



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**  
**BASADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE**  
**CALEFACCIÓN DEL HOSPITAL SAN MARTÍN DE PORRES**  
**MACUSANI, CARABAYA PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ANDRE ORLANDO CCOPA TUNI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL HOSPITAL SAN MARTÍN DE PORRES MACUSANI, CARABAYA PUNO**

AUTOR

**ANDRE ORLANDO CCOPA TUNI**

RECuento de palabras

**12646 Words**

RECuento de caracteres

**76539 Characters**

RECuento de páginas

**110 Pages**

Tamaño del archivo

**4.5MB**

Fecha de entrega

**Apr 21, 2023 2:22 PM GMT-5**

Fecha del informe

**Apr 21, 2023 2:23 PM GMT-5**

### ● 13% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Firmado digitalmente por  
VILLANUEVA CORNEJO Marcos  
Jose FAU 20145496170 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 21.04.2023 14:29:17 -05:00

Resumen



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi  
hija Doreyli Pierina Ccopa Gómez que  
desde el día en que nació, se convirtió en  
la energía cinética de mi vida.



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Adrián Ccopa Vilca y Cristina Tuni Dueñas, por sus enseñanzas, consejos y apoyo en mi formación profesional. A mis docentes de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica eléctrica, de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

Agradezco de forma especial al ing. Marcos José, Villanueva Cornejo, por su dirección en la elaboración del presente trabajo de investigación.



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 13**

**ABSTRACT..... 14**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO..... 17**

**1.2 HIPÓTESIS GENERAL ..... 18**

1.2.1 Hipótesis específicas ..... 18

**1.3 OBJETIVOS ..... 18**

1.3.1 Objetivo general ..... 18

1.3.2 Objetivos específicos ..... 18

1.3.3 Variables ..... 19

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 MANTENIMIENTO ..... 20**

2.1.1 Mantenimiento de averías o de funcionamiento hasta el fallo ..... 22

2.1.2 Mantenimiento preventivo o basado en el tiempo..... 23

2.1.3 Mantenimiento predictivo o basado en la condición ..... 23

2.1.4 El fallo y su naturaleza ..... 25



2.1.5	Fallo.....	25
2.1.6	Fallo funcional.....	25
2.1.7	Fallo funcional potencial .....	26
2.1.8	Modos de fallo.....	26
2.1.9	Fiabilidad.....	26
2.1.10	Metodología de Mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	26
2.1.11	Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF).....	28
2.1.12	Procedimiento para realizar un AMFE y criticidad.....	31
2.1.13	Diagrama de Pareto .....	34
2.1.14	Estimación de parámetros.....	36
2.1.15	La distribución de Weibull .....	36
<b>2.2</b>	<b>SISTEMA DE CALEFACCIÓN.....</b>	<b>39</b>
2.2.1	Sistema de caldera .....	39
2.2.2	Sistema primario de bombas .....	41
2.2.3	Sistema secundario de bombas .....	41
2.2.4	Tablero de Control del sistema de calefacción.....	42
2.2.5	Unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor).....	43
2.2.6	Ducto de inyección y retorno de aire.....	44
2.2.7	Tubería de agua caliente .....	45
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>		
<b>3.1</b>	<b>MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>47</b>
3.1.1	Tipo de investigación .....	48
<b>3.2</b>	<b>MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>50</b>
3.2.1	Diagnóstico de los sistemas del sistema de calefacción.....	50



3.2.2 Componentes críticos .....	50
3.2.3 Determinación de la confiabilidad mediante los parámetros característicos de Weibull .....	55

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1 DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS, DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN.</b> .....	<b>61</b>
<b>4.2 COMPONENTES CRÍTICOS DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN.....</b>	<b>64</b>
4.2.1 Análisis de modos, efectos de falla y criticidad (AMEF) del sub sistema de Caldera.....	65
4.2.2 Componentes críticos .....	69
4.2.3 Acciones de mantenimiento .....	81
<b>4.3 CONFIABILIDAD MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL.....</b>	<b>85</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>96</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>103</b>

**ÁREA:** Mecánica

**TEMA:** Mantenimiento

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 26 de abril del 2023



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> intervalo de fallo funcional.....	25
<b>Figura 2:</b> Siete preguntas claves del MCC .....	28
<b>Figura 3:</b> Secuencia de riesgo AMEF.....	30
<b>Figura 4:</b> Análisis RPN.....	31
<b>Figura 5:</b> Cuadrícula de criticidad para un FMECA (según IEC 60812) .....	33
<b>Figura 6:</b> Diagrama de Pareto.....	36
<b>Figura 7:</b> Curva de la bañera o de Davies.....	37
<b>Figura 8:</b> Parámetro de forma $\beta$ de Weibull .....	38
<b>Figura 9:</b> Calderas.....	40
<b>Figura 10:</b> Sistema primario de bombas.....	41
<b>Figura 11:</b> Sistema secundario de bombas. ....	42
<b>Figura 12:</b> Tablero de control del sistema de calefacción. ....	43
<b>Figura 13:</b> Unidad de tratamiento de aire. ....	44
<b>Figura 14:</b> Ducto de inyección y retorno de aire .....	45
<b>Figura 15:</b> Tubería de suministro de agua caliente.....	45
<b>Figura 16:</b> Tubería de retorno de agua caliente. ....	46
<b>Figura 17:</b> Esquema de instalación de equipos.....	48
<b>Figura 18:</b> Esquema de análisis de modos y efectos de fallo .....	51
<b>Figura 19:</b> Casa de máquinas sistema de calefacción.....	60
<b>Figura 20:</b> Diagrama de Pareto Cantidad de fallas.....	70
<b>Figura 21:</b> Diagrama de Pareto tiempo de duración de fallas. ....	71
<b>Figura 22:</b> Diagrama de Pareto tiempo de reparación.....	72
<b>Figura 23:</b> Diagrama de Pareto fallas caldera.....	75
<b>Figura 24:</b> Diagrama de Pareto fallas intercambiador de calor .....	77



<b>Figura 25:</b> Gráfica Weibull para la faja de transmisión. ....	89
<b>Figura 26:</b> Parámetros de Weibull para la faja de transmisión.....	89
<b>Figura 27:</b> Gráfica Confiabilidad faja de transmisión. ....	91
<b>Figura 28:</b> Gráfica Weibull para el termostato. ....	94
<b>Figura 29:</b> Parámetros de Weibull para la faja de transmisión.....	94
<b>Figura 30:</b> Gráfica Confiabilidad termostato.....	95
<b>Figura 31:</b> Sistema de calefacción sector D HSMP.....	103
<b>Figura 32:</b> Unidad de tratamiento de aire. ....	104
<b>Figura 33:</b> Ventilador de la unidad de tratamiento de aire. ....	104
<b>Figura 34:</b> Tablero de control de la unidad de tratamiento de aire.....	105
<b>Figura 35:</b> Termostatos de las unidades de tratamiento de aire.....	106
<b>Figura 36:</b> Calderas del sistema de calefacción del HSMP.....	106
<b>Figura 37:</b> Tuberías de suministro y retorno de agua caliente.....	107
<b>Figura 38:</b> Bombas primarias (alimentación de calderos).....	108
<b>Figura 39:</b> Bombas secundarias (suministro de agua caliente). ....	108
<b>Figura 40:</b> Tablero de control del sistema de calefacción. ....	109



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Diagnóstico de los sistemas.....	50
<b>Tabla 2:</b> Hoja de trabajo de AMEF.....	52
<b>Tabla 3:</b> Clasificación Severidad (S) .....	53
<b>Tabla 4:</b> Clasificación Ocurrencia (O).....	53
<b>Tabla 5:</b> Clasificación Detectabilidad (D) .....	54
<b>Tabla 6:</b> Clasificación Criticidad .....	54
<b>Tabla 7:</b> Propuesta de mantenimiento.....	55
<b>Tabla 8:</b> Registro de datos de los parámetros Weibull. ....	59
<b>Tabla 9:</b> Diagnóstico del Sistema Caldera.....	61
<b>Tabla 10:</b> Diagnóstico del Sistema Primario de Bombas .....	62
<b>Tabla 11:</b> Diagnóstico del Sistema Secundario de Bombas .....	62
<b>Tabla 12:</b> Diagnóstico del Sistema Tablero de control.....	63
<b>Tabla 13:</b> Diagnóstico del Sistema Unidad de tratamiento de aire.....	64
<b>Tabla 14:</b> Análisis de modos y efectos de falla caldera.....	66
<b>Tabla 15:</b> Análisis de modos y efectos de falla sistema primario de bombas .....	67
<b>Tabla 16:</b> Análisis de modos y efectos de falla sistema secundario de bombas.....	67
<b>Tabla 17:</b> Análisis de modos y efectos de falla tablero de control. ....	68
<b>Tabla 18:</b> Análisis de modos y efectos de falla unidad de tratamiento de aire.....	69
<b>Tabla 19:</b> Registro de fallas. ....	70
<b>Tabla 20:</b> Registro de tiempo de duración de fallas. ....	71
<b>Tabla 21:</b> Registro de tiempo de reparación. ....	72
<b>Tabla 22:</b> Severidad (S) .....	73
<b>Tabla 23:</b> Ocurrencia (O).....	73
<b>Tabla 24:</b> Detectabilidad (D) .....	74
<b>Tabla 25:</b> Probabilidad de riesgo (criticidad) .....	74
<b>Tabla 26:</b> Acción de mantenimiento.....	75
<b>Tabla 27:</b> Registro de fallas caldera.....	75
<b>Tabla 28:</b> Análisis de criticidad Caldera.....	76
<b>Tabla 29:</b> Registro de fallas del intercambiador de calor .....	77
<b>Tabla 30:</b> Análisis de criticidad del intercambiador de calor. ....	78
<b>Tabla 31:</b> Registro de fallas bomba primaria.....	78
<b>Tabla 32:</b> Análisis de criticidad sistema primario de bombas. ....	79



<b>Tabla 33:</b> Registro de fallas bomba secundaria. ....	79
<b>Tabla 34:</b> Análisis de criticidad sistema secundario de bombas.....	80
<b>Tabla 35:</b> Registro de fallas tablero de control y mando .....	80
<b>Tabla 36:</b> Análisis de criticidad tablero de control y mando. ....	81
<b>Tabla 37:</b> Acción de mantenimiento.....	81
<b>Tabla 38:</b> Acciones de mantenimiento sistema de calderas.....	82
<b>Tabla 39:</b> Acciones de mantenimiento de la unidad de tratamiento de aire. ....	83
<b>Tabla 40:</b> Acciones de mantenimiento sistema de tablero de control y mando.....	84
<b>Tabla 41:</b> Acciones de mantenimiento sistema de bombas primarias. ....	84
<b>Tabla 42:</b> Acciones de mantenimiento sistema de bombas secundarias.....	85
<b>Tabla 43:</b> Registro de fallas de faja de transmisión. ....	86
<b>Tabla 44:</b> Registro de fallas de faja ordenado. ....	87
<b>Tabla 45:</b> Rango promedio de fallas faja de transmisión. ....	87
<b>Tabla 46:</b> Parámetros X, Y de la distribución Weibull.....	88
<b>Tabla 47:</b> Cálculo de la confiabilidad para la faja de transmisión.....	90
<b>Tabla 48:</b> Registro de fallas del termostato. ....	92
<b>Tabla 49:</b> Registro de fallas del termostato de menor a mayor. ....	92
<b>Tabla 50:</b> Rango promedio de fallas termostato. ....	93
<b>Tabla 51:</b> Parámetros X, Y de la distribución Weibull, termostato.....	93
<b>Tabla 52:</b> Cálculo de la confiabilidad para el termostato. ....	95



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

$\gamma$	: Parámetro de posición
$\eta$	: Parámetro de escala o característica de vida útil
$\beta$	: Parámetro de forma
<b>RCM</b>	: Mantenimiento basado en la confiabilidad
<b>R (t).</b>	: Confiabilidad
<b>Equipo</b>	: Conjunto de componentes interconectados de una instalación.
<b>Hr.</b>	: Horas
<b>AMEF</b>	: Análisis de modos y efectos de fallos
<b>AMEFC</b>	: Análisis de modos y efectos de fallos y su criticidad



## RESUMEN

El sistema de calefacción en los establecimientos hospitalarios constituye un elemento indispensable en estos, principalmente en las condiciones extremas de frío como es el caso, en ese sentido el presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, para el sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres Macusani, que está ubicado en la provincia Carabaya, Puno; para lo que se realiza el análisis de criticidad de los diferentes componentes que constituyen el sistema de calefacción del hospital y de esta manera mejorar su confiabilidad; como objetivos específicos planteados se tiene el diagnóstico actual de los sistemas, del sistema de calefacción, se realizó el análisis de efectos y modo de falla, e identificó los componentes críticos del sistema de calefacción se propone el plan de mantenimiento que como resultado se tiene dos elementos críticos correspondientes al sistema de la unidad de tratamiento de aire, se recomienda al análisis de causa raíz de la faja de transmisión y el termostato, también de acuerdo al análisis de Weibull se propone los periodos de mantenimiento. El proyecto está ubicado en el Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno, a una altitud de 4 365 m.s.n.m., aproximadamente a 230 km al noroeste de la ciudad de Puno.

**Palabras clave:** Confiabilidad, criticidad, disponibilidad, falla, función.



## ABSTRACT

The heating system in hospital establishments is an indispensable element in these, mainly in extreme cold conditions as is the case, in that sense the main objective of this research project is to design a preventive maintenance plan based on reliability, for the heating system of the Hospital San Martin de Porres Macusani, which is located in the province Carabaya, Puno; for which the criticality analysis of the different components that make up the heating system of the hospital and thus improve its reliability is performed; As specific objectives we have the current diagnosis of the systems of the heating system, the analysis of effects and failure mode was performed, and identified the critical components of the heating system, the maintenance plan is proposed, as a result of which we have two critical elements corresponding to the air handling unit system, it is recommended to root cause analysis of the transmission belt and the thermostat, also according to the Weibull analysis, the maintenance periods are proposed. The project is located in the support hospital San Martin de Porres de Macusani, Carabaya Puno, at an altitude of 4 365 m.a.s.l., approximately 230 km northwest of the city of Puno.

**Key words:** Reliability, criticality, availability, failure, function.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El sistema de calefacción en regiones altoandinas es un elemento muy importante para establecer un nivel de calidad de vida de los habitantes de estas regiones tan adversas en lo que se refiere a la temperatura y mucho más importante y necesario es para poder acondicionar los establecimientos hospitalarios como el del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno que se encuentra a una altura de 4 365 m.s.n.m.

Las acciones de mantenimiento realizadas a los equipos o elementos pretenden mejorar la disponibilidad de estos es en ese sentido que se aplican diferentes metodologías dependiendo de la importancia de los equipos en el sistema de producción dado que cualquier acción de mantenimiento conlleva también que se tenga que utilizar recursos, tanto económicos como humanos lo que hace que pueda ser no viable la estrategia.

El Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad se introdujo por primera vez en la industria de las aerolíneas en los años 60 y más tarde se aplicó a varios campos, está diseñado para operar conjuntamente con los enfoques tradicionales de mantenimiento para garantizar el nivel de fiabilidad. (Shayesteh et al., 2018).

Los procedimientos y condiciones en los que un análisis de mantenimiento centrado en la fiabilidad y el plan de mantenimiento preventivo resultante pueden ser homologados con los requisitos de la Inspección de renovación continua de maquinaria. (Klasfikasi, 2012)

El establecimiento de prioridades y la programación del mantenimiento se realizan para la gestión económica, debido a que los recursos son limitados y también la inversión debe estar en consonancia con la eficiencia económica. (Afzali et al., 2019).



El objetivo principal del mantenimiento basado en la confiabilidad es proporcionar una investigación exhaustiva, sistemática y documentada que establezca las condiciones de fallo importantes del sistema o subsistemas de la maquinaria, las tareas de mantenimiento o los rediseños de sistemas/equipos elegidos para reducir la frecuencia de tales ocurrencias, y la justificación del inventario de repuestos. (Klasfikasi, 2012)

Un análisis del modo de fallo y sus efectos (FMEA) es un procedimiento de evaluación del diseño utilizado para identificar los posibles modos de fallo y determinar el efecto de cada uno de ellos en el rendimiento del sistema. (Mobley & Wikoff, 2008)

En el capítulo I, se ha realizado el planteamiento de la presente investigación que tiene como objetivo general realizar el diseño de un plan de Mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para el sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno.

En el capítulo II, se realiza la elaboración organizada y detallada de los conceptos referidos al mantenimiento basado en la confiabilidad principalmente; así mismo de los principales componentes del sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno.

En el capítulo III, se ha planteado el método y los materiales del proyecto de investigación.

En el capítulo IV, de acuerdo a la metodología planteada, se obtienen los resultados correspondientes para cada objetivo específico planteado en el presente proyecto.



## 1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente, el Hospital San Martín de Porres de Macusani Carabaya, tiene un sistema de calderas, que constituye la fuente de energía, para los servicios de calefacción y otros, ya que sin el vapor estos se vuelven inoperantes. Por tal motivo, es de suma importancia presentar un programa de mantenimiento preventivo, ya que actualmente la institución carece de un programa referente a mantenimiento.

El mantenimiento es un conjunto de actividades organizadas que se llevan a cabo con el fin de mantener un elemento en su mejor estado de funcionamiento con el mínimo costo. Es una actividad que tiene como objetivo prevenir el fallo o rectificar los defectos después del fallo. Estas actividades se llevan a cabo para mantener un activo en su capacidad y eficiencia. El mantenimiento es, por tanto, una combinación de prácticas financieras y de ingeniería que se acoplan adecuadamente para ayudar al usuario durante el ciclo de vida del dispositivo a restaurar, configurar, poner en marcha, parametrizar, diagnosticar, reparar, gestionar el activo y auditar.

La fiabilidad es la probabilidad de que un sistema realice su función de forma adecuada durante un periodo de tiempo específico en unas condiciones de funcionamiento determinadas. Un valor inferior de la fiabilidad indica el aumento de la necesidad de mantenimiento.

El estudio planteado, se justifica en cuanto la falta de mantenimiento preventivo planificado ocasiona constantes interrupciones del servicio en el sistema de calefacción ocasionando malestar y sobre todo afectando la calidad del servicio de salud, que presta el Hospital San Martín de Porres de Macusani, a los pobladores de la provincia de Carabaya, y otros que son referidos a dicho hospital de provincias cercanas, del departamento de Puno, que son usuarios del referido hospital.



## **1.2 HIPÓTESIS GENERAL**

Mediante el plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, aplicado a los Equipos críticos del sistema de calefacción, se mejorará la confiabilidad.

### **1.2.1 Hipótesis específicas**

- El diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes del sistema de calefacción permitirá determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- El análisis de los modos y efectos de fallos permite identificar los componentes críticos.
- Mediante el historial de fallas se determinará el plan de mantenimiento preventivo.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar el diseño de un plan de Mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para el sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes del sistema de calefacción para determinar sus funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- Identificar los componentes críticos del sistema de calefacción.



- Determinar la confiabilidad mediante los parámetros característicos de la distribución Weibull para la planta de vapor.

### 1.3.3 Variables

#### **Independientes**

Plan de mantenimiento.

#### **Dependientes**

Confiabilidad.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 MANTENIMIENTO

El mantenimiento define el conjunto de acciones realizadas sobre el elemento para conservarlo o devolverlo a un estado determinado (Biolini, 2017).

