvo presente con su amor, cariño y enseñanzas lo que me ha conllevado a ser una persona que lucha por sus objetivos y nunca rendirse a pesar de las adversidades.

Se lo dedico a las personas y amigos que han estado en los buenos y malos momentos, con los que he compartido risas y lágrimas, que me han ayudado a sobresalir en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi familia, en especial a mis padres y hermanas que me han apoyado durante toda mi vida tanto académica como personal, brindándome motivación e impulsándome a superar adversidades para cumplir con mis metas y objetivos.

A mis amigos y personas allegadas que son parte de mi vida y sobre todo en el transcurso académico, gracias a sus consejos y apoyo que por medio de ello logre superar todos los inconvenientes presentados en mi vida.

Le agradezco a mi director de TIC Álvaro Aguinaga por su constante orientación y por compartir sus conocimientos para alcanzar el objetivo del Trabajo de Integración Curricular.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	4
1.4.1. Definición de mantenimiento	4
1.4.2. Evolución del mantenimiento	4
1.4.3. Tipos de mantenimiento	4
Mantenimiento Correctivo.....	5
Mantenimiento Preventivo Periódico	5
Mantenimiento Preventivo por Diagnostico de Condición.....	5
Mantenimiento Predictivo	5
Confiabilidad operacional	5
1.4.4. Estrategias de mantenimiento	6
1.4.5. Procesos de Desgaste y Falla.....	6
Desgaste por fricción.....	6
Desgaste por corrosión	7
Deformaciones plástico y rotura	7
Problemas de integridad estructural	7
Fatiga estructural	8
Fatiga superficial	8
Fatiga térmica.....	8
Explosiones e incendios.....	8
Cavitación	9
Golpe de ariete.....	9

Problemas eléctricos	9
1.4.6. Causas de fallo y soluciones	9
1.4.6.1. Herramientas y técnicas de mantenimiento.....	9
Diagrama de Pareto.....	10
Diagrama de Ishikawa	11
Análisis de Causa y Raíz (RCA)	11
1.4.6.2. Solución para causa de fallos	12
1.4.7. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	13
1.4.7.1. Origen.....	13
1.4.7.2. Definición del RCM.....	13
1.4.7.3. Normas RCM	13
1.4.7.4. Las siete preguntas básicas del RCM.....	14
1.4.7.5. Pasos para implementación del RCM.....	14
1.4.7.6. Definición del contexto operacional	15
1.4.7.7. Diagrama EPS y definición de ISED'S.....	15
1.4.7.8. Funciones de los ISED's	16
1.4.7.9. Análisis modal de falla y efecto (AMFE)	16
Modo de falla de los ISED's	17
Causas de fallas y solución	17
Consecuencias de las fallas	18
Gravedad, Frecuencia y Detectabilidad	18
Índice de prioridad de riesgo (IPR).....	20
Correctivos AMFE para IPR > 100.....	20
1.4.7.10. Selección de tareas.....	21
1.4.7.11. Plan de mantenimiento optimo (PMO).....	22
2 METODOLOGÍA	23
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
3.1 Resultados	32
3.2 Conclusiones	39
3.3 Recomendaciones	39
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.4.1. Evolución del Mantenimiento	4
Figura 1.4.2. Confiabilidad Ocupacional	5
Figura 1.4.3. Diagrama de Pareto.....	10
Figura 1.4.4. Diagrama de Ishikawa.....	11
Figura 1.4.5. Causa y Raíz	12
Figura 1.4.6. Pasos para implementación del RCM.....	15
Figura 1.4.7. Modo de falla funcional de los ISED's	17
Figura 2.1. Diagrama de entradas, procesos y salidas.....	24
Figura 3.1. Diagrama EPS para la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Contexto Operacional	23
Tabla 2.2. Definición de ISED's.....	24
Tabla 2.3. Funciones y modos de falla	25
Tabla 2.4. Causa directa	25
Tabla 2.5. Clases de inspección.....	26
Tabla 2.6. Causas de falla por golpe de ariete	26
Tabla 2.7. Soluciones	26
Tabla 2.8. Cadena de causas de fallas y Soluciones	27
Tabla 2.9. Índice de Gravedad (G).....	27
Tabla 2.10. Índice de Frecuencia (F)	27
Tabla 2.11. Índice de Detectabilidad (D).....	28
Tabla 2.12. Análisis Modal de Falla y Efecto (AMFE)	28
Tabla 2.13. Correctivos AMFE	28
Tabla 2.14. Tareas de mantenimiento	29
Tabla 2.15. Estrategias de mantenimiento	29
Tabla 2.16. Personal de mantenimiento.....	30
Tabla 2.17. Herramientas de mantenimiento.....	30
Tabla 2.18. Formato Plan de Mantenimiento Óptimo.....	31
Tabla 3.1. Contexto Operacional de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA.....	32
Tabla 3.2. Definición de ISED's de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA.....	33
Tabla 3.3. Funciones y Modos de Fallas de los ISED's de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA.....	34
Tabla 3.4. Modo de Fallas, Causa y Soluciones de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA	35
Tabla 3.5. AMFE de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA	36

Tabla 3.6. Plan Óptimo de Mantenimiento para la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA.....	37
---	----

RESUMEN

El trabajo de integración curricular, se sustenta en la aplicación del desarrollo de una web app para la automatización del RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad) para un sistema de distribución de vapor saturado y retorno de condensado para la plan de Elaborados y Embutidos PRONACA, dicha implementación ayudará de una manera eficiente, aumentando la seguridad y confiabilidad desarrollando un plan o cronograma de mantenimiento reduciendo sus costos tanto para los sistemas como para los activos del mismos.

El sistema de distribución de vapor saturado como su nombre mismo lo dice es el encargado de distribuir vapor a los diferentes dispositivos como son los hornos, marmitas, entre otros. Dentro de su distribución la energía genera debe poseer su mayor eficiencia lo que implica que sus pérdidas deben ser mínimas, por otro lado, el retorno del condensado es el encargado de recolectar el vapor saturado para ser reutilizando en los diferentes dispositivos. Para ello el mantenimiento cumple un papel fundamental dentro del sistema para garantizar alargar el tiempo de vida útil como también su funcionamiento óptimo, por lo cual se aplica RCM que brinda un enfoque sistemático con mayor eficaz.

Dentro del RCM se analiza las causas, los diferentes modos de falla y las soluciones el cual permitirá generar un banco de datos para el desarrollo de una Web App por medio de la herramienta Excel, el cual permitirá automatizar el procedimiento diseñado para simplificar la toma de decisiones en el ámbito del mantenimiento de la empresa.

La Web App se implementó por medio de Google Sheets, el cual brinda diferentes funcionalidades como es el ingreso de datos de fallas y mantenimiento, que puede ser utilizada por diferentes usuarios que tengan un acceso a Internet y con ello facilitando la toma de decisiones dentro del RCM.

PALABRAS CLAVE: Web App, Mantenimiento basado en la Confiabilidad (RCM), modos de causa, fallas, soluciones, ISED's.

ABSTRACT

The curricular integration work is based on the application of the development of a web app for the automation of reliability-centered maintenance (RCM) for a saturated steam distribution system and condensate return for the PRONACA Elaborated and Sausage plan, such implementation will help in an efficient way, increasing safety and reliability for the development of a maintenance plan reducing its costs for both the systems and the systems.

The saturated steam distribution system, as its name suggests, is responsible for distributing steam to different devices such as ovens, kettles, among others. Within its distribution, the energy generated must have its highest efficiency, which implies that its losses must be minimal, on the other hand, the return of the condensate is responsible for collecting the saturated steam to be reused in the different devices. To this end, maintenance plays a fundamental role within the system to ensure that the useful lifetime is extended as well as its optimal operation, which is why RCM is applied, which provides a systematic approach with greater effectiveness.

Within the RCM, the causes, the different failure modes and solutions are analyzed, which will allow the generation of a database for the development of a Web App through the Excel tool, which will allow automating the process to facilitate decision-making within the maintenance of the company.

The Web App was implemented through Google Sheets, which provides different functionalities such as the entry of fault and maintenance data, which can be used by different users who have access to the Internet and thus facilitating decision-making within the RCM.

KEYWORDS: Web App, Reliability Centered Maintenance (RCM), modes of cause, failures, solutions, ISED's.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Existe un grave problema en la función del mantenimiento industrial, por lo que en la mayoría utilizan el modelo de mantenimiento correctivo o reactivo, y un mantenimiento planificado a tiempo fijo o periódico lo cual se lo realiza de una manera empírica y no estructural en donde conlleva bajas consecuencias como la baja productividad y falta de competitividad.

El RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), se trata de un procedimiento que empleas un análisis sistemático, objetivo y documentado, que se lo realiza a sistemas o equipos con el fin de maximizar la confiabilidad operacional y disponibilidad de una planta industrial, como a la vez disminuir costos de mantenimiento, riesgos de accidentes personales y la mejora significativa de la productividad. [1]

El RCM utiliza análisis y síntesis de grandes interrelaciones entre sus diferentes etapas, como es la planeación, grupos de revisión, resultados de RCM, implementación y auditoria con el fin de mejorar la vida útil de los elementos, mejorar el trabajo en equipo y motivación del personal, entre otros. [2]

El Trabajo de Integración Curricular TIC, propone la sistematización y automatización de procesos para implementar la estrategia de mantenimiento en instalaciones industriales de distribución de vapor saturado para el país, con el uso de aplicaciones Web App gratuitas para formato de computadoras, tablet y smartphone. Con este trabajo se demostrará la facilidad de realizar esta sistematización y automatización para facilidades hidromecánicas, por lo que se continúa con estos desarrollos, el cual es un aporte significativo para la solución de graves problemas en el mantenimiento industriales del país.

1.1 Objetivo general

Desarrollar una sistematización y automatización mediante aplicaciones Web del proceso de mantenimiento enfocado en la confiabilidad para una instalación de distribución de vapor saturado y retorno de condensado.

1.2 Objetivos específicos

1. Compilar información bibliográfica relevante sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad, distribución saturado y retorno de condensado.
2. Enlistar las fallas y desgaste como a la vez sus causas y soluciones de los diferentes componentes dentro del sistema de vapor saturado y retorno de condensado.
3. Elaborar una sistematización de las herramientas de identificación de problemas dentro del mantenimiento centrado en la confiabilidad.
4. Diseñar la aplicación Web App gratuita para diferentes tipos de dispositivos basándose en el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

1.3 Alcance

En la ejecución del Trabajo de Integración Curricular se lleva a cabo las siguientes actividades para alcanzar cada uno de los objetivos específicos establecidos:

Objetivo específico 1 (OE1): Compilar información bibliográfica relevante sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad, distribución saturada y retorno de condensado.

- *Actividad (A1.1):* Recopilación de información bibliográfica sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad, distribución saturada y retorno de condensado.
- *Actividad (A1.2):* Análisis y selección de información bibliográfico compilado.
- *Actividad (A1.3):* Elaboración de documento memoria acerca del mantenimiento centrado en la confiabilidad, distribución saturada y retorno de condensado.

Objetivo específico 2 (OE2): Enlistar las fallas y desgaste como a la vez sus causas y soluciones de los diferentes componentes dentro del sistema de vapor saturado y retorno de condensado.

- *Actividad (A2.1):* Recopilación de información de fallas y desgaste como también las causas y soluciones de los componentes.
- *Actividad (A2.2):* Análisis y selección de la información bibliográfica de los datos enlistados.
- *Actividad (A2.3):* Elaboración de informe escrito y esquematización de las fallas, desgaste, causas y soluciones de los distintos componentes.