El diccionario define el mantenimiento como "el trabajo de mantener algo en buenas condiciones. Una definición más amplia es: Mantener en condiciones "diseñadas" o aceptables; Evitar la pérdida de capacidades funcionales parciales o totales. (Gulati, 2009)

El mantenimiento se ocupa, por tanto, del mantenimiento preventivo, realizado a intervalos predeterminados, por ejemplo, para reducir los fallos por desgaste, y el mantenimiento correctivo, que se lleva a cabo cuando se produce un fallo y tiene por objeto devolver el elemento a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida. (Biolini, 2017)

El mantenimiento se ocupa de mantener un activo en buenas condiciones de funcionamiento para que pueda utilizarse a su plena capacidad productiva. (Gulati, 2009)

El objetivo de un mantenimiento preventivo debe ser también detectar y reparar fallos y defectos ocultos (por ejemplo, fallos no detectados en elementos redundantes). El mantenimiento correctivo, también conocido como reparación, incluye la detección, localización corrección y revisión. Sin tener en cuenta los retrasos logísticos y administrativos. (Biolini, 2017)

La función principal de mantenimiento es maximizar la disponibilidad de la requerida para la producción de bienes y servicios, al preservar el valor de las



instalaciones, para minimizar el deterioro de los equipos; lográndolo con el menor costo posible y a largo plazo. (Gutiérrez, 2012)

La función de mantenimiento incluye tanto la conservación como las reparaciones. (Gulati, 2009)

Al igual que en el caso de la fiabilidad, la capacidad de mantenimiento debe incorporarse a los equipos y sistemas durante la fase de diseño y fabricación. Esto, en particular, porque una mejora de la mantenibilidad a menudo requiere cambios importantes en el diseño o la construcción del elemento (sistema) considerado, y la mantenibilidad no puede predecirse fácilmente con métodos analíticos. Por ello, la consecución de una mantenibilidad prescrita en equipos y sistemas complejos requiere, por lo general, la planificación y realización de un concepto de mantenimiento. (Birolini, 2017)

Este concepto debe ser apoyado por el director del proyecto, y se ocupa de los siguientes aspectos:

- Partición del equipo o sistema en unidades reemplazables de línea independientes (LRU); es decir, en piezas de recambio a nivel de equipos y sistemas (línea reparable o último reparable/reemplazable se utiliza a menudo para la línea reemplazable).
- Detección y localización de fallos, incluida la comprobación después de la reparación (la localización puede subdividirse en aislamiento y diagnóstico, y fallo se utiliza para considerar fallos y defectos).
- Preparación de la documentación del usuario (manuales de funcionamiento y mantenimiento).
- Formación del personal de operación y mantenimiento.



- Apoyo logístico al usuario, incluido el servicio posventa. (Biolini, 2017)

El objetivo de mantenimiento es: conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste, con el máximo nivel de seguridad para el personal que lo utiliza y lo mantiene y con una mínima degradación del medio ambiente. Al conseguir todos estos puntos se está ante una buena gestión integral de mantenimiento (Gutiérrez, 2012)

### **2.1.1 Mantenimiento de averías o de funcionamiento hasta el fallo**

La filosofía básica de esta estrategia de mantenimiento es permitir que los equipos industriales funcionen hasta el fallo y sólo reparar o sustituir los equipos dañados cuando se produzcan problemas evidentes. La ventaja de este enfoque es que funciona bien si las paradas de los equipos no afectan a la producción y si los costes de mano de obra y material no son importantes. (Osarenren, 2015).

Las desventajas son que el departamento de mantenimiento opera perpetuamente en actividades de mantenimiento no planificadas con interrupciones inesperadas de la producción y que la planta debe tener un alto inventario de piezas de repuesto para reaccionar rápidamente. Sin duda, es la forma más ineficiente de mantener una instalación. Se hacen intentos inútiles de reducir costes comprando piezas baratas y contratando mano de obra barata, lo que agrava aún más el problema. A menudo, el personal está sobrecargado de trabajo y falta de personal y llega al trabajo cada día para enfrentarse a una larga lista de trabajos sin terminar y a media docena de nuevos trabajos de emergencia que se han producido mientras estaban en casa por la noche. (Osarenren, 2015)



### **2.1.2 Mantenimiento preventivo o basado en el tiempo**

Esta filosofía consiste en programar actividades de mantenimiento a intervalos de tiempo predeterminados en los que se sustituyen los equipos dañados antes de que se produzcan problemas evidentes. Si se hace correctamente, los estudios han demostrado que los costes de este tipo de mantenimiento son de unos 13 dólares por caballo de potencia (0,746 kW) al año. La ventaja de este enfoque es que funciona bien para los equipos que no funcionan continuamente y el personal tiene suficientes conocimientos, habilidades y tiempo para realizar el trabajo de mantenimiento preventivo (PM). Las desventajas son que el mantenimiento programado puede realizarse demasiado pronto o demasiado tarde. Es muy posible que se reduzca la producción debido a un mantenimiento potencialmente innecesario. En muchos casos se han desmontado máquinas en perfecto estado, se han retirado y desechado piezas buenas y se han instalado incorrectamente las nuevas. Para algunos, echar un chorro de grasa en los rodamientos cada mes es su idea de un programa de MP. (Osarenren, 2015)

Es una estrategia basada en la inspección, la sustitución de componentes y la revisión a un intervalo fijo, independientemente de su condición en el momento. Normalmente se realizan inspecciones programadas para evaluar el estado de los activos (Gulati, 2009).

### **2.1.3 Mantenimiento predictivo o basado en la condición**

Esta filosofía consiste en programar las actividades de mantenimiento sólo si las condiciones mecánicas o de funcionamiento lo justifican, mediante la supervisión periódica de la maquinaria para detectar vibraciones excesivas, temperatura y degradación de la lubricación u observando cualquier otra tendencia poco saludable que se produzca con el tiempo. Cuando la condición llega a un nivel inaceptable

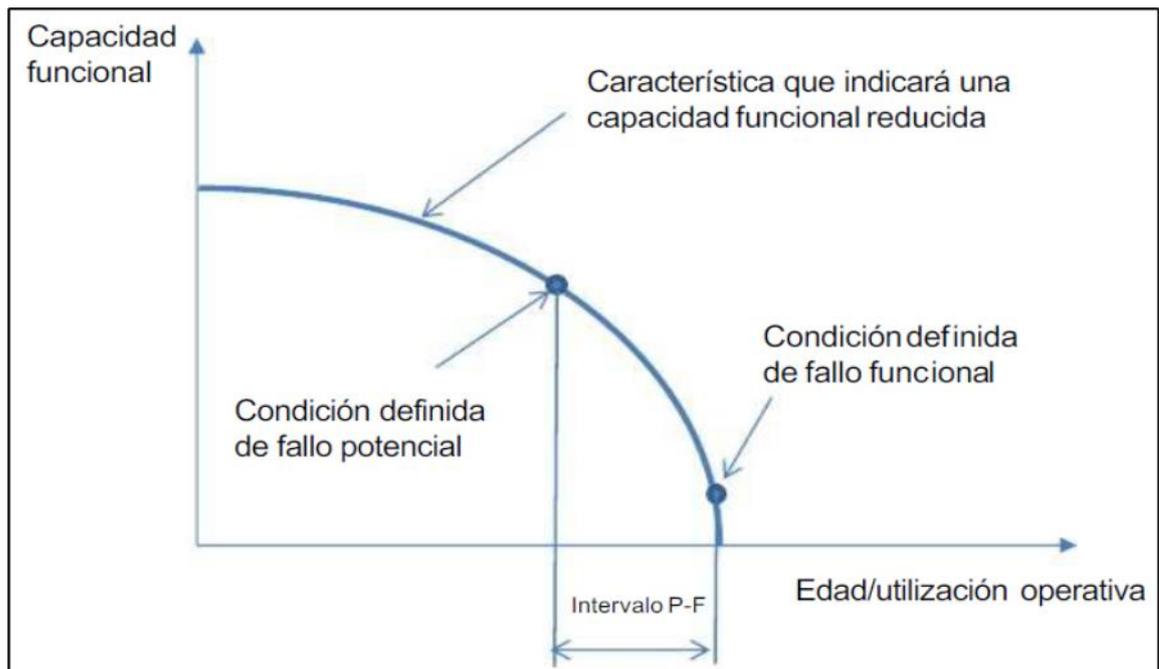


predeterminado, el equipo se para para reparar o sustituir los componentes dañados para evitar que se produzca un fallo más costoso. Las ventajas de este enfoque son que funciona muy bien si el personal tiene suficientes conocimientos, habilidades y tiempo para realizar el trabajo de mantenimiento predictivo. Las reparaciones de los equipos pueden programarse de forma ordenada, y permite disponer de cierto tiempo de antelación para comprar los materiales para las reparaciones necesarias, lo que reduce la necesidad de un elevado inventario de piezas. Como el trabajo de mantenimiento sólo se realiza cuando es necesario, es probable que aumente la capacidad de producción. (Osarenren, 2015)

Es una técnica para pronosticar la falla de un elemento de un equipo, de tal forma que el componente pueda reemplazarse, en base a un plan, justo antes de que falle (Smith & Hinchcliffe, 2004).

El objetivo es realizar el mantenimiento en un momento programado, cuando la actividad del mantenimiento es más rentable y antes de que el activo falle en servicio (Gulati, 2009).

**Figura 1:** intervalo de fallo funcional.



*Fuente: CEI 60300-3-11.*

#### **2.1.4 El fallo y su naturaleza**

La comprensión del fallo y de su naturaleza es el núcleo de la comprensión y de la estrategia de gestión de riesgos. Es necesario analizar este aspecto antes de avanzar. A continuación, se presentan las definiciones clave. (Ben-Daya et al., 2009)

#### **2.1.5 Fallo**

El fallo de un componente se produce cuando hay una desviación significativa de su estado original que lo hace inaceptable para su usuario. Puede clasificarse como fallo completo, fallo parcial, fallo intermitente, fallo a lo largo del tiempo o exceso de rendimiento de la función. (Ben-Daya et al., 2009)

#### **2.1.6 Fallo funcional**

Por otro lado, el fallo funcional se define como la incapacidad de un sistema para cumplir su estándar de rendimiento especificado. (Ben-Daya et al., 2009)



### **2.1.7 Fallo funcional potencial**

Se trata de una condición física que identifica un fallo funcional inminente. Es decir, el sistema no desempeña su función conforme a un estándar, pero no necesariamente deja de funcionar. (Ben-Daya et al., 2009)

### **2.1.8 Modos de fallo**

Los modos de fallo se definen como la forma en que puede producirse un fallo. Pueden ser física, como las condiciones en las que falla una pieza, o conceptual, en el que la ausencia de funciones de trabajo bien definidas y de la misión conduce a los fallos. (Ben-Daya et al., 2009)

### **2.1.9 Fiabilidad**

La fiabilidad es la capacidad de un sistema o un componente para realizar sus funciones requeridas en las condiciones establecidas durante un periodo de tiempo determinado o, en otras palabras, es la capacidad de un dispositivo o sistema para resistir los fallos. (Ben-Daya et al., 2009)

Es una estrategia que asegura la capacidad, la calidad y el mejor costo (Mobley & Wikoff, 2008).

### **2.1.10 Metodología de Mantenimiento centrado en la confiabilidad**

Llamado también RCM (Reliability Centred Maintenance), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, es un método para elaborar un plan de mantenimiento y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras (Garrido, 2003).

La RCM tiene una metodología de siete pasos. Esta metodología garantiza la documentación que registre exactamente cómo se seleccionaron las tareas de



mantenimiento y por qué fueron la mejor selección posible entre una serie de alternativas que compiten entre sí. (Ben-Daya et al., 2009)

Estos siete pasos incluyen:

- La selección de sistemas y la recopilación de información;
- Definición de los límites del sistema;
- Descripción del sistema y diagrama de bloques funcionales;
- Funciones del sistema y fallo funcional;
- Modo de fallo y análisis efectivo (FEMA);
- Análisis del árbol de decisiones lógicas (LTA); y
- Selección de tareas. (Ben-Daya et al., 2009)

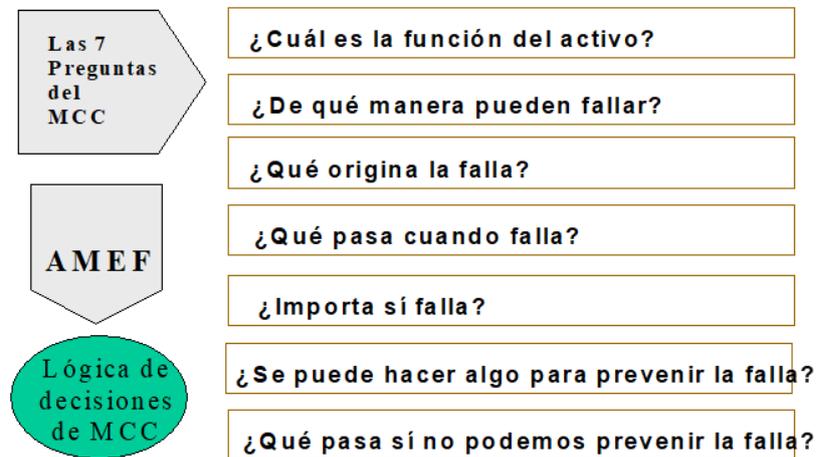
El principal objetivo del RCM es proporcionar un análisis exhaustivo, sistemático y documentado que establezca las condiciones de fallo importantes del sistema o sistemas de los equipos (Klasifikasi, 2012).

Fundamentalmente, el proceso del RCM busca responder a las siguientes siete preguntas en orden secuencial (Mobley & Wikoff, 2008).

- ¿Cuáles son las funciones y los niveles de rendimiento deseados asociados al activo en su contexto operativo actual (funciones)?
- ¿De qué manera puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales)?
- ¿Qué causa cada fallo funcional (modos de fallo)?
- ¿Qué sucede cuando se producen fallos (efectos de fallo)?
- ¿De qué manera importa cada falla (consecuencias de la falla)?
- ¿Qué debería hacerse para predecir o prevenir cada fallo (tareas proactivas e intervalos de tareas)?

- ¿Qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada?  
(Mobley & Wikoff, 2008).

**Figura 2:** Siete preguntas claves del MCC



*Fuente: (Moubray, 2004)*

### 2.1.11 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

La gestión del riesgo es una obligación para cualquier organización. La cláusula 0.1 de la norma ISO 9004 menciona la gestión del riesgo junto con consideraciones de coste y beneficio dada su importancia para la organización y sus clientes. La cláusula 5.4.2 también incluye la evaluación de riesgos y la mitigación de riesgos como elementos necesarios para una planificación de la calidad eficiente y eficaz. (Ben-Daya et al., 2009)

A cada modo de fallo y al efecto resultante se le asigna un nivel de criticidad, la posibilidad de que se produzca, la gravedad y la consecuencia estos son factores que determinan la criticidad de cada modo de fallo y su efecto (Mobley, 1999).

Es un procedimiento sistemático capaz de analizar un sistema con el objetivo de identificar los posibles modos de fallo, su causa y efecto en el rendimiento, en la seguridad, el medio ambiente, así como sobre el sistema (Lazzaroni et al., 2013).

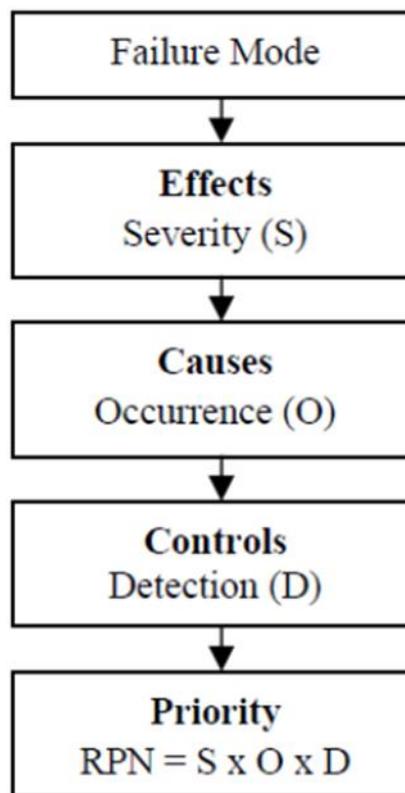
Es una metodología proactiva que sigue los siguientes pasos típicos:



- Seleccionar un proceso de alto riesgo.
- Revisar el proceso.
- Identificar las causas raíz de los modos de fallo.
- Enumerar los efectos potenciales de cada modo de fallo.
- Asignar a cada efecto las calificaciones de gravedad, ocurrencia y detección.
- Calcular el número de prioridad del riesgo (RPN) para cada efecto.
- Priorizar los modos de fallo para la acción utilizando el RPN.
- Tomar medidas para eliminar o reducir los modos de fallo de alto riesgo.
- Calcular el RPN resultante a medida que los modos de fallo se reducen o como medio para supervisar el producto o proceso rediseñado y mejorado (Ben-Daya et al., 2009).

Es una técnica para evaluar un activo, proceso o diseño para determinar las posibles formas en que puede fallar y los posibles efectos; y posteriormente identificar las tareas de reducción apropiadas para los riesgos de mayor prioridad. (Gulati, 2009)

**Figura 3:** Secuencia de riesgo AMEF



*Fuente: (Ben-Daya et al., 2009)*

Utilizando los datos y el conocimiento del proceso o producto, cada modo de fallo potencial y efecto se clasifica en cada uno de los tres factores siguientes:

- Gravedad: la consecuencia del fallo cuando se produce;
- Ocurrencia: la probabilidad o frecuencia de que se produzca el fallo; y
- Detección: la probabilidad de que el fallo se detecte antes de que se produzca el impacto de que se produzca el efecto.

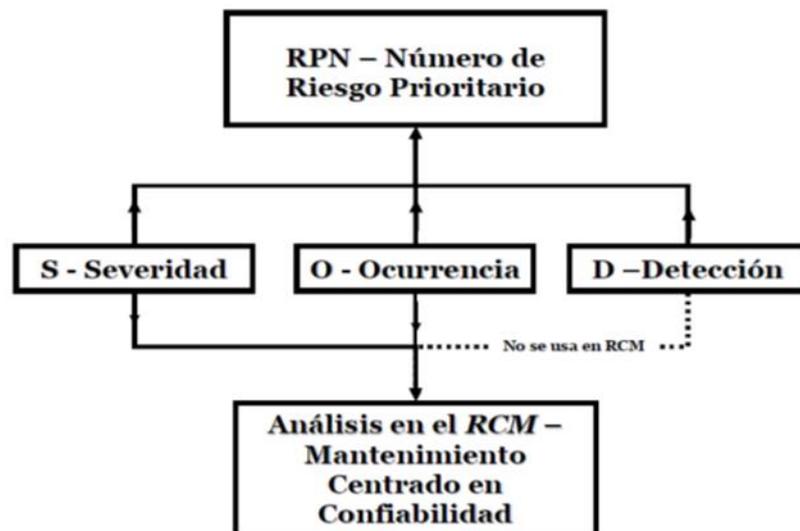
A continuación, estos tres factores se combinan en un número denominado número de prioridad del riesgo (RPN) para reflejar la prioridad de los modos de fallo identificados. El número de prioridad del riesgo (RPN) se calcula simplemente multiplicando el índice de gravedad por el índice de probabilidad de ocurrencia, por el índice de probabilidad de detección: (Ben-Daya et al., 2009)

$$RPN = Gravedad * Ocurrencia * Detección \quad (1)$$

Los modos de fallo no son iguales y hay que priorizarlos clasificándolos de acuerdo con el número de prioridad del riesgo, de mayor a menor. Un diagrama de Pareto puede utilizarse para visualizar las diferencias entre las distintas clasificaciones.

La siguiente tarea importante del AMFE es centrar los recursos limitados en los aspectos críticos del diseño y/o de proceso para mejorar la fiabilidad, la calidad y la seguridad. (Ben-Daya et al., 2009).

**Figura 4: Análisis RPN**



*Fuente: (Gutiérrez, 2012)*

### 2.1.12 Procedimiento para realizar un AMFE y criticidad

Según la norma IEC 60812:

- La numeración secuencial del paso.
- Designación del elemento o pieza considerado, breve descripción de su función y referencia al diagrama de bloques de fiabilidad, lista de piezas, etc.



- Suposición de un posible fallo (deben considerarse todos los modos de fallo posibles).
- Identificación de las posibles causas del fallo (modo de fallo asumido en el tercer paso (una causa de fallo puede ser también un fallo en la fase de diseño, en la fase de producción, en el transporte, en la instalación o en el uso).
- Descripción de los síntomas que caracterizan el fallo, modo asumido en el tercer paso y de su efecto local (relaciones salidas/entrada, posibilidades de fallos secundarios, etc.).
- Identificación de las consecuencias del fallo, modo de fallo asumido en la tercera etapa en los niveles de integración superiores (hasta el nivel del sistema) y en la misión que debe realizarse.
- Identificación de las disposiciones de detección de fallos y de las medidas correctoras que puedan mitigar la gravedad del fallo, modo de fallo asumido en el tercer paso, reducir la probabilidad de que se produzca, o iniciar un modo operativo alternativo que permita continuar el funcionamiento cuando se produzca el fallo.
- Identificación de las posibilidades de evitar el modo de fallo asumido en el tercer paso y/o mitigar su consecuencia, y realización de las correspondientes acciones correctivas (o preventivas).
- Evaluación de la gravedad del modo de fallo asumido en el tercer paso (sólo FMECA); por ejemplo, I para no relevante, II para menor, III para mayor, IV para crítico (que afecta a la seguridad).
- Estimación de la probabilidad de ocurrencia (o tasa de fallos) del fallo, modo asumido en la tercera etapa (sólo FMECA), teniendo en cuenta la

causa del fallo identificada en el paso 4, por ejemplo, muy baja, baja, media, alta.

- Formulación de observaciones pertinentes que completen la información de las columnas anteriores y también de recomendaciones de acciones correctivas, que reduzcan las consecuencias del fallo, modo asumido en el tercer paso (por ejemplo, introducción de dispositivos de detección de fallos). (Biolini, 2017)

Comencemos distinguiendo una serie de niveles de importancia o criticidad:

- Equipos críticos. Son aquellos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- Equipos importantes. Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- Equipos prescindibles. Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados (Garrido, 2003).

**Figura 5:** Cuadrícula de criticidad para un FMECA (según IEC 60812)

Criticity	IV				
	III				
	II				
	I				
		Very low	Low	Medium	High
		Probability of failure / fault			

*Fuente: (Biolini, 2017)*



### 2.1.13 Diagrama de Pareto

Un diagrama de Pareto es una herramienta útil en cualquier esfuerzo de mejora y a diferentes niveles. Puede utilizarse al principio para identificar qué problema debe estudiarse y Posteriormente, para acotar las causas del problema que hay que abordar en primer lugar. (Ben-Daya et al., 2009)

El gráfico recibe su nombre de Vilfredo Pareto, economista italiano. El principio de Pareto ilustra el hecho de que el 80 % de los problemas provienen del 20% de las causas. Un diagrama de Pareto es un gráfico de barras formado por una serie de barras cuyas alturas reflejan la frecuencia de los problemas o las causas. Las barras están dispuestas en orden descendente de izquierda a derecha. Esto significa que los factores representados por las barras altas de la izquierda son relativamente más significativos que los de la derecha. Esto ayuda a separar de los triviales, de modo que los recursos y los esfuerzos se centran en donde podemos obtener el máximo rendimiento. (Ben-Daya et al., 2009)

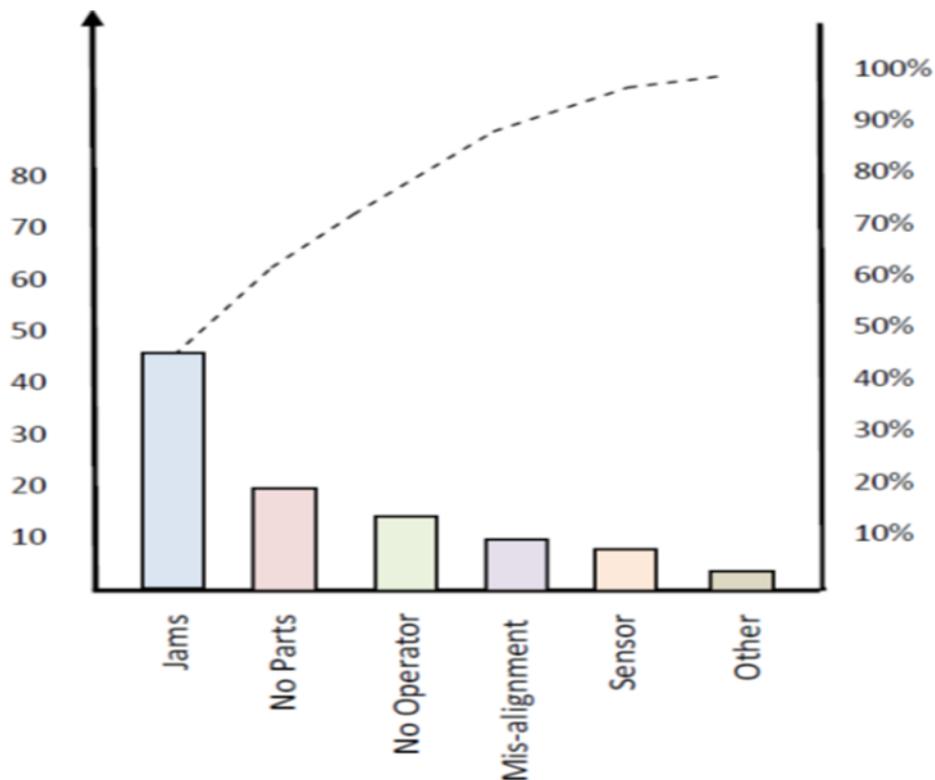
Para construir un diagrama de Pareto, se pueden seguir los siguientes pasos:

- Registre los datos brutos. Enumere cada categoría y su frecuencia asociada.
- Ordene los datos. Coloque primero la categoría con mayor frecuencia.
- Rotula el eje vertical izquierdo. Asegúrate de que las etiquetas están espaciadas en intervalos iguales desde 0 hasta un número redondo igual o ligeramente mayor que el total de todos los recuentos.
- Rotula el eje horizontal. Haz que el ancho de todas las barras sea el mismo y etiquetar las categorías de mayor a menor.



- Traza una barra para cada categoría. La altura de cada barra debe ser igual a la frecuencia de la categoría correspondiente y su anchura debe ser idéntica.
- Encuentre los recuentos acumulados. El recuento acumulado de cada categoría es el recuento de esa categoría sumado a los recuentos de todas las categorías mayores que la preceden.
- Añade una línea acumulativa. Rotula el eje derecho de 0 a 100%, y alinea el 100% con el total general en el eje izquierdo. Para cada categoría, ponga un punto de la misma altura que el total acumulado y en línea con el borde derecho de la barra de esa categoría. Conecta todos los puntos con líneas rectas.
- Analiza el diagrama. Busque el punto de ruptura en el gráfico de porcentaje acumulado que separa los pocos significativos de los muchos triviales. Un claro cambio en la pendiente del gráfico puede ayudar a identificar el punto de ruptura. (Ben-Daya et al., 2009)

**Figura 6:** Diagrama de Pareto



*Fuente: (Ben-Daya et al., 2009)*

#### **2.1.14 Estimación de parámetros**

Independientemente del tipo de datos que tengamos, una cuestión importante en la estadística de fallos es estimar los parámetros de una determinada distribución de probabilidad que se considera un buen modelo para los datos sobre fallos. Existen varios métodos de estimación de parámetros disponibles. Tenemos básicamente tres métodos, que van desde de probabilidad relativamente sencillo hasta los métodos de mínimos cuadrados y de máxima verosimilitud. Suponemos que estamos tratando con datos completos. (Ben-Daya et al., 2009)

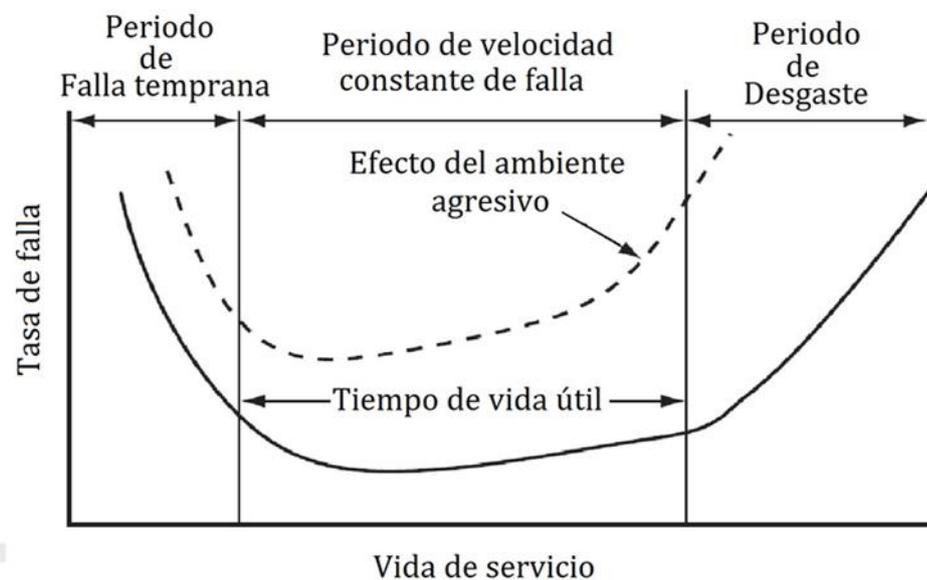
#### **2.1.15 La distribución de Weibull**

La distribución de Weibull es una de las distribuciones de vida útil más aprovechadas en ingeniería de fiabilidad y mantenimiento. Es una distribución versátil

que puede adoptar diferentes formas. Dependiendo del valor del parámetro de forma,  $\beta$ , su función de tasa de fallos puede ser decreciente, constante o creciente, por lo que puede utilizarse para modelar el comportamiento de los fallos de varios sistemas de la vida real. (Ben-Daya et al., 2009)

Una de las ventajas significativas que posee la distribución Weibull es que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (infancia, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies (Lazzaroni et al., 2013).

**Figura 7:** Curva de la bañera o de Davies.



*Fuente: (Gutiérrez, 2012)*

Dependiendo del valor del parámetro de forma,  $\beta$ , su función de tasa de fallos puede ser decreciente, constante o creciente, por lo que puede utilizarse para modelar el comportamiento de los fallos de varios sistemas de la vida real (Ben-Daya et al., 2009).

Su función de fiabilidad viene dada por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2)$$

(Ben-Daya et al., 2009)

Donde:

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

$\delta$  : es el parámetro de localización.

La distribución de Weibull posee en su forma general tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad y cuya selección permite obtener mejores ajustes, que con otras distribuciones; estos parámetros son: (Gutiérrez, 2005)

- Parámetro de escala o característica de vida útil: su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema.
- Parámetro de forma: refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.
- Parámetro de localización: el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula (Gutiérrez, 2005).

**Figura 8:** Parámetro de forma beta de Weibull

Valor $\beta$	Característica
$0 < \beta < 1$	Tasa de fallas decreciente
$\beta = 1$	Distribución exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de falla creciente



*Fuente: (Gutiérrez, 2005).*

A través de la distribución de Weibull se puede representar los intervalos de mantenimiento preventivo. Su densidad de probabilidad funciona con respecto a los tiempos de mantenimiento preventivo (Dhillon, 2006).

## **2.2 SISTEMA DE CALEFACCIÓN**

El sistema de calefacción está compuesto principalmente para su funcionamiento, por los siguientes elementos constitutivos:

- Sistema de Caldera.
- Sistema primario de bombas.
- Sistemas secundarios de bombas.
- Tablero de Control del sistema de calefacción.
- Unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor).
- Ducto de inyección y retorno de aire.
- Tubería de agua caliente.

### **2.2.1 Sistema de caldera**

Uno de los componentes importantes de este sistema es la caldera, Se trata de un recipiente cerrado en el que se utiliza la energía química del combustible para aumentar el contenido energético del agua y utilizarla para aplicaciones de calefacción. Según A.S.M.E., una caldera es una unidad de generación de vapor que es una combinación de aparatos para producir y recuperar calor junto con la transferencia de éste al fluido de trabajo que debe calentarse. (Agarwal & Suhane, 2017).

**Figura 9:** Calderas.



*Fuente: HSMPM*

### 2.2.2 Sistema primario de bombas

Este sistema es el que suministra agua a las calderas.

Las bombas primarias, toman el agua de las tuberías de retorno y alimentan directamente los calderos.

**Figura 10:** Sistema primario de bombas.



*Fuente: HSMPM*

### 2.2.3 Sistema secundario de bombas

Las bombas secundarias, se encargan de alimentar las redes de agua caliente por todas las áreas del hospital.

**Figura 11:** Sistema secundario de bombas.



*Fuente: HSMPPM*

#### **2.2.4 Tablero de Control del sistema de calefacción.**

El tablero de control del sistema de calefacción tiene como la energización de los diversos equipos además de proteger los componentes de mando y control del sistema eléctrico. En estos se puede encontrar los dispositivos de conexión, maniobra, protección, control y mando.

**Figura 12:** Tablero de control del sistema de calefacción.



*Fuente: HSMPM*

### **2.2.5 Unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor).**

La unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor) es un equipo complejo muy importante dentro del sistema de calefacción del hospital, es el dispositivo encargado de acondicionar el aire que se procesa en los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (aire caliente y frío), comúnmente conocidos como HVAC a las temperaturas especificadas en las diversas áreas dentro del hospital.

**Figura 13:** Unidad de tratamiento de aire.



*Fuente: HSMPM*

### **2.2.6 Ducto de inyección y retorno de aire**

El flujo de aire en las diversas áreas, es controlado principalmente, por el desplazamiento (flotación); la distribución del aire de inyección se da a través de los ductos de inyección de aire a baja velocidad. El desvanecimiento de contaminantes es mínimo, por lo que cada equipo tiene su propio aire. Este equipo opera a velocidades bajas, con mínimo nivel de ruido; la temperatura de inyección varía de acuerdo a las recomendaciones establecidas. Esto permite desplazar el aire caliente y contaminado, hacia la parte superior del área, el cual es absorbido mediante las tuberías de retorno de aire. Iniciando así el proceso de tratamiento y recuperación de aire.

**Figura 14:** Ducto de inyección y retorno de aire



*Fuente: HSMPM*

### 2.2.7 Tubería de agua caliente

Las tuberías de las calderas normalmente están sometidas a alta temperatura y presión de vapor. Las fallas en los tubos de agua caliente son causadas por fallas en el aislamiento, fallas mecánicas, corrosión o ambas. (Arjunwadkar et al., 2016).

**Figura 15:** Tubería de suministro de agua caliente.



*Fuente: HSMPM*

**Figura 16:** Tubería de retorno de agua caliente.



*Fuente: HSMPPM*



## CAPÍTULO III

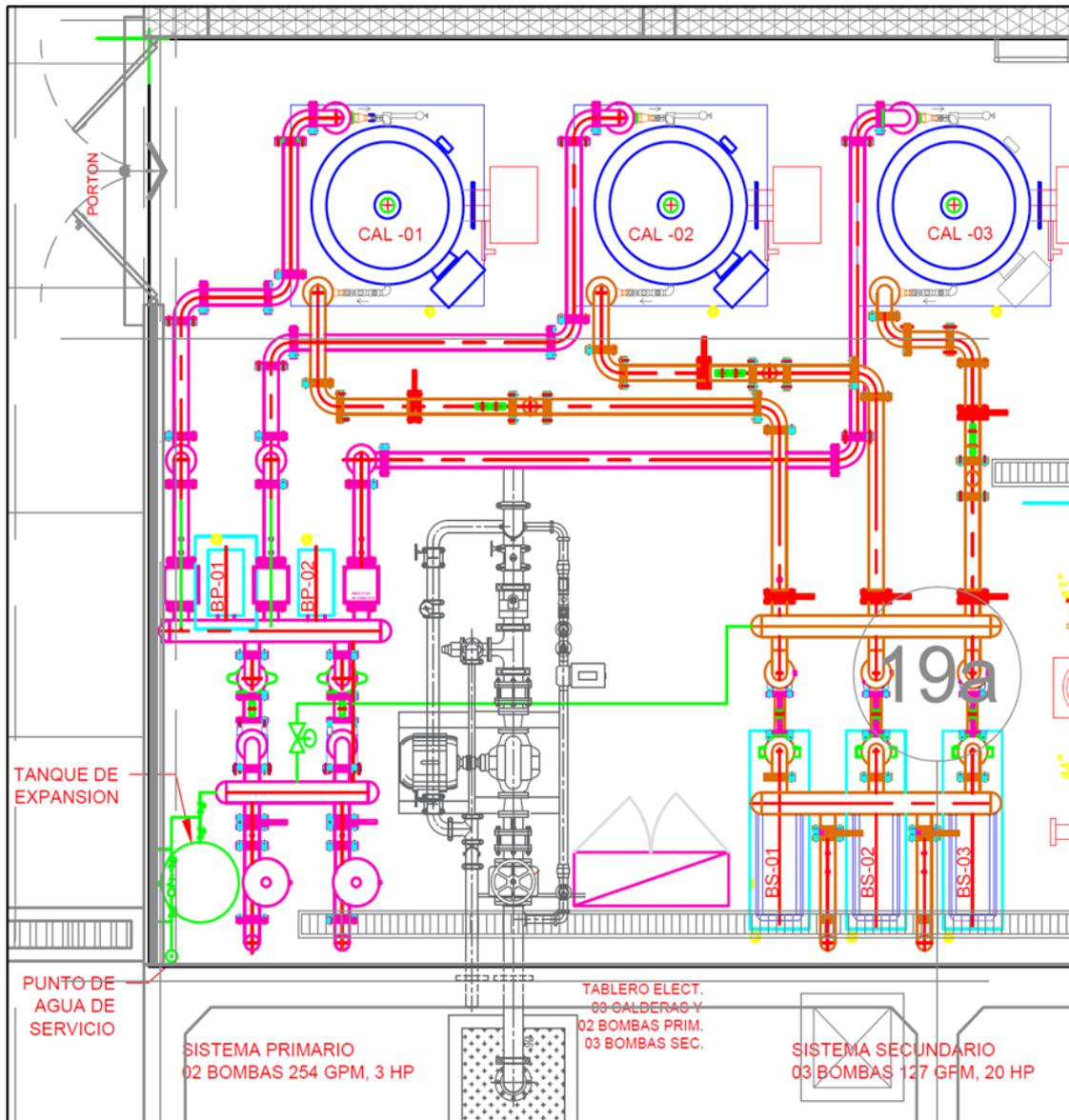
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES DE LA INVESTIGACIÓN

Como material para la presente investigación tenemos los elementos del sistema, sub sistemas y componentes del sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno, conformado por lo siguiente.

- Sistema de Caldera.
- Sistema primario de bombas.
- Sistemas secundarios de bombas.
- Tablero de Control del sistema de calefacción.
- Unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor).
- Ducto de inyección y retorno de aire.
- Tubería de agua caliente.

**Figura 17:** Esquema de instalación de equipos.



*Fuente: HSMPM*

### 3.1.1 Tipo de investigación

#### Diseño de investigación:

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental, descriptivo correlacional.

El método de investigación en cada objetivo específico es del tipo no experimental, transversal, descriptivo. (Sampieri et al., 2010).



La toma de datos es del tipo longitudinal, Correlacional, causal, propuesto por Hernández Sampieri en Metodología de la Investigación (Sampieri et al., 2010).

Las modalidades de esta investigación que se ajustan al presente proyecto serán las siguientes:

### **Investigación de campo**

Se utiliza este tipo de investigación debido a la naturaleza del proyecto, en el cual es necesario estar en el lugar mismo y a través de ello se verificará e indagará las posibles causas que se está tratando solucionar, sin manipulación de las variables, permitiendo generalizar los resultados obtenidos a situaciones afines (Sampieri et al., 2010).