Objetivo específico 3 (OE3): Elaborar una sistematización de las herramientas de identificación de problemas dentro del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

- *Actividad (A3.1):* Revisión bibliográfica de las herramientas de identificación de problemas dentro del mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- *Actividad (A3.2):* Análisis de información recopilada y sistematización de la misma.
- *Actividad (A3.3):* Elaboración de documento memoria de las herramientas de identificación de problemas dentro del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Objetivo específico 4 (OE4): Diseñar la aplicación Web App gratuita para diferentes tipos de dispositivos basándose en el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

- *Actividad (A4.1):* Desarrollar diseño de la aplicación Web App del proceso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para una instalación de distribución de vapor saturado y retorno condensado.
- *Actividad (A4.2):* Análisis y evaluación de resultados de la Web App en diferentes dispositivos electrónicos.
- *Actividad (A4.3):* Elaboración de memoria técnica del diseño de la aplicación Web App y especificaciones técnicas del proceso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para una instalación de distribución de vapor saturado y retorno condensado.

1.4 Marco teórico

1.4.1. Definición de mantenimiento

El mantenimiento se caracteriza como actividades adecuadas para garantizar el funcionamiento adecuado tanto en las maquinas como en las instalaciones que realizan un proceso de producción proporcionando su máxima rendimiento para la evitación de generar mayores costos por lo cual los productos pueden ser monitoreados frecuentemente para evitar los desperfectos. [3]

1.4.2. Evolución del mantenimiento

A lo largo del tiempo el mantenimiento al igual que los demás procesos ha evolucionado y ha seguido una serie de etapas cronológicas por ser una metodología específica a continuación, en la Figura 1.4.1., se encontrarán las generaciones del mantenimiento.



Figura 1.4.1. Evolución del Mantenimiento

El mantenimiento comenzó a raíz de la Primera Guerra Mundial debido a que las fábricas poseían un programa mínimo de producción por lo cual se deseaba el menor tiempo posible de parada. En la segunda generación fue sistematizado a inicios de la Segunda Guerra Mundial en donde se comenzó a realizar trabajos cíclicos y repetitivos para lograr un objetivo. Para la tercera generación comienza la monitorización de los parámetros para la sustitución o reacondicionamiento de las maquinas. La cuarta generación se lo identifico en la década de los 90, se encuentra fundamentado en la confiabilidad, TPM (Mantenimiento Productivo Total), RCM (Mantenimiento Basado en la Confiabilidad), y por último la quinta generación se basa en la inteligencia artificial como sitios Web como por ejemplo robots capaces de realizar un mantenimiento a las maquinarias. [4]

1.4.3. Tipos de mantenimiento

Los tipos de mantenimiento son los métodos por el cual se va a realizar el mantenimiento a diferentes maquinarias, en este caso los más utilizados son el Mantenimiento Correctivo,

Mantenimiento Preventivo Periódico, Mantenimiento Preventivo por Diagnostico de Condición y Mantenimiento Predictivo.

Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo se lo realiza posterior de la verificación de un fallo funcional dentro del activo el cual la marcha se detiene para el cambio de la pieza de fallo.

Mantenimiento Preventivo Periódico

Durante este tipo de mantenimiento se basa en que los activos se encuentren en buen estado durante su vida útil como también cambiar el componente antes de su fallo.

Mantenimiento Preventivo por Diagnostico de Condición

Se basa en las inspecciones periódicas para que los activos, y así evitando la degradación del mismo como también las pérdidas de producción si llega a fallar.

Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento es el más utilizado últimamente debido a que se basa en detectar anomalías a tiempo real en el funcionamiento de las maquinas antes que los componentes o activos lleguen a fallar y a la vez economizar en los repuestos.

Confiabilidad operacional

Se basa en la mejor de la eficiencia como también la productividad en una industria, por medio de la Figura.1.4.2., se podrá comprender fácilmente la relación que existe.

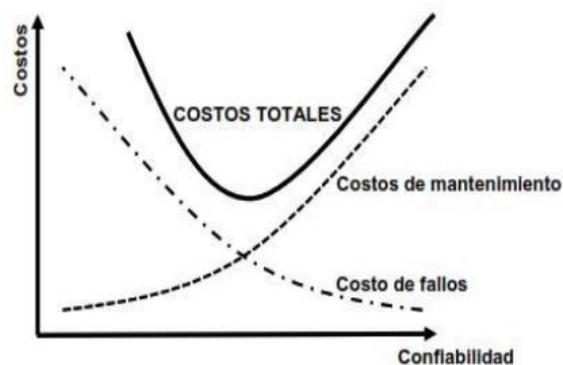


Figura 1.4.2. Confiabilidad Ocupacional

Por medio de la Figura 1.4.2., se puede apreciar con claridad si el mantenimiento es costoso la confiabilidad aumentaría y a su vez el costo de los fallos disminuye, y por otro

lado si los costos con cortos en el mantenimiento los costos de fallo por ende por menores y su confiabilidad de la misma manera será bajo.

1.4.4. Estrategias de mantenimiento

- (RCM) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- (TOM) Mantenimiento Productivo Total
- Mantenimiento Proactivo
- (MbR) Mantenimiento basado en Riesgo
- Mantenimiento Autónomo
- Mantenimiento Inteligente (en desarrollo)

1.4.5. Procesos de Desgaste y Falla

El cambio acumulativo como indeseable en el tamaño, propiedades de una estructura, componente de máquinas o equipos se le conoce como desgaste. Por lo otro lado si el nivel de desgaste aumenta o existe una acumulación de desgaste se le conoce como fallo, el cual la maquinaria perderá la funcionalidad. [5]

Existen diferentes tipos de desgaste y falla que son:

Desgaste por fricción

El proceso de desgaste de fricción posee una fuerza normal o de contacto que provoca micro soldaduras el cual hace que se adhiere a las superficies de contacto, este proceso se le conoce como Adhesión y es el primer proceso de fricción; en el segundo proceso las partículas sufren un tratamiento térmico que provocan rayaduras en la superficie.

Para evitar este tipo de desgaste se utiliza lubricantes el cual ayuda a eliminar la fricción entre superficies, de la misma manera existen diferentes tipos de lubricación: lubricación hidrostática, lubricación hidrodinámica, lubricación elasto-hidrodinámico y lubricación solida o seca.

Dentro de este tipo de desgaste se presentas algunas causas directas que produce el desgaste que son:

- Temperatura y lubricación inadecuada.
- Fatiga del material.

- Fuerzas de fricción

Desgaste por corrosión

Es la degradación gradual del material comenzando por la superficie, este tipo de corrosiones se divide en: las corrosiones químicas que principalmente influye su composición química del material, y las corrosiones electroquímicas que son interferidas por ánodo y cátodo. Algunas de sus causas directas que producen este tipo de desgaste son:

- Recubrimiento superficial deteriorado
- Potencia catódica utilizada inadecuada
- Inadecuada selección de material o diseño

Deformaciones plástico y rotura

Se produce debido al sobreesfuerzos sobre los materiales el cual depende del límite de fluencia de cada material, este sobre esfuerzo debe ser controlado para evitar la deformación o ruptura del material. Las principales causas son:

- Carga excesiva
- Fatiga
- Corrosión
- Defectos y discontinuidades
- Temperatura
- Impacto y cargas repentinas

Problemas de integridad estructural

Se produce cuando existe fisura interna dentro del componente, deformación plástica y la fatiga, algunos de estos problemas son difíciles de predecir. Las causas más importantes son:

- Material como diseño inadecuado
- Errónea el proceso de fabricación
- La gestión de los procesos de desgaste y falla no es adecuada

Fatiga estructural

Por medio de los esfuerzos fluctuantes aplicados en el componente y el material, con el tiempo aparecerá grietas que constantemente se propagan hasta llegar a un tamaño crítico y causar el fallo total del componente. Algunas de las causas que produce la fatiga son:

- Vibraciones bruscas
- Sobreesfuerzos fluctuantes
- Diseño inadecuado del límite de fatiga

Fatiga superficial

Se produce en la superficie del elemento cuando se encuentra en contacto directo con un rodamiento. Las causas principales por la cual se produce:

- Sobreesfuerzos en rodamientos
- Numero de ciclos máximos de la vida útil superados
- Mal diseño del elemento
- Vibraciones altas

Fatiga térmica

Se produce por lo general en sistemas térmicos el cual es producido por las variaciones de temperatura en el material conforme su tamaño de la misma manera varia. Sus causas son:

- Variaciones de temperatura
- Mal diseño del material como de los componentes

Explosiones e incendios

Se produce principalmente en donde se encuentren procesos de combustión, dentro de sus factores principales se tiene la sobrepresión y la sobre temperatura; y sus causas principales son:

- Componentes de protección deteriorados
- Limpieza inadecuada en el equipo de protección
- Traba mecánica en elementos de protección

Cavitación

Es ocasionado principalmente en instalaciones de transporte y distribución de fluidos líquidos, se produce en ciertas zonas superficiales en especial en donde la presión ha bajado provocando un cambio de estado y posterior se somete a un cambio de presión alta. Las causas directas son:

- Fluido con temperaturas altas
- Rango de operación inadecuado

Golpe de ariete

Se produce cuando el caudal de un líquido se disminuye bruscamente debido a la mala operación de las válvulas hidráulicas por utilizar la velocidad de cierre de válvulas inadecuado. Las causas por la cual se produce el golpe de ariete son:

- Inadecuada operación de válvulas
- Obstrucciones intempestivas
- Ley de cierre inadecuado

Problemas eléctricos

Se debe dar prioridad a los elementos de protección eléctrica como son los fusibles, térmicos, entre otros. Las causas más importantes son:

- Cortocircuitos
- Aislante de recubrimiento deteriorado
- Cables y conductores rotos
- Fallos de dispositivos de protección

1.4.6. Causas de fallo y soluciones

Para los problemas de mantenimiento se deben realizar análisis de las causas de fallo, con ello reduce la probabilidad de futuros fallos. Dentro del análisis sistemático se deben seguir ciertos pasos: Recopilación de datos, Definición de problemas, Análisis de falla, Investigación adicional, Acciones correctivas, Monitoreo y seguimiento, Mejora continua.

1.4.6.1. Herramientas y técnicas de mantenimiento

- Diagrama de Ishikawa

- Diagrama de Pareto
- Técnica de los 5 por qué
- (RCA) Análisis de Causa raíz
- (AMFE) Análisis Modal de Falla y Efecto
- (EPS) Diagrama Entrada Proceso Salida

Diagrama de Pareto

Esquema de Pareto o también conocido Esquema ABC es una de las herramientas básicas para priorizar las causas, se utiliza básicamente si se obtienen los registros en el periodo o los manuales de mantenimiento. Se basa en la aplicación del principio de Pareto (pocos elementos cruciales, muchos secundarios) el cual se trata de que el 80% de los problemas son producidos por el 20% de los componentes que intervienen en producirlos. [6]

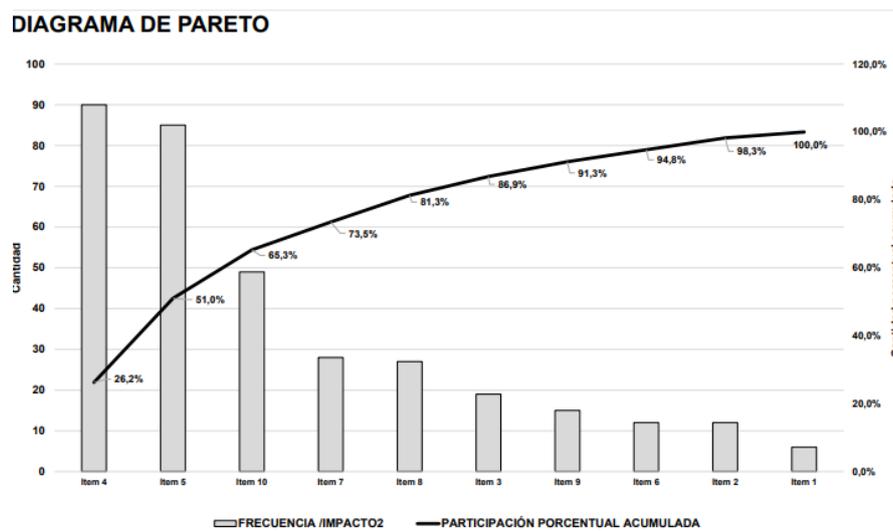


Figura 1.4.3. Esquema de Pareto

El Esquema se encuentra constituido por:

- Eje “Y” izquierdo indica la frecuencia que se presenta el problema.
- Eje “Y” derecho corresponde al porcentaje total acumulado de todas las instancias.
- Eje “X” señala tanto los problemas como las quejas, defectos o desperdicios.