### **Investigación bibliográfica-documental**

En esta investigación se tiene como finalidad ampliar y profundizar las teorías y enfoques acerca del tema del proyecto mediante la utilización de libros, catálogos, textos, páginas electrónicas, entre otros, y que darán una correcta orientación a la investigación, constituyendo un respaldo para los procedimientos a llevar a cabo, con lo cual las teorías investigativas se comprobarán y justificarán.

### **Investigación no experimental**

Esta investigación será de tipo No experimental, ya que no se manipularán variables, y se observará el fenómeno en su contexto natural (Sampieri et al., 2010).

En cuanto al método que se empleará en el proyecto de tesis será teórico – práctico. Para ello se recurrirá a bibliografías establecidas, catálogos, tablas, diagramas, herramientas computacionales, datos históricos y otros con la finalidad de realizar el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno.

## Variables

Independiente: Propuesta de mantenimiento.

Dependiente: Confiabilidad.

## 3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.2.1 Diagnóstico de los sistemas del sistema de calefacción

Mediante el diagnóstico realizado en campo se determina el estado de operación actual de los sistemas, sub sistemas y componentes del sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno. Los resultados del diagnóstico se registrarán en la siguiente tabla.

**Tabla 1:** Diagnóstico de los sistemas.

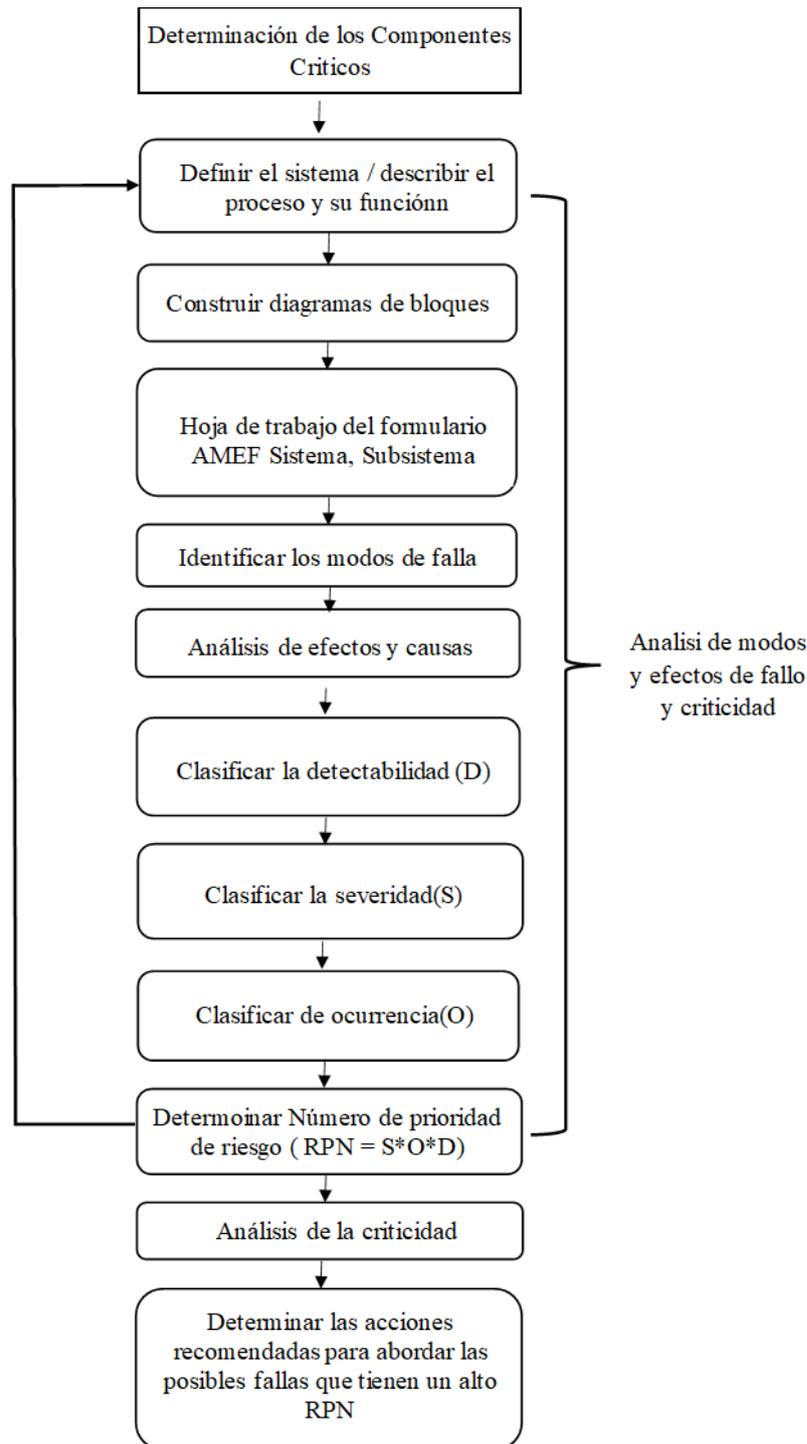
Sistema	Subsistema	Equipo	Diagnóstico
sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Sub sistema 1		
	Sub sistema 2		
	Sub sistema 3		
	....		
	Sub sistema n		

*Elaboración propia*

### 3.2.2 Componentes críticos

Para el análisis de criticidad se recurrirá al método planteado por. (Yssaad et al., 2012). Acuerdo al diagrama de bloques del sistema. Este diagrama ofrece una visión general de los principales sistemas del proceso y su relación. La Figura 18 muestra un diagrama lógico detallado del método FMECA. (Yssaad et al., 2012).

**Figura 18:** Esquema de análisis de modos y efectos de fallo



*Fuente: (Yssaad et al., 2012).*

De acuerdo al procedimiento planteado seguiremos la siguiente secuencia:

Para el realizar el análisis de los modos y efectos de fallo utilizaremos la hoja de trabajo que se muestra en la tabla 2. En la tabla se registrará las funciones, fallas

funcionales y modos de fallas de los sistemas, sub sistemas y componentes del sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya.

**Tabla 2:** Hoja de trabajo de AMEF.

SISTEMA : Sistema de Calefacción Hospital San Martín de Porres Macusani		AMEF			
SUB SISTEMA :					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)	MODO DE FALLA (causa de la falla)		EFEECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)
1	A		A1		
	B		B1		
	C		C1		

*Fuente:(Moubray, 2004).*

Para el análisis de criticidad aplicamos el procedimiento recomendado por la norma IEC 60812, de acuerdo al Número de Prioridad de Riesgo (RPN) de acuerdo al método planteado en el diagrama. La criticidad se calcula mediante: (Lazzaroni et al., 2013).

$$RPN = S * O * D \quad (3)$$

Donde:

- Gravedad (S): Es la severidad del fallo.

**Tabla 3:** Clasificación Severidad (S)

Severidad (S)		
Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
> 8h	muy catastrófica	8
7h	Catastrófico	7
6h	Muy serio	6
5h	Grave	5
4h	Medio	4
3h	Significativo	3
2h	Menor	2
1h	muy menor	1
30 minutos	Pequeña	0.6
<30 min	Muy pequeña	0.2

*Fuente: (Yssaad et al., 2014)*

- Ocurrencia (O): es la probabilidad de la ocurrencia de un modo de fallo en un periodo de tiempo.

**Tabla 4:** Clasificación Ocurrencia (O)

Ocurrencia (O)		
Posible tasa de ocurrencia	Criterio de Ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	Falla cerca de cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, aislamiento de la falla, raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, a menudo falla	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años	Promedio, fallas ocasionales	5
Una vez cada 2 años		6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, falla frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto	10

*Fuente: (Yssaad et al., 2014)*

- Detección (D): es la estimación de la posibilidad de detectar el inicio de una avería (Lazzaroni et al., 2013).

**Tabla 5:** Clasificación Detectabilidad (D)

Detección (D)		
Nivel de detección	Criterio de detección	Valor
No detectable	Imposible	10
Difíciles de detectar	Muy difícil	9
	Muy tarde	8
detectar al azar (Improbable)	No es seguro	7
	Ocasional	6
Posible detección	Bajo	5
	Tarde	4
Detección confiable	Fácil	3
	Inmediato	2
Detección permanente	Acción correctiva inmediata	1

*Fuente: (Yssaad et al., 2014)*

Para la clasificación de los subsistemas críticos se utilizará los valores de RPN.

**Tabla 6:** Clasificación Criticidad

CRITICIDAD ( C )		PRIORIDAD DE RIESGO
NIVEL DE CRITICIDAD	VALOR	
MENOR	0-30	ACEPTABLE
MEDIO	31-60	TOLERABLE
ALTO	61-180	
MUY ALTO	181-252	INACEPTABLE
CRITICO	253-324	
MUY CRITICO	>324	

*Fuente: (Yssaad et al., 2012).*

De acuerdo al valor del RPN se realiza la propuesta de la estrategia de mantenimiento.

**Tabla 7:** Propuesta de mantenimiento

Propuesta de Mantenimiento		
Componente, sistema	RPN	Acción de mantenimiento
	0-30	Acción correctiva
	31-60 61-180	Mantenimiento preventivo programado
	181-252 253-324 >324	Revisión del diseño completo (Rediseño)

*Fuente: (Yssaad et al., 2012).*

### 3.2.3 Determinación de la confiabilidad mediante los parámetros característicos de Weibull

La distribución de Weibull es una de las distribuciones de vida útil más utilizadas en ingeniería de fiabilidad y mantenimiento (Ben-Daya et al., 2009).

La distribución de Weibull de tres parámetros es dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (4)$$

Donde:

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

$\delta$  : es el parámetro de localización.

La función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull de dos parámetros es dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (5)$$

Donde:

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

Su función de distribución acumulativa viene dada por (Ben-Daya et al., 2009)

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (6)$$

Donde:

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

Su función de fiabilidad viene dada por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (7)$$

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

La función de tasa de fallos correspondiente viene dada por:

$$h(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (8)$$

$\theta$  : es el parámetro de escala.

$\beta$  : es el parámetro de forma.

El parámetro de forma caracteriza la dispersión de los fallos.

- $\beta < 1$ : El riesgo de fallo de los componentes disminuye a medida que aumenta el valor del parámetro de envejecimiento.
- $\beta = 1$ : El riesgo de fallo de los componentes es constante.
- $\beta > 1$ : El riesgo de fallo de los componentes aumenta a medida que aumenta el valor del parámetro de envejecimiento (Kundu et al., 2019).

### Trazado de probabilidades

El método de trazado de probabilidades es de acuerdo a los siguientes criterios (Ben-Daya et al., 2009).

Distribución de Weibull de dos parámetros viene dada por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (9)$$

Se linealiza en la forma común de  $y = a + bx$  como:

$$1 - F(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right) \quad (10)$$

Tomando el logaritmo de ambos lados obtenemos:

$$\ln(1 - F(t)) = -\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta \quad (11)$$

Tomando el logaritmo una vez más, tenemos:

$$\ln(-\ln(1 - F(t))) = \beta \ln\left(\frac{t}{\theta}\right) \quad (12)$$

O

$$\ln\left(\frac{1}{\ln(1 - F(t))}\right) = \beta \ln t - \beta \ln \theta \quad (13)$$

Podemos tener lo siguiente:



$$y = \ln\left(\frac{1}{\ln(1 - F(t))}\right) \quad (14)$$

Y

$$x = \ln t \quad (15)$$

Entonces la ecuación puede reescribirse como:

$$y = \beta x - \beta \ln \theta \quad (16)$$

Que ahora es una ecuación lineal con pendiente  $\beta$  e intercepción  $-\beta \ln \theta$ .

Los valores de  $x$  pueden calcularse fácilmente a partir de los datos. (Ben-Daya et al., 2009).

El cálculo de  $y$  requiere la estimación de  $F(t)$  a partir de los datos, que corresponden a la fracción de la población que falla antes de cada valor de la muestra valor de la muestra (Ben-Daya et al., 2009).

Seguidamente se valora el rango de la mediana, mediante la aproximación de Benard's

$$\text{Rango de la mediana} = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (17)$$

Donde:

$i$  : es el índice del orden ascendente;

$n$  : es el tamaño de la muestra.

El parámetro  $\beta$  de la distribución de Weibull se obtiene a partir de la pendiente de la recta ajustada a los puntos trazados. (Ben-Daya et al., 2009).

En cuanto a la estimación del parámetro de escala  $\theta$ , se puede obtener de la siguiente manera. (Ben-Daya et al., 2009).



Igualando  $t = \theta$ .

Tenemos:

$$F(\theta) = 1 - e^{-\left(\frac{\theta}{\theta}\right)^\beta} = 1 - e^{-1} = 0.632 \quad (18)$$

El valor del parámetro  $\theta$  es el valor de  $t$  en el eje  $x$ , que corresponde al valor del 63,2% en el eje  $y$ . (Ben-Daya et al., 2009).

De acuerdo al procedimiento descrito y utilizando la hoja de cálculo de Microsoft Excel, se registra los cálculos en la tabla siguiente

**Tabla 8:** Registro de datos de los parámetros Weibull.

DATO	Rang.Medio $i$	$t$ (dias)	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	$X = \ln t$	$Y = \ln\left(\ln \frac{1}{1 - \hat{F}(t)}\right)$	$R(t)$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

*Elaboración propia*

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani está conformado por los siguientes sistemas:

- Sistema de Caldera.
- Sistema primario de bombas.
- Sistemas secundarios de bombas.
- Tablero de Control del sistema de calefacción.
- Unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor).
- Ducto de inyección y retorno de aire.
- Tubería de agua caliente.

**Figura 19:** Casa de máquinas sistema de calefacción.



*Fuente: HSMP.*

#### 4.1 DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS, DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN.

El diagnóstico del estado de operatividad del sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani se verifica en la siguiente tabla de acuerdo a lo planteado.

**Tabla 9:** Diagnóstico del Sistema Caldera

Sistema	Sub sistema	Componente	Diagnostico
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Caldera de agua caliente vertical CAV 40-23G 640 GPH 10-90 °C.	Termómetro de 0-150°C	Operativo
		Termómetro de 0-500°C X1/2	Operativo
		Manómetro 0-200 PSI	Operativo
		Alivio de gases	Operativo
		Cámara de gases	Operativo
		Tubo de nivel	Operativo
		Registro de mano	Operativo
		Válvula alimentación de agua	Operativo
		Válvula salida de agua temperada	Operativo
		Válvula purga control de nivel	Operativo
		Válvula purga de fondo	Operativo
		Válvula check, alimentación de agua	Operativo
		Válvula control de nivel	Operativo
		Válvula de alivio.	Operativo
		Termostato	Operativo
		Termocupla	Operativo
		Control auxiliar de nivel de agua	Operativo
		Control de nivel	Operativo
		Tablero eléctrico	Operativo
		Chimenea salida de gases de combustión	Operativo
Aislamiento térmico	Operativo		
Tubos de fuego	Operativo		
Quemador	Operativo		

*Fuente: HSMP*

**Tabla 10:** Diagnóstico del Sistema Primario de Bombas

Sistema	Sub sistema	Equipo/componente	Diagnostico
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Sistema primario de bombas. Bombas horizontales de carcasa dividida para climatización (HVAC) 254 GPM, 3 HP	Sello mecánico de carbono/ carburo de silicio	Operativo
		Impulsor de fundición de bronce de precisión	Operativo
		rodamientos de bolas reengrasables	Operativo
		Camisas de eje de bronce	Operativo
		Eje	Operativo
		Cuerpo	Operativo

*Fuente: HSMP*

**Tabla 11:** Diagnóstico del Sistema Secundario de Bombas

Sistema	Sub sistema	Equipo/componente	Diagnostico
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Sistema secundario de bombas. Bombas horizontales de carcasa dividida para climatización (HVAC) 127 GPM, 20 HP	Sello mecánico de carbono/ carburo de silicio	Operativo
		Impulsor de fundición de bronce de precisión	Operativo
		rodamientos de bolas reengrasables	Operativo
		Camisas de eje de bronce	Operativo
		Eje	Operativo
		Cuerpo	Operativo

*Fuente: HSMP*

**Tabla 12:** Diagnóstico del Sistema Tablero de control.

Sistema	Sub sistema	Equipo	Diagnostico
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Tablero de Control del sistema de calefacción. .380/220, 3F, N, T,60Hz Baja tensión. 03 calderas 02 Bombas Primarias. 03 Bombas Secundarias.	Variadores electrónicos	Operativo
		Interruptor termomagnético trifásico 200 A, 380 V	Operativo
		Interruptor termomagnético trifásico 32 A, 380 V	Operativo
		Controlador lógico programable PLC.	Operativo
		Interfaz humano máquina HMI.	Operativo
		Relés encapsulados 14 pines 220 V	Operativo
		Selector manual automático, de dos contactos.	Operativo
		Selector ON-OFF.	Operativo
		Luces indicadoras rojo y verde.	Operativo
		Transformador de tensión.	Operativo
		Barras de cobre.	Operativo

*Fuente: HSMP*

**Tabla 13:** Diagnóstico del Sistema Unidad de tratamiento de aire.

Sistema	Sub sistema	Equipo/componente	Diagnostico
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor).	Variador electrónico	Operativo
		Termostato	Operativo
		Relé de control	Operativo
		Transformador 220V–24V	Operativo
		Electro válvula	Operativo
		Válvula de regulación de caudal de agua	Operativo
		Intercambiador de calor	Operativo
		Caja de componentes eléctricos	Operativo
		Ventilador	Operativo
		Motor eléctrico	Operativo
		Faja de Transmisión	Operativo
		Prefiltros y filtro de bolsa	Operativo
		Filtro HEPA	Operativo
Ducto de inyección y retorno de aire.	Operativo		

Fuente: HSMP

Podemos verificar que el sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, se encuentra en funcionamiento.

#### 4.2 COMPONENTES CRÍTICOS DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

De acuerdo al método planteado realizamos el análisis de criticidad de los diferentes elementos componentes sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani. Como primer paso realizamos el análisis de modos y efectos de fallas de los subsistemas.



#### **4.2.1 Análisis de modos, efectos de falla y criticidad (AMEF) del sub sistema de Caldera.**

Teniendo en cuenta el procedimiento planteado analizaremos los sub sistemas y elementos identificados de la Caldera de agua caliente vertical CAV 40-23G 640 GPH 10-90 °C. Los resultados del análisis de modos y efectos de fallas, están registrados en la tabla siguiente:

**Tabla 14:** Análisis de modos y efectos de falla caldera

SISTEMA : Sistema de Calefacción		AMEF		
SUB SISTEMA : Caldera de agua caliente vertical CAV 40-23G640 GPH 10-90 °C .				
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)	MODO DE FALLA (causa de la falla)	EFEECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)	
1	A	Incapaz de Suministrar agua caliente a 640 GPH entre 60 a 90 °C .	1 Lectura incorrecta del termómetro de 0-150°C.	Valores erróneos.El equipo se detiene. Se paraliza la producción
			2 Lectura incorrecta del termómetro de 0-500°C X1/2	Valores erróneos.El equipo se detiene. Se paraliza la producción
			3 Lectura incorrecta del manómetro 0-200 PSI	Valores erróneos.El equipo se detiene. Se paraliza la producción.Sobrecalentamiento. Sobrepresión.Explósión de la caldera
			4 Asiento de la válvula dañada. Elemento extraño en la válvula. Incrustaciones o sedimentos en la válvula. No abre a la presión de alivio de gases	Sobrepresión. Explósión de caldera.
			5 Avería de la cámara de gases.	Mayor consumo de combustible
			6 Indicación errónea del tubo de nivel, conducto tapado por sedimentos	Sobrecalentamiento. Fuga de agua y vapor. Desgaste del tubo.
			7 Avería del registro de mano	Valores erróneos.El equipo se detiene. Se paraliza la producción
			8 Falta de estanqueidad en la válvula alimentación de agua por fugas del fluido debido a desgaste de empaques	No existe suministro de agua.
			9 Falta de estanqueidad en la válvula salida de agua temperada.	No existe suministro de agua caliente.
			10 la válvula purga control de nivel no controla el encendido y apagado de las bombas de alimentación de agua cuando el nivel llega a una cota peligrosamente baja.	Aumento de la presión y temperatura en la caldera, peligro de explosión de la caldera
			11 No desaloja los sedimentos la válvula purga de fondo, obstrucción por sedimentos	Aumento de la presión y temperatura en la caldera
			12 Avería de la válvula check, alimentación de agua, no impide el retorno del agua.	Se para la producción de la caldera.
			13 Avería en la válvula control de nivel, no controla el encendido y apagado de las bombas de alimentación de agua cuando el nivel llega a una cota peligrosamente baja.	Aumento de la presión y temperatura en la caldera, peligro de explosión de la caldera
			14 Avería de la válvula de alivio, no evacuar la presión excesiva generada dentro de la caldera	Aumento de la presión y temperatura en la caldera, peligro de explosión de la caldera
			15 Avería del termostato, no regula la temperatura.	Aumento de la presión y temperatura en la caldera, peligro de explosión de la caldera
			16 Avería de la termocupla, no da la lectura de la temperatura.	Aumento de la presión y temperatura en la caldera, peligro de explosión de la caldera
			17 Avería del control auxiliar de nivel de agua	Aumento de la presión y temperatura en la caldera, peligro de explosión de la caldera
			18 Avería del control de nivel	Aumento de la presión y temperatura en la caldera, peligro de explosión de la caldera
			19 Tablero eléctrico	
			20 No existe salida de los gases de la combustión por la chimenea salida de gases de combustión.	Ahogamiento de la caldera por los gases de combustión que no son evacuados
			21 Excesiva pérdida de calor al exterior.	Pérdida de eficiencia del sistema de calefacción.
			22 Avería de los tubos de fuego, baja tasa de transferencia de calor.	Pérdida de eficiencia del sistema de calefacción.
			23 El quemador no enciende por avería del elemento.	No se produce la transferencia de calor. El sistema de calefacción paralizado.

*Elaboración propia.*

**Tabla 15:** Análisis de modos y efectos de falla sistema primario de bombas

SISTEMA : Sistema de Calefacción.						
SUB SISTEMA : Sistema primario de bombas. Bombas horizontales de carcasa dividida para climatización (HVAC) , 254 GPM, 3 HP.		AMEF				
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)	MODO DE FALLA (causa de la falla)	EFEECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)			
2	Alimentar agua de las tuberías de retorno a los calderos para climatización (HVAC) a 254 GPM.	A	Incapaz de alimentar agua de las tuberías de retorno a los calderos para climatización (HVAC) a 254 GPM.	1	Avería en el sello mecánico de carbono/ carburo de silicio, produce filtraciones.	Baja la eficiencia del sistema de calefacción, aumenta el consumo de combustible.
				2	Falla del Impulsor de fundición de bronce de precisión, por desgaste.	Baja la eficiencia del sistema de calefacción, <b>pérdida</b> de la función de la bomba.
				3	Falla de los rodamientos de bolas reengrasables, por desgaste.	Aumenta la vibración del equipo,
				4	Desgaste de las camisas de eje de bronce.	Aumenta la vibración del equipo,
				5	Falla del Eje.	Se paraliza la producción del sistema de calefacción.
				6	Falla del cuerpo.	Se paraliza la producción del sistema de calefacción.

*Elaboración propia.*

**Tabla 16:** Análisis de modos y efectos de falla sistema secundario de bombas

SISTEMA : Sistema de Calefacción.						
SUB SISTEMA : Sistema secundario de bombas. Bombas horizontales de carcasa dividida para climatización (HVAC), 127 GPM, 20 HP		AMEF				
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)	MODO DE FALLA (causa de la falla)	EFEECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)			
3	Alimentar las redes de agua caliente por todas las áreas del hospital. para climatización (HVAC) a 127 GPM.	A	Incapaz de alimentar las redes de agua caliente por todas las áreas del hospital. para climatización (HVAC) a 127 GPM.	1	Avería en el sello mecánico de carbono/ carburo de silicio, produce filtraciones.	Baja la eficiencia del sistema de calefacción, aumenta el consumo de combustible.
				2	Falla del Impulsor de fundición de bronce de precisión, por desgaste.	Baja la eficiencia del sistema de calefacción, <b>pérdida</b> de la función de la bomba.
				3	Falla de los rodamientos de bolas reengrasables, por desgaste.	Aumenta la vibración del equipo,
				4	Desgaste de las camisas de eje de bronce.	Aumenta la vibración del equipo,
				5	Falla del Eje.	Se paraliza la producción del sistema de calefacción.
				6	Falla del cuerpo.	Se paraliza la producción del sistema de calefacción.

*Elaboración propia.*

**Tabla 17:** Análisis de modos y efectos de falla tablero de control.

SISTEMA : Sistema de calefacción.				
SUB SISTEMA : Tablero de Control del sistema de calefacción. .380/220, 3F,N,T,60Hz Baja tebsión. 03 Calderas 02 Bombas Primarias. 03 Bombas Secundarias.		AMEF		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)	
4	A Energizar los elementos de mando y control del sistema de calefacción a la tensión y frecuencia 380/220, 3F,N,T,60Hz	A Incapaz de energizar los elementos de mando y control del sistema de calefacción a la tensión y frecuencia 380/220, 3F,N,T,60Hz ..	1 Falla de los variadores electrónicos.	Se varia el suministro adecuado realizado por las bombas, se paraliza la producción del sistema de calefacción.
			2 Avería del interruptor termomagnético trifásico 200 A, 380 V	Se interrumpe el suministro de energía, se paraliza la producción del sistema de calefacción.
			3 Avería del interruptor termomagnético trifásico 32 A, 380 V	Se interrumpe el suministro de energía, se paraliza la producción del sistema de calefacción.
			4 Avería del controlador lógico programable PLC.	Se pierden las funciones de control, se paraliza la producción del sistema de calefacción.
			5 Avería del interfaz humano máquina HMI.	Produce incertidumbre de funcionamiento del sistema de calefacción.
			6 Falla de los relés encapsulados 14 pines 220 V	Se interrumpe el suministro de energía, se paraliza la producción del sistema de calefacción.
			7 Avería del selector manual automático, de dos contactos.	Se interrumpe el suministro de energía, se paraliza la producción del sistema de calefacción.
			8 Avería del selector ON-OFF.	Se interrumpe el suministro de energía, se paraliza la producción del sistema de calefacción.
			9 Falla de las luces indicadoras rojo y verde.	Produce incertidumbre de funcionamiento del sistema de calefacción.
			10 Falla del transformador de tensión.	Se interrumpe el suministro de energía, se paraliza la producción del sistema de calefacción.
			11 Avería de las barras de cobre por sulfatación.	Se interrumpe el suministro de energía, se paraliza la producción del sistema de calefacción.

*Elaboración propia.*

**Tabla 18:** Análisis de modos y efectos de falla unidad de tratamiento de aire

SISTEMA : Sistema de calefacción.		AMEF				
SUB SISTEMA : Unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor).		AMEF				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (pérdida de la función)	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)		
5	Mantener una temperatura ideal en las diversas áreas del hospital.	A	Incapaz de mantener una temperatura ideal en las diversas áreas del hospital..	1	Falla del variador <b>electrónico</b>	No acciona el motor eléctrico, <b>pérdida</b> de la climatización en el <b>área</b> .
				2	Falla del termostato	<b>Pérdida</b> de la función de control del equipo, <b>pérdida</b> de la climatización en el <b>área</b> .
				3	<b>Avería</b> del relé de control	No acciona el variador <b>electrónico</b> , <b>pérdida</b> de la climatización en el <b>área</b> .
				4	Avería del transformador 220V 24V	No acciona el termostato, <b>pérdida</b> de la función de climatización en el <b>área</b> .
				5	<b>Avería</b> de la electro válvula	No ingresa agua al intercambiador de calor, <b>pérdida</b> de la función de climatización en el <b>área</b> .
				6	<b>Avería</b> de la válvula de regulación de caudal de agua	Reducción de caudal de agua en el intercambiador de calor, <b>disminución</b> de la función de climatización en el <b>área</b> .
				2	Falla del intercambiador de calor	No transfiere calor al sistema de calefacción, <b>pérdida</b> de la función de climatización.
					<b>Avería</b> de la caja de componentes eléctricos	Interrupción de la energía, <b>pérdida</b> de la función de climatización.
				3	Falla del ventilador	No hay flujo de aire en el sistema, <b>pérdida</b> de la función de climatización en el <b>área</b> .
				4	<b>Avería</b> del motor eléctrico	No hay flujo de aire en el sistema, <b>pérdida</b> de la función de climatización en el <b>área</b> .
				5	Falla de la faja de transmisión	No hay flujo de aire en el sistema, <b>pérdida</b> de la función de climatización en el <b>área</b> .
				6	Prefiltros y filtro de bolsa saturados	Reducción del flujo de aire en el sistema, <b>disminución</b> de la función de climatización en el <b>área</b> .
				7	filtro HEPA saturado	Reducción del flujo de aire en el sistema, <b>disminución</b> de la función de climatización en el <b>área</b> .
13	<b>Avería</b> del ducto de inyección y retorno de aire.	<b>Pérdida</b> de la función de climatización.				

*Elaboración propia.*

#### 4.2.2 Componentes críticos

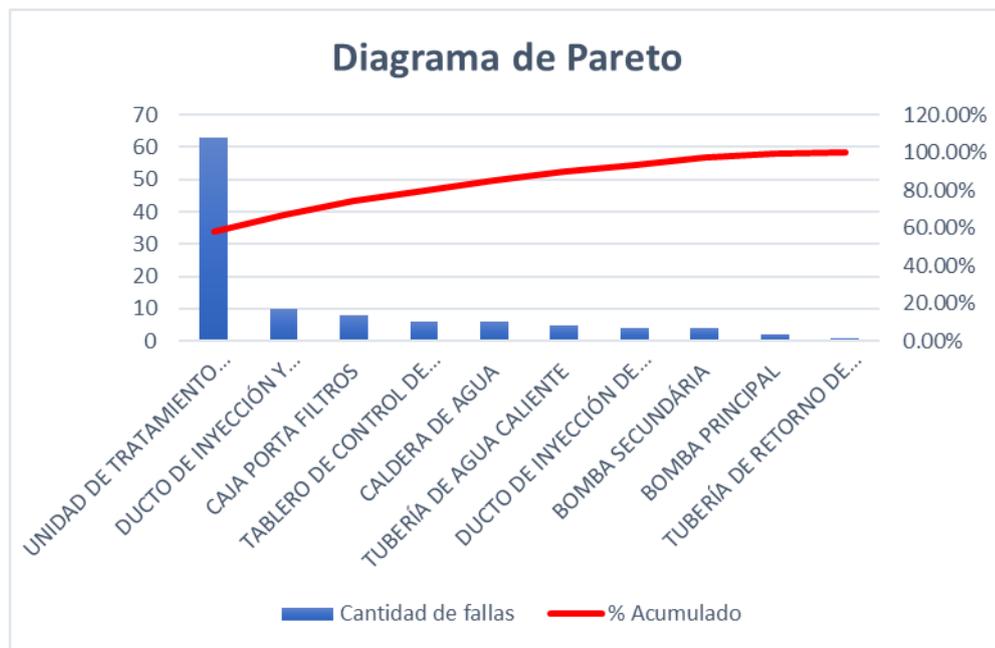
Mediante el registro de las fallas podemos realizar el análisis de criticidad para Sistema de calefacción del hospital San Martín de Porres de Macusani.

**Tabla 19:** Registro de fallas.

Equipo/sub sistema	Cantidad de fallas	Acumulado	% Acumulado
UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE	63	63	57.80%
DUCTO DE INYECCIÓN Y RETORNO DE AIRE	10	73	66.97%
CAJA PORTA FILTROS	8	81	74.31%
TABLERO DE CONTROL DE BOMBAS Y CALDEROS	6	87	79.82%
CALDERA DE AGUA	6	93	85.32%
TUBERÍA DE AGUA CALIENTE	5	98	89.91%
DUCTO DE INYECCIÓN DE AIRE	4	102	93.58%
BOMBA SECUNDÁRIA	4	106	97.25%
BOMBA PRINCIPAL	2	108	99.08%
TUBERÍA DE RETORNO DE AGUA CALIENTE	1	109	100.00%

*Elaboración propia.*

**Figura 20:** Diagrama de Pareto Cantidad de fallas.



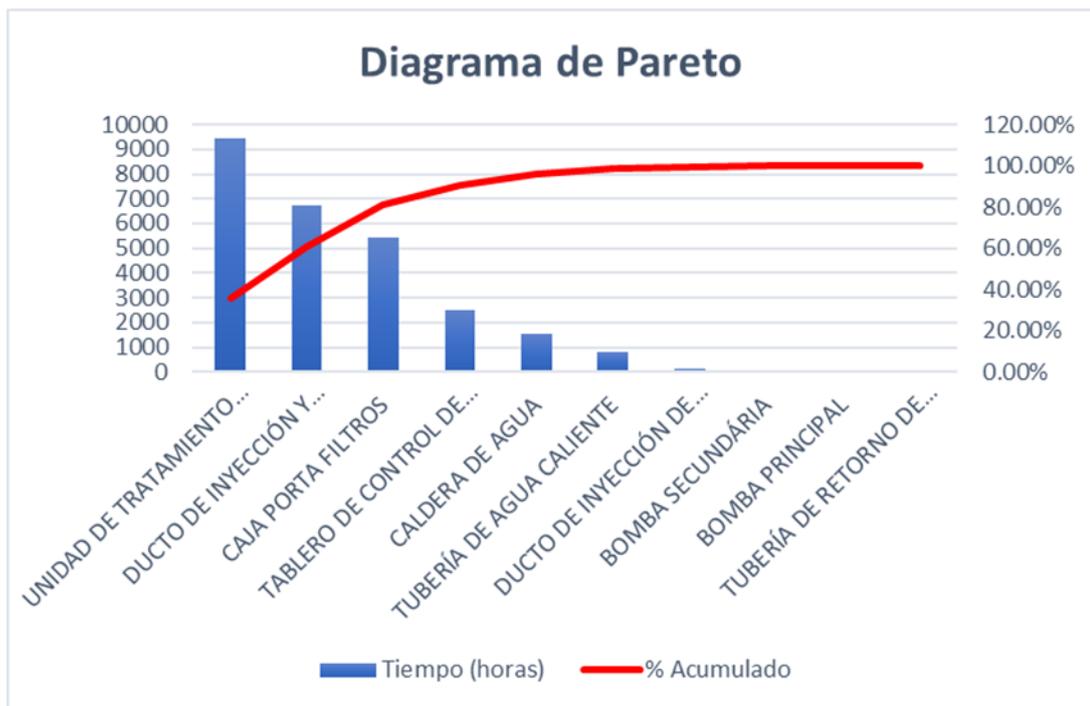
*Elaboración propia.*

**Tabla 20:** Registro de tiempo de duración de fallas.

Equipo/sub sistema	Tiempo (horas)	Acumulado	% Acumulado
UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE	9437	9437	35.43%
DUCTO DE INYECCIÓN Y RETORNO DE AIRE	6740	16177	60.74%
CAJA PORTA FILTROS	5420	21596	81.09%
TABLERO DE CONTROL DE BOMBAS Y CALDEROS	2471	24067	90.36%
CALDERA DE AGUA	1514	25582	96.05%
TUBERÍA DE AGUA CALIENTE	784	26365	98.99%
DUCTO DE INYECCIÓN DE AIRE	139	26504	99.51%
BOMBA SECUNDÁRIA	88	26592	99.84%
BOMBA PRINCIPAL	32	26625	99.97%
TUBERÍA DE RETORNO DE AGUA CALIENTE	9	26634	100.00%

*Elaboración propia.*

**Figura 21:** Diagrama de Pareto tiempo de duración de fallas.



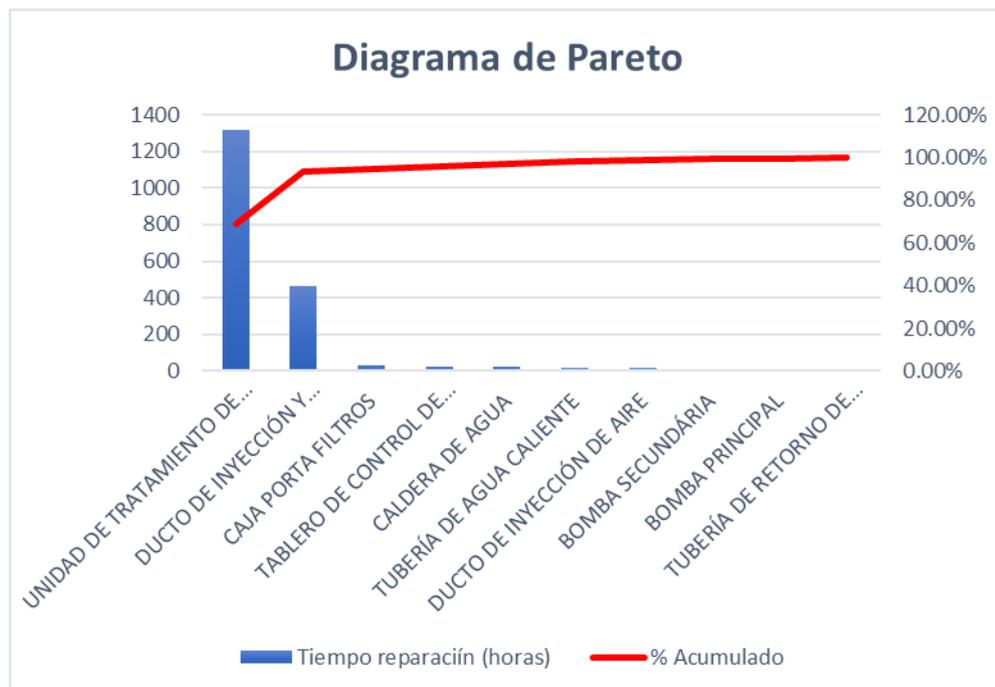
*Elaboración propia.*

**Tabla 21:** Registro de tiempo de reparación.

Equipo/sub sistema	Tiempo reparaciín (horas)	Acumulado	% Acumulado
UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE	1316	1316	68.79%
DUCTO DE INYECCIÓN Y RETORNO DE AIRE	465	1782	93.11%
CAJA PORTA FILTROS	27	1809	94.53%
TABLERO DE CONTROL DE BOMBAS Y CALDEROS	24	1833	95.78%
CALDERA DE AGUA	24	1857	97.03%
TUBERÍA DE AGUA CALIENTE	18	1874	97.96%
DUCTO DE INYECCIÓN DE AIRE	13	1887	98.64%
BOMBA SECUNDÁRIA	9	1896	99.11%
BOMBA PRINCIPAL	9	1905	99.58%
TUBERÍA DE RETORNO DE AGUA CALIENTE	8	1913	100.00%

*Elaboración propia.*

**Figura 22:** Diagrama de Pareto tiempo de reparación.



*Elaboración propia.*

La criticidad se calcula mediante: (Lazzaroni et al., 2013).

$$RPN = S * O * D \quad (19)$$

Donde:

- Gravedad (S): Es la severidad del fallo.

**Tabla 22:** Severidad (S)

Severidad (S)		
Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
> 8h	muy catastrófica	8
7h	Catastrófico	7
6h	Muy serio	6
5h	Grave	5
4h	Medio	4
3h	Significativo	3
2h	Menor	2
1h	muy menor	1
30 minutos	Pequeña	0.6
<30 min	Muy pequeña	0.2

*Fuente: (Yssaad et al., 2014)*

- Ocurrencia (O): es la probabilidad de la ocurrencia de un modo de fallo en un periodo de tiempo.