[7]

Diagrama de Ishikawa

El Esquema de Ishikawa denominado como Espina de Pescado o (CE) Esquema de causa – efecto, es una herramienta utilizada con fines de Ingeniería de Mantenimiento para identificar los sistemas funcionales de un proceso y posterior descomponerse en el problema, procesos de desgaste y las fallas más frecuentes. Por lo general es utilizado cuando no se encuentran datos o manual de mantenimiento.

El número de sistemas funcionales deben ser precisos y no exagerados al igual que los problemas de cada uno debido a la complicación del análisis.

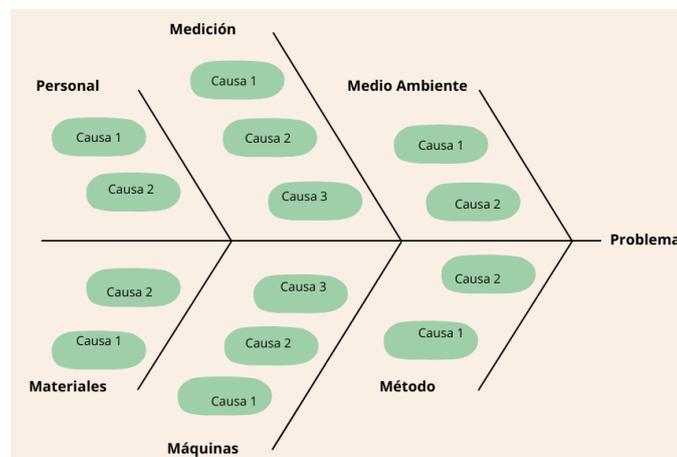


Figura 1.4.4. Diagrama de Ishikawa [8]

Análisis de Causa y Raíz (RCA)

El análisis de Causa y Raíz es una técnica usada para la resolución de problemas que evita a la incidencia investigando sus causas. Se lo aplica basándose en la Norma IEC 62740 la cual tiene aplicación en diferentes áreas como Gestión de riesgo, Peritajes, Producción y en Ingeniería de Mantenimiento.

Este análisis se encuentra relacionado con Saikichi Toyoda el padre de los 5 Por Qué, el cual es utilizado para encontrar la raíz del problema como también identifica la cadena de las causas, este método no es necesario considerar los 5 Por Qué, sino depende del tipo de problema a tratar.

ANÁLISIS DE CAUSA RAIZ (RCA)

PROBLEMA	¿Porqué 1?	¿Porqué 2?	¿Porqué 3?	¿Porqué 4?	¿Porqué 5?
Problema 1	Causa directa	Causa intermedia	Causa Raiz		
Problema 2	Causa directa	Causa intermedia	Causa intermedia	Causa intermedia	Causa Raiz
Problema 3	Causa directa	Causa intermedia	Causa intermedia		
Problema 4	Causa directa	Causa intermedia	Causa Raiz		
Problema 5	Causa directa				
Problema 6	Causa directa	Causa intermedia	Causa intermedia	Causa intermedia	Causa Raiz
Problema 7	Causa directa	Causa intermedia	Causa intermedia	Causa Raiz	

Figura 1.4.5. Causa y Raíz

Existen 3 tipos básicos de causa raíz:

- Causas raíz físicas: surgen de un componente físico de un sistema como las maquinas o diseño.
- Causas raíz humanas: ocurre con la intervención humanada por falta de conocimiento o falta de habilidades.
- Causas raíz latente: producido por la falta de información como también de un mal plan de mantenimiento.

1.4.6.2. Solución para causa de fallos

Para las soluciones y arreglar los procesos de desgaste y falla se deben seguir los siguientes pasos:

- Conseguir el talento humano necesario: constituir un equipo multidisciplinario priorizando personal de mantenimiento para abordar las acciones correctivas.
- Conseguir los recursos necesarios: gestionar y conseguir las herramientas necesarias.
- Solución urgente: se realiza reparaciones o cambios de componentes.
- Soluciones permanentes: da soluciones de manera proactiva el cual es utilizado para problemas priorizaste el cual es determinado por Pareto o Ishikawa.
- Monitoreo y evaluación de resultados: seguimiento de la implementación de las soluciones y evaluar su efectividad.
- Mejora continua.

1.4.7. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

1.4.7.1. Origen

Durante el periodo de 1960 por medio de la compañía aeroespacial Boeing y las Fuerzas Aéreas de los Estado Unidos buscaron mejorar la confiabilidad como la seguridad dentro de los sistemas complejos como los aviones y con ello crearon el RCM, el cual se basaba en el método de modos de falla como a la vez de sus consecuencias, por otro lado, también se realiza la valoración de la eficiencia de las estrategias de mantenimiento ya existentes. [9]

Con el pasar del tiempo dentro de la industria aeroespacial en donde se fue aplicando el RCM, el éxito como el beneficio fue una clara evidencia para la adaptación dentro de otros sectores. En la década de los 80's se implementó por medio por principio y pautas a través de la norma IEC 60300-3-11. En la década de 1990, el RCM empezó a ser reconocido como una estrategia integral para la confiabilidad y la administración de mantenimiento de los activos. Posterior a ello se publicó diferentes libros del tema como el autor Mac Smith reconocido por el libro sobre RCM. [9]

1.4.7.2. Definición del RCM

El RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), según Moubray (1997) “es un método por el cual se determina que se debe hacer para asegurar el funcionamiento de cualquier equipo, en su contexto operacional actual”, demostrando que las estrategias de mantenimiento tienen que ser fundamentadas en análisis sistemático de los modos de falla, sus efectos como también la criticidad de los mismos. [10]

1.4.7.3. Normas RCM

Las normas que regulan la metodología del RCM son las siguientes, entre las más importantes:

- Reliability Centred Maintenance – Application guide – ICE 60300-3-11
- Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance Processes – SAE JA1011
- Centered Maintenance (RCM) – A Guide to Reliability – SAE JA1012
- (process FMEA reference manual) Potential failure mode and effects analysis in design and Potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly processes – SAE JA1739

- Petroleum and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment – ISO 14224 [11]

1.4.7.4. Las siete preguntas básicas del RCM

Por medio de la norma SAE JA 1011 incita a responder las siete preguntas sobre los sistemas bajo revisión:

- ¿Cuál es la tarea que se espera que realice?, La función que el usuario desea que la maquina cumpla.
- ¿Cuál es la falla funcional?, Las razones por las que deja de ejecutar la tarea deseada.
- ¿Cuál es el modo de falla?, Que podría causar la falta de ejecución de la tarea deseada.
- ¿Cuál es el resultado de la falla?, Las consecuencias cuando la falla se manifiesta.
- ¿Cuáles son las implicaciones de la falla?, Razones por las cuales es significativo que ocurra la falla.
- ¿Cómo se puede prevenir o reducir el impacto de la falla?
- ¿Qué medidas se toman si no se encuentra ninguna acción para prevenir o reducir el impacto de la falla? [10]

1.4.7.5. Pasos para implementación del RCM

En la ejecución del RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) es necesario de seguir una serie de pasos, posteriormente, se indican los pasos típicos para la implementación:

- Definir el entorno operativo donde se llevará a cabo la evaluación.
- Crear un esquema de procesos de entrada y salida (EPS) y determinar los ISED's.
- Identificar las funciones esenciales relacionadas con los ISED's.
- Especificar las posibles fallas asociadas con los ISED's.
- Realizar un análisis de modos de falla y efectos (AMFE) para evaluar las probables causas y consecuencias de los fallos.
- Establecer estrategias de mantenimiento y acciones correctivas basándose en los resultados del AMFE.

- Valorar la eficacia de las estrategias de mantenimiento.

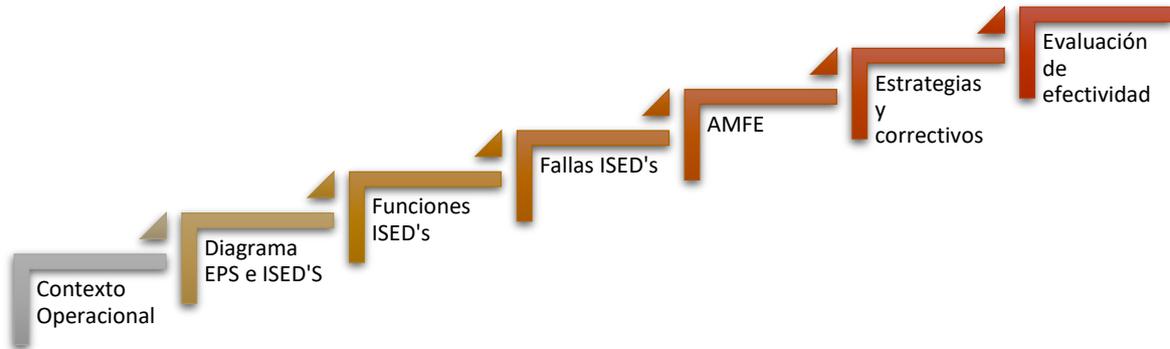


Figura 1.4.6. Pasos para implementación del RCM

1.4.7.6. Definición del contexto operacional

Hace referencia a entender completamente como se utiliza como el funcionamiento de un activo o un sistema en específico. Para la implementación del RCM es una parte de gran importancia. En el contexto operacional hace alusión a las condiciones de la planta como son: procesos operativos, condiciones ambientales, criterios de operación, directrices operativas, gestión de mantenimiento, entre otros.

Por medio de la comprensión adecuada del contexto operacional se puede determinar de manera más eficaz los modos de falla como las consecuencias asociadas, con el objetivo de elegir estrategias de mantenimiento apropiadas para optimizar la confiabilidad y rendimiento del activo.

1.4.7.7. Diagrama EPS y definición de ISED'S

El diagrama de entrada, procesos y salida (EPS), en donde se define como se reciben las entradas, como se llevan a cabo los procesos y cuáles son las salidas producidas; con ello permite la optimización de los procesos de mantenimiento, limitaciones y las ejecuciones de mantenimiento.

El uso del diagrama EPS es una herramienta que desglosa la información del Contexto Operacional como las instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos lo cual se le conoce como ISED'S; esta división se debe basar en la norma ISO 14224.

1.4.7.8. Funciones de los ISED's

Se basa en el funcionamiento o actividades que realiza un ISED para el cumplimiento de sus objetivos que tiene con el sistema, el proceso y a la planta que pertenece. Estas funciones que los activos desempeñan se dividen en dos clases:

Funciones primarias: son los motivos principales por el cual el activo es fundamental para el proceso o sistema, algunos de sus aspectos es la rapidez, desempeño, nivel de calidad, entre otros.

Funciones secundarias: son necesarias para llevar a cabo los requisitos reglamentarios y abordan los aspectos de protección, control, contención, comodidad, apariencia, eficiencia energética e integridad estructural.

Para la definición de una función tiene que estar estructurado por un verbo, objetivo y estándar de desempeño.

Dentro los criterios de rendimiento determinan si el ISEED se encuentra en funcionamiento apropiado o en proceso que lleva a una falla, estos estándares poseen diferentes tipos:

Parámetros cualitativos: representa lo que se requiere que haga el ISED en otras palabras el verbo, por ejemplo, ejecutar, lubricar, enfriar, etc.

Parámetros cuantitativos: son los números que representan los parámetros operativos, como, por ejemplo, el caudal necesario que utiliza un compresor.

Rangos múltiples: son los valores de operación o seguridad, como por ejemplo el rango de trabajo de presión de un activo.

1.4.7.9. Análisis modal de falla y efecto (AMFE)

El Análisis Modal de Fallas y Efecto (AMFE), también conocido como FMEA, es una herramienta de gran importancia en el proceso RCM. Su objetivo es prevenir o mitigar las fallas en un sistema como también prevé sus efectos potenciales sobre la seguridad y el desempeño por medio de un enfoque sistemático y analítico.