**Tabla 23:** Ocurrencia (O)

Ocurrencia (O)		
Posible tasa de ocurrencia	Criterio de Ocurrencia	Valor
Una vez cada 12 años	Falla cerca de cero o nulo	1
Una vez cada 10 años	Muy bajo, aislamiento de la falla, raramente	2
Una vez cada 8 años	Bajo, a menudo falla	3
Una vez cada 6 años		4
Una vez cada 4 años	Promedio, fallas ocasionales	5
Una vez cada 2 años		6
Una vez al año		7
Una vez cada 6 meses	Alta, falla frecuente	8
Una vez al mes		9
Una vez cada semana	Muy alto	10

*Fuente: (Yssaad et al., 2014)*

- Detección (D): es la estimación de la posibilidad de detectar el inicio de una avería (Lazzaroni et al., 2013).

**Tabla 24:** Detectabilidad (D)

Detección (D)		
Nivel de detección	Criterio de detección	Valor
No detectable	Imposible	10
Difíciles de detectar	Muy difícil	9
	Muy tarde	8
detectar al azar (Improbable)	No es seguro	7
	Ocasional	6
Posible detección	Bajo	5
	Tarde	4
Detección confiable	Fácil	3
	Inmediato	2
Detección permanente	Acción correctiva inmediata	1

*Fuente: (Yssaad et al., 2014)*

Para la clasificación de los subsistemas críticos se utilizará los valores de RPN.

**Tabla 25:** Probabilidad de riesgo (criticidad)

CRITICIDAD ( C )		PRIORIDAD DE RIESGO
NIVEL DE CRITICIDAD	VALOR	
MENOR	0-30	ACEPTABLE
MEDIO	31-60	TOLERABLE
ALTO	61-180	
MUY ALTO	181-252	INACEPTABLE
CRITICO	253-324	
MUY CRITICO	>324	

*Fuente: (Yssaad et al., 2012).*

De acuerdo al valor del RPN se realiza la acción de mantenimiento.

**Tabla 26:** Acción de mantenimiento

Propuesta de Mantenimiento		
Componente, sistema	RPN	Acción de mantenimiento
	0-30	Acción correctiva
	31-60	Mantenimiento preventivo sistemático
	61-180	
	181-252	Revisión del diseño completo (Rediseño)
	253-324	
	>324	

*Fuente: (Yssaad et al., 2012).*

Con los datos del registro de fallas de cada uno de los equipos se procede a realizar la evaluación de la criticidad correspondiente.

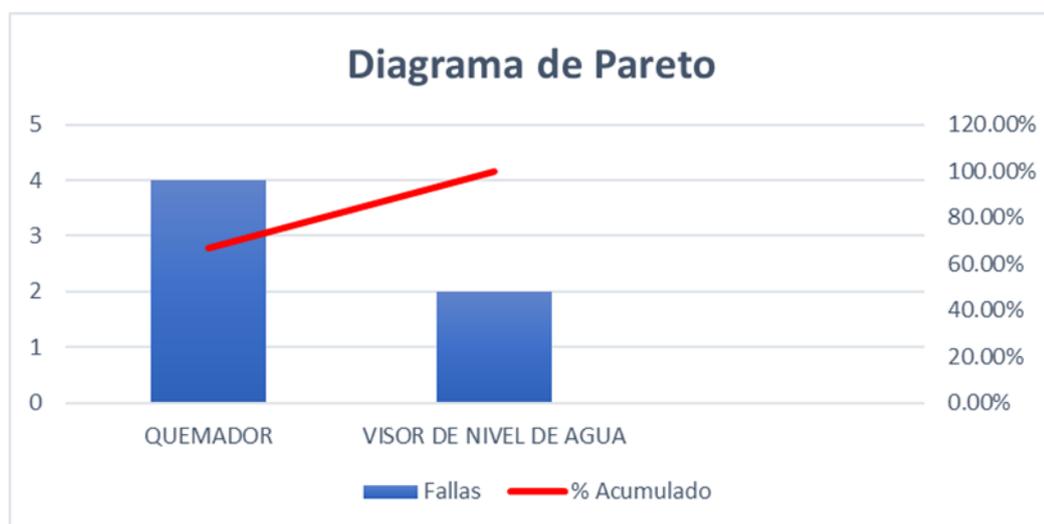
Para el caso de las calderas tenemos los siguientes datos.

**Tabla 27:** Registro de fallas caldera.

Equipo/sub sistema	Fallas	Acumulado	% Acumulado
QUEMADOR	4	4	66.67%
VISOR DE NIVEL DE AGUA	2	6	100.00%

*Elaboración propia*

Figura 23: Diagrama de Pareto fallas caldera



*Elaboración propia*

De acuerdo al método planteado tenemos el siguiente resultado el que se muestra en la tabla a continuación.

**Tabla 28:** Análisis de criticidad Caldera.

		Equipo	Ocurrencia (O)	Gravedad (S)	Detectabilidad (D)	RPN = S × O × D	Criticidad
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Caldera de agua caliente vertical CAY 40-23G 640 GPH 10-90 °C .	Termómetro de 0-150°C	2	3	4	24	Aceptable
		Termómetro de 0-500°C X1/2	2	3	4	24	Aceptable
		Manómetro 0-200 PSI	2	3	5	30	Aceptable
		Alivio de gases	2	6	5	60	tolerable
		Cámara de gases	2	4	7	56	tolerable
		Tubo de nivel	2	4	7	56	tolerable
		Registro de mano	2	2	4	16	Aceptable
		Válvula alimentación de agua	2	4	6	48	tolerable
		Válvula salida de agua temperada	2	6	3	36	tolerable
		Válvula purga control de nivel	2	6	3	36	tolerable
		Válvula purga de fondo	2	6	3	36	tolerable
		Válvula check, alimentación de agua	2	6	3	36	tolerable
		Válvula control de nivel	2	6	3	36	tolerable
		Válvula de alivio.	2	6	3	36	tolerable
		Termostato	2	6	3	36	tolerable
		Termocupla	2	2	3	12	Aceptable
		Control auxiliar de nivel de agua	2	6	3	36	tolerable
		Control de nivel	5	5	3	75	tolerable
		Tablero eléctrico	2	6	3	36	tolerable
		Chimenea salida de gases de combustión	2	6	3	36	tolerable
Aislamiento térmico	2	6	3	36	tolerable		
Tubos de fuego	2	6	3	36	tolerable		
Quemador	7	6	4	168	tolerable		

*Elaboración propia.*

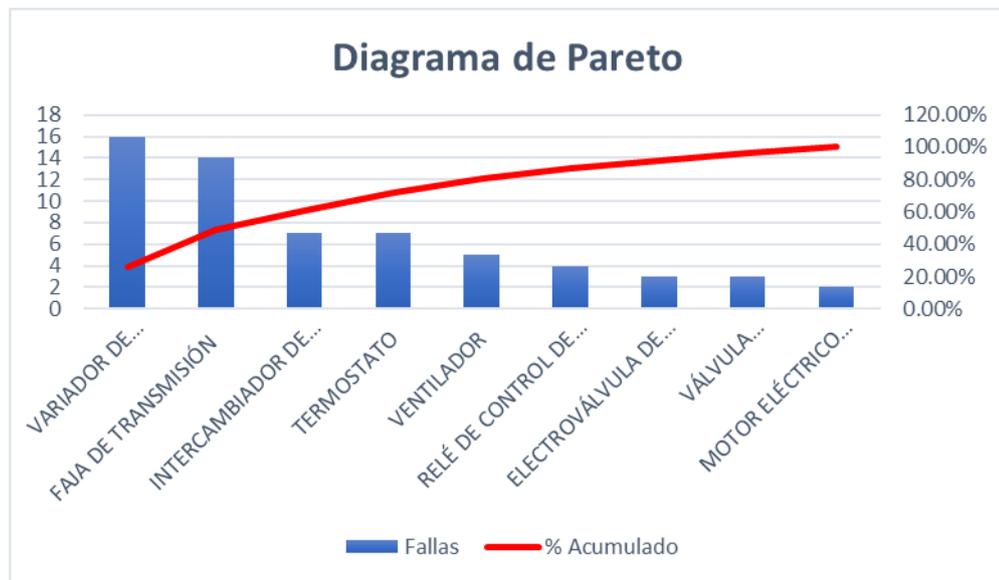
Siguiendo el método tenemos para el sistema de la unidad de tratamiento de aire, se realiza el análisis de criticidad:

**Tabla 29:** Registro de fallas del intercambiador de calor

Equipo/sub sistema	Fallas	Acumulado	% Acumulado
VARIADOR DE FRECUENCIA	16	16	26.23%
FAJA DE TRANSMISIÓN	14	30	49.18%
INTERCAMBIADOR DE CALOR	7	37	60.66%
TERMOSTATO	7	44	72.13%
VENTILADOR	5	49	80.33%
RELÉ DE CONTROL DE ENCENDIDO	4	53	86.89%
ELECTROVÁLVULA DE INGRESO DE AGUA CALIENTE	3	56	91.80%
VÁLVULA REGULADORA DE CAUDAL DE AGUA CALIENTE	3	59	96.72%
MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO	2	61	100.00%

*Elaboración propia.*

**Figura 24:** Diagrama de Pareto fallas intercambiador de calor



*Elaboración propia.*

Del registro de fallas realizamos el análisis de criticidad, que nos da como resultado lo registrado en la siguiente tabla:

**Tabla 30:** Análisis de criticidad del intercambiador de calor.

Equipo		Ocurrencia (O)	Gravedad (S)	Detectabilidad (D)	RPN = S × O × D	Criticidad	
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor).	Variador electrónico	8	3	2	48	Tolerable
		Termostato	7	3	3	63	Tolerable
		Relé de control	4	3	3	36	Tolerable
		Electro Válvula	3	5	2	30	Aceptable
		Válvula de regulación de caudal	3	5	4	60	Tolerable
		Intercambiador de calor	6	6	5	180	Tolerable
		Caja de componentes eléctricos, variador de frecuencia.	7	6	4	168	Tolerable
		Ventilador	6	4	5	120	Tolerable
		Motor eléctrico	8	6	2	96	Tolerable
		Faja de transmisión	7	7	2	98	Tolerable
		Pre filtros y filtro de bolsa	4	4	6	96	Tolerable
		Filtro HEPA	3	4	6	72	Tolerable
		Ducto de inyección y retomo de aire.	4	6	3	72	Tolerable

*Elaboración propia.*

Tenemos cuatro elementos críticos en el análisis de la unidad de tratamiento de aire.

Para el sistema primario de bombas. Bombas horizontales de carcasa dividida para climatización (HVAC) de 254 GPM, 3 HP tenemos lo siguiente:

**Tabla 31:** Registro de fallas bomba primaria.

Equipo/sub sistema, Bomba primaria	Fallas	Acumulado	% Acumulado
RODAMIENTOS	4	4	100.00%

*Elaboración propia.*

El resultado del análisis de criticidad para el sistema de bombas primarias se muestra en la tabla a continuación:

**Tabla 32:** Análisis de criticidad sistema primario de bombas.

Equipo		Ocurrencia (O)	Gravedad (S)	Detectabilidad (D)	RPN = S × O × D	Criticidad
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Sello mecánico de carbono/ carburo de silicio	2	6	4	48	Tolerable
	Impulsor de fundición de bronce de precisión	2	6	4	48	Tolerable
	rodamientos de bolas reengrasables	5	6	5	150	Tolerable
	Camisas de eje de bronce	2	4	5	40	Tolerable
	Eje	2	4	7	56	Tolerable
	Cuerpo	2	4	7	56	Tolerable

*Elaboración propia.*

Para el sistema secundario de bombas. Sistema secundario de bombas. Bombas horizontales de carcasa dividida para climatización (HVAC), 127 GPM, 20 HP tenemos lo siguiente:

**Tabla 33:** Registro de fallas bomba secundaria.

Equipo/sub sistema, Bomba secundaria	Fallas	Acumulado	% Acumulado
RODAMIENTOS	2	2	100.00%

*Elaboración propia.*

El resultado del análisis de criticidad para el sistema de bombas primarias se muestra en la tabla a continuación:

**Tabla 34:** Análisis de criticidad sistema secundario de bombas.

Equipo		Ocurrencia (O)	Gravedad (S)	Detectabilidad (D)	RPN = S × O × D	Criticidad
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Sello mecánico de carbono/ carburo de silicio	2	6	4	48	Tolerable
	Impulsor de fundición de bronce de precisión	2	6	4	48	Tolerable
	rodamientos de bolas reengrasables	3	8	5	120	Tolerable
	Camisas de eje de bronce	2	4	5	40	Tolerable
	Eje	2	4	7	56	Tolerable
	Cuerpo	2	4	7	56	Tolerable

*Elaboración propia.*

Para el sistema Tablero de Control del sistema de calefacción. .380/220, 3F, N, T,60Hz Baja tensión. 03 calderas 02 Bombas Primarias. 03 bombas Secundarias. Tenemos lo siguiente:

**Tabla 35:** Registro de fallas tablero de control y mando

Equipo/sub sistema, Tablero	Fallas	Acumulado	% Acumulado
RELÉ "R10"	1	1	100%
RELÉ "R11"	1	1	100%
TRANSFORMADOR 220-24V	1	1	100%
VARIADOR DE FRECUENCIA BS1	1	1	100%
VARIADOR DE FRECUENCIA BS2	1	1	100%
VARIADOR DE FRECUENCIA BS3	1	1	100%

*Elaboración propia.*

El resultado del análisis de criticidad para el sistema de tablero se muestra en la tabla a continuación:

**Tabla 36:** Análisis de criticidad tablero de control y mando.

		Equipo	Ocurrencia (O)	Gravedad (S)	Detectabilidad (D)	RPN = S × O × D	Criticidad
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Tablero de Control del sistema de calefacción. .380/220, 3F,N,T,60Hz Baja tensión. 03 Calderas 02 Bombas Primarias 03 Bombas Secundarias.	Variadores <b>electrónicos</b>	2	6	4	48	Tolerable
		Interruptor termomagnético trifásico 200 A, 380 V	2	6	4	48	Tolerable
		Interruptor termomagnético trifásico 32 A, 380 V	2	4	5	40	Tolerable
		Controlador lógico programable PLC	2	10	4	80	Tolerable
		Interfaz humano máquina HMI	2	7	2	28	Aceptable
		Relés encapsulados 14 pines 220 V	2	4	5	40	Tolerable
		Selector manual <b>automático</b> , de dos contactos.	2	4	7	56	Tolerable
		Selector ON-OFF.	2	4	7	56	Tolerable
		Luces indicadoras rojo y verde.	2	7	4	56	Tolerable
		Transformador de tensión.	2	7	6	84	Tolerable
Barras de cobre.	7	6	3	126	Tolerable		

*Elaboración propia.*

#### 4.2.3 Acciones de mantenimiento

Para las acciones de mantenimiento se procede con el método propuesto en función al valor del RPN y la criticidad de acuerdo a lo siguiente.

**Tabla 37:** Acción de mantenimiento

Propuesta de Mantenimiento		
Componente, sistema	RPN	Acción de mantenimiento
	0-30	Acción correctiva
	31-60	Mantenimiento preventivo programado
	61-180	
	181-252	Revisión del diseño completo (Rediseño)
	253-324	
	>324	

*Fuente: (Yssaad et al., 2012).*

De acuerdo al valor de criticidad del sistema de calderas tomamos las siguientes acciones de mantenimiento siguiendo el método propuesto.

**Tabla 38:** Acciones de mantenimiento sistema de calderas.

		Equipo	RPN = S × O × D	Criticidad	Acción de mantenimiento
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Caldera de agua caliente vertical CAV 40-23G 640 GPH 10-90 °C.	Termómetro de 0-150°C	24	Aceptable	Acciones de mantenimiento correctivo
		Termómetro de 0-500°C X1/2	24	Aceptable	
		Manómetro 0-200 PSI	30	Aceptable	
		Alivio de gases	60	tolerable	Acciones de mantenimiento preventivo programado
		Cámara de gases	56	tolerable	
		Tubo de nivel	56	tolerable	
		Registro de mano	16	Aceptable	Acciones de mantenimiento correctivo
		Válvula alimentación de agua	48	tolerable	Acciones de mantenimiento preventivo programado
		Válvula salida de agua temperada	36	tolerable	
		Válvula purga control de nivel	36	tolerable	
		Válvula purga de fondo	36	tolerable	
		Válvula check, alimentación de agua	36	tolerable	
		Válvula control de nivel	36	tolerable	
		Válvula de alivio.	36	tolerable	
		Termostato	36	tolerable	
		Termocupla	12	Aceptable	Acciones de mantenimiento correctivo
		Control auxiliar de nivel de agua	36	tolerable	Acciones de mantenimiento preventivo programado
		Control de nivel	75	tolerable	
		Tablero eléctrico	36	tolerable	
		Chimenea salida de gases de combustión	36	tolerable	
Aislamiento térmico	36	tolerable			
Tubos de fuego	36	tolerable	Acciones de rediseño, análisis causa raíz.		
Quemador	224	inaceptable			

*Elaboración propia.*

De acuerdo al valor de criticidad del sistema de unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor) tomamos las siguientes acciones de mantenimiento siguiendo el método propuesto.

**Tabla 39:** Acciones de mantenimiento de la unidad de tratamiento de aire.

		Equipo	RPN = S × O × D	Plan de mantenimiento adoptado : Medidas que deben adoptarse
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor).	Variador electrónico	48	Verificación periódica, en especial después de tormentas eléctricas.
		Termostato	63	Verificación periódica, en especial después de tormentas eléctricas.
		Relé de control	36	Acción correctiva.
		Electro Válvula	30	Acción correctiva.
		Válvula de regulación de caudal	60	Verificar periódicamente el caudal de agua caliente en el sistema.
		Intercambiador de calor	180	Verificar periódicamente el caudal de agua caliente en el sistema.
		Caja de componentes eléctricos, variador de frecuencia.	168	Verificar de forma visual y periódicamente
		Ventilador	120	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción correctiva: si la falla es menor.</li> <li>• Acción preventiva de mantenimiento sistemático</li> </ul>
		Motor eléctrico	96	Verificación periódica de parámetros de funcionamiento del motor:
		Faja de transmisión	98	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acción correctiva: si la falla es menor.</li> <li>• Acción preventiva de mantenimiento sistemático</li> </ul>
		Pre filtros y filtro de bolsa	96	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación periódica de filtros.</li> <li>• Cambio de filtros.</li> </ul>
		Filtro HEPA	72	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación periódica de filtro HEPA.</li> <li>• Cambio de filtros HEPA.</li> </ul>
		Ducto de inyección y retorno de aire.	72	Acción correctiva.

*Elaboración propia.*

De acuerdo al valor de criticidad del sistema de tablero de mando y control del sistema de calefacción tomamos las siguientes acciones de mantenimiento siguiendo el método propuesto.

**Tabla 40:** Acciones de mantenimiento sistema de tablero de control y mando.

		Equipo	RPN = S × O × D	Criticidad	Acción de mantenimiento
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Tablero de Control del sistema de calefacción. .380/220, 3F,N,T,60Hz Baja tensión. 03 Calderas 02 Bombas Primarias. 03 Bombas Secundarias.	Variadores electronicos	48	Tolerable	Acciones de mantenimiento preventivo programado
		Interruptor termomagnetico trifasico 200 A, 380 V	48	Tolerable	
		Interruptor termomagnetico trifasico 32 A, 380 V	40	Tolerable	
		Reles encapsulados 14 pines 220 V	40	Tolerable	
		Selector manual automatico, de dos contactos.	56	Tolerable	
		Selector ON-OF.	56	Tolerable	
		Luces indicadoras rojo y verde.	56	Tolerable	
		Transformador de tensión.	84	Tolerable	
		Barras de cobre.	126	Tolerable	

*Elaboración propia.*

De acuerdo al valor de criticidad del sistema de bombas primarias del sistema de calefacción tomamos las siguientes acciones de mantenimiento siguiendo el método propuesto.

**Tabla 41:** Acciones de mantenimiento sistema de bombas primarias.

		Equipo	RPN = S × O × D	Criticidad	Acción de mantenimiento
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Sistema primario de bombas. Bombas horizontales de carcasa dividida para climatización (HVAC) 254 GPM, 3 HP	Sello mecánico de carbono/ carburo de silicio	48	Tolerable	Acciones de mantenimiento preventivo programado
		Impulsor de fundición de bronce de precisión	48	Tolerable	
		rodamientos de bolas reengrasables	200	Inaceptable	Acciones de rediseño, analisis causa raíz.
		Camisas de eje de bronce	40	Tolerable	Acciones de mantenimiento preventivo programado
		Eje	56	Tolerable	
		Cuerpo	56	Tolerable	

*Elaboración propia.*

De acuerdo al valor de criticidad del sistema de bombas primarias del sistema de calefacción tomamos las siguientes acciones de mantenimiento siguiendo el método propuesto.

**Tabla 42:** Acciones de mantenimiento sistema de bombas secundarias.

Equipo		RPN = S × O × D	Criticidad	Acción de mantenimiento	
Sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani	Sistema primario de bombas. Bombas horizontales de carcasa dividida para climatización (HVAC) 254 GPM, 3 HP	Sello mecánico de carbono/carburo de silicio	48	Tolerable	Acciones de mantenimiento preventivo programado
		Impulsor de fundición de bronce de precisión	48	Tolerable	
		rodamientos de bolas reengrasables	200	Inaceptable	Acciones de rediseño, análisis causa raíz.
		Camisas de eje de bronce	40	Tolerable	Acciones de mantenimiento preventivo programado
		Eje	56	Tolerable	
		Cuerpo	56	Tolerable	

*Elaboración propia.*

#### 4.3 CONFIABILIDAD MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL.

El cálculo de la confiabilidad se estima para los elementos críticos analizados del sistema de calefacción del Hospital San Martín de porres de Macusani.

Tenemos para la unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor), con el propósito de realizar el análisis de confiabilidad aplicando los parámetros de la distribución de Weibull y siguiendo con el método establecido, procedemos en primer lugar con el análisis del registro de fallas de los elementos críticos del sistema de la unidad de tratamiento de aire para lo cual tenemos el registro de falla de la faja de transmisión. En la tabla tenemos el registro de las fallas de acuerdo a la fecha de los eventos para la faja de transmisión.

**Tabla 43:** Registro de fallas de faja de transmisión.

UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE (INTERCAMBIADOR DE CALOR)			
FAJA DE TRANSMISIÓN			
Ítem	Falla	Fecha de la falla	Tiempo hasta la falla
1	Faja de transmisión	2-feb.-20	1
2	Faja de transmisión	3-feb.-20	1
3	Faja de transmisión	4-feb.-20	1
4	Faja de transmisión	4-feb.-20	0
5	Faja de transmisión	11-feb.-20	7
6	Faja de transmisión	11-feb.-20	0
7	Faja de transmisión	15-feb.-20	4
8	Faja de transmisión	18-mar.-20	32
9	Faja de transmisión	15-abr.-20	28
10	Faja de transmisión	7-jul.-20	83
11	Faja de transmisión	5-feb.-21	213
12	Faja de transmisión	14-dic.-21	312
13	Faja de transmisión	29-abr.-22	136
14	Faja de transmisión	9-jun.-22	41

*Elaboración propia.*

Del registro de eventos de fallas podemos observar que hasta el ítem 7 son eventos aleatorios es decir podría ser eventos por mala operación, mal montaje u otro problema ajeno al desempeño propio del elemento por lo que se descartaran estos eventos, de acuerdo al procedimiento procedemos a ordenar estos datos de menor a mayor como se muestra a continuación.

**Tabla 44:** Registro de fallas de faja ordenado.

Fecha falla	t (días)	MENOR A MAYOR
18-Mar-20	32	28
15-Abr-20	28	32
7-Jul-20	83	41
5-Feb-21	213	83
14-Dic-21	312	136
29-Abr-22	136	213
9-Jun-22	41	312

*Elaboración propia.*

Calculamos la distribución acumulada de fallas mediante la aproximación de Bernard:

$$\text{Rango de la mediana} = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (20)$$

Donde:

n; es el número de elementos de la prueba.

i; el número en que falló.

**Tabla 45:** Rango promedio de fallas faja de transmisión.

DATO	Rang.Medio i	t (días)	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$
1	1.00	28.0139	8.33%
2	2.00	32.1667	20.24%
3	3.00	41.0139	32.14%
4	4.00	82.8611	44.05%
5	5.00	136.125	55.95%
6	6.00	213.146	67.86%
7	7.00	311.854	79.76%

*Elaboración propia.*

Para el trazado de la gráfica calculamos las abscisas “X” mediante la siguiente la siguiente formula:

$$x = \ln t \quad (21)$$

Y para las ordenadas “y” utilizamos la siguiente ecuación.

$$y = \ln\left(\frac{1}{\ln(1 - F(t))}\right) \quad (22)$$

Tenemos los siguientes resultados:

**Tabla 46:** Parámetros X, Y de la distribución Weibull

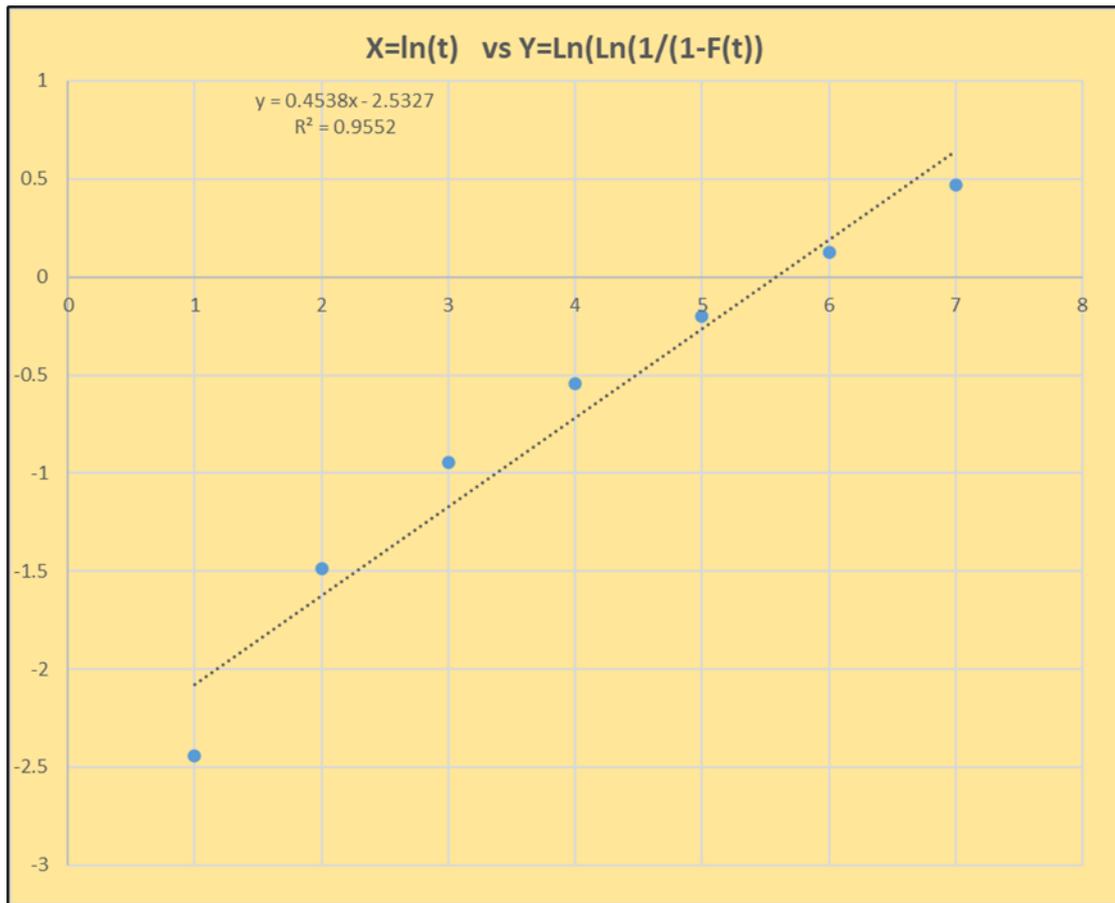
DATO	Rang.Medio i	t (dias)	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	$X = \ln t$	$Y = \ln\left(\ln \frac{1}{1 - \hat{F}(t)}\right)$
1	1.00	28.0139	8.33%	3.332700419	-2.441716399
2	2.00	32.1667	20.24%	3.47093072	-1.486670964
3	3.00	41.0139	32.14%	3.713910763	-0.947354424
4	4.00	82.8611	44.05%	4.417165846	-0.543574052
5	5.00	136.125	55.95%	4.913573581	-0.198574256
6	6.00	213.146	67.86%	5.361976595	0.12661497
7	7.00	311.854	79.76%	5.742535664	0.468504666

*Elaboración propia.*

Con los datos de x, y se procede a realizar la gráfica de Weibull que es de la forma siguiente, donde  $\beta$  es el parámetro de forma.

$$y = \beta x - \beta \ln \theta \quad (23)$$

**Figura 25:** Gráfica Weibull para la faja de transmisión.



*Elaboración propia.*

De la gráfica de Weibull obtenemos el parámetro  $\beta$ , que es la pendiente de la recta  $y = 0.4538x - 2.5327$ . Los valores de los parámetros son los siguientes:

**Figura 26:** Parámetros de Weibull para la faja de transmisión

$\beta$	0.986
$\Upsilon$	0
$\eta$	172

*Elaboración propia*

$\beta$  : es el parámetro de forma.

$\eta$  : es el parámetro de escala (vida característica).

$\Upsilon$  : Parámetro de localización

Como los datos se aproximan a una línea recta, entonces  $\gamma = 0$ .

Vida característica  $\eta$ ; nos da un tiempo estimado de 172 días.

El parámetro de forma  $\beta$  obtenido;  $0.986 < 1$  ; nos indica que las fallas son en la etapa de mortalidad infantil.

Con los parámetros característicos calculados podemos determinar la fiabilidad mediante la siguiente ecuación:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\theta}\right)^\beta} \quad (24)$$

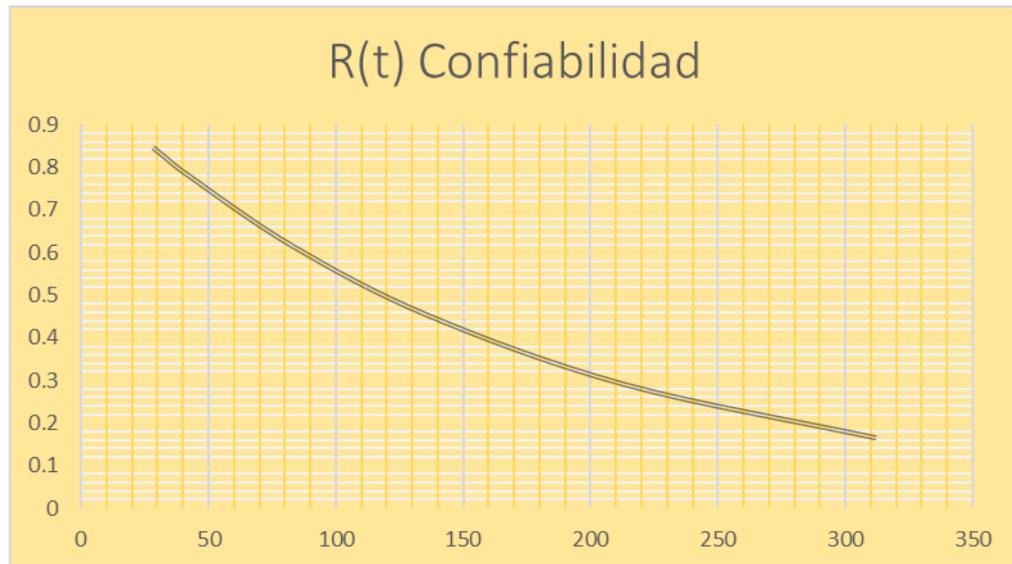
**Tabla 47:** Cálculo de la confiabilidad para la faja de transmisión.

DATO	TIPO FALLA	$t$ (días)	$\hat{F}(t) = \frac{i-0.3}{N+0.4}$	$X = \ln t$	$Y = \ln\left(\ln \frac{1}{1-\hat{F}(t)}\right)$	R(t)
1	1	28.0139	8.33%	3.332700419	-2.441716399	91.67%
2	2	32.1667	20.24%	3.47093072	-1.486670964	79.76%
3	3	41.0139	32.14%	3.713910763	-0.947354424	67.86%
4	4	82.8611	44.05%	4.417165846	-0.543574052	55.95%
5	5	136.125	55.95%	4.913573581	-0.198574256	44.05%
6	6	213.146	67.86%	5.361976595	0.12661497	32.14%
7	7	311.854	79.76%	5.742535664	0.468504666	20.24%

*Elaboración propia.*

Tenemos la gráfica de la confiabilidad para los parámetros de Weibull de la faja de transmisión.

**Figura 27:** Gráfica Confiabilidad faja de transmisión.



*Elaboración propia,*

Con los datos de los parámetros de la distribución de Weibull, y estimando un periodo de 60 días tenemos una fiabilidad del elemento del 70%, que es aceptable para este elemento; el mantenimiento preventivo para la faja se tendría que programar cada 60 días con una confiabilidad de 70%.

En la tabla tenemos el registro de las fallas de acuerdo a la fecha de los eventos para el termostato.

**Tabla 48:** Registro de fallas del termostato.

UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE (INTERCAMBIADOR DE CALOR)			
TERMOSTATO			
Ítem	Falla	Fecha de la falla	Tiempo hasta la falla
1	Variador de frecuencia	13-feb.-20	1
2	Variador de frecuencia	13-abr.-20	60
3	Variador de frecuencia	13-may.-20	30
4	Variador de frecuencia	25-jun.-20	43
5	Variador de frecuencia	25-jul.-20	30
6	Variador de frecuencia	17-nov.-21	480
7	Variador de frecuencia	17-may.-22	181

*Elaboración propia.*

Con el registro de eventos de fallas del termostato procedemos de idéntica manera que para el elemento anterior.

**Tabla 49:** Registro de fallas del termostato de menor a mayor.

Fecha falla	t (días)	MENOR A MAYOR
13-Feb-20	1	1
13-Abr-20	60	30
13-May-20	30	30
25-Jun-20	43	43
25-Jul-20	30	60
17-Nov-21	480	181
17-May-22	181	480

*Elaboración propia.*

Calculamos la distribución acumulada de fallas mediante la aproximación de Bernard.

**Tabla 50:** Rango promedio de fallas termostato.

DATO	Rang.Medio <i>i</i>	<i>t</i> (días)	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$
1	1.00	1	8.33%
2	2.00	32.1667	20.24%
3	3.00	41.0139	32.14%
4	4.00	82.8611	44.05%
5	5.00	136.125	55.95%
6	6.00	213.146	67.86%
7	7.00	311.854	79.76%

*Elaboración propia.*

Para el trazado de la gráfica calculamos las abscisas “x”, “y” mediante el procedimiento descrito.

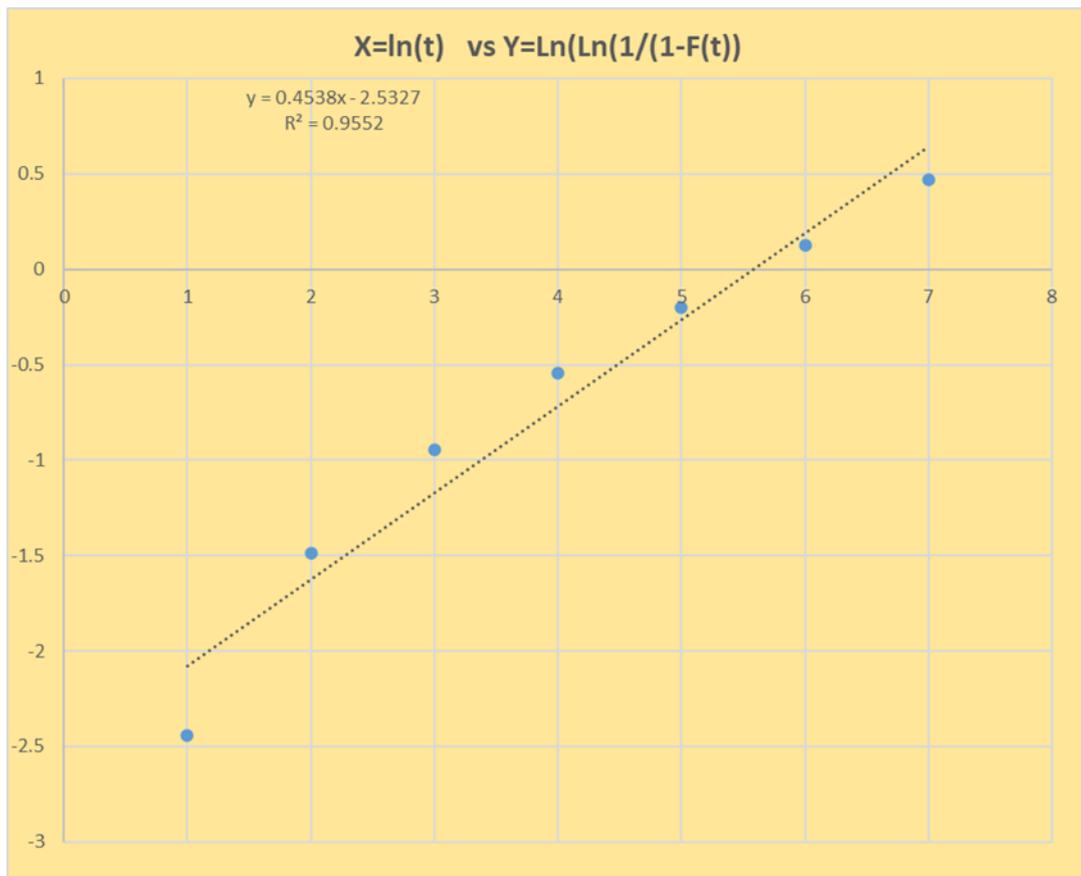
**Tabla 51:** Parámetros X, Y de la distribución Weibull, termostato.

DATO	Rang.Medio <i>i</i>	<i>t</i> (días)	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	$X = \ln t$	$Y = \ln\left(\ln \frac{1}{1 - \hat{F}(t)}\right)$
1	1.00	1	8.33%	0	-2.441716399
2	2.00	32.1667	20.24%	3.47093072	-1.486670964
3	3.00	41.0139	32.14%	3.713910763	-0.947354424
4	4.00	82.8611	44.05%	4.417165846	-0.543574052
5	5.00	136.125	55.95%	4.913573581	-0.198574256
6	6.00	213.146	67.86%	5.361976595	0.12661497
7	7.00	311.854	79.76%	5.742535664	0.468504666

*Elaboración propia.*

Con los datos de x, y se procede a realizar la gráfica de Weibull que es de la forma siguiente, donde  $\beta$  es el parámetro de forma.

**Figura 28:** Gráfica Weibull para el termostato.



*Elaboración propia.*

De la gráfica de Weibull obtenemos el parámetro  $\beta$ , que es la pendiente de la recta  $y = 0.4538x - 2.5327$ . Los valores de los parámetros son los siguientes:

**Figura 29:** Parámetros de Weibull para la faja de transmisión.

$\beta$	0.501
$\gamma$	0
$\eta$	217

*Elaboración propia.*

Como los datos se aproximan a una línea recta, entonces  $\gamma = 0$ .

Vida característica  $\eta$ ; nos da un tiempo estimado de 217 días.