El proceso AMFE contempla los siguientes aspectos:

- Identificar los modos de falla de los ISED's.
- Delimitar las causas subyacentes de los fallos y sus posibles soluciones.
- Valorar los impactos o resultados de las fallas.

- Determinar la detectabilidad (D), gravedad (G) y la frecuencia (F).
- Calcular el Índice de Prioridad de Riesgo (IPR).
- Identificar e implementar correctivos AMFE para $IPR > 100$

Modo de falla de los ISED's

Se define como el desgaste de un conjunto o pieza hasta fallar a la hora de satisfacer los estándares de rendimiento el cual puede ser reconocido como un evento singular que provoca una falla funcional. En otras palabras, el modo de fallas son las situaciones en las cuales un ISED no está disponible para llevar a cabo sus funciones primarias y/o secundarias definidas por los estándares de desempeño. Es decir, se debe definir un modo de falla para cada criterio de rendimiento de todas las funciones establecidas para cada ISED.

Las fallas funcionales que se puede apreciar en la Figura 1.4.7., son los defectos de un sistema o producto que no se manifiestan de inmediato o de manera evidente durante su funcionamiento normal, por lo cual son la de mayor riesgo para las instalaciones.

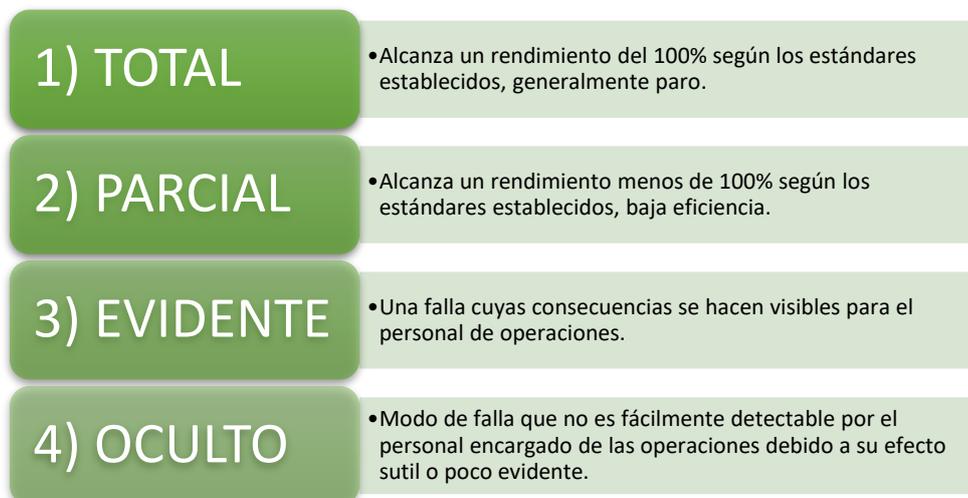


Figura 1.4.7. Modo de falla funcional de los ISED's

Causas de fallas y solución

Las causas de fallas son factores que interfiere en un sistema, dispositivo, proceso o cualquier cosa que no funcione correctamente, la identificación de las causas es primordial para tomar acciones correctivas con el objetivo de prevenir posibles inconvenientes en el futuro. En otras palabras, es el fenómeno que motiva el desgaste y fallo.

Las causas implican analizar los factores inmediatos que ayudan a un fallo como también las causas más profundas que los sustenten, para ello se utilizan las herramientas de mantenimiento.

Consecuencias de las fallas

Por resultado de la falla se analiza las posibles consecuencias las cuales pueden ser funcionales, de seguridad, económicos los cuales dependen del sistema o proceso, con ello puede causar afectaciones a otros quipos o infraestructuras como también a la seguridad y la vida del personal.

Las consecuencias de las fallas definen una serie de eventos, el cual inicia en el fallo del componente o equipo y los eventos subsiguientes que ocurre de manera secuencial hasta que el equipo se detiene totalmente el funcionamiento. Las consecuencias se clasifican en:

Consecuencia contra la seguridad: el modo de falla que puede dañar como perjudicar la vida de un ser humano.

Consecuencias ambientales: las falla que violan las normas ambientales tanto corporales como nacionales e internacionales como también la afectación de las normativas que se aplican al activo físico.

Consecuencias operacionales: afectación las condiciones operacionales de un activo físico o sistemas tales como la producción, la calidad del producto, el servicio al consumidor, costos operacionales, etc.

Consecuencias no operacionales: no se encuentra relacionado con la seguridad, el ambiente o la capacidad operacional, por ende, son los costos directos de reparación las cuales también son consecuencias económicas.

Gravedad, Frecuencia y Detectabilidad

Es necesario cuantificar la criticidad de cada una de las fallas por lo cual se utiliza los índices de detectabilidad (D), gravedad (G) y frecuencia (F) de la falla.

Índice de gravedad (G): evalúa la importancia o gravedad del efecto de modo de falla y determina el nivel de consecuencias, es decir mide el daño que provoca el fallo en cuestión. Por medio de la Tabla 1.4.1. se podrá observar el rango:

Tabla 1.4.1. Índice de gravedad de falla

GRAVEDAD (G)	
1	Ninguna consecuencia
2	Casi ninguna consecuencia
3	Disminución eficiencia leve
4	Disminución eficiencia alta
5	Paros no planificados leves
6	Paros no planificados altos
7	violación de normas de higiene o ambientales
8	Peligro de seguridad humana leve
9	Peligro seguridad humana grave
10	Peligro seguridad humana muerte

Índice de frecuencia (F): determina la probabilidad de que el fallo ocurra y de lugar al modo de fallo, por lo tanto, es de importancia el registro de gallos para la disposición de datos históricos o estadísticos el cual se tomara en cuenta el tiempo medio entre o hasta el fallo (MTBF o MTTF). De la misma manera en la Tabla 1.4.2. se podrá observar el rango:

Tabla 1.4.2. Índice de frecuencia de falla

FRECUENCIA (f)	
1	Nunca
2	Casi nunca
3	Muy baja
4	Baja
5	Moderada baja
6	Moderada
7	Moderada alta
8	Alta
9	Muy alta
10	Extremadamente alta

Índice de detectabilidad (D): evalúa la probabilidad que la falla sea detectada con antelación para evitar daños, en este caso mientras menor sea la capacidad de detectar mayor será el índice de criticidad. En la Tabla 1.4.3. se podrá observar el rango:

Tabla 1.4.3. Índice de detectabilidad de falla

GRAVEDAD (G)	
1	Totalmente detectable
2	Muy detectable
3	Detectable
4	Moderada con patrones
5	Moderada sin patrones
6	Poco detectable
7	Muy poco detectable
8	Difícil de detectar
9	Muy difícil de detectar
10	No se detecta

Índice de prioridad de riesgo (IPR)

Parámetro utilizado para considerar los índices de Frecuencia (F), Detectabilidad (D) y Gravedad (G), por lo cual se define como:

$$\text{IPR} = \text{G} \cdot \text{F} \cdot \text{D}$$

Mediante el valor IPR se toma decisiones sobre las acciones correctivas necesarias:

Si el valor IPR es inferior a 100, no se requiere acciones correctivas según el método AMFE.

Y si el valor IPR es mayor o igual a 100, se requiere acciones correctivas según el método AMFE.

Correctivos AMFE para IPR > 100

Las acciones correctivas empleadas tienen como objetivo la reducción de los índices de frecuencia o detectabilidad, debido a que el índice de gravedad no se puede modificar. Las acciones que se debe considerar son:

- Incrementar la frecuencia de las supervisiones.
- Elevar tanto la calidad como la cantidad de los instrumentos de medición.
- Cambiar los procesos.
- Transformar las partes y componentes.

- Para los sistemas principales se considera el mantenimiento predictivo.

Las medidas correctivas deben ser realizada disminuyendo la Frecuencia y Detectabilidad hasta que el valor de IPR sea inferior a 100.

1.4.7.10. Selección de tareas

Después del análisis AMFE, se debe seleccionar tareas de mantenimiento que se deben realizar para cada modo de falla, por lo tanto, es necesario considerar los siguientes criterios:

Relación entre tiempo de uso y fallo: según la norma SAE JA 1011 se debe seleccionar la tarea donde la probabilidad que ocurra un fallo aumenta con su tiempo de operación o si permanece constante, el cual se basa en la curva de tasa de fallo del activo.

Selección de la estrategia de mantenimiento: se basas en la norma SAE JA 1011 sección 5.6.4.

El siguiente paso a seguir es utilizar un árbol lógico o un cuadro sistémico en donde se consideran los fallos, relacionados con las consecuencias y políticas de recluirlas, esto se basa en:

Falla evidente con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente: se debe basar en la norma SAE JA 1011 sección 5.7.1.1, el cual es ocupar una tarea de mantenimiento preventivo basado en la condición, si no fuera factible se realiza una tarea de mantenimiento preventivo periódico y como último recurso si no es fiable se realiza un rediseño del dispositivo.

Falla oculta con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente: son de mayor riesgo, se reduce por medio de inspección de los ISED's para establecer las fallas y en caso de encontrar en algún componente se procede a realizas acciones de mantenimiento, rediseñar el proceso o los compontes correspondientes.

Fallos evidentes con consecuencias económicas: se procede a una tarea de mantenimiento preventivo, en tal caso de no ser factible o económicamente viable se procede a una tarea preventiva y como ultima circunstancia se realiza el mantenimiento correctivo y la recomendación de un rediseño del equipo.

Falla oculta con consecuencias económicas: se utiliza la terea de mantenimiento preventivo fundamentado en el estado, si no es factible económicamente como viable se procede a una tarea preventiva, si tampoco es posible se continua con una tarea de detectar fallo oculto y como último recurso se recomienda un rediseño del equipo.

Falla evidente u oculta con consecuencias leves: se procede a realizar el mantenimiento correctivo o reactivo el cual se lo realiza a componentes que poseen índice IPR bajos y con consecuencias de fallos leves.

1.4.7.11. Plan de mantenimiento optimo (PMO)

El PMO (Plan de Mantenimiento Óptimo) implica una planificación de manera global y continua con un conjunto de actividades de mantenimiento para fijar la fiabilidad en la operación de los ISED's, planta de producción industrial o servicios. El RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) es una metodología sistemático y estructural con la finalidad de determinar las acciones optimas que se realizan en las instalaciones, sistemas o ISED con el fin de maximizar la confiabilidad.

El RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y el PMO (Plan de Mantenimiento Óptimo) emplean una gran variedad de datos e información por el cual es necesario la automatización de los procesos con sus respectivos niveles jerárquicos, en donde pueden ser implementados en diferentes tipos de empresas debido al avance tecnológico y con ello optimizar el mantenimiento y la productividad en diferentes industrias.

2 METODOLOGÍA

Por medio de la gran situación problemática en Ecuador debido a la carencia de la implementación del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) el cual ha perjudicado la eficiencia como la fiabilidad de los ISED's que elevan los gastos en el mantenimiento como también el tiempo en que se encuentran fuera de servicio los activos.

La implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se debe al estudio y análisis de los activos en las condiciones actuales como a su vez los egresos por el mantenimiento, con dicho informe se procede a asignar las áreas más vulnerables y críticas que necesitan la ejecución del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, finalmente obtenido el área más vulnerable se procede a analizar por medio de un procedimiento sistemático para identificar de manera adecuada las estrategias de mantenimiento.

En la elaboración de este proyecto, se utilizó de forma sistemática la aplicación de Excel para el desarrollo de la plataforma web. Por otro lado, se realizó un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para la optimización y la confiabilidad de las diferentes actividades de mantenimiento en los activos dentro de un Plan de Mantenimiento Óptimo.

Para ello se estableció el contexto operativo de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de un sistema de distribución de vapor dentro de la planta de Elaborados y Embutidos de PRONACA.

Por medio de los datos e información que brinda la planta para un sistema de distribución de vapor saturado, se realizó el contexto operacional por medio de la herramienta Excel el cual contiene la siguiente información que se puede visualizar en la tabla 2.1:

Tabla 2.1. Contexto Operacional

CONTEXTO OPERACIONAL	
PLANTA:	
Datos Generales:	
Nombre:	
Ubicación:	
Datos de central:	
Descripción Breve:	
Contexto Técnico	
Energía producida:	
Insumo:	
Caudal medio anual del insumo:	
Tipo de turbina:	
Altura de trabajo:	
Material de represa:	
Material de tubería a presión:	
Estándares de calidad:	
Frecuencia de la corriente eléctrica:	
Caudal medio anual de funcionamiento:	
Producción estimada:	
Cobertura de demanda anual:	
Estándares medio ambientales:	
Clasificación bioclimática de la zona:	
Clasificación ecológica:	
Flora nativa:	
Fauna nativa:	
Turnos de trabajo:	
Tiempo de trabajo:	
Intensidad de trabajo:	
Trabajo a turnos:	
Jornadas:	
Mantenimiento:	
Índice de disponibilidad promedio:	
Índice de confiabilidad promedio:	
Factor de planta:	
Demanda del mercado:	

Consecuentemente se procede a desarrollar el diagrama de entrada – proceso – salida para la planta de sistema de distribución de vapor y retorno condensado, dentro de ello se establece los materiales, sustancias, consumos de producción, este diagrama se puede apreciar en la figura 2.1.

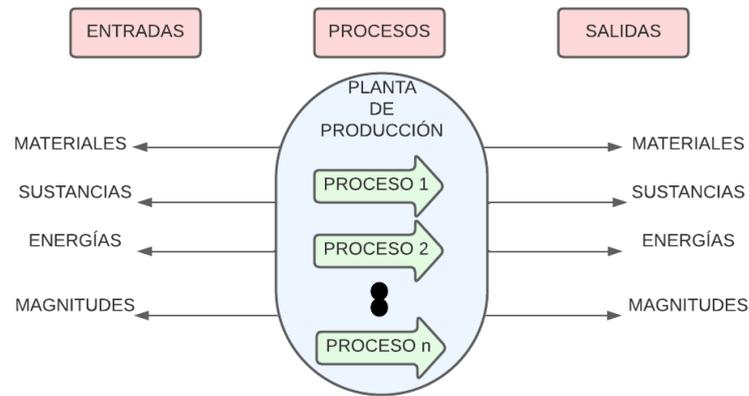


Figura 2.1. Esquema de entradas, procesos y salidas

Una vez sabiendo el contexto operativo se desarrolla una table por medio de la herramienta de Excel para los ISED's, por medio de una investigación e información proporcionada, se toma en cuenta los procesos y sistemas con sus respectivos componentes que conforma el sistema de distribución de vapor saturado y retorno condensado. Se puede observar en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Definición de ISED's

PLANTA:			
PROCESOS	SISTEMAS	COMPONENTES CLAVES	ISEDS

Las funciones de los diferentes ISED's se lo realiza a base de estándares cualitativos, cuantitativos y múltiples, por otro lado, los modos de falla se lo detallan en términos físicos, técnicos y efectos según corresponda. Con los datos adquiridos se realiza a completar la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Funciones y modos de falla

PLANTA:		
ISED'S	FUNCIONES	MODO DE FALLA

Con los modos de fallas se procede a la obtención de las causas directas, el diagnóstico de los activos, la causa y raíz del problema y por último dar una solución respectiva para cada ISED's. Por medio de Excel se realiza una función de lista desplegable el cual ayuda a facilitar la toma de datos, disminuye el tiempo como a la vez los cálculos realizados son mejorados de una manera óptima. Se lo puede apreciar en las tablas 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7.

Tabla 2.4. Causa directa

Fallas
Fricción
Corrosión
Deformación_plástica_rotura
Fatiga_estructural
Fatiga_superficial
Fatiga_térmica
Explosiones_incendios
Cavitación
Golpe_ariete
Problemas_eléctricos
Fugas de fluido
Rangos de operación inadecuados
Perdidas de carga instantáneas
Bajo nivel de aceite

Tabla 2.5. Clases de inspección

Diagnóstico
Inspección y diagnóstico visual.
Medición y análisis de parámetros operativos.
Medición y análisis de vibraciones.
Ensayos no destructivos
Inspección y análisis de lubricantes.
Termografía.
Detección y diagnóstico de fallas eléctricas

Tabla 2.6. Causas de falla por golpe de ariete

Golpe_ariete
Mal diseño de la ley de cierre
Operación inadecuada de las válvulas
Obstrucciones intempestivas
Fallas de los dispositivos de control

Tabla 2.7. Soluciones

Soluciones
Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas
Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas
Trabajar dentro de límites de operación
Aumentar el número de inspecciones

Dando continuidad a lo previamente establecido en las tablas, se procede a llevar a cabo la tabla de cadena de causa de fallas y soluciones de los diferentes modos de fallas, se puede visualizar en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Cadena de causas de fallas y Soluciones

PLANTA:				
MODO DE FALLA:	CAUSA DIRECTA:	DIAGNÓSTICO:	CAUSA DE FALLA:	SOLUCIÓN

Con la Tabla 2.8. llena e identificada las diferentes secciones se procede cualificar y cuantificar con los aspectos de detectabilidad (D), frecuencia (F) y gravedad (G) de cada una de las fallas, para cada aspecto se realiza una ponderación de 1 a 10 para cada uno, lo que se aprecia en las tablas 2.9, 2.10 y 2.11.

Tabla 2.9. Índice de Gravedad (G)

Gravedad
1 Ninguna consecuencia
2 Casi ninguna consecuencia
3 Disminución eficiencia leve
4 Disminución eficiencia alta
5 Paros no planificados leves
6 Paros no planificados altos
7 Violación de normas de higiene o ambientales
8 Peligro seguridad humana leve
9 Peligro seguridad humana grave
10 Peligro seguridad humana muerte

Tabla 2.10. Índice de Frecuencia (F)

Frecuencia
1 Nunca
2 Casi nunca
3 Muy baja
4 Baja
5 Moderada baja
6 Moderada
7 Moderada alta
8 Alta
9 Muy alta
10 Extremadamente alta

Tabla 2.11. Índice de Detectabilidad (D)

Detectabilidad
1 Totalmente detectable
2 Muy detectable
3 Detectable
4 Moderada con patrones
5 Moderada sin patrones
6 Poco detectable
7 Muy poco detectable
8 Difícil de detectar
9 Muy difícil de detectar
10 No se detecta

Por medio de la herramienta de Excel y los valores predeterminados se procede a calcular el Indicador de Prioridad de Riesgo (IPR) para la determinación de las respectivas acciones correctivas (AMFE).

Con los datos recopilados anteriormente se procede a realizar la tabla 2.12. que se basa del Análisis Modal de Falla y Efecto AMFE.

Tabla 2.12. Análisis Modal de Falla y Efecto (AMFE)

PLANTA:							
MODO DE FALLA:	CAUSA DE FALLA:	GRAVEDAD DE FALLA:	G	FRECUENCIA DE FALLA:	F	DETECTABILIDAD:	D IPR

Con el Índice de Prioridad de Riesgos (IPR) se puede determinar los correctivos AMFE el cual se lo realiza cuando los Índices de Prioridad de Riesgos (IPR) son superiores o igual a 100.

Tabla 2.13. Correctivos AMFE

CORRECTIVOS AMFE			
ACCIONES CORRECTIVAS AMFE:	F	D	IPR

Dado por terminado el Análisis de Falla y Efecto AMFE, se procede a realizar un Plan Óptimo que se basa en la selección de tareas o acciones, el personal como las herramientas de mantenimiento que se utilizan para los diferentes modos de falla. Con lo mencionado se consideran las tablas 2.14, 2.15, 2.16, 2.17:

Tabla 2.14. Tareas de mantenimiento

Tarea
Periódica de Inspección
Periódica de cambio
Correctiva AMFE
Periódica de Reparación
Específica de Inspección
Específica de Cambio
Específica de reparación

Tabla 2.15. Estrategias de mantenimiento

Estrategia
Mantenimiento Correctivo
Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico
Mantenimiento Preventivo Reparación Cambio
Mantenimiento Predictivo
Acción correctiva AMFE

Tabla 2.16. Personal de mantenimiento

Personal
Equipo de trabajo 1
Equipo de trabajo 2
Equipo de trabajo 3
Trabajo tercerizado
Supervisor

Tabla 2.17. Herramientas de mantenimiento

Materiales
Materiales repuestos herramientas 1
Materiales repuestos herramientas 2
Materiales repuestos herramientas 3
Materiales repuestos herramientas 4
Materiales repuestos herramientas 5
Materiales repuestos herramientas 6
Materiales repuestos herramientas 7

Por medio de las tablas y los datos obtenidos se procede por medio de la herramienta Excel por medio de funciones dependientes e independientes, se concluye los correctivos AMFE con las diferentes opciones para completar la tabla 2.18 que se basa en el Plan de Mantenimiento Óptimo, en donde se encuentra incluido el tiempo medio de reparación (MTTR) y el tiempo medio sin averías (MTTF – MTBF).

Tabla 2.18. Formato Plan de Mantenimiento Óptimo

PLAN DE MANTENIMIENTO ÓPTIMO									
PLANTA:									
ID. TAREA	SOLUCIÓN / CORRECTIVO AMFE:	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA:	TIPO DE TAREA:	ESTRATEGIA DE LA TAREA:	TAREAS ASOCIADAS:	MTTR	MTTF - MTBF	PERSONAL	HERRAMIENTAS MATERIALES RESPUESTOS:
1									
2									
3									
4									

Por último, se realiza la carga del documento Excel al programa Google Sheets el cual es una herramienta complementaria de Google, en donde se desarrolló la automatización para la creación de la Web App.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Por medio de la tabla 3.1., se puede apreciar los resultados obtenidos en el contexto operacional de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA.

Tabla 3.1. Contexto Operacional de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA

CONTEXTO OPERACIONAL	
PLANTA: DISTRIBUCIÓN DE VAPOR SATURADO Y RETORNO CONDENSADO DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS PRONACA	
Datos Generales:	
Nombre: Distribución de vapor saturado y retorno de condensado de la Planta de Elaborados y Embutidos de PRONACA	
Ubicación: Situada en la Parroquia de Pifo, vía el Quinche, kilómetro 24	
Datos de central: La Planta de Elaborados y Embutidos de PRONACA comenzó su operación en el año de 1993, su objetivo principal es la elaboración de embutidos y productos terminados para los consumidores dentro del mercado. Posee un área de 3901.8 m2. Dentro de la planta se trabaja con Energía Eléctrica, Diesel, Bunker y GLP.	
Descripción Breve:	
La distribución de vapor saturado es el encargado de llevar el vapor saturado a una temperatura y presión diferente a la atmosférica que es producido por la caldera a los diferentes puntos de distribución de consumo, el distribuidor posee colectores de condensado con la finalidad de acumular gotas de agua y garantizar la calidad del proceso; por otro lado, el sistema de retorno de condensado se produce por medio de un intercambio energético a través del vapor y los procesos que pierde energía, su objetivo es recolectar el residuo del vapor y el condensado en un tanque de almacenamiento para posterior a ello alimentar nuevamente la caldera.	
Contexto Técnico	
Pendiente de distribuidor de vapor: 1.4°	
Insumo: Agua de fuente natural	
Consumo de vapor: 3347.4 [kg/h]	
Pierna colectora: 1/2"	
Espesor del aislante medio de tubería de vapor: 37.875 [mm]	
Espesor del aislante medio de tubería de vapor: 23.27 [mm]	
Material de tubería: Acero Galvanizado SCH40	
Material de aislante: lana de vidrio recuero de tol de 2 [mm] de espesor	
Tanque condensado: SNAG1000	
Estándares de calidad:	
Perdidas de energía en tuberías: 47711.55 [KJ/h]	
Trampas de vapor: 15 funcionamiento adecuado	
Flujo de vapor perdido por trampas de vapor abiertas: 219.74 [kg/h]	
Revaporización producida en trampas de vapor: 760.74 [kg/h]	
Temperatura del tanque de condensado: 70°C	
Estándares medio ambientales:	
Clasificación bioclimática de la zona: Clima tropical	
Clasificación ecológica: Semi húmedo	
Paisaje actual: cultivos y vegetación secundaria	
Flora nativa: No existen áreas boscosas representativas, pero si variados. Existen algunas especies de pastos y hierbas que se destacan que se encuentran dispersos en la parte baja y pertenecen a bosque intervenido.	
Reducción de combustible fósiles mejorando la eficiencia energética de la planta en especial en las trampas de vapor, con ello logrando beneficios económicos subiendo la competencia de la empresa.	
Agua proveniente de pozos perforados tratados para ser potabilizada para el consumo.	
Turnos de trabajo:	
Tiempo de trabajo: 24 horas al día, 7 días de la semana.	
Jornadas laborales: Tres	
Turnos de trabajo: rotativos cada 8 horas.	
Intensidad de trabajo: supervisión, operación y control del sistema de distribución de vapor saturado y retorno condensado.	
Mantenimiento:	
Índice de disponibilidad: 92,82%	
Índice de confiabilidad: 97%	
Tiempo de reparación de los accesorios de tubería: 0,5 - 3 días	
Tiempo de reparación de la tubería de distribución de vapor saturado: 0.5 - 2 semanas	
Tiempo de reparación de la tubería de retorno condensado: 0.5 - 2 semanas	

Por medio de la información se procedió a realizar el diagrama EPS para dicha planta, el cual se puede apreciar en la siguiente figura:

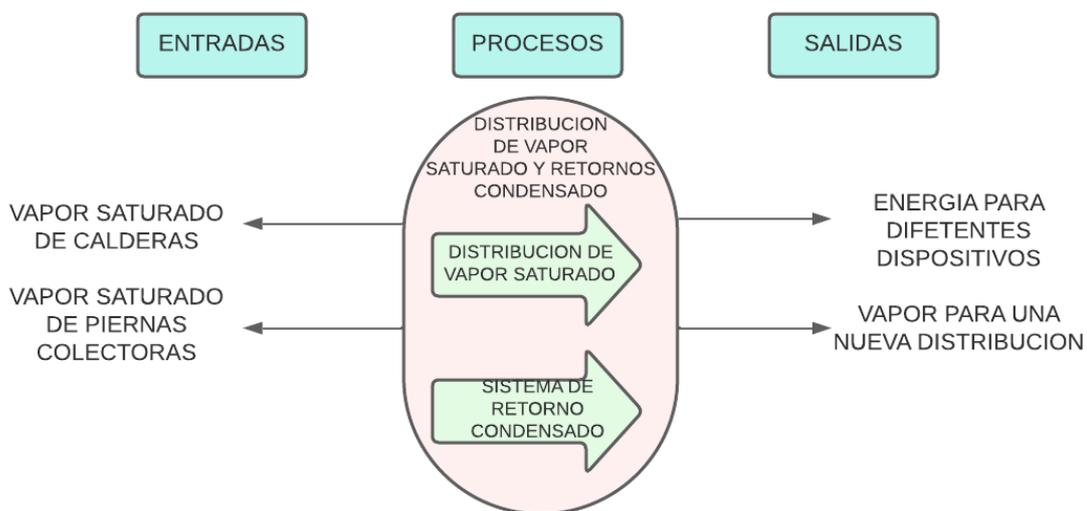


Figura 3.1. Diagrama EPS para la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA

Por medio de diagrama se procedió a definir los siguientes ISED's:

Tabla 3.2. Definición de ISED's de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA

DEFINICIÓN DE ISED's				
PLANTA: DISTRIBUCIÓN DE VAPOR SATURA Y RETORNO CONDENSADO DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS PRONACA				
PROCESOS	SISTEMAS	COMPONENTES CLAVES	ISEDS	
Distribución de vapor saturado	Distribuidor de vapor saturado	Tubería y accesorios	Tubería y accesorios	
		Válvula	Válvula	
		Pierna Colectora	Pierna Colectora	
	Sistema de trampa de vapor	Válvulas		
		Filtro	Filtro	
Sistema de retorno condensado	Distribución de retorno condensado	Tubería y accesorios	Tubería y accesorios	
		Válvula	Válvula	
	Pozo condensado	Drenaje	Drenaje	
		Tratamiento de agua		
		Bomba de alimentación	Bomba de alimentación	
		Tanque de condensado	Tanque de condensado	
	Sistema de trampa de vapor	Válvulas		
		Filtro		
		Trampa de vapor	Trampa de vapor	
	Sistema de reposición de líquidos	Tanque de almacenamiento de agua	Tanque de almacenamiento de agua	Tanque de almacenamiento de agua
			Sistema de bombeo	
		Dispositivo de tratamiento de agua	Válvulas	
			Dispositivo de tratamiento de agua	Dispositivo de tratamiento de agua

Con los diferentes ISED's definidos se obtiene la tabla de funciones y modos de falla el cual se aprecia a continuación.

Tabla 3.3. Funciones y Modos de Fallas de los ISED's de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA

FUNCIONES Y MODOS DE FALLA		
PLANTA: DISTRIBUCIÓN DE VAPOR SATURA Y RETORNO CONDENSADO DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS PRONACA		
ISED'S	FUNCIONES	MODOS DE FALLA
Tubería y accesorios	Conducir vapor saturado manteniendo su integridad estructural	Corrosión - parcial y evidente Erosión - parcial y oculta
Válvula	Proteger contra presiones elevadas a 110.85 psia para evitar la condensación	Fugas de válvulas - parcial y evidente
Pierna Colectora	Acumular el condensado producido en la distribución de vapor saturado evitando una pérdida de energía anual de 9882.76 KJ/h	Corrosión - parcial y evidente Acumulación de condensado no deseado - parcial y evidente Leves vibraciones - parcial y oculto
Filtro	Proteger las trampas de vapor previniendo las partículas sólidas en un rango de 50 a 100 μm para mejorar la eficiencia	Corrosión - parcial y evidente Obstrucción de partículas sólidas - parcial y evidente Desprendimiento de partículas del propio filtro - parcial y evidente
Trampa de vapor	Eliminar condensado para la prevención de golpes de ariete y desperdicio de energía, el cual permanece abierta por 1 min o 30 seg. aproximadamente	Inclinación inadecuada de la instalación - parcial y evidente Fuga de vapor - parcial y evidente Descarga y no descarga inadecuada - total y oculta
Tubería y accesorios	Conducir el condensado manteniendo su integridad estructural	Corrosión - parcial y evidente Erosión - parcial y oculta
Válvula de purga	Proteger contra golpes de ariete como a la vez regular el flujo y el retorno condensado, también permite el drenaje de aire no condensado	Fugas de válvulas - parcial y evidente
Drenaje	Eliminar condensado para evitar su acumulación, controlar la presión a 100 psig	Corrosión - parcial y evidente Inclinación inadecuada de la instalación - parcial y evidente
Bomba de alimentación	Recolectar el condensado para posterior ser transportados al tanque de condensado con un caudal de 31 gal/min, aumentando la presión y previniendo acumulación en las líneas y equipos	Corrosión - parcial y evidente Cavitación - parcial y oculta Sobrecarga del motor - total y evidente
Tanque de condensado	Recolectar el condensado con una capacidad de 31 GPM para el retorno y separación de impurezas para el retorno al sistema manteniendo la temperatura a 70°C promedio.	Corrosión - parcial y evidente Sobrepresión - parcial y oculto Deterioro de aislamiento - parcial y evidente Acumulación de sedimentos - parcial y evidente Calibración incorrecta en sistemas de niveles - parcial y oculta
Trampa de vapor	Retener el condensado cuando el vapor sufre un enfriamiento para el control de sobrealimentación como de subalimentación, se encuentra abierto de 1 min a 30 seg. Aproximadamente.	Inclinación inadecuada de la instalación - parcial y evidente Fuga de vapor - parcial y evidente Descarga y no descarga inadecuada - total y oculta
Tanque de almacenamiento de agua	Suministrar agua de alimentación a una temperatura de 16.5 °C y un caudal de 3901 kg/h, el cual contribuye a prevenir fluctuaciones abruptas como a la vez compensa las pérdidas de agua	Corrosión - parcial y evidente Acumulación de sedimentos - parcial y evidente Calibración incorrecta en sistemas de niveles - parcial y oculta
Dispositivo de tratamiento de agua	Eliminar impurezas de 50 a 100 μm en el agua condensado para la prevención de incrustaciones y corrosión, por medio de ablandecimientos y filtros de carbón	Acumulación de residuos - parcial y vista Desgaste de resinas - total y oculto Corrosión - parcial y evidente Problemas de filtración - parcial y oculta
Sistema de control	Controlar el funcionamiento de las válvulas y sistema de purgas automáticas basándose en la norma internacional ASME B31.1	Pérdida de control - total y oculto
Seguridad industrial	Operar de manera segura los sistemas y dispositivos de distribución de vapor y retorno como a la vez sistema de purgas	Inconvenientes en seguridad industrial - total y evidente Problemas de presión - total y oculto Acumulación de aire - total y evidente
Misceláneos	Limpieza, iluminación, pintura, recubrimiento, aislamiento	Inconvenientes en misceláneos - parcial y evidente

Por medio de los modos de fallas obtenidos, se ejecuta la tabla de causas de fallas y soluciones, obteniendo lo siguientes resultado:

Tabla 3.4. Modo de Fallas, Causa y Soluciones de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA

CADENA DE CAUSAS DE FALLA Y SOLUCIONES

PLANTA: DISTRIBUCIÓN DE VAPOR SATURA Y RETORNO CONDENSADO DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS PRONACA				
MODO DE FALLA:	CAUSA DIRECTA:	DIAGNÓSTICO:	CAUSA DE FALLA:	SOLUCIÓN
Corrosión - parcial y evidente	Corrosión	Medición y análisis de Ultrasonido	Deterioro de recubrimiento superficial o pintura	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas
Erosión - parcial y oculta	Erosión	Inspección y diagnóstico visual.	Corriente de fluido a alta velocidad	Trabajar dentro de límites de operación
Fugas de válvulas - parcial y evidente	Fugas de fluido	Termografía.	Sellos mecánicos dañados o desgastados	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas
Acumulación de condensado no deseado - parcial y evidente	Fugas de fluido	Medición y análisis de parámetros operativos.	Suciedad o diseño de tubería inadecuada	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas
Leves vibraciones - parcial y oculto	Rangos de operación inadecuados	Medición y análisis de parámetros operativos.	Vibraciones de altas velocidades	Trabajar dentro de límites de operación
Obstrucción de partículas sólidas parcial y evidente	Fatiga_superficial	Medición y análisis de Ultrasonido	Químicos de tratamiento de agua inapropiados	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas
Desprendimiento de partículas del propio filtro - parcial y evidente	Fatiga_superficial	Medición y análisis de Ultrasonido	Materiales de baja calidad	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas
Inclinación inadecuada de la instalación - parcial y evidente	Fatiga_estructural	Ensayos no destructivos	Mal diseño de la tubería y accesorios	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas
Fuga de vapor - parcial y evidente	Fugas de fluido	Termografía.	Sellos mecánicos o empaques dañados o desgastados	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas
Descarga y no descarga inadecuada - total y oculta	Rangos de operación inadecuados	Medición y análisis de parámetros operativos.	Suciedad o mecanismo de cierre y apertura inadecuada	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas
Cavitación - parcial y oculta	Cavitación	Medición y análisis de parámetros operativos.	Rango de operación inadecuado	Aumentar el número de inspecciones
Sobrecarga del motor - total y evidente	Deformación_plástica_rotura	Inspección y diagnóstico visual.	Holgura mecánica en cojinetes	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas
Sobrepresión - parcial y oculto	Golpe_ariete	Medición y análisis de parámetros operativos.	Funcionamiento inadecuado de válvulas de alivio	Trabajar dentro de límites de operación
Deterioro de aislamiento - parcial y evidente	Fatiga_térmica	Termografía.	Deterioro de recubrimiento de aislantes	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas
Acumulación de sedimentos - parcial y evidente	Fatiga_superficial	Medición y análisis de Ultrasonido	Periodo de inspección prolongado	Aumentar el número de inspecciones
Calibración incorrecta en sistemas de niveles - parcial y oculta	Problemas_eléctricos	Detección y diagnóstico de fallas eléctricas	Acumulación excesiva de condensado	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas
Acumulación de residuos - parcial y vista	Fatiga_superficial	Medición y análisis de Ultrasonido	Obstrucción de líneas y componentes del descalcificador	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas
Desgaste de resinas - total y oculto	Golpe_ariete	Inspección y diagnóstico visual.	Perdidas de energía y eficiencia en el sistema	Trabajar dentro de límites de operación
Problemas de filtración - parcial y oculta	Fatiga_superficial	Medición y análisis de Ultrasonido	Materiales de baja calidad	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas
Inconvenientes en seguridad industrial - total y evidente	Explosiones_incendios	Inspección y diagnóstico visual.	Uso inadecuado de elementos de protección	Aumentar el número de inspecciones
Problemas de presión - total y oculto	Golpe_ariete	Medición y análisis de parámetros operativos.	Válvulas de alivio desgastadas o dañadas	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas
Acumulación de aire - total y evidente	Explosiones_incendios	Inspección y diagnóstico visual.	Mal funcionamiento de sistema de purga	Trabajar dentro de límites de operación
Inconvenientes en misceláneos - parcial y evidente	Explosiones_incendios	Inspección y diagnóstico visual.	Elementos de protección inadecuados	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas

Con los modos y causas de fallas que se adquirió se realiza la tabla AMFE y con ellos se calcula el IPR.

Tabla 3.5. AMFE de la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA

ANÁLISIS MODAL DE FALLA Y EFECTO - AMFE

PLANTA: DISTRIBUCIÓN DE VAPOR SATURA Y RETORNO CONDENSADO DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS PRONACA								CORRECTIVOS AMFE				
MODO DE FALLA:	CAUSA DE FALLA:	GRAVEDAD DE FALLA:	G	FRECUENCIA DE FALLA:	F	DETECTABILIDAD:	D	IPR	ACCIONES CORRECTIVAS AMFE:	F	D	IPR
Corrosión - parcial y evidente	Deterioro de recubrimiento superficial o pintura	6 Paros no planificados altos	6	3 Muy baja	3	4 Moderada con patrones	4	72				0
Erosión - parcial y oculta	Corriente de fluido a alta velocidad	6 Paros no planificados altos	6	5 Moderada baja	5	4 Moderada con patrones	4	120	Reducir la velocidad del flujo mejorando el diseño implementado	4	3	72
Fugas de válvulas - parcial y evidente	Sellos mecánicos dañados o desgastados	6 Paros no planificados altos	6	6 Moderada	6	4 Moderada con patrones	4	144	Escoger sellos con mejor calidad, cambiarlos y revisión continua	4	3	72
Acumulación de condensado no deseado - parcial y evidente	Suciedad o diseño de tubería inadecuada	7 Violación de normas de higiene o ambientales	7	3 Muy baja	3	4 Moderada con patrones	4	84				0
Leves vibraciones - parcial y oculto	Vibraciones de altas velocidades	4 Disminución eficiencia alta	4	7 Moderada alta	7	4 Moderada con patrones	4	112	Reducir velocidad de funcionamiento como mejorar la lubricación	4	3	48
Obstrucción de partículas sólidas - parcial y evidente	Químicos de tratamiento de agua inapropiados	4 Disminución eficiencia alta	4	3 Muy baja	3	8 Difícil de detectar	8	96				0
Desprendimiento de partículas del propio filtro - parcial y evidente	Materiales de baja calidad	6 Paros no planificados altos	6	3 Muy baja	3	4 Moderada con patrones	4	72				0
Inclinación inadecuada de la instalación - parcial y evidente	Mal diseño de la tubería y accesorios	4 Disminución eficiencia alta	4	4 Baja	4	8 Difícil de detectar	8	128	Mejorar el diseño de la tubería incluida la inclinación adecuada	2	8	64
Fuga de vapor - parcial y evidente	Sellos mecánicos o empaques dañados o desgastados	6 Paros no planificados altos	6	6 Moderada	6	4 Moderada con patrones	4	144	Seleccionar y cambiar sellos de mejor calidad con una revisión continua	4	3	72
Descarga y no descarga inadecuada - total y oculta	Suciedad o mecanismo de cierre y apertura inadecuada	6 Paros no planificados altos	6	4 Baja	4	4 Moderada con patrones	4	96				0
Cavitación - parcial y oculta	Rango de operación inadecuado	5 Paros no planificados leves	5	6 Moderada	6	3 Detectable	3	90				0
Sobrecarga del motor - total y evidente	Holgura mecánica en cojinetes	6 Paros no planificados altos	6	7 Moderada alta	7	6 Poco detectable	6	252	Seleccionar rangos de operación adecuado y cambiar cojinetes	3	3	54
Sobrepresión - parcial y oculto	Funcionamiento inadecuado de válvulas de alivio	6 Paros no planificados altos	6	4 Baja	4	4 Moderada con patrones	4	96				0
Deterioro de aislamiento - parcial y evidente	Deterioro de recubrimiento de aislantes	4 Disminución eficiencia alta	4	4 Baja	4	4 Moderada con patrones	4	64				0
Acumulación de sedimentos - parcial y evidente	Periodo de inspección prolongado	6 Paros no planificados altos	6	4 Baja	4	4 Moderada con patrones	4	96				0
Calibración incorrecta en sistemas de niveles - parcial y oculta	Acumulación excesiva de condensado	5 Paros no planificados leves	5	3 Muy baja	3	6 Poco detectable	6	90				0
Acumulación de residuos - parcial y vista	Obstrucción de líneas y componentes del descalcificador	4 Disminución eficiencia alta	4	5 Moderada baja	5	4 Moderada con patrones	4	80				0
Desgaste de resinas - total y oculto	Perdidas de energía y eficiencia en el sistema	6 Paros no planificados altos	6	4 Baja	4	4 Moderada con patrones	4	96				0
Problemas de filtración - parcial y oculta	Materiales de baja calidad	5 Paros no planificados leves	5	4 Baja	4	4 Moderada con patrones	4	80				0
Inconvenientes en seguridad industrial - total y evidente	Uso inadecuado de elementos de protección	8 Peligro seguridad humana leve	8	7 Moderada alta	7	2 Muy detectable	2	112	Implementar inspección mensual para el uso adecuado de los elementos de protección	3	2	48
Problemas de presión - total y oculto	Válvulas de alivio desgastadas o dañadas	9 Peligro seguridad humana grave	9	4 Baja	4	3 Detectable	3	108	Cambio periódico de componentes y de mejor calidad	3	3	81
Acumulación de aire - total y evidente	Mal funcionamiento de sistema de purga	9 Peligro seguridad humana grave	9	4 Baja	4	3 Detectable	3	108	Inspecciones continuas sobre el sistema de purga e implementación manual de purga	3	3	81
Inconvenientes en misceláneos - parcial y evidente	Elementos de protección inadecuados	8 Peligro seguridad humana leve	8	5 Moderada baja	5	4 Moderada con patrones	4	160	Inspecciones periódicas para la limpieza de componentes	3	2	48

Por medio del correctivo AMFE, se realiza el Plan Óptimo de mantenimiento:

Tabla 3.6. Plan Óptimo de Mantenimiento para la distribución de vapor saturado y retorno condensado de elaborados y embutidos PRONACA

PLAN DE MANTENIMIENTO ÓPTIMO

PLANTA: DISTRIBUCIÓN DE VAPOR SATURA Y RETORNO CONDENSADO DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS PRONACA									
ID. TAREA	SOLUCIÓN / CORRECTIVO AMFE:	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA:	TIPO DE TAREA:	ESTRATEGIA DE LA TAREA:	TAREAS ASOCIADAS:	MTRR	MTTF - MTBF	PERSONAL	HERRAMIENTAS MATERIALES REPUESTOS:
1	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas	Específica de reparación	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Desmontar la tubería y accesorios. Eliminar material corroído. Realizar recubrimiento catódico. Montaje adecuado de la tubería. Monitoreo continuo programado.	3 días	1 año	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 3
2	Trabajar dentro de límites de operación	Regular el flujo del caudal de trabajo	Específica de Cambio	Mantenimiento Correctivo	Realizar mediciones de operación. Comprobar los parámetros de operación como la velocidad. Verificar los registros de operación. Ejecutar pruebas de funcionamiento.	4 horas	3 meses	Equipo de trabajo 3	Materiales repuestos herramientas 4
	Reducir la velocidad del flujo mejorando el diseño implementado	Rediseñar el modelo implementado	Correctiva AMFE	Mantenimiento Preventivo Reparación Cambio	Ejecutar mediciones de operación. Realizar el cálculo y el diseño de un nuevo modelo. Comprobar el funcionamiento.	6 meses	-	Equipo de trabajo 3	Materiales repuestos herramientas 6
3	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas	Cambiar sellos mecánicos	Específica de Cambio	Mantenimiento Correctivo	Desmontar válvulas. Cambio de componentes. Montaje de las válvulas. Prueba de funcionamiento.	3 horas	6 meses	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 3
	Escoger sellos con mejor calidad, cambiárselos y revisión continua	Seleccionar sellos de mejor calidad que ejecuten los parámetros necesarios	Correctiva AMFE	Mantenimiento Correctivo	Desmontar las válvulas. Cambiar los sellos mecánicos. Limpiar la superficie como también las partes internas. Ensamblar las válvulas.	5 horas	4 meses	Supervisor	Materiales repuestos herramientas 6
4	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas	Limpieza de filtros en la pierna colector	Periódica de Inspección	Mantenimiento Predictivo	Desmontaje de la pierna colector. Limpieza de los filtros de la pierna colector. Montaje de los componentes. Pruebas de funcionamiento.	3 horas	3 meses	Equipo de trabajo 1	Materiales repuestos herramientas 3
5	Trabajar dentro de límites de operación	Regular la velocidad de flujo	Específica de Cambio	Mantenimiento Correctivo	Toma de mediciones de operación. Comprobar los parámetros de trabajo de velocidad. Comprobar los registros de operación. Realizar pruebas de funcionamiento con una inspección continua.	4 horas	5 meses	Equipo de trabajo 3	Materiales repuestos herramientas 4
	Reducir velocidad de funcionamiento como mejorar la lubricación	Ejecutar inspecciones periódicas en los componentes que requieren lubricante	Correctiva AMFE	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Investigar el tipo de lubricante de cada componente recomendado. Determinar la cantidad adecuada en los diferentes componentes como las recomendaciones de las fichas técnicas.	-	-	Supervisor	Materiales repuestos herramientas 5
6	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas	Selección de químicos adecuados para el tratamiento de agua	Específica de Cambio	Mantenimiento Correctivo	Realizar mediciones de químicos. Verificar los parámetros de operación. Limpiar los componentes. Cambio de químico. Pruebas de funcionamiento.	1 día	-	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 4
7	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas	Seleccionar material de mejor calidad	Específica de Cambio	Mantenimiento Correctivo	Desmontaje de los componentes. Cambio de componente por uno de mejor calidad. Limpieza de las partes desmontadas. Montaje del componente.	4 horas	6 meses	Equipo de trabajo 3	Materiales repuestos herramientas 3
8	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas	Cambiar la tubería implementando un grado de inclinación	Periódica de cambio	Mantenimiento Correctivo	Desmontaje de la tubería. Cambio de la tubería con accesorios. Implementación de un nuevo parámetro. Montaje de la tubería. Pruebas de funcionamiento.	3 días	-	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 3
	Mejorar el diseño de la tubería incluída la inclinación adecuada	Rediseñar el modelo implementado	Correctiva AMFE	Mantenimiento Preventivo Reparación Cambio	Toma de mediciones de operación. Realizar cálculos y el diseño de un nuevo modelo. Realizar pruebas de funcionamiento.	6 meses	-	Supervisor	Materiales repuestos herramientas 4
9	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas	Cambio de sellos mecánicos	Específica de Cambio	Mantenimiento Preventivo Reparación Cambio	Desmontaje de componente como accesorios. Cambio de los sellos mecánicos. Montaje de los componentes.	2 horas	4 meses	Equipo de trabajo 3	Materiales repuestos herramientas 4
	Seleccionar y cambiar sellos de mejor calidad con una revisión continua	Elegir sellos con una buena calidad con inspecciones continuas	Correctiva AMFE	Mantenimiento Correctivo	Seleccionar material de buena calidad. Desmontaje de componente. Cambio de elementos. Montaje de los componentes desmontados. Inspecciones continuas.	3 horas	6 meses	Equipo de trabajo 3	Materiales repuestos herramientas 5
10	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas	Inspecciones continuas en las válvulas de carga y descarga	Periódica de Inspección	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Revisión de la ficha de inspección. Realizar cronogramas de inspección. Ejecutar pruebas de inspección.	1 día	3 meses	Supervisor	Materiales repuestos herramientas 4
11	Aumentar el número de inspecciones	Inspecciones realizadas en un periodo determinado por medio de cronograma	Periódica de Inspección	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Analizar la ficha de inspección. Ejecutar cronograma de inspección. Realizar pruebas de inspección.	6 horas	3 meses	Supervisor	Materiales repuestos herramientas 4
12	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas	Cambio de cojinetes en el motor	Específica de Cambio	Mantenimiento Correctivo	Desmontaje de componentes. Cambio de elemento desgastado y dañado. Montaje de los elementos. Pruebas de funcionamiento.	6 horas	4 meses	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 5
	Seleccionar rangos de operación adecuado y cambiar cojinetes	Analizar los rangos de operación con el cambio de elementos de mejor calidad	Correctiva AMFE	Acción correctiva AMFE	Evaluar los parámetros de operación como la ficha técnica del motor. Selección de materiales de mejor calidad. Desmontaje de componentes. Cambios de elementos. Montaje de los componentes. Pruebas de funcionamiento del motor.	2 semanas	6 meses	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 4
13	Trabajar dentro de límites de operación	Revisión del funcionamiento adecuado de las válvulas de alivio	Periódica de Inspección	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Analizar la ficha de inspección. Ejecutar cronograma de inspección. Realizar pruebas de inspección.	4 horas	3 meses	Supervisor	Materiales repuestos herramientas 3
14	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas	Renovar aislante deteriorado dentro del sistema	Específica de Cambio	Mantenimiento Correctivo	Determinar el tipo de aislante a utilizar. Analizar el deterioro del aislante. Reparar el aislante en malas condiciones.	6 horas	6 meses	Equipo de trabajo 3	Materiales repuestos herramientas 4
15	Aumentar el número de inspecciones	Realizar cronogramas de inspección para diferentes componentes	Periódica de Inspección	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Revisión de fichas de inspección. Realizar horarios para las inspecciones adecuadas. Implementar las inspecciones bajo un determinado horario.	4 horas	4 meses	Supervisor	Materiales repuestos herramientas 3
16	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas	Ejecutar una calibración adecuada en los sistemas de niveles	Periódica de Reparación	Mantenimiento Preventivo Reparación Cambio	Toma de mediciones del sistema. Desmontaje del componente. Calibración de los componentes dentro del sistema. Montaje del sistema. Prueba de funcionamiento.	1 semana	1 año	Trabajo tercerizado	Materiales repuestos herramientas 6
17	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas	Limpieza de los componentes del descalcificación	Específica de reparación	Mantenimiento Predictivo	Desmontaje del descalcificador en sus diferentes componentes. Limpieza de las líneas y los componentes. Eliminación de residuos. Montaje del sistema.	5 horas	1 año	Equipo de trabajo 3	Materiales repuestos herramientas 4
18	Trabajar dentro de límites de operación	Cambio de resinas dentro de un período de tiempo y mantener dentro del rango de trabajo	Periódica de cambio	Mantenimiento Correctivo	Analizar la cantidad de resina dentro del rango de operación. Implementación de nueva resina. Realizar pruebas de funcionamiento.	1 día	6 meses	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 3
19	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas	Escoger materiales de buena calidad y evitar las filtraciones	Específica de Cambio	Mantenimiento Correctivo	Buscar material de buena calidad. Desmontaje de sistema. Cambio del elemento de mala calidad. Montaje de sistema. Prueba de funcionamiento.	6 horas	4 meses	Equipo de trabajo 3	Materiales repuestos herramientas 5
20	Aumentar el número de inspecciones	Incrementar el número del personal de seguridad industrial	Periódica de Inspección	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Evaluar el personal. Seleccionar al personal adecuado en asumir el cargo. Tomar el cargo adecuado al personal apto.	2 meses	1 año	Supervisor	Materiales repuestos herramientas 4
	Implementar inspección mensual para el uso adecuado de los elementos de protección	Realizar cronogramas de inspección para uso adecuado de elementos de protección	Correctiva AMFE	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Revisión del adecuado uso de elementos de protección. Realizar cronogramas para las inspecciones. Implementación del cronograma dentro del rango de tiempo.	3 horas	1 mes	Supervisor	Materiales repuestos herramientas 4
21	Desmontaje, cambio, montaje, ajustes y pruebas	Cambio de válvulas de alivio	Específica de Cambio	Mantenimiento Correctivo	Desmontaje del sistema de purga. Cambio de válvula de alivio. Montaje del sistema. Prueba de funcionamiento.	5 horas	6 meses	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 3
	Cambio periódico de componentes y de mejor calidad	Buscar válvula de alivio de mejor calidad	Correctiva AMFE	Mantenimiento Correctivo	Investigar componente de mejor calidad. Revisión de ficha técnica para su implementación. Desmontaje de sistema. Cambio de componente. Montaje del sistema de purga.	1 mes	6 meses	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 5
22	Trabajar dentro de límites de operación	Regular la presión de trabajo	Periódica de cambio	Mantenimiento Correctivo	Determinar los datos de operación del sistema. Realizar cálculos para la nueva presión de trabajo. Regular el sistema con el cambio de parámetro. Prueba de funcionamiento.	1 semana	3 meses	Equipo de trabajo 3	Materiales repuestos herramientas 4
	Inspecciones continuas sobre el sistema de purga e implementación manual de purga	Implementación de cronograma para inspección y cambio de sistema de purga	Correctiva AMFE	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Burga sistema de purga manual. Implementación del sistema de purga. Realizar cronograma de la inspección adecuada.	1 mes	6 meses	Supervisor	Materiales repuestos herramientas 4
23	Desmontaje, reparación, montaje, ajustes y pruebas	Reorganizar los instrumentos de limpieza de los componentes.	Periódica de Inspección	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Determinar los diferentes elementos de limpieza. Organizar los elementos. Ejecutar la limpieza adecuada de los elementos. Montaje de elementos.	2 horas	1 mes	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 3
	Inspecciones periódicas para la limpieza de componentes	Cambiar suministros para la limpieza de los componentes	Periódica de Inspección	Mantenimiento Preventivo Inspección Diagnóstico	Desmontar los componentes del sistema contra incendios. Ejecutar limpieza e inspección. Montaje de componentes.	2 horas	1 mes	Equipo de trabajo 2	Materiales repuestos herramientas 3

Por último, con los resultados obtenidos por medio de la herramienta Excel se procede a guardarlo en la plataforma Drive de Google, para poder generar el archivo como Google Sheets y con ello poder crear la siguiente página Web App:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/e/2PACX-1vRxFR9f9fDMsmpqjrB6eixyHs6f2PDmWxcOuOmrn4fPTSrFgXxDEPHez9ilffuG46uHVQ6zhR6qnWh6/pubhtml>

3.2 Conclusiones

Por medio del análisis modal de cauda y efecto (AMFE), se logra determinar los diferentes ISED's dentro del sistemas de distribución de vapor saturado y el retorno del condensado de la empresa de Elaborados y Embutido PRONACA, algunos de sus ISED's como tuberías y accesorios, válvulas, pierna colectora, trampa de vapor y bomba de alimentación se alcanzó un IPR superior a 100, por lo cual, se decidió proceder con acciones correctiva como a la vez generar una solución para que los dichos índices disminuyan.

Los datos obtenidos y facilitado por la empresa de elaborados y embutidos PRONACA ayudo para el desarrollo de la Web App el cual ayudará a su sistema de distribución de vapor saturado y retorno de condensado a tomar decisiones de mantenimiento más preciso y eficaz por lo tanto no pone en riesgo a su sistema interno.

Para el sistema de distribución de vapor saturado y el retorno del condensado se aplicó una automatización del proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), por medio de la aplicación Web, el cual ayudará a obtener un seguimiento a las diferentes actividades de mantenimiento más eficaz, a través de una base de datos analizada previamente, por lo tanto, se podrá disminuir las paradas no programadas de diferentes ISED's como a la vez aumentar su confiabilidad y seguridad.

Por medio de la herramienta Google Sheet que nos brinda directamente Google se puede acceder a una base de datos que contengan información detallada sobre los diferentes tipos de fallas dentro de los sistemas de distribución de vapor saturado y retorno condensado, como a la vez las causas y sus posibles soluciones, con ello se logra tomar decisiones a base de datos fundamentados y concretos para adquirir una estrategia de mantenimiento.

3.3 Recomendaciones

Para la implementación de la Web App dentro de una industria ya sea pequeña, mediana o grande se recomienda realizar una capacitación para el funcionamiento de la misma y con ello tener un mejor enfoque al momento de realizar un mantenimiento a los diferentes ISED's.

Se recomienda realizar actualizaciones dentro de la Web App debido a que el proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una metodología que se encuentra constantemente en modificaciones y evaluaciones en el transcurso del tiempo.

Para que el sistema sea más óptimo en el mantenimiento se recomienda detallar todos los ISED's de los sistemas que se encuentra conformada la planta, como a la vez implementar datos periódicos como graficas que ayudaran a obtener una mejor interpretación.

Se recomienda dentro de la Web APP realizar una mejor automatización directo con la planta a implementar, para que en el transcurso del tiempo si existe un cambio en sus ISED's este genere de manera automática las nuevas causas y soluciones respectivas de cada activo.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A. Díaz-Concepción, L. Villar-Ledo, J. Cabrera-Gómez, A. S. Gil-Henríquez, R. Mata-Alonzo, y A. J. Rodríguez-Piñeiro, «Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica», Ing. Mecánica, vol. 19, n.o 3, pp. 137-142, dic. 2016.

[2] A. J. P. Guevara y I. E. M. Lozano, «Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento», 2011.

[3] «84917316066.pdf».

[4] «Evolución del mantenimiento industrial: desde origen hasta la actualidad». Accedido: 19 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/evolucion-mantenimiento-industrial/>

[5] A. Sueiro, «¿Qué es el desgaste de maquinaria y cómo prevenirlo?», Antala Industria. Accedido: 19 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.antala.es/que-es-desgaste-maquinaria/>

[6] «1987_Revista_Administracion13.pdf».

[7] <https://www.facebook.com/ivandesouzacardoso>, «Diagrama de Pareto: definición, elementos básicos y objetivos», Rock Content - ES. Accedido: 30 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://rockcontent.com/es/blog/diagrama-de-pareto/>

- [8] «Diagrama Ishikawa, Qué es, ejemplos reales **【Fundamental】** », Benchmarking. Accedido: 30 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elbenchmarking.online/diagrama-ishikawa/>
- [9] A. M. Smith y G. R. Hinchcliffe, RCM: gateway to world class maintenance. Amsterdam ; Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
- [10] J. Moubray, «MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD».
- [11] «61458265006.pdf».