El parámetro de forma  $\beta$  obtenido;  $0.501 < 1$ ; nos indica que las fallas son en la etapa de mortalidad infantil.

determinamos la fiabilidad para el termostato:

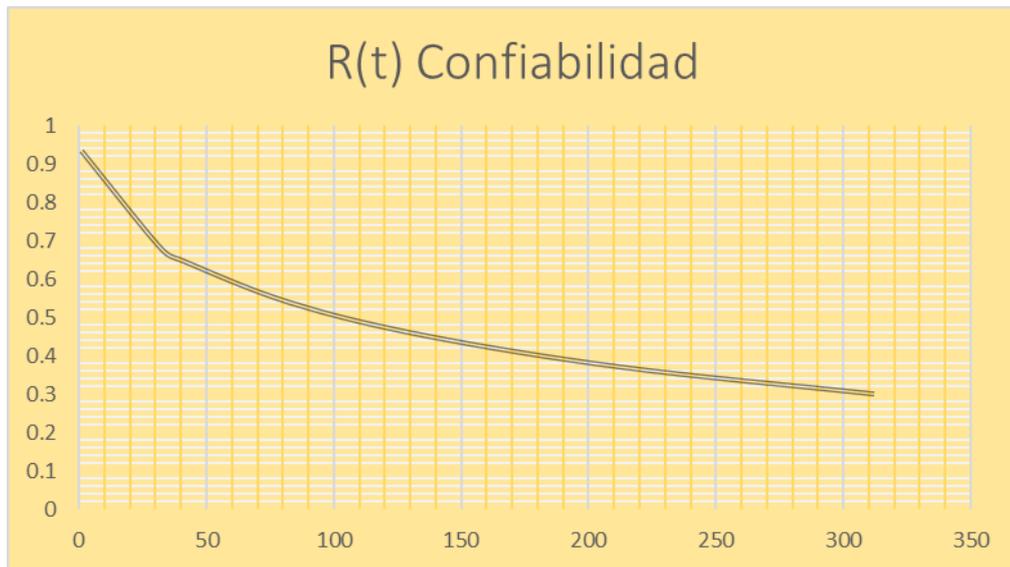
**Tabla 52:** Cálculo de la confiabilidad para el termostato.

DATO	Rang.Medio $i$	$t$ (días)	$\hat{F}(t) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4}$	$X = \ln t$	$Y = \ln\left(\ln \frac{1}{1 - \hat{F}(t)}\right)$	R(t)
1	1.00	1	8.33%	0	-2.441716399	91.67%
2	2.00	32.1667	20.24%	3.47093072	-1.486670964	79.76%
3	3.00	41.0139	32.14%	3.713910763	-0.947354424	67.86%
4	4.00	82.8611	44.05%	4.417165846	-0.543574052	55.95%
5	5.00	136.125	55.95%	4.913573581	-0.198574256	44.05%
6	6.00	213.146	67.86%	5.361976595	0.12661497	32.14%
7	7.00	311.854	79.76%	5.742535664	0.468504666	20.24%

*Elaboración propia.*

Tenemos la gráfica de la confiabilidad para los parámetros de Weibull del termostato de la unidad de tratamiento de aire.

**Figura 30:** Gráfica Confiabilidad termostato.



*Elaboración propia.*

Con los datos de los parámetros de la distribución de Weibull, y estimando un periodo de 30 días tenemos una fiabilidad del elemento del 70%, que es aceptable para este elemento; el mantenimiento preventivo para el termostato se tendría que programar cada 30 días con una confiabilidad de 70%.



## V. CONCLUSIONES

- Se ha realizado el diagnóstico de operación del sistema de calefacción del sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno, de acuerdo al diagnóstico se pudo identificar los principales sistemas como son: caldera, sistema primario de bombas, sistemas secundarios de bombas, tablero de Control del sistema de calefacción, unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor), ducto de inyección y retorno de aire y tubería de agua caliente. que se encuentra plenamente operativos.
- Se realizó el análisis de criticidad del sistema de calefacción del sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno, como resultados tenemos dos elementos críticos que son la faja de transmisión y el termostato de la unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor), del que de acuerdo al método planteado se recomienda acciones de rediseño o análisis causa raíz para ambos elementos.
- Para los elementos críticos se aplicó el análisis de Weibull, se ha propuesto de acuerdo a los parámetros característicos de esta metodología los intervalos de mantenimiento preventivo tanto para la faja de transmisión y el termostato de la unidad de tratamiento de aire (intercambiador de calor) del sistema de calefacción.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda al personal de mantenimiento del hospital se implemente las acciones de mantenimiento propuestas en la presente investigación, así como acciones de rediseño y los análisis de causa raíz, para los elementos críticos de la del sistema de calefacción del Hospital San Martín de Porres de Macusani, Carabaya Puno.
- Se recomienda a los egresados de la EPIME, continuar con la línea de investigación referente a las estrategias de mantenimiento adicionando la evaluación de los costos que implica las acciones del mantenimiento preventivo.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afzali, P., Keynia, F., & Rashidinejad, M. (2019). A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders. *Energy*, *171*, 701–709. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.040>
- Agarwal, S., & Suhane, A. (2017). Study of Boiler Maintenance for Enhanced Reliability of System A Review. *Materials Today: Proceedings*, *4*(2), 1542–1549. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.177>
- Arjunwadkar, A., Basu, P., & Acharya, B. (2016). A review of some operation and maintenance issues of CFBC boilers. *Applied Thermal Engineering*, *102*, 672–694. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.04.008>
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering* (Springer Dordrecht Heidelberg London New York (ed.); 1°). [www.springer.com](http://www.springer.com)
- Biolini, A. (2017). Reliability Engineering. In Springer (Ed.), *Reliability Engineering* (8th Editio, Vol. 34, Issue 4). Springer Nature. <https://doi.org/10.1109/MS.2017.89>
- Dhillon, B. S. (2006). Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. In *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers* (1°). CRC Press Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420006780>
- Garrido, S. G. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento* (2003 Reservados Santiago García Garrido (ed.); Ediciones). <http://www.diazdesantos.es/ediciones>
- Gulati, R. (2009). Maintenance and Best Practices Reliability. In I. Industrial Press (Ed.), *Reliability* (1°). Industrial Press, Inc.
- Gutiérrez, A. M. (2005). *Mantenimiento estratégico para empresas de servicios y/o industriales: Vol. I* (1°). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gutiérrez, A. M. (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (COLDI (ed.); Segunda ed). Fuentes Litográficas Limitada.



- Klasfikasi, B. (2012). *GUIDANCE FOR SURVEY BASED ON RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE* (BKI (ed.); 1°).
- Kundu, P., Darpe, A. K., & Kulkarni, M. S. (2019). Weibull accelerated failure time regression model for remaining useful life prediction of bearing working under multiple operating conditions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 134, 106302. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106302>
- Lazzaroni, M., Cristaldi, L., Peretto, L., Rinaldi, P., & Catelani, M. (2013). Reliability Engineering Basic Concepts and Applications in ICT. In *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers* (1°, Vol. 53, Issue 9). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mobley, R. K. (1999). Root Cause Failure Analysis. In Butterworth-Heinemann (Ed.), *Plant engineering maintenance series* (2°). British Library. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809272-9.00035-9>
- Mobley, R. K., & Wikoff, D. J. (2008). *Maintenance Engineering Handbook 7th Edition* (M.-H. Companies (ed.); Seventh Ed). Mc Graw Hill.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.: Vol. I* (I. P. Inc. (ed.); Segunda Ed). Industrial Press Inc.
- Osarenren, J. (2015). *Integrated reliability Condition Monitoring and Maintenance of equipment* (F. 33487-2742 CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton & © (eds.); 1°). CRC Press. <http://www.taylorandfrancis.com>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. del P. B. (2010). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (S. A. D. C. . McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES (ed.); Quinta edi). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Shayesteh, E., Yu, J., & Hilber, P. (2018). Maintenance optimization of power systems with renewable energy sources integrated. *Energy*, 149, 577–586. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.066>
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). The “R” in RCM—Pertinent Reliability



- Theory and Application. *Rcm*, 39–56. <https://doi.org/10.1016/b978-075067461-4/50006-x>
- Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2012). *Maintenance Optimization for Equipment of Power Distribution System Based on FMECA Method*. 6.
- Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2014). Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 55, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.08.025>
- Afzali, P., Keynia, F., & Rashidinejad, M. (2019). A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders. *Energy*, 171, 701–709. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.040>
- Agarwal, S., & Suhane, A. (2017). Study of Boiler Maintenance for Enhanced Reliability of System A Review. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 1542–1549. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.177>
- Arjunwadkar, A., Basu, P., & Acharya, B. (2016). A review of some operation and maintenance issues of CFBC boilers. *Applied Thermal Engineering*, 102, 672–694. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.04.008>
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering* (Springer Dordrecht Heidelberg London New York (ed.); 1°). [www.springer.com](http://www.springer.com)
- Birolini, A. (2017). Reliability Engineering. In Springer (Ed.), *Reliability Engineering* (8th Editio, Vol. 34, Issue 4). Springer Nature. <https://doi.org/10.1109/MS.2017.89>
- Dhillon, B. S. (2006). Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. In *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers* (1°). CRC Press Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420006780>
- Garrido, S. G. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento* (2003 Reservados Santiago García Garrido (ed.); Ediciones). <http://www.diazdesantos.es/ediciones>



- Gulati, R. (2009). Maintenance and Best Practices Reliability. In I. Industrial Press (Ed.), *Reliability* (1°). Industrial Press, Inc.
- Gutiérrez, A. M. (2005). *Mantenimiento estratégico para empresas de servicios y/o industriales: Vol. I* (1°). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gutiérrez, A. M. (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (COLDI (ed.); Segunda ed). Fuentes Litográficas Limitada.
- Klasfikasi, B. (2012). *GUIDANCE FOR SURVEY BASED ON RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE* (BKI (ed.); 1°).
- Kundu, P., Darpe, A. K., & Kulkarni, M. S. (2019). Weibull accelerated failure time regression model for remaining useful life prediction of bearing working under multiple operating conditions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 134, 106302. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106302>
- Lazzaroni, M., Cristaldi, L., Peretto, L., Rinaldi, P., & Catelani, M. (2013). Reliability Engineering Basic Concepts and Applications in ICT. In *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers* (1°, Vol. 53, Issue 9). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mobley, R. K. (1999). Root Cause Failure Analysis. In Butterworth-Heinemann (Ed.), *Plant engineering maintenance series* (2°). British Library. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809272-9.00035-9>
- Mobley, R. K., & Wikoff, D. J. (2008). *Maintenance Engineering Handbook 7th Edition* (M.-H. Companies (ed.); Seventh Ed). Mc Graw Hill.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.: Vol. I* (I. P. Inc. (ed.); Segunda Ed). Industrial Press Inc.
- Osarenren, J. (2015). *Integrated reliability Condition Monitoring and Maintenance of equipment* (F. 33487-2742 CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton & © (eds.); 1°). CRC Press. <http://www.taylorandfrancis.com>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. del P. B. (2010). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (S. A. D. C. . McGRAW-HILL / INTERAMERICANA



EDITORES (ed.); Quinta edi). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Shayesteh, E., Yu, J., & Hilber, P. (2018). Maintenance optimization of power systems with renewable energy sources integrated. *Energy*, 149, 577–586. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.066>

Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). The “R” in RCM—Pertinent Reliability Theory and Application. *Rcm*, 39–56. <https://doi.org/10.1016/b978-075067461-4/50006-x>

Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2012). *Maintenance Optimization for Equipment of Power Distribution System Based on FMECA Method*. 6.

Yssaad, B., Khiat, M., & Chaker, A. (2014). Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 55, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.08.025>

## ANEXOS

**Figura 31:** Sistema de calefacción sector D HSMP.



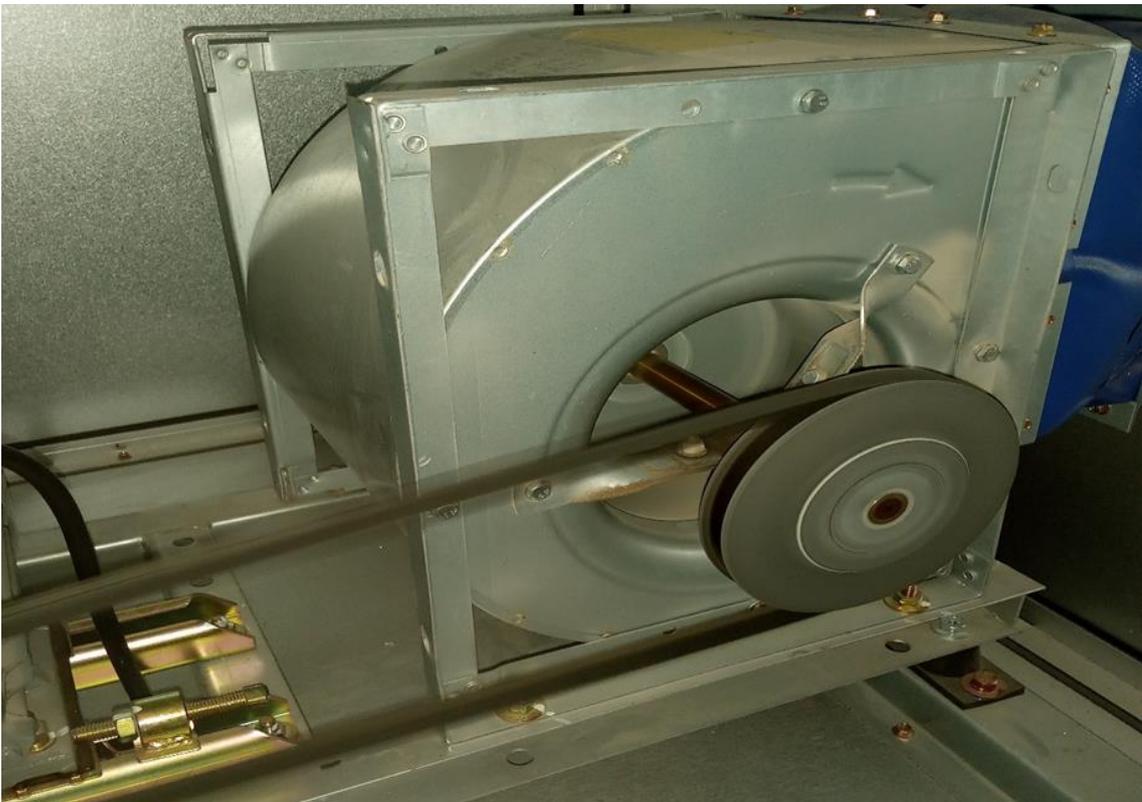
*Fuente: HSMP.*

**Figura 32:** Unidad de tratamiento de aire.



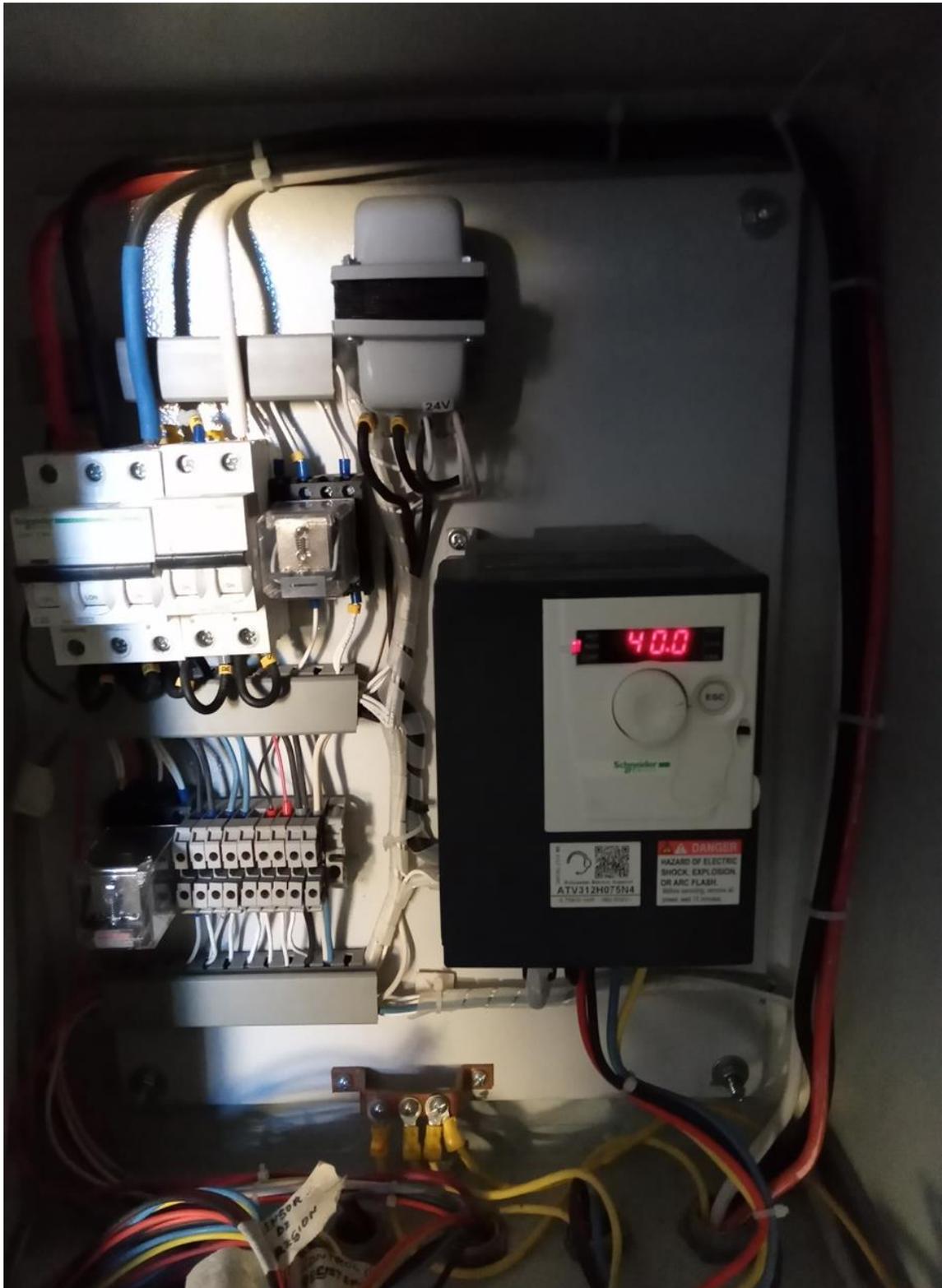
*Fuente: HSMP*

**Figura 33:** Ventilador de la unidad de tratamiento de aire.



*Fuente: HSMP*

**Figura 34:** Tablero de control de la unidad de tratamiento de aire.



*Fuente: HSMP.*

**Figura 35:** Termostatos de las unidades de tratamiento de aire.



*Fuente: HSMP*

**Figura 36:** Calderas del sistema de calefacción del HSMP.



*Fuente: HSMP.*

**Figura 37:** Tuberías de suministro y retorno de agua caliente.



*Fuente HSMP.*

**Figura 38:** Bombas primarias (alimentación de calderos).



*Fuente: HSMP.*

**Figura 39:** Bombas secundarias (suministro de agua caliente).



*Fuente: HSMP.*

**Figura 40:** Tablero de control del sistema de calefacción.



*Fuente: HSMP.*



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo ANDRE ORLANDO CCOPA TUNI  
identificado con DNI 45559153 en mi condición de egresado de:

**Escuela Profesional**,  **Programa de Segunda Especialidad**,  **Programa de Maestría o Doctorado**  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA  
CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL HOSPITAL SAN MARTÍN  
DE PORRES MACUSANI, CARABAYA PUNO"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de abril del 2023

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA (obligatoria)



Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo ANDRE ORLANDO CCOPA TUNI  
identificado con DNI 45559153 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL HOSPITAL SAN MARTÍN DE PORRES MACUSANI, CARABAYA PUNO"

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de abril del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella