

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y**  
**DE ENERGÍA**



**“GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN LA ISO 17359**  
**Y SU EFECTO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE AIRE**  
**ACONDICIONADO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DEL CALLAO,**  
**PERIODO 2023”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN**  
**GERENCIA DEL MANTENIMIENTO**

**AUTOR:**

**JHONNY LEONIDAS MORALES RIVERA**

**ASESOR:**

**Dr. MARTÍN ALBINO SOLIS TIPIAN**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN: Ingeniería y Tecnología**

**Callao, 2023**

**PERÚ**

## Document Information

---

Analyzed document	9. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION JHONNY MORALES R (2).pdf (D174124402)
Submitted	2023-09-18 21:38:00
Submitted by	UNIDAD DE POSGRADO FIME 2023
Submitter email	fime.posgrado@unac.edu.pe
Similarity	5%
Analysis address	fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

---

<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 14. Tesis. YANAC DURAND.pdf</b> Document 14. Tesis. YANAC DURAND.pdf (D142845032) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com	 2
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / INFORME FINAL DE TESIS - ARATA PANDURO y DE LA CRUZ TORNERO.docx</b> Document INFORME FINAL DE TESIS - ARATA PANDURO y DE LA CRUZ TORNERO.docx (D112391369) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com	 3
<b>SA</b>	<b>EF_Yanac.docx</b> Document EF_Yanac.docx (D110361372)	 1
<b>SA</b>	<b>T2_TALLERTESIS2_PACHASGAMONALJHOAN.docx</b> Document T2_TALLERTESIS2_PACHASGAMONALJHOAN.docx (D137678071)	 6

## Entire Document

---

MARTIN ALBINO SOLIS TIPIAN DNI N ° 07423431 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO ESCUELA DE POSGRADO UNIDAD DE POSGRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA "GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN LA NORMA ISO 17359 Y SU EFECTO EN LA EFICIENCIA ENERGETICA DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DEL CALLAO, PERIODO 2023" TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN GERENCIA DEL MANTENIMIENTO AUTOR: Bach. JHONNY LEONIDAS MORALES RIVERA ASESOR: Dr. MARTÍN ALBINO SOLIS TIPIAN LINEA DE INVESTIGACIÓN: Ingeniería y Tecnología Callao, 2023 PERÚ  
Jhonny Morales R. DNI: 44133159

## INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, Unidad de Posgrado de Ingeniería Mecánica y de Energía

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: Unidad de investigación de la Escuela de Posgrado de Ingeniería Mecánica y de Energía

TÍTULO: "GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA ISO 17359 Y SU EFECTO EN LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DEL CALLAO, PERIODO 2023"

AUTOR: Ing. Jhonny Leonidas Morales Rivera  
Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5291-8601>  
DNI: 44133150

ASESOR: Dr. Martin Albino Solis Tipian  
Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7549-9721>  
DNI: 07423431

LUGAR DE EJECUCIÓN: Callao, Perú.

UNIDAD DE ANÁLISIS: Ingeniería y Tecnología.

TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

Tipo de Investigación: Aplicada

Enfoque: Cuantitativo

Diseño de Investigación: Pre - experimental.

TEMA OCDE: 2.03.01 -- Ingeniería Mecánica

## HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

DR. PABLO GODOFREDO ARELLANO UBILLUZ	: PRESIDENTE
MG. JUAN ADOLFO BRAVO FELIX SECRETARIO	: SECRETARIO
MG. JUAN GUILLERMO MANCCO PÉREZ	: VOCAL
MG. YOLANDA ROSA ÁVALOS SIGÜENZA	: VOCAL

ASESOR: DR. MARTIN ALBINO SOLIS TIPIAN

ACTA: 018-UPG-2023

LIBRO:001

FOLIO:100-101

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 29 DE OCTUBRE DE 2023

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme las fuerzas y el conocimiento necesario para culminar la maestría. A mi esposa y mi hijo Jafet que me motivan a seguir adelante y las palabras de sabiduría y amor de mi madre

## **AGRADECIMIENTO**

A los profesores de la Universidad del Callao por sus conocimientos, experiencias y recomendaciones brindados durante la maestría.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	6
RESUMEN.....	7
RESUMO.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
1.1. <i>Descripción de la realidad problemática.....</i>	<i>10</i>
1.2. <i>Formulación del problema.....</i>	<i>12</i>
1.3. <i>Objetivos.....</i>	<i>13</i>
1.4. <i>Justificación.....</i>	<i>13</i>
1.5. <i>Delimitantes de la investigación.....</i>	<i>15</i>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1. <i>Antecedentes.....</i>	<i>16</i>
2.2. <i>Bases teóricas.....</i>	<i>22</i>
2.3. <i>Marco conceptual.....</i>	<i>26</i>
2.4. <i>Definición de términos básicos.....</i>	<i>29</i>
<b>III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>31</b>
3.1. <i>Hipótesis.....</i>	<i>31</i>
3.2. <i>Operacionalización de las variables.....</i>	<i>31</i>
3.2.1. <i>Operacionalización de la variable independiente.....</i>	<i>31</i>
3.2.2. <i>Operacionalización de la variable dependiente.....</i>	<i>31</i>
3.2.3. <i>Operacionalización de variable.....</i>	<i>32</i>

<b>IV.</b>	<b>METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....</b>	<b>34</b>
4.1.	<i>Diseño metodológico .....</i>	<i>34</i>
4.2.	<i>Método de investigación.....</i>	<i>35</i>
4.3.	<i>Población y muestra .....</i>	<i>35</i>
4.4.	<i>Lugar de estudio y periodo desarrollado.....</i>	<i>35</i>
4.5.	<i>Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....</i>	<i>36</i>
4.6.	<i>Análisis y procesamiento de datos .....</i>	<i>37</i>
4.7.	<i>Aspectos éticos en investigación.....</i>	<i>37</i>
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
5.1.	<i>Resultados descriptivos .....</i>	<i>64</i>
5.2.	<i>Resultados inferenciales.....</i>	<i>71</i>
5.3.	<i>Otro tipo de resultados estadísticos .....</i>	<i>76</i>
<b>VI.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>78</b>
6.1.	<i>Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados. ....</i>	<i>78</i>
6.2.	<i>Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....</i>	<i>78</i>
6.3.	<i>Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....</i>	<i>79</i>
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>VIII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>IX.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>	
	<i>Anexo B: Tiempo medio entre fallos de las partes críticas.....</i>	<i>87</i>
	<i>Anexo C: Datos de eficiencia energética.....</i>	<i>88</i>
	<i>Anexo D: Datos de eficiencia operacional.....</i>	<i>89</i>
	<i>Anexo E: Datos de consumo de energía.....</i>	<i>90</i>



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: NIVELES DEL MANTENIMIENTO 4.0.....	26
TABLA 2: RANGOS DE CLASIFICACIÓN OEE.....	29
TABLA 3: EFICIENCIA OPERATIVA DE LOS EQUIPOS AC.....	39
TABLA 4: CONSUMO DE ENERGÉTICA DE LOS EQUIPOS AC.....	40
TABLA 5: FLUJO DE CAJA - 5 AÑOS.....	41
TABLA 6: CUADRO DE CRITICIDAD - EQUIPOS ROOF TOP.....	42
TABLA 7: DATOS TÉCNICOS TE-RTU-02.....	43
TABLA 8: DATOS TÉCNICOS TE-RTU-05.....	43
TABLA 9: DATOS TÉCNICOS TE-RTU-08.....	44
TABLA 10: DATOS TÉCNICOS CO-RTU-12.....	44
TABLA 11: DATOS TÉCNICOS PP-RTU-01.....	44
TABLA 12: DATOS TÉCNICOS PP-RTU-02.....	45
TABLA 13: CRITICIDAD DEL PP-RTU-01.....	49
TABLA 14: CRITICIDAD DEL TE-RTU-02.....	49
TABLA 15: CRITICIDAD DEL TE-RTU-05.....	49
TABLA 16: CRITICIDAD DEL TE-RTU-08.....	49
TABLA 17: CRITICIDAD DEL CO-RTU-12.....	50
TABLA 18: CRITICIDAD DEL PP-RTU-02.....	50
TABLA 19: ANÁLISIS DEL COMPRESOR.....	50
TABLA 20: ANÁLISIS DEL SERPENTÍN DEL CONDENSADOR.....	51
TABLA 21: ANÁLISIS DEL SERPENTÍN DEL EVAPORADOR.....	51
TABLA 22: ANÁLISIS DEL VENTILADOR DEL CONDENSADOR.....	51
TABLA 23: ANÁLISIS DEL INYECTOR.....	52
TABLA 24: ANÁLISIS DEL TERMOSTATO.....	52
TABLA 25: CUADRO RESUMEN DE ANÁLISIS DE FMECA.....	52
TABLA 26: MODOS DE FALOS MEDIBLES Y NO MEDIBLES.....	53
TABLA 27: CUADRO RESUMEN - MEDIBLE, NO MEDIBLE.....	54
TABLA 28: ESTADO DE LA INSPECCIÓN DEL COMPRESOR.....	55
TABLA 29: ESTADO DE LA INSPECCIÓN DEL SERPENTÍN DEL CONDENSADOR.....	55
TABLA 30: ESTADO DE LA INSPECCIÓN DEL SERPENTÍN DEL EVAPORADOR.....	55
TABLA 31: ESTADO DE LA INSPECCIÓN DEL VENTILADOR DEL CONDENSADOR.....	56
TABLA 32: ESTADO DE LA INSPECCIÓN DEL INYECTOR.....	56
TABLA 33: ESTADO DE LA INSPECCIÓN DEL TERMOSTATO.....	56

<b>TABLA 34: FRECUENCIA DE INSPECCIÓN DEL COMPRESOR.....</b>	<b>61</b>
<b>TABLA 35: FRECUENCIA DE INSPECCIÓN DEL SERPENTÍN DEL CONDENSADOR .....</b>	<b>62</b>
<b>TABLA 36: FRECUENCIA DE INSPECCIÓN DEL SERPENTÍN DEL EVAPORADOR.....</b>	<b>62</b>
<b>TABLA 37: FRECUENCIA DE INSPECCIÓN DEL VENTILADOR DEL CONDENSADOR .....</b>	<b>62</b>
<b>TABLA 38: FRECUENCIA DE INSPECCIÓN DEL INYECTOR.....</b>	<b>63</b>
<b>TABLA 39: FRECUENCIA DE INSPECCIÓN DEL TERMOSTATO .....</b>	<b>63</b>
<b>TABLA 40: ESTADÍSTICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ANTES - DESPUÉS .....</b>	<b>65</b>
<b>TABLA 41: FRECUENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ANTES.....</b>	<b>66</b>
<b>TABLA 42:FRECUENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DESPUÉS.....</b>	<b>66</b>
<b>TABLA 43: ESTADÍSTICA DE EFICIENCIA OPERACIONAL DEL EQUIPO ANTES - DESPUÉS.....</b>	<b>67</b>
<b>TABLA 44: FRECUENCIA DE EFICIENCIA OPERACIONAL ANTES.....</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 45: FRECUENCIA DE EFICIENCIA OPERACIONAL DESPUÉS.....</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 46: CONSUMO DE ENERGÍA ANTES Y DESPUÉS .....</b>	<b>69</b>
<b>TABLA 47: FRECUENCIA DE CONSUMO ENERGÍA ANTES .....</b>	<b>70</b>
<b>TABLA 48: FRECUENCIA DE CONSUMO ENERGÍA DESPUÉS .....</b>	<b>71</b>
<b>TABLA 49: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>72</b>
<b>TABLA 50: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LA EFICIENCIA OPERACIONAL DE LOS EQUIPOS .....</b>	<b>73</b>
<b>TABLA 51: PRUEBA DE NORMALIDAD DE CONSUMO DE ENERGÍA DE LOS EQUIPOS .</b>	<b>74</b>
<b>TABLA 52: PRUEBA WILCOXON DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ANTES - DESPUÉS.....</b>	<b>74</b>
<b>TABLA 53: PRUEBA T DE STUDENT DE EFICIENCIA OPERACIONAL DEL EQUIPO ANTES Y DESPUÉS.....</b>	<b>75</b>
<b>TABLA 54: PRUEBA T DE STUDENT DE CONSUMO DE ENERGÍA DEL EQUIPO ANTES Y DESPUÉS.....</b>	<b>76</b>
<b>TABLA 55: PRUEBA DE MUESTRAS EMPAREJADAS CONSUMO DE ENERGÍA .....</b>	<b>77</b>
<b>TABLA 56: PRUEBA DE CORRELACIÓN DE EFICIENCIA OPERACIONAL.....</b>	<b>77</b>
<b>TABLA 57: PRUEBA DE MUESTRAS EMPAREJADAS EFICIENCIA OPERACIONAL EQUIPOS .....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURE 1: CONSUMO DE ENERGÍA KWH 2018 - 2022 .....	13
FIGURE 2: EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO .....	24
FIGURE 3: UBICACIÓN DE LA EMPRESA .....	37
FIGURE 4: UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS ROOF TOP .....	42
FIGURE 5: FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO .....	45
FIGURE 6: ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN .....	57
FIGURE 7: DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL - COMPRESOR .....	57
FIGURE 8: ESCENARIO CONSERVADOR COMPRESOR - 95% .....	57
FIGURE 9: DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL - SERPENTÍN DEL CONDENSADOR .....	58
FIGURE 10: ESCENARIO CONSERVADOR SERPENTÍN C. - 95% .....	58
FIGURE 11: DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL - VENTILADOR DE CONDENSADOR .....	58
FIGURE 12: ESCENARIO CONSERVADOR CONDENSADOR - 95% .....	59
FIGURE 13: DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL - SERPENTÍN EVAPORADOR .....	59
FIGURE 14: ESCENARIO CONSERVADOR SERPENTÍN DEL EVA. - 95% .....	59
FIGURE 15: DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL - INYECTOR .....	60
FIGURE 16: ESCENARIO CONSERVADOR INYECTOR - 95% .....	60
FIGURE 17: DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL - TERMOSTATO .....	60
FIGURE 18: ESCENARIO CONSERVADOR TERMOSTATO - 95% .....	61
FIGURE 19 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	64
FIGURE 20: PLAN DE CAPACITACIÓN .....	64

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ISO: “Organización Internacional de Normalización”

MBC: Mantenimiento basado en condición

MTBF: “Mean Time Between Failures” Tiempo medio entre fallas

SAP: “Systemanalyse Programmentwicklung” Desarrollo de programas de sistemas informáticos de gestión empresarial.

MINITAB: Herramienta estadística de análisis de datos.

PET: Procedimiento Escrito de Trabajo

PM: “Preventive Maintenance” Mantenimiento preventivo

SPSS: “Statistical Package for Social Sciences” Paquete estadístico.

IBM: “International Business Machines” Máquina de negocios internacionales

FMECA: análisis de efectos y criticidad del modo de falla.

OEE: Es un indicador que mide la eficiencia operativa de los equipos.

OACI: “Organización de Aviación Civil Internacional”.

HVAC: Calefacción, ventilación y aire acondicionado.

On-condition: En condición.

Work-flow: Flujo de trabajo.

## RESUMEN

La tarea de investigación se fundamenta en la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la Norma ISO 17359 y su efecto en la eficiencia del sistema de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao.

Se describe el marco teórico el cual nos ayudan a definir y entender las definiciones de mantenimiento, eficiencia, indicadores de mantenimiento y energía, análisis de criticidad, ciclo de vida, análisis de modos de fallas y efecto (FMEA), distribución de Weibull, metodología mantenimiento basado en condición (MBC).

Se menciona el estado de la organización en estudio, en donde se da a conocer el problema a resolver como el área donde se desarrolla la investigación y el sistema de aire acondicionado donde se aplica el mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359, mediante la aplicación de la nueva gestión, cumpliendo los pasos de la ISO, como el análisis de criticidad, FMECA, plan de monitoreo permitió a la empresa obtener datos cuantitativos reales, el cual permitió un mejor análisis mediante el software SPSS.

El objetivo principal es determinar como la nueva Gestión de mantenimiento da solución a los problemas del sistema de aire acondicionado, como la baja eficiencia de los indicadores OEE y altos consumos de energía.

Para nuestro análisis los datos de referencia que se tomen serán por el periodo de un semestre antes y un semestre después de aplicada la nueva gestión del mantenimiento, donde se evidenció que la eficiencia operativa del equipo mejoró en 1.93%, y el consumo de energía se reduce en 2.3%. Para dar veracidad a nuestros resultados utilizaremos la prueba estadística de normalidad en donde la información analizada continua con una distribución normal, que quiere decir que son paramétricos, para corroborar las hipótesis utilizamos la prueba T de Student.

**Palabras Clave:** Mantenimiento predictivo, ISO 17359, Eficiencia, energía.

## RESUMO

A tarefa de pesquisa baseia-se na Gestão Preditiva da Manutenção baseada na Norma ISO 17359 e seu efeito na eficiência do sistema de ar condicionado do Aeroporto Internacional de Callao.

É descrito o referencial teórico que nos ajuda a definir e compreender as definições de indicadores de manutenção, eficiência, manutenção e energia, análise de criticidade, ciclo de vida, modo de falha e análise de efeito (FMEA), distribuição Weibull, metodologia de manutenção baseada em condições (CBM).

É mencionado o estado da organização em estudo, onde é dado a conhecer o problema a resolver, como a área onde é realizada a investigação e o sistema de ar condicionado onde é aplicada a manutenção preditiva baseada na ISO 17359, através da aplicação do nova gestão, atendendo às etapas da ISO, como análise de criticidade, FMECA, plano de monitoramento permitiu à empresa obter dados quantitativos reais, o que permitiu uma melhor análise utilizando o software SPSS.

O objetivo principal é determinar como a nova Gestão de Manutenção fornece solução para os problemas do sistema de ar condicionado, como baixa eficiência dos indicadores OEE e alto consumo de energia.

Para a nossa análise, os dados de referência tomados serão para o período de um semestre antes e um semestre depois da aplicação da nova gestão de manutenção, onde ficou evidente que a eficiência operacional dos equipamentos melhorou 1,93%, e o consumo de energia foi reduzido. reduz em 2,3%. Para dar veracidade aos nossos resultados utilizaremos o teste estatístico de normalidade onde as informações analisadas continuam com uma distribuição normal, o que significa que são paramétricas, para corroborar as hipóteses utilizamos o teste T de Student.

**Keywords:** Manutenção preditiva, ISO 17359, Eficiência, energia.

## INTRODUCCIÓN

En el artículo (1) menciona, el mantenimiento durante el tiempo las estrategias y conceptos han evolucionado desde una forma muy radical a principios del siglo XX. Fue en la revolución industrial donde se inicia los trabajos de reparación de los equipos, se aplicaron los conceptos de competitividad de costos, y las industrias se empezaron a preocupar por las fallas.

Durante la revolución industrial solo se aplica el mantenimiento correctivo cuando ocurría un fallo, por lo que generaba grandes pérdidas económicas, humanas y también medio ambientales. A partir de 1920 se da el mantenimiento industrial de ingeniería que permite incrementar la rentabilidad (2).

En Bejín China existen caso de Shuyo Li, Meilin Wen, Tianpei Zu & Rui Kang (3), en donde se realiza la implementación del mantenimiento basado en condiciones (CBM) con el fin de evitar fallas funcionales o una disminución significativa del rendimiento de los equipos monitoreados, durante la implementación se pudo identificar que el modelo propuesto es ideal para proponer procedimientos de mantenimiento adecuados con el costo promedio de mantenimiento, en donde también se concluye que la identificación de fallas cuando estas no han alcanzado niveles nocivos para el equipo y los costos que implicarían no actuar en un tiempo determinado a partir del análisis de predicción, para los diferentes componentes analizados en el futuro.

En el Perú la mayor parte de las empresas ejecutan el mantenimiento preventivo y correctivo sin un análisis correcta de la información, lo que genera que las empresas siempre utilicen la misma estrategia de mantenimiento y cosechen los mismos errores en los equipos, la falta de un mantenimiento predictivo o mantenimiento basado en condiciones permite a las industrias aplicar diferentes tácticas de mantenimiento y obtener resultados favorables para la empresa y la sociedad. El objetivo de nuestro trabajo de investigación es determinar como la implementación de la Gestión de mantenimiento predictivo da solución a los problemas del sistema de aire acondicionado.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

En los estudios efectuado por la asociación de Aviación Civil internacional (OACI) considera que la sección de la aviación tiene una estimación del 2% de participación de todas las emisiones y esto se debe al acelerado crecimiento de la aviación en los últimos 20 años, que da como resultado un incremento en la demanda de la energía eléctrica en los aeropuertos, así también la cantidad de pasajeros se incrementó alrededor de un 5% al año. La demanda genero la necesidad de mayor cantidad de terminales, mejor infraestructura y otros establecimientos de aviación (4)

En esta investigación se menciona que los edificios de los terminales de los aeropuertos consumen gran cantidad de energía, y que los sistemas de aire acondicionado (HVAC) son los que consumen mayor cantidad, además entre los meses de verano los equipos HVAC pueden llegar entre 32% y 86.59 % de consumo de energía en los aeropuertos (5)

También, la Administración Federal de Aviación nos dice que reduciendo o eliminando las emanaciones de gas de efecto invernadero podemos reducir la demanda de energía como los costos operativos del aeropuerto (6).

Los aeropuertos están buscando un ahorro energético en cada equipo eléctrico, pero dicha estrategia no debe influir al confort de los pasajeros, clientes que utilizan el aeropuerto, por lo que se debe buscar un equilibrio entre ahorro energético y grado de confort de los pasajeros, es necesario una estimación, gestión y control eficiente de los factores de comodidad de los usuarios mediante los parámetros de HVAC que se debe tener (7)

La administración de los costos de los sistemas de aire acondicionado (HVAC) se aborda mediante metodología, como el control predictivo y la optimización en tiempo real. Las técnicas que se utilizan no son fáciles de usar para personas sin experiencia, quiere decir que para los administradores de edificios calcular el impacto económico es bien difícil (8)

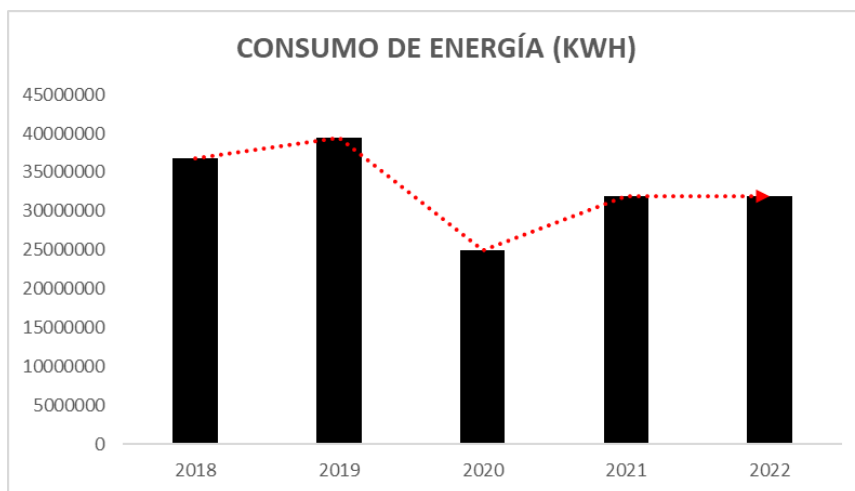


El entorno competitivo actual, exige a cada empresa esté en una permanente mejora, la cual pueda asegurar su permanencia con el tiempo, y que cada proceso sea más amigable con el medio ambiente. Por eso, nuestro trabajo de investigación es importante para sector aeroportuario porque dará las pautas para la eficiencia energéticas y operacional en terminales, edificios, hospitales etc. mediante nuestro trabajo de Gestión de Mantenimiento Predictivo Basado en Norma ISO 17359 y su efecto en la eficiencia de los sistemas de aire acondicionado del aeropuerto, el cual tendrá impactos positivos en la reducción de energía.

Actualmente la empresa se dedica a la administración del aeródromo y tiene como Misión ofrecer a los pasajeros internacionales, nacionales, aerolíneas y stakeholder una experiencia única, con el fin de ubicar al Perú como el mejor destino de conexión de Sudamérica, su Visión es ser un referente mundial en innovación y servicios centrado en las personas, ser última imagen de Latinoamérica para el mundo, una empresa inspiradora y exitosa donde todos los peruanos sueñan trabajar.

En los últimos años la empresa viene registrando incremento en el consumo de energía del terminal aeroportuario, debido a la ineficiente gestión de medidas predictivas del sistema HVAC y la baja eficiencia energética. El ahorro energético debe darse sin descuidar la calidad del servicio y el confort de nuestros pasajeros, la eficiencia energética contribuirá con los objetivos de la empresa y en consecuencia permitirá certificarse como Nivel II de Huella de carbono por Airport Carbon Accreditation (ACA).

**Figura 1: Consumo de energía KWH 2018 - 2022**



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la imagen líneas arriba, el incremento de consumo de energía en el último año. Por lo tanto, en nuestro trabajo de investigación se propone la Gestión de Mantenimiento Predictivo basado en la Norma ISO 17359 y su efecto en la eficiencia del sistema de Aire Acondicionado del Aeropuerto del Callao, Período 2023.

## 1.2. **Formulación del problema**

### 1.2.1. **Problema general**

¿De qué manera la gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 tiene efecto en la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado del Aeropuerto internacional del Callao, en el año 2023?

### 1.2.2. **Problemas específicos**

¿De qué manera la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 mejora la eficiencia operacional de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, en el año 2023?

¿De qué manera la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 reduce el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, en el año 2023?

### 1.3. **Objetivos**

#### 1.3.1. **Objetivo general**

Determinar como la Gestión de mantenimiento Predictivo basado en la Norma ISO 17359 tiene efecto en la Eficiencia energética del Sistema Aire Acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, en el año 2023.

#### 1.3.2. **Objetivos específicos**

Determinar como la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 mejora la eficiencia operacional de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, en el año 2023.

Determinar como la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 reduce el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, en el año 2023.

### 1.4. **Justificación**

#### 1.4.1. **Justificación normativa**

Este trabajo de investigación es importante porque se centra en la Gestión de mantenimiento Basado en Condición, según ISO 17359, el cual tiene los procedimientos y pautas para la implementación de la metodología.

La empresa tiene la concesión del aeropuerto de acuerdo con el contrato firmado con el estado peruano. Por lo que está a cargo de la administración del terminal y de los sistemas eléctricos, mecánicos, electrónicos, sanitarios y otros, los cuales deben cumplir los requisitos técnicos mínimos del Anexo 14 y la protección del medio ambiente del anexo 16. Para nuestro caso de investigación la empresa debe cumplir con el funcionamiento continuo de los equipos de aire acondicionado HVAC y con los grados de temperatura 22 C° y 26 C°. según contrato. En caso no cumpla el Organismo Supervisor de la Inversión en

Infraestructura de transporte (OSITRAN) tiene toda la autoridad para penalizar a la empresa o suspender el contrato.

#### **1.4.2. Justificación económica**

Se relaciona con el dinero de la empresa por lo que se tiene que sustentar los problemas económicos que pasa la organización (9).

Actualmente los costos de consumo de energía y costos por mantenimiento correctivo de los equipos de climatización (Roof top) generan atrasas con los objetivos de la empresa.

#### **1.4.3. Justificación legal**

La investigación presenta una justificación legal ya que permite mejorar los niveles de temperatura en el terminal, y así asegurar el cumplimiento de los requisitos mínimos de confort y evitar penalidades.

#### **1.4.4. Justificación metodológica.**

Permite que el investigador cree nueva metodología, procesos, procedimientos en la propuesta de solución planteada para dar solución a los problemas encontrados (9).

#### **1.4.5. Justificación teórica.**

Menciona que va ligada a la propuesta planteada en la investigación, la cual se profundiza en el problema que explica con el fin de avanzar en el conocimiento en línea de investigación, donde menciona que una investigación se justifica teóricamente cuando se encuentra un vacío en un campo científico y la investigación del estudio permitirá llenarlo total o parcialmente (10)

#### **1.4.6. Justificación Práctica**

Nuestro trabajo de investigación es práctico, porque propone estrategias para la eficiencia, optimización y reducción de energía de los equipos, el cual permite contribuir a resolver los problemas que se plantean en nuestro trabajo de investigación (10)

### **1.5. Delimitantes de la investigación**

#### **1.5.1. Delimitación teórica**

Procedencia de estudios preliminares nacionales de mantenimiento basado en condición, según norma ISO 17359.

#### **1.5.2. Delimitación temporal**

La investigación se enfoca en los datos e información de los sistemas de aire acondicionado 2023.

#### **1.5.3. Delimitación espacial**

El trabajo de investigación se limita a los equipos de aire acondicionado del aeropuerto del Callao.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Humberto Nuno, Isabel Lopes & Ana Cristina (11) en el artículo: “Implementación del mantenimiento basado en la condición: una revisión de la literatura”, Atenas, Grecia define su objetivo principal de CBM es para evitar fallas funcionales o una disminución significativa del rendimiento de los equipos monitoreados. Las metodologías y procedimientos para implementar CBM identificados en la literatura se describen a continuación y se resumen en la Tabla 1, presentando sus pasos. Se concluye, que la a implementación de CBM en las empresas se basa en la experiencia de los técnicos de mantenimiento y no es realizado de manera sistemática. Esta circunstancia puede originar decisiones ineficaces e ineficientes o desalentar la aplicación de CBM en empresas donde existe poco conocimiento técnico. Por lo tanto, el desarrollo de un genérico y metodología integral que puede apoyar la implementación de CBM a diferentes tipos de equipos es un asunto relevante. La metodología se puede complementar con métodos, técnicas y herramientas existentes.

Shuyo Li, Meilin Wen, Tianpei Zu & Rui Kang (3) en el artículo: “Método de optimización de mantenimiento basado en la condición utilizando el margen de rendimiento”, Beijing, China, define su objetivo En el trabajo plantea estrategias de mantenimiento optimo utilizando la metodología de mantenimiento basado en condición (CBM) utilizando margen de rendimiento, en donde los criterios de decisión se inician a partir de datos estadísticos de fallas, estados de degradación . En este artículo se presenta el margen de desempeño como un criterio de decisión, ya que con el pasar del tiempo el margen disminuye hasta llegar por debajo de cero. Sin embargo, con el mantenimiento, inspecciones, reemplazo de los componentes se produce la recuperación del margen de rendimiento. Los autores concluyen, Se introdujo un factor de efecto de medida de mantenimiento para visualizar mejor los efectos positivos del margen de rendimiento, se utilizó vectores de decisión de medida de mantenimiento y

establecer valores del rendimiento antes y después, sin embargo, todavía hay imperfecciones.

Jorge Fernandes, Joao Ries, Nuno Melao, Leonor Teixeira & Marlene Amorin (12), en el artículo: “Sistemas mecánicos inteligentes para la fabricación en la era de la industria 4.0: mantenimiento predictivo basado en la condición y modificación dinámica del sistema para pequeñas y medianas empresas”, Lisbon, Portugal, define que el objetivo es que las máquinas alcancen una capacidad de autodecisión para identificar directamente qué problemas ocurren y cuándo es necesario reemplazar los componentes. Puede, por lo tanto, mejorar toma de decisiones de mantenimiento mediante el empleo de sensores industriales y big data tecnología, que puede conducir a un sistema de información más receptivo. La Metodología, para evaluar la actividad investigadora en CPM se ha realizado una evaluación bibliométrica cuantitativa de los trabajos publicados. Este análisis se realizó incluyendo las palabras clave mantenimiento predictivo y mantenimiento basado en la condición en título, resumen y palabras clave utilizando la base de datos científica Scopus. Se consideraron trabajos publicados entre 2000 y 2020. Los autores concluyen, Estos cambios llevaron a la automatización del proceso de recopilación de datos. Por lo tanto, la pregunta que surge ya no es “¿Qué ha fallado o qué puede fallar?”, sino “¿Qué va a fallar ¿y cuándo?”. Renault ahora puede anticipar mejor la avería de sus máquinas antes ocurren fallas y también programar el reemplazo de componentes en el momento más conveniente.

Lorenzo Ciani, Giulia Guidi, Gabriele Patrizi & Diego Galar (13), Florence, Italia. En el artículo: “Mantenimiento basado en la condición de HVAC en un tren de alta velocidad para detección de fallas”. Su objetivo principal es la reducción del tiempo de inactividad mediante la optimización del mantenimiento. La metodología presentada en este trabajo es un diagrama de decisión orientado al diagnóstico que favorece la elección del mantenimiento basado en la condición siempre que sea posible, como

procedimientos de monitoreo de condición y detección de fallas. Se concluye, Por lo tanto, el enfoque basado en fuzzy propuesto ayuda a maximizar la disponibilidad y minimizar costo operacional.

Gonzalo Sánchez & Justo Sanz-Calcedo (14), Italia. En el artículo: “Aplicación del Mantenimiento Predictivo en Calefacción Hospitalaria, Instalaciones de Ventilación y Aire Acondicionado”. Su objetivo, El mantenimiento basado en la condición (CBM), conocido como mantenimiento predictivo, monitorea variables relevantes para determinar empíricamente el porcentaje de vida útil consumido. En otras palabras, sus acciones están subordinadas a la condición actual del equipo a mantener. La estrategia de mantenimiento implementada influye en la satisfacción del usuario final. La implementación de la metodología CBM como enfoque para el mantenimiento de los sistemas de climatización hospitalario aplica técnicas estadísticas sobre los datos de desempeño monitoreados de los equipos y componentes del sistema bajo estudio. Los autores concluyen, los resultados de este trabajo son de gran utilidad para los responsables del mantenimiento de las instalaciones en los edificios sanitarios (hospitales, centros de salud, etc.) ya que podrán tomar decisiones de mantenimiento en base a datos empíricos. Ellos disponer de información para decidir la inversión en equipos teniendo en cuenta los costos de mantenimiento. Además, ellos pueden analizar datos para conocer el estado actual de un equipo o unidad, estableciendo así un mantenimiento optimizado plan, considerando la vida útil remanente del activo y los costos de mantenimiento asociados.

David Blum, Zhe Wang, Chris Weyandt, Donghun Kimz, Michael Wetter, Tianzhen Hong & Mary Ann Piette (15), Hong Kong. En el artículo: “Demostración de campo y análisis de implementación del control predictivo modelo en un sistema HVAC de oficina”. Tiene como objetivo, proporcionar una revisión de las implementaciones de Modelo predictivo de control MPC en edificios reales. El Control Predictivo de Modelos (MPC) es tal una técnica de control que hace uso de modelos de construcción, perturbaciones pronósticas, como pronósticos meteorológicos y de



ocupación, objetivos y definiciones de restricciones y algoritmos de optimización para optimizar el control teniendo en cuenta tanto el estado actual como el futuro del edificio. La metodología, Investigación, Análisis Formal, Curación de Datos, Visualización, Redacción – original redacción, redacción-revisión y edición, administración de proyectos. Se concluye, Con respecto al rendimiento, en comparación con la operación MPC OFF, MPC ON ahorró aproximadamente un 40 % de energía durante los dos meses de prueba periodo, sin penalización significativa al confort térmico. Aunque prometedores, los ahorros deben entenderse en el contexto del estudio, donde La lógica de control existente utiliza pocos horarios y restablecimientos de puntos de ajuste y que la mayoría de estos ahorros se observaron en los días en que el clima era templado.

Paria Movahed, Saman Taheri & Ali Razban (16), en el artículo: “Un marco basado en datos de dos niveles para la detección de fallas y el diagnóstico de HVAC Sistemas”, EE. UU. Tiene como objetivo, el estudio proporciona una nueva forma de identificar y el diagnóstico de defectos del sistema HVAC. Desarrollar este marco fue impulsado por el deseo de abordar algunos de los problemas recurrentes en esta industria, incluida (I) la incapacidad de dar cuenta del desequilibrio de datos, (II) el desconocimiento de las consecuencias de los falsos positivos, y (III) la explotación de la información de datos de condiciones normales. La metodología, aquí primero describimos el proceso y sus pasos. La metodología incorpora una serie de algoritmos como PCA, up-sampling, clasificador de bosque aleatorio (RF), y detección de anomalías de series temporales. Se concluye, Los resultados indican que el modelo identifica con precisión ocho tipos de problemas para una AHU de zona única, una unidad de techo y un diagnóstico de fallas en unidad de tratamiento de aire (AHU) matizona. Se muestra que PCA reduce la dimensión de un conjunto de datos al tener en cuenta 95% de la variación con un solo componente principal.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Mario Castro (17) en su tesis titulada: “método basado en RCM, para la gestión de mantenimiento en tractores agrícolas: Caso Municipalidad Distrital de Colquepata”, tesis de Maestría por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, menciona que su objetivo general fue un método de gestión mantenimiento basado en RCM para mejorar la operatividad de las maquinas, en la Municipalidad de Distrital de Colquepata, la metodología fue básica, descriptiva, buscó determinar cómo se puede mejorar la gestión del mantenimiento. Los resultados de la investigación demuestran que el logro de la táctica planteada requiere de una frecuente vigilancia, así poner evaluar el desempeño de los objetivos.

Cesar Gutierrez (18) en su tesis titulada: “Plan de gestión de mantenimiento basado en la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de Bombas concretas Putzmeister. Caso: Concretos Supermix S.A.” tesis de Maestría por la Universidad San Agustín de Arequipa, menciona que los equipos confiables con un plan de mantenimiento bien estructurado nos dan un alto grado de disponibilidad, de calidad y nos permite cumplir con los horarios de servicio planificados. La metodología de la investigación fue descriptiva, el cual busco como aumentar los índices de confiabilidad y disponibilidad de las bombas impulsoras, en donde es necesario involucrar a todo el personal que tenga contacto directo o indirecta con los equipos.

Cristian Condori (19) en su tesis titulada “Plan de gestión de mantenimiento basado en Balanced Scorecard y RCM para fajas transportadoras en compañías Mineras. Caso: Toquepala” tesis de Maestría por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. El trabajo tiene como objetivo estratégico el Cuadro de mando integral (BSC), con la cual se pretende identificar los principales problemas de nuestra gestión de mantenimiento y aplicar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). En donde se mostrará que la disminución de los costos y el incremento de disponibilidad con la cual se garantiza mayor producción.

Ricardo Izaguirre (20) en su trabajo de investigación: "Modelación y Control de sistema de refrigeración en una planta experimental". Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería con mención en automatización. El trabajo tiene como objetivo el avance de un modelo matemático del sistema de refrigeración por compresión de vapor la cual utiliza ecuaciones de primeros principios y se utilizó data experimental. De los modelos obtenidos se construyó nuevos modelos de estrategia de control, control clásico (PID), estrategia de control avanzado como el Generalized Predictive Control (GPC) y Model Predictive Control (MPC), las técnicas implementadas en la Universidad de Piura en tiempo real, ofrece un mejor performance para el seguimiento de la temperatura y el control de las variables manipulables que favorece a la reducción del desgaste del compresor. El autor concluye que, en una de las plantas experimental con características parecidas, se puede monitorear varios parámetros, por lo que se ha podido implementar distintas técnicas para buscar el ahorro de energía.

En el proyecto de investigación de Vera Alatrística & Christian Alejandro (21), que tiene como título "Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para el transformador de distribución de 250 kva y sistema de distribución de baja tensión 380/220 v de la subestación de TECSUP - AREQUIPA", tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento por la Universidad Católica de Santa María, 2018. En el proyecto de investigación se plantea el programa de mantenimiento para la subestación eléctrica de Tecsup ejecutando el procedimiento de confiabilidad conocida como MCC "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad" la cual es usa en el rubro aeronáutico y empresarial, la metodología tiene un reconocido prestigio en diversas empresas a nivel mundial. El autor concluye que se pudo establecer los trabajos de mantenimiento optimas de Mantenimiento preventivo, en donde se estableció las frecuencias del mantenimiento para cada componente el cual permiten prevenir posibles anomalías con el fin de asegurar la operación optima de las máquinas, sistemas como también la seguridad de del

personal. Otro de los logros fue conseguir los pasos de mantenimiento y operación de las máquinas de la subestación, las cuales son relevantes para el aprendizaje, entrenamiento y capacitación del personal de la empresa.

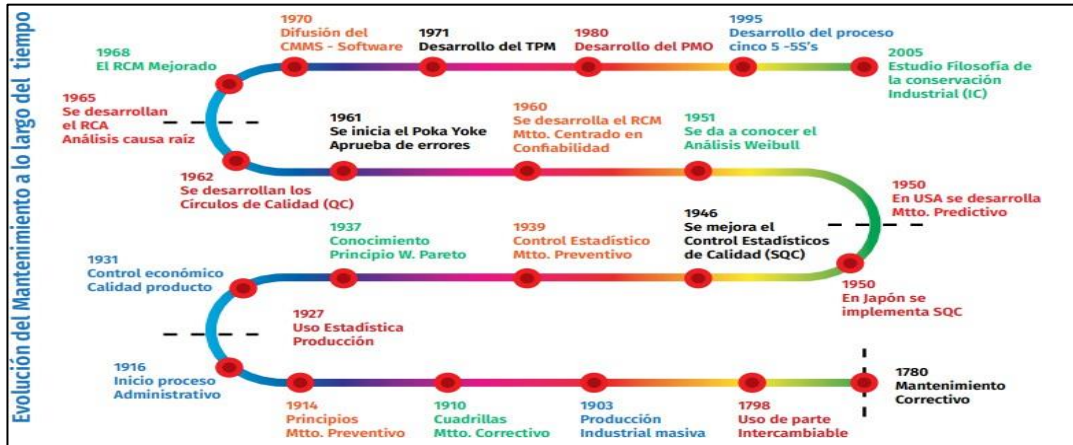
## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. El mantenimiento**

Como sus estrategias y conceptos han evolucionado desde una forma muy radical a principios del siglo XX, la palabra mantenimiento se relacionaba como un gasto. Podemos decir que la evolución del mantenimiento inicia al término del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX, en la revolución industrial. Fue ahí donde se inicia los trabajos de reparación de los equipos, se aplicaron conceptos de competitividad de costos, y las industriales se empezaron a preocupar por las fallas (1).

Durante la revolución industrial las empresas aplican el mantenimiento correctivo, la cual se aplicaba solamente cuando ocurría la falla en los equipos o componentes, generando grandes pérdidas para la industria, tanto humanas como económicas, sin tener en cuenta la gran contaminación ambiental que se provocó. En la década 1920 se da preferencia a organizar el mantenimiento industrial de ingeniería que apoya a las compañías industriales, con reducir los accidentes laboras, incrementar la rentabilidad de las empresas y reduciendo los costos de los equipos (2).

Figure 2: Evolución del Mantenimiento



Fuente: (2)

### 2.2.2. Tipos de mantenimiento.

**Mantenimiento correctivo.** – es cuando las intervenciones de mantenimiento se realizan solo después de que ocurra algún fallo, es la manera tradicional y simple de mantenimiento. Sin embargo, es el menos efectivo debido al costo de mantenimiento y el tiempo de inoperatividad del activo es elevado, estos costos son mucho mayor a los costos asociados con las acciones correctivas planificadas con anticipación y criterio (22).

**Mantenimiento preventivo.** – Es cuando las acciones de mantenimiento se lleven mediante un programa planificado, el cual se viene dando por el tiempo transcurrido o por las iteraciones del proceso que permite evitar los fallos del sistema. Las desventajas o inconveniente de la estrategia de mantenimiento preventivo es que con frecuencia se realiza acciones de mantenimiento innecesarias, por lo que se utiliza ineficientemente los bienes de la empresa generando mayores costos operativos (22)

**Mantenimiento predictivo.** - Tenemos varias definiciones sobre el mantenimiento predictivo, pero podemos decir que están relacionados con eventos físicos, el desgaste o estado de los componentes de la máquina. En el mantenimiento preventivo los parámetros que se tienen presente la

medición de cada estado, supervisión, el monitoreo y el estado de operación del activo. Por lo que se gestionan valores de pre-alarma y la variabilidad que se muestran relevantes de medir y gestionar. También, podemos decir que es un método para presagiar el sitio de fallo, anomalía, rotura de una pieza del activo, pero que el componente pueda cambiarse, con un programa justo antes del fallo (23)

Es un método de mantenimiento proactivo que tiene como objetivo anticipar las fallas, mediante los datos recolectados y en algoritmos predictivos predefinidos, el cual intenta estimar cuándo se ocurrirá el evento de falla. Recoge información sobre los activos y sustrae data que te permite medir cuando debe ejecutarse el mantenimiento. En las técnicas de mantenimiento podemos encontrar el análisis de vibraciones, análisis de aceite termografía, alineación y balanceo (24)

#### **Mantenimiento 4.0**

En la cuarta revolución industrial el mantenimiento toma un papel preponderante, por lo que permite la anticipación, eficiencia y eficacia de la fábrica inteligente (25).

El mantenimiento preventivo permite predecir los fallos evitando las paradas de la maquinaria y las pérdidas económicas por las paradas imprevistas, esto permite mantener el flujo continuo de la producción y de la economía de la industria.

El mantenimiento predictivo, es todo un conjunto de técnicas y acciones para detectar los fallos o defectos que se puedan generar en los equipos.

#### **Tres ventajas básicas del mantenimiento Predictivo.**

Planificación y programación de las acciones. - por ser predictivo el fallo se detecta con antelación, por lo que favorece que el mantenimiento correctivo se realice con más calidad. Las predicciones se pueden realizar en las paradas técnicas por lo que no se pierde operatividad ni volumen de producción.

Es una técnica on-condition. - Nos quiere decir que mayormente las técnicas de mantenimiento predictivo se llevan a cabo con el equipo a pleno rendimiento.

Es un mantenimiento proactivo. - Podemos predecir lo que puede pasar, con lo que repara el equipo antes del fallo, respetando el work-flow de la empresa y ofreciendo un mejor servicio.

Metodología y proceso de desarrollo, la metodología del mantenimiento está compuesta por tres niveles que se deben cumplir para llevar a cabo un adecuado mantenimiento predictivo.

**Tabla 1: Niveles del Mantenimiento 4.0**

<b>Nivel A Operativo</b>	Fase 1 Sensores
<b>Nivel B Técnico</b>	Fase 2 Datos
	Fase 3 Conectividad
	Fase 4 Analítica
<b>Nivel C tecnológico</b>	Fase 5 Monitoreo
	Fase 6 Reporteador
	Fase 7 Toma de decisión
	Fase 8 Ejecución

Fuente: Elaboración propia.

### **2.2.3. Gestión del mantenimiento**

A pesar de que existe varios modelos de gestión de mantenimiento, es difícil encontrar la manera correcta de desarrollar. El mantenimiento es una disciplina compleja que tiene muchos obstáculos. No se ha encontrado un modelo de gestión de mantenimiento eficaz con una metodología operativa de aplicación generalizada, la cual permita abordar la mejora de la gestión de mantenimiento como un proceso concebido de abajo hacia arriba y además cuente con profesionales del mantenimiento (26)

Para el campo de la investigación en el desarrollo de estrategias de mantenimiento, la cual deben contribuir al crecimiento de la confiabilidad operacional de los equipos deben tener una filosofía mundial de

mantenimiento, que le permita tener información fidedigna para la toma de decisiones de la empresa.

Los estudios de confiabilidad y análisis de fallas mayor mente van asociadas a análisis estadísticos con el fin de recolectar varias directrices tanto los fabricantes como los usuarios, los primeros para mejorar el diseño, y los otros para incurrir en la gestión de mantenimiento a implementar en el área de estudio (27)

### 2.3. Marco conceptual

#### 2.3.1. Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359.

La Norma ISO 17359 Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas, nos proporcionan los lineamientos para la aplicación de la metodología en los equipos, tales parámetros vibración, temperatura, tribología, tasas de flujo, velocidad, potencia típicamente asociados con criterios de rendimiento, condición y calidad. El Monitoreo de Condición forma un componente vital de la gestión de activos y es el principal documento de un grupo de normas que cubre el campo de la supervisión y diagnóstico del estado, como los 55000 de gestión de activos.

La ISO 55000: 2014 de gestión de activos, permite alcanzar los objetivos de una forma eficaz y eficiente de los activos, la cual brinda el aseguramiento de los objetivos sean alcanzables de manera consistente y sostenible en el tiempo. La gestión de activos comprende la evaluación de los costos, oportunidades y riesgos como el trabajo deseado de los equipos de la empresa, que son los objetivos de la empresa.

La utilidad de la implementación de la gestión de activos nos permiten alcanzar valor de los equipos en el cumplimiento de las metas de la empresa, estos pueden comprender; progreso del desempeño financiero, mejor determinación de inversión en activos, la cual se basa en información relevante, mayores resultados, riesgo gestionado y servicios, compromiso



social demostrada, demostración de cumplimiento, mejor reputación, mayor sostenibilidad organizacional, aumento de la eficiencia y eficacia.

### 2.3.2. Eficiencia

El indicador de eficiencia Global de equipos (OEE) el cual fue propuesto por Nakajima dentro del TPM, para el estudio de eficiencia de la utilización de los bienes al interior de un proceso de fabricación. La eficiencia Global de equipos OEE lo definió Nakajima como términos del uso optima del tiempo que los equipos y los recursos estén aptos para producir, en términos conceptuales la OEE se define específicamente como el producto de tres variables (28) .

$$OEE = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

### 2.3.3. La disponibilidad

Es la magnitud del tiempo que el activo estuvo listo para producir con respecto al tiempo planificado de producción. Calcula el tiempo totalmente productivo (28)

$$\text{Disponibilidad (D)} = \frac{TPdp - \text{Paradas o Averias}}{TPdp}$$

- *TPdp: Tiempo planificado de producción*

### 2.3.4. Rendimiento

Nos muestra el correcto funcionamiento de la capacidad del activo en el tiempo que estuvo operativa. La reducción del rendimiento es provocada por pequeñas paradas o disminución de la velocidad que la capacidad nominal de la máquina (28)

$$\text{Rendimeinto (R)} = \frac{\text{Total unidades producidas}}{TdoX Cn}$$

- *Tdo = Tiempo de operación.*
- *Cn = Capacidad Nominal*

### 2.3.5. Calidad.

Son las unidades producidas que cumplen con los parámetros de calidad respecto al total de producción realizada, sean productos buenos o malos. La calidad aparece de la ecuación de los productos buenos producidos por el total de piezas fabricadas, en donde están incluidas las piezas reprocesadas y desechadas (28).

$$\text{Calidad (C)} = \frac{\text{Total de unidades buenas}}{\text{Total de unidades producidas}}$$

El indicador OEE indica los pesos de cada componente de manera equivalente, quiere decir que todos tienen la misma importancia para su cálculo.

**Tabla 2: Rangos de clasificación OEE**

CLASIFICACIÓN DEL OEE		
OEE	Valoración	Detalle
OEE<65%	Inaceptable	Se generan importantes pérdidas económicas. Se verifica baja competitividad
65%≤OEE<75%	Regular	Se considera sólo si se está en proceso de mejora. Se generan pérdidas económicas. Se verifica baja competitividad.
75%≤OEE<85%	Aceptable	Debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja
85%≤OEE <95%	Buena	Entra en valores de Clase Mundial. Buena competitividad.
95%≤OEE≤100%	Excelente	Valores de Clase Mundial. Alta competitividad.

Fuente: (28).

### 2.3.6. Eficiencia energética

Es proporcionar los mismos servicios consumido con menos energía, también, podemos decir; proporcionar más servicios consumido la misma cantidad de energía (29)

La ISO 55001 Sistema de gestión energética: 2011, define las condiciones que deben tener un sistema SGE en una entidad para ayudar a incrementar

su desempeño energético, eficiencia y reducir los impactos ambientales, así como aumentar las distancias competitivas con otras organizaciones, todo esto sin impactar con la productividad.

#### 2.4. Definición de términos básicos

**Eficiencia global.** – De acuerdo como le define Nakajima, es la utilización óptima del tiempo que los equipos y los recursos para funcionar. Desde el punto de vista del OEE se define como el producto de tres indicadores.

**Disponibilidad.** – La meta principal del mantenimiento, se puede definir como el componente que sufrió mantenimiento, pueda operar satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica es el tiempo que el activo estuvo listo para producir con respecto al tiempo planificado de producción.

**Rendimiento.** – Es uno de los indicadores de la OEE, que se encarga de las pérdidas de velocidad. También, es la fracción de la producción real que se realiza en el tiempo productivo con respecto a la producción teórica, el rendimiento es afectado por la reducción de velocidad y las paras del equipo.

**Calidad.** – Es la porción total de todas las unidades reales producidas que cumplen con los parámetros de calidad respecto al total de producción realizada, la calidad es afectada por todo el tiempo perdido en fabricar componentes no conformen o que no cumplen con el nivel de temperatura, dimensiones, peso etc. requerido.

**Eficiencia energética.** – Es la facultad para obtener los mejores resultados en cualquier actividad en donde se emplea la menor cantidad de recurso energéticos. Nos permite reducir el consumo de cualquier tipo de energía como también la minimizar los impactos ambientales asicados a la actividad.

**Gestión de mantenimiento.** – Podemos definir que se encarga de mejorar la eficiencia general de la organización, la cual permite la continuidad de la empresa evitando los altos costos de inactividad. Actualmente las organizaciones procuran adoptar procesos de mejora como la calidad y la mejora continua, el beneficio de la optimización les permite a las organizaciones alcanzar sus metas, el aumento de la competencia mundial en la empresa con ella a muchas organizaciones a buscar ventajas en con respecto al costo, calidad y tiempo de entrega por lo que la gestión de mantenimiento juega un papel importante en la organización.

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis general**

La Gestión del Mantenimiento predictivo basado en la norma ISO 17359 y su efecto en la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, periodo 2023.

##### **3.1.2. Hipótesis específicas**

- La Gestión del Mantenimiento predictivo basado en la norma ISO 17359 y su efecto en la eficiencia operacional del sistema de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, periodo 2023.
  
- La Gestión del Mantenimiento predictivo basado en la norma ISO 17359 y su efecto en el consumo de energía del sistema de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, periodo 2023.

#### **3.2. Operacionalización de las variables**

##### **3.2.1. Operacionalización de la variable independiente**

- Gestión de mantenimiento predictivo basado en la Norma ISO 17359

##### **3.2.2. Operacionalización de la variable dependiente**

- Eficiencia operacional del Sistema de aire acondicionado.
- Consumo de energía de los equipos de aire acondicionado.

### 3.2.3. Operacionalización de variable

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice / Ítems	Método	Técnicas / Instrumentos
Gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359	El monitoreo de la condición forma un componente vital de la gestión de activos y este documento es el principal material de un grupo de normas que cubren el campo de la supervisión y el diagnóstico del estado (30).	La gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 se evaluará tomando en cuenta costo beneficio y la auditoria de confiabilidad y criticidad, en consideración a los elementos observables, a través de reportes técnicos check list. VDII	Análisis costo/Beneficio	VPN, TIR, C/B	Índice: Aceptable 125 > NPR Reducción deseable: 200 > NPR > 125 Inaceptable NPR > 200	Hipotético deductivo	Revisión de documentación de la empresa / Fichas de registros, auditoria de mantenimiento.
			Auditoria de equipamiento	FMECA			
			Auditoria de confiabilidad y criticidad				
			Seleccione el método de seguimiento				
			Adquisición y análisis de datos				
			Determine la acción de mantenimiento				
Revisar							

<p>Eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado</p>	<p>Es una técnica que nos muestra el nivel de la eficiencia global de los equipos de producción (OEE), la cual es de gran ayuda para la toma de decisiones y la planificación (28).</p>	<p>La eficiencia Global de equipos OEE lo definió Nakajima como términos de la utilización optima del tiempo que los equipos y los recursos estén disponibles para producir, en términos conceptuales se define como el producto de tres indicadores (28).</p>	<p>Los indicadores de eficiencia operacional de la OEE.</p>	$\text{Disponibilidad (D)} = \frac{TPdp - \text{Paradas o Averías}}{TPdp}$ <hr/> $\text{Rendimiento (R)} = \frac{\text{Total unidades producidas}}{TdoX Cn}$ <hr/> $\text{Calidad (C)} = \frac{\text{Total de unidades buenas}}{\text{Total de unidades producidas}}$	<p>% Eficiencia ≥ 90%</p>	<p>Hipotético deductivo</p>	<p>Análisis de Datos / Ficha de Registro</p>
	<p>El análisis de consumo energético y la verificación del consumo ideal que permita hacer las mismas actividades con un menor consumo de energía, generando un ahorro de energía y mayor eficiencia energética (31)</p>	<p>Nos permite analizar el sistema de climatización por medio del control de la variable que más impacta, la cual es la temperatura ambiente</p>	<p>Consumo de energía (Desempeño energético)</p>	<p>kWh sistema climatización/ °C temperatura ambiente</p>	<p>KWH/°C &lt; 2% KWH/°C de enero a mayo 2022</p>	<p>Hipotético deductivo</p>	<p>Análisis de Datos / Ficha de Registro</p>

## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **4.1. Diseño metodológico**

El diseño metodológico es pre – experimental porque la variable independiente (Gestión de mantenimiento predictivo basado en la norma ISO 17359) cuenta con un solo nivel, el grupo de experimentación, en donde manipula el investigador. La variable dependiente (eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado) debe ser medida con un instrumento en dos tiempos, antes (pre) y después (post-test) (32).

La variable experimental busca aplicar un protocolo con diversos intereses, como puede ser el tratamiento psicológico, desarrollo tecnológico u otro elemento que sea necesario comprobar su eficacia; la variable independiente definirá los grupos de experimentación. En donde la dependiente es la que recibe el impacto de la independiente, por lo que debe ser medida en dos niveles, antes y después de la intervención (32)

#### **4.1.1. Tipo de investigación**

Nuestro trabajo de investigación es de modelo aplicada ya que mediante la teoría da solución a los problemas prácticos, hallazgos, descubrimiento y soluciones que se planteó en los objetivos del trabajo. Este tipo de investigación se utiliza en la medicina o ingenierías, la cual plantea alcances explicativos o predictivos (33).

Por lo que nuestro trabajo de investigación se fundamenta en la ejecución de la Gestión de mantenimiento predictivo basado en norma ISO 17359 para la eficiencia de los equipos climatización.

#### **4.1.2. Enfoque cuantitativo**

Se centra en las medidas cuantitativas en donde utiliza la observación en los procedimientos de recopilación de información y los analiza para dar respuesta a su investigación, para nuestro trabajo de investigación. Se emplean los análisis estadísticos, en donde se da la recopilación, la medición, la obtención de frecuencia y estadígrafos de población. El enfoque



cuantitativo se basa en una verificación de literatura que apunta al tema y tiene como resultado un marco teórico dirigido a la investigación (34).

#### **4.2. Método de investigación**

El método de investigación es Analítico, ya que realizamos un proceso de evaluación y análisis de datos de nuestros equipos de aire acondicionado seleccionados, el cual nos permite medir, mejorar y comparar el desempeño. El método analítico tiene como objetivo fortalecer las instituciones o el trabajo para cual allá sido utilizado, cuya finalidad es mejora de rendimiento, disminuir los índices de fallas e incrementar la eficiencia y reducción de energía.

El proceso analítico con recolectar data, información, etc. que pueden ser de fuentes internas o externas, después buscar los datos que tengan tendencia, realizar modelos predictivos con la información recolectada, con el modelo planteado de la información recolectada se debe actuar y por último se perfecciona o mejora el proceso (35).

#### **4.3. Población y muestra**

El universo para nuestro caso es el conjunto total de activos del Sistema de Aire acondicionado, estos representan una gran parte de información que corresponden a una misma características o combinación de características (36).

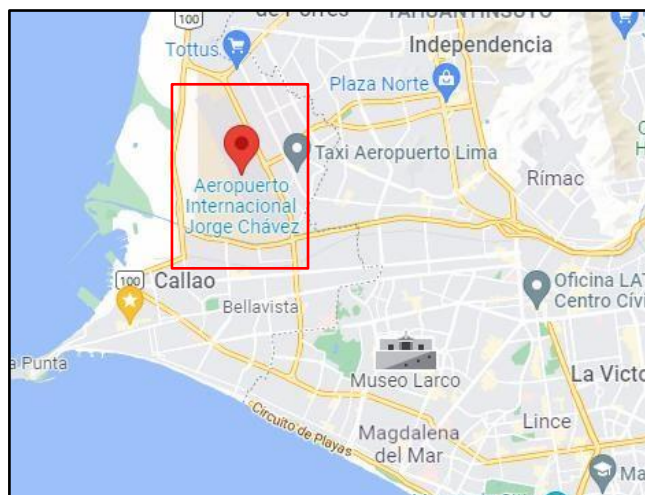
Para nuestro caso la población es la misma que la muestra, esto quiere decir que viene hacer los 25 equipos Roof Top.

#### **4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado**

Nuestro caso de estudio se encuentra en la Av. Elmer Faucett s/n, Callao 07031. Aeropuerto internacional Jorge Chávez.

El periodo de estudio de los equipos de aire acondicionado del aeropuerto se dio de enero – mayo del 2022 y enero – mayo 2023.

**Figure 3: Ubicación de la empresa**



#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

Para la investigación cuantitativa se utiliza con frecuencia la encuesta, entrevista, observación sistemática, análisis de contenido, fichas de cotejo etc. (37). Para nuestro trabajo de investigación se utilizó las técnicas de observación y análisis de contenido y fichas de cotejo la cual nos deja tomar datos y registrarla para el análisis posterior.

Los instrumentos que se utilizaron son el documento de auditoría y registro de datos que se basa en una lista de aspectos para evaluar la eficiencia del equipo, el flujo producido, nivel de temperatura, consumo de energía KWH. Teniendo en cuenta que la veracidad y confiabilidad de los instrumentos de la norma ISO 17359 nos garantizó una recopilación de información veraz, que nos permitió alcanzar los objetivos con resultados reales.

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Para la recolección de datos del periodo 2022 – 2023 se utilizó el Software SAP HANA, de donde se descargó toda la información de los equipos Roof Top, y con el apoyo del Software Excel 2019 se realizó los cálculos de eficiencia y consumo de energía.

También, para la frecuencia de inspección y el cronograma se utilizó el Software Minitab, Project, pero para el estudio de los resultados descriptivos e inferenciales se utilizará el software SPSS de IBM Statistics versión 27, para probar si las estrategias del Gestión de mantenimiento predictivo influyen en la eficiencia de los equipos de climatización se ejecutará pruebas como la “t” de Student para las pruebas relacionadas con las variables eficiencia.

#### **4.7. Aspectos éticos en investigación**

El trabajo de investigación se ha desarrollada en base a las directivas de la resolución rectoral N.º 319-2022-R la cual nos permite la elaboración del Proyectos de investigación, y nos proporciona los lineamientos formales, el concepto homogéneo de inicio y fin de nuestro trabajo. También, para cumplir con la parte narrativa o redacción se ha utilizado la ISO 690 la cual es una norma internacional que nos facilita las directrices básicas para la preparación de las referencias bibliográficas de nuestro trabajo.

La información fue recolectada de la empresa en estudio mediante, el Software SAP y el sistema de control Tracker de los equipos de aire acondicionado.

## V. RESULTADOS

La gestión de mantenimiento predictivo basado en la norma ISO 17359 tuvo efecto favorable con la eficiencia energética y eficiencia operacional de los equipos, como se puede apreciar en la tabla 02 líneas abajo.

**Tabla 3: Eficiencia operativa de los equipos AC.**

EQUIPOS	MESES	EFICIENCIA 2022	EFICIENCIA 2023
CO-RTU-12	ENERO	89,50%	89,90%
	FEBRERO	90,10%	90,40%
	MARZO	89,30%	90,00%
	ABRIL	89,65%	90,55%
	MAYO	88,89%	90,89%
TE-RTU-02	ENERO	89,30%	89,90%
	FEBRERO	88,70%	90,50%
	MARZO	85,80%	87,80%
	ABRIL	89,00%	90,80%
	MAYO	88,90%	90,90%
TE-RTU-05	ENERO	89,00%	89,80%
	FEBRERO	88,60%	90,40%
	MARZO	87,80%	89,80%
	ABRIL	88,96%	90,06%
	MAYO	88,90%	90,90%
TE-RTU-08	ENERO	88,90%	89,80%
	FEBRERO	88,40%	89,20%
	MARZO	87,80%	88,80%
	ABRIL	88,96%	91,06%
	MAYO	88,51%	90,51%
PP-RTU-01	ENERO	88,60%	89,80%
	FEBRERO	87,60%	88,50%
	MARZO	88,50%	89,40%
	ABRIL	86,50%	88,10%
	MAYO	88,50%	89,50%
PP-RTU-02	ENERO	89,20%	90,20%
	FEBRERO	88,50%	89,48%
	MARZO	86,90%	88,70%
	ABRIL	88,60%	90,20%
	MAYO	88,70%	90,80%

**Tabla 4: Consumo de energética de los equipos AC.**

<b>Consumo Kwh/°C 2022</b>	<b>Consumo Kwh/°C 2023</b>
2636,39	2579,23
2479,06	2432,79
2885,72	2847,19
2241,55	2201,75
1900,54	1861,46
2837,85	2798,18
2443,80	2413,77
2696,69	2672,34
2119,30	2081,87
1938,36	1901,01
1892,27	1855,32
1622,84	1588,14
1782,52	1749,48
1497,83	1449,85
1197,08	1147,49
1648,95	1601,10
1576,22	1534,96
1612,67	1573,53
1108,12	1051,81
1050,67	1024,32
1173,33	1142,69
951,81	914,89
1004,43	946,42
965,77	907,78
1531,82	1472,81
2093,16	2036,81
2090,46	2037,78
2199,33	2158,97
1911,61	1856,69
1561,31	1506,93

**Análisis de costo beneficio**

Se realiza el análisis de costo beneficio antes de la implementación de la nueva metodología de mantenimiento predictivo

Estos indicadores nos ayudan a tomar decisiones certeras, y nos muestran si nuestro proyecto de mantenimiento predictivo es rentable para la empresa.

Para nuestro flujo de caja se calcula el TIR y VAN, para ello se utilizará el costo de oportunidad de capital de la empresa (COK= 15%).

**Tabla 5: Flujo de caja - 5 años**

<i>Descripción</i>	<i>Año 0</i>	<i>Año 1</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	<i>Año 5</i>
<i>Ahorro - Mantenimiento correctivo</i>		\$19,666,45	\$15,058,20	\$20,058,20	\$15,058,20	\$15,058,20
<i>Ahorro - Repuestos HVAC</i>		\$10,194,29	\$7,765,74	\$16,265,76	\$14,690,79	\$13,037,06
<i>Ahorro - Consumo de Energía</i>		\$5,043,95	\$9,043,95	\$10,543,95	\$10,743,95	\$11,743,95
<b><i>Egresos de Caja Total</i></b>		<b>\$34,904,69</b>	<b>\$31,867,89</b>	<b>\$46,867,91</b>	<b>\$40,492,94</b>	<b>\$39,839,21</b>
<i>Costo de curso de capacitación</i>	-\$5,000,00	-\$5,000,00	-\$5,000,00	-	-\$5,000,00	-
<i>Supervisión PM</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Instrumentos de medición</i>	-\$20,000,00	-	-	-	-	-
<i>Repuestos</i>	-\$90,000,00					
<i>Técnico Electricista</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Técnico Mecánico</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Implementación MPredictivo</i>	-\$115,000,00	-	-	-	-	-
<b><i>Ingreso de caja Total</i></b>	<b>-\$115,000,00</b>	<b>-\$5,000,00</b>	<b>-\$5,000,00</b>	<b>\$0,00</b>	<b>-\$5,000,00</b>	<b>\$0,00</b>
<b><i>Flujo del caja</i></b>	<b>-\$115,000,00</b>	<b>\$29,904,69</b>	<b>\$26,867,89</b>	<b>\$46,867,91</b>	<b>\$35,492,94</b>	<b>\$39,839,21</b>

**VAN:** \$2,236,80

**TIR:** 16%

**C/B:** 1,56

En nuestro análisis podemos ver que el proyecto es viable, ya que tenemos el VAN y TIR positivos y por cada dólar invertido se obtiene 1,56 dólares de rentabilidad.

### **Análisis de criticidad**

Las empresas tienen recursos limitados, por lo que se busca hacer una implementación a los equipos más críticos.

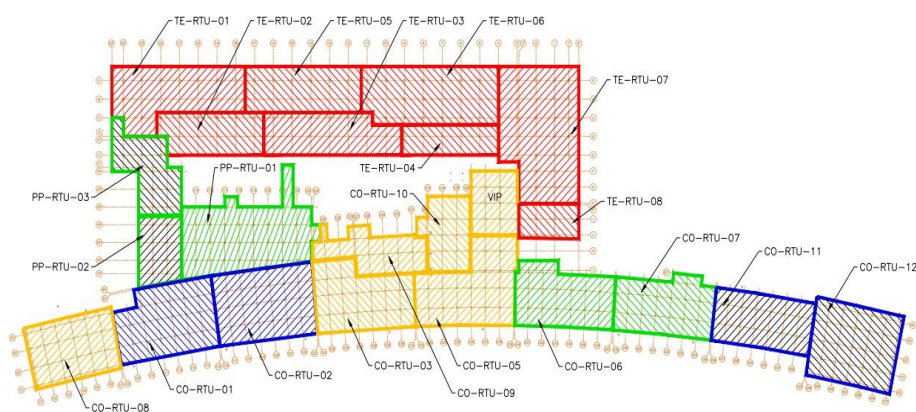
**Tabla 6: Cuadro de Criticidad - Equipos Roof top**

Nº	Descripción	Frecuencia de fallas	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de mantenimiento	Impacto a seguridad ambiente e Higiene	Consecuencia	Total	Criticidad
1	TE-RTU-01	2	6	4	2	6	32	64	SC
2	TE-RTU-02	4	6	4	2	6	32	128	C
3	TE-RTU-03	3	5	4	2	6	28	84	SC
4	TE-RTU-04	2	6	4	2	6	32	64	SC
5	TE-RTU-05	3	9	4	2	6	44	132	C
6	TE-RTU-06	2	6	4	2	6	32	64	SC
7	TE-RTU-07	3	5	4	2	6	28	84	SC
8	TE-RTU-08	4	6	4	2	5	31	124	C
9	PP-RTU-01	3	7	4	2	6	36	108	C
10	PP-RTU-02	4	5	4	2	6	28	112	C
11	PP-RTU-03	3	5	4	2	6	28	84	SC
12	CO-RTU-01	1	7	4	2	6	36	36	NC
13	CO-RTU-02	3	5	4	2	6	28	84	SC
14	CO-RTU-03	2	7	4	2	6	36	72	SC
15	CO-RTU-04	1	7	4	2	6	36	36	NC
16	CO-RTU-05	2	7	4	2	6	36	72	SC
17	CO-RTU-06	2	7	4	2	6	36	72	SC
18	CO-RTU-07	1	7	4	2	6	36	36	NC
19	CO-RTU-08	2	7	4	2	6	36	72	SC
20	CO-RTU-09	1	7	4	2	6	36	36	NC
21	CO-RTU-10	3	5	4	2	6	28	84	SC
22	CO-RTU-11	1	7	4	2	6	36	36	NC
23	CO-RTU-12	3	7	4	4	7	39	117	C
24	CO-RTU-13	2	7	4	2	6	36	72	SC

### Auditoria de equipos

La auditoría lo realizamos a los equipos del sistema de Aire acondicionado – HVAC, los cuales se ubican en lugares estratégicos del terminal y tienen la función de mantener la temperatura entre los 22 °C / 26°C y la humedad relativa en -20% -26%.

**Figure 4: Ubicación de los equipos Roof Top**



**Tabla 7: Datos técnicos TE-RTU-02**

EQUIPO	MODELO	SERIE	CAPAC.	MARCA	UBICACION	AÑO FABRIC.	Datos	COMPRESORES	
								CIRCUITO 1	CIRCUITO 2
TE-RTU-02	SXHGD1340Y 86GEED3001 A0C00000000 TOY00	C04A00067	130 Ton	Trane	Gran Techo Terminal	2004	Cantidad	4	4
							Capacidad	15 Ton	15 Ton
							Voltaje	460	460
							Hz	60	60
							PH	3	3
							Tipo Refrig.	R22	R22
							Cant. Refrig.	112 LBS	112 LBS
							Lubricante	Mineral 3G	Mineral 3G
								COMPONENTES	
								Características	Tiempo Vida Útil
							Filtros fibra	06 unidades	18 Meses
							Medidas	175.26 x 59 x 4.5 cm	
							Filtros carbón	21 unidades	12 Meses
							Peso	10kg (18) + 8kg (3)	
							Filtros bolsa	18 unidades	06 meses
							Modelo	24" x 24" x 18" (15 unid.) 12" x 24" x 18" (03 unid.)	

**Tabla 8: Datos técnicos TE-RTU-05**

EQUIPO	MODELO	SERIE	CAPAC.	MARCA	UBICACIÓN	AÑO FABRIC.	Datos	COMPRESORES	
								CIRCUITO 1	CIRCUITO 2
TE-RTU-05	SXHJ15040V0451NA3J55 D0000BJ0A0000LC000	C16H05502	150 Ton	Trane	Gran Techo Terminal	2016	Capacidad		
							Voltaje	460	460
							Hz	60	60
							PH	3	3
							Tipo Refrig.	R410a	R410a
							Cant. Refrig	90 LBS	90 LBS
							Lubricante	Polyester 32H	Polyester 32H
								COMPONENTES	
								Características	Tiempo Vida Útil
							Filtros fibra		18 Meses
							Medidas		
							Filtros carbón		12 Meses
							Peso		
							Filtros bolsa		06 meses
Modelo									



**Tabla 9: Datos técnicos TE-RTU-08**

EQUIPO	MODELO	SERIE	CAPAC.	MARCA	UBICACIÓN	AÑO FABRIC.	Datos	COMPRESORES	
								CIRCUITO 1	CIRCUITO 2
TE-RTU-08	SXHFF7040A66G9BD3C01A0C00000000T070000	C08A00058	70 Ton	Trane	Gran Techo Terminal	2008	Cantidad	3	3
							Capacidad	14 Ton	14 Ton
							Voltaje	460	460
							Hz	60	60
							PH	3	3
							Tipo Refrig.	R22	R22
							Cant. Refrig	69 LBS	69 LBS
							Lubricante	Mineral 3G	Mineral 3G
								COMPONENTES	
								Características	Tiempo Vida Útil
							Filtros fibra	04 unidades	18 Meses
							Medidas	175.26 x 59 x 4.5 cm	
							Filtros carbón	12 unidades	12 Meses
							Peso	9.5kg (8) + 5kg (4)	
							Filtros bolsa	14 unidades	06 meses
							Modelo	24" x 24" x 18" (08 unid.) 12" x 24" x 18" (06 unid.)	

**Tabla 10: Datos técnicos CO-RTU-12**

EQUIPO	MODELO	SERIE	CAPAC.	MARCA	UBICACION	AÑO FABRIC.	Datos	COMPRESORES	
								CIRCUITO 1	CIRCUITO 2
CO-RTU-12	SXHGD1340397GEDD3C01A0C00000000T0700	C08A00062	130 Ton	Trane	Gran Techo Concourse	2008	Cantidad	4	4
							Capacidad	15 Ton	15 Ton
							Voltaje	460	460
							Hz	60	60
							PH	3	3
							Tipo Refrig.	R22	R22
							Cant. Refrig	112 LBS	112 LBS
							Lubricante	Mineral 3G	Mineral 3G
								COMPONENTES	
								Características	Tiempo Vida Útil
							Filtros fibra	06 unidades	18 Meses
							Medidas	175.26 x 59 x 4.5 cm	
							Filtros carbón	12 unidades	12 Meses
							Peso	13kg	
							Filtros bolsa	18 unidades	06 meses
							Modelo	24" x 24" x 18" (15 unid.) 12" x 24" x 18" (03 unid.)	

**Tabla 11: Datos técnicos PP-RTU-01**

EQUIPO	MODELO	SERIE	CAPAC.	MARCA	UBICACION	AÑO FABRIC.	Datos	COMPRESORES	
								CIRCUITO 1	CIRCUITO 2
PP-RTU-01	SXHKD1340M86JDCD7000A0C0F0J000N0000800	C16H05544	130 Ton	Trane	Gran Techo Perú Plaza	2016	Cantidad	2	2
							Capacidad	26.2 Ton	26.2 Ton
							Voltaje	460	460
							Hz	60	60
							PH	3	3
							Tipo Refrig.	R410a	R410a
							Cant. Refrig	70 LBS	70 LBS
							Lubricante	Polyester 32H	Polyester 32H
								COMPONENTES	
								Características	Tiempo Vida Útil
							Filtros fibra		18 Meses
							Medidas		
							Filtros carbón		12 Meses
							Peso		
							Filtros bolsa		06 meses
							Modelo		

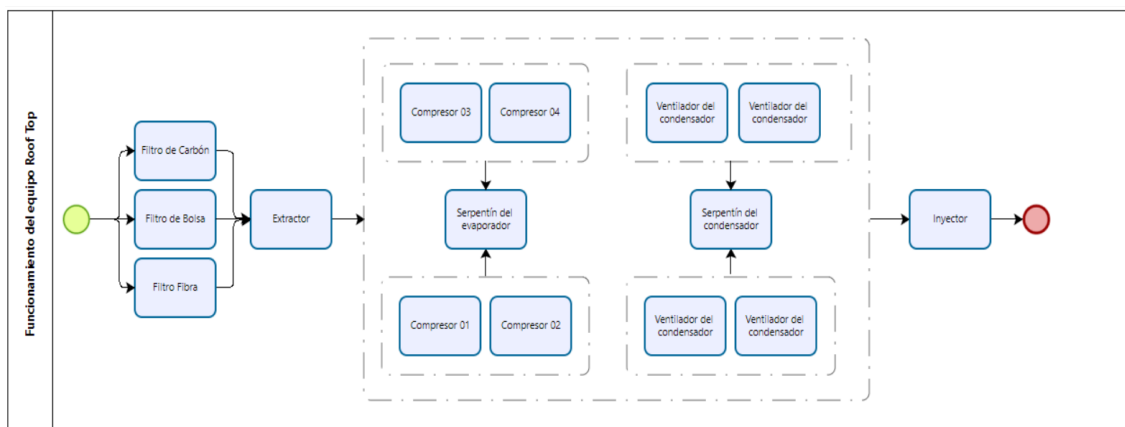
**Tabla 12: Datos técnicos PP-RTU-02**

EQUIPO	MODELO	SERIE	CAPAC.	MARCA	UBICACIÓN	AÑO FABRIC.	Datos	COMPRESORES		
								CIRCUITO 1	CIRCUITO 2	
PP-RTU-02	SXHGD1240Y86GEED300 1A0C0000000T0Y00	C03M10965	115 Ton	Trane	Gran Techo Perú Plaza	2003	Cantidad	4	4	
							Capacidad	15 Ton	15 Ton	
							Voltaje	460	460	
							Hz	60	60	
							PH	3	3	
							Tipo Refrig.	R22	R22	
							Cant. Refrig.	112 LBS	112 LBS	
							Lubricante	Mineral 3G	Mineral 3G	
							COMPONENTES			
							Características		Tiempo Vida Útil	
							Filtros fibra	06 unidades	18 Meses	
							Medidas	175.26 x 59 x 4.5 cm		
							Filtros carbón	21 unidades	12 Meses	
							Peso	10kg (18) + 8kg (3)		
							Filtros bolsa	18 unidades	06 meses	
							Modelo	24" x 24" x 18" (15 unid.)		
								12" x 24" x 18" (03 unid.)		

### Auditoria de confiabilidad y criticidad

En esta etapa realizaremos el Diagrama de bloques de confiabilidad (RBD), en donde se coloca cada parte del equipo en bloques para analizarlos. Los bloques se van a colocar dependiendo del funcionamiento de cada componente del equipo, puede ser en serie o paralelo; en donde cada bloque se considera que funciona o falla. Para nuestro análisis lo realizaremos a los componentes de los 6 equipos Roof top.

**Figure 5: Funcionamiento del equipo**



Equipos: CO-RTU-12.

- Paralelo: Filtros.

$$R(t) = 1 - (1 - 1) * (1 - 1) * (1 - 1) = 100\%$$

- Serie: Extractor/Filtro.

$$R(t) = 1 * 1 = 100\%$$

- Serie: Serpentín Evaporador

$$R(t) = 0.99 * 0.90 = 0.89\%$$

- Serie: Serpentín Condensador.

$$R(t) = 0.89 * 1 = 89\%$$

- Serie: Serpentín C./ Serpentín E.

$$R(t) = 0.89 * 1 = 0.89\%$$

- Serie: Serpentín / Inyector

$$R(t) = 0.90 * 0.99 = \mathbf{89.49\%}$$

Equipos: TE-RTU-02.

- Paralelo: Filtros.

$$R(t) = 1 - (1 - 1) * (1 - 1) * (1 - 1) = 100\%$$

- Serie: Extractor/Filtro.

$$R(t) = 1 * 1 = 100\%$$

- Serie: Serpentín Evaporador

$$R(t) = 0.88 * 1 = 0.88,34\%$$

- Serie: Serpentín Condensador.

$$R(t) = 0.88 * 1 = 88,34\%$$

- Serie: Serpentín C./ Serpentín E.

$$R(t) = 0.88 * 1 = 88,34\%$$

- Serie: Serpentín / Inyector

$$R(t) = 0.88 * 1 = \mathbf{88,34\%}$$

Equipos: TE-RTU-05.

- Paralelo: Filtros.

$$R(t) = 1 - (1 - 1) * (1 - 1) * (1 - 1) = 100\%$$

- Serie: Extractor/Filtro.

$$R(t) = 1 * 1 = 100\%$$

- Serie: Serpentín Evaporador

$$R(t) = 1 * 1 = 100\%$$

- Serie: Serpentín Condensador.

$$R(t) = 0.95 * 1 = 95\%$$

- Serie: Serpentín C./ Serpentín E.

$$R(t) = 0.95 * 1 = 95\%$$

- Serie: Serpentín / Inyector

$$R(t) = 0.95 * 0.9331 = \mathbf{88.65\%}$$

Equipos: TE-RTU-08.

- Paralelo: Filtros.

$$R(t) = 1 - (1 - 1) * (1 - 1) * (1 - 1) = 100\%$$

- Serie: Extractor/Filtro.

$$R(t) = 1 * 1 = 100\%$$

- Serie: Serpentín Evaporador

$$R(t) = 1 * 1 = 100\%$$

- Serie: Serpentín Condensador.

$$R(t) = 1 * 1 = 100\%$$

- Serie: Serpentín C./ Serpentín E.

$$R(t) = 1 * 0.925 = 92.5\%$$

- Serie: Serpentín / Inyector

$$R(t) = 0.925 * 0.9568 = \mathbf{88.51\%}$$

Equipos: PP-RTU-01.

- Paralelo: Filtros.

$$R(t) = 1 - (1 - 1) * (1 - 1) * (1 - 1) = 100\%$$

- Serie: Extractor/Filtro.

$$R(t) = 1 * 1 = 100\%$$

- Serie: Serpentín Evaporador

$$R(t) = 0.99 * 1 = 0.99\%$$

- Serie: Serpentín Condensador.

$$R(t) = 0.95 * 1 = 95\%$$

- Serie: Serpentín C./ Serpentín E.

$$R(t) = 0.95 * 0.99 = 94.05\%$$

- Serie: Serpentín / Inyector

$$R(t) = 0.9405 * 0.9350 = \mathbf{87.94\%}$$

Equipos: PP-RTU-02.

- Paralelo: Filtros.

$$R(t) = 1 - (1 - 1) * (1 - 1) * (1 - 1) = 100\%$$

- Serie: Extractor/Filtro.

$$R(t) = 1 * 1 = 100\%$$

- Serie: Serpentín Evaporador

$$R(t) = 0.97 * 1 = 97\%$$

- Serie: Serpentín Condensador.

$$R(t) = 1 * 0.92 = 92\%$$

- Serie: Serpentín C./ Serpentín E.

$$R(t) = 0.92 * 0.97 = 89.24\%$$

- Serie: Serpentín / Inyector

$$R(t) = 0.8924 * 0.9904 = \mathbf{88.38\%}$$

### **Análisis de efectos y criticidad del modo de falla.**

Para el análisis FMECA se tomará los equipos semicríticos y críticos de los componentes del Roof top, por lo que se debe identificar todas las partes que lo conforman para definir la manera correcta del análisis de los posibles fallos. Después se debe proceder con el grado de gravedad de cada caso, el cual será medido con los valores que se coloquen según los cuadros líneas abajo.

**Tabla 13: Criticidad del PP-RTU-01**

PP-RTU-01	Frecuencia de fallas (Anual)	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de mantenimiento	Impacto a seguridad ambiente e Higiene	Consecuencia	Total	Criticidad
Compresor	2	9	3	2	7	36	72	Critico
Serpentín del condensador	0	9	4	2	7	45	0	Baja criticidad
Serpentín del evaporador	0	9	4	2	7	45	0	Baja criticidad
Ventilador del condensador	6	7	2	1	5	20	120	Critico
Tipos de Filtro Roof Top	0	4	1	1	1	6	0	Baja criticidad
Inyector	2	9	3	2	5	34	68	Semicritico
Equipos Eléctricos Roof Top	0	10	4	1	5	46	0	Baja criticidad
Ductos de ventilación	0	6	1	2	4	12	0	Baja criticidad
Moto dâmpner	0	6	1	2	5	13	0	Baja criticidad
Termostatos	8	6	1	1	4	11	88	Critico

**Tabla 14: Criticidad del TE-RTU-02**

TE-RTU-02	Frecuencia de fallas (Anual)	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de mantenimiento	Impacto a seguridad ambiente e Higiene	Consecuencia	Total	Criticidad
Compresor	0	9	3	2	7	36	0	Baja criticidad
Serpentín del condensador	0	9	4	2	7	45	0	Baja criticidad
Serpentín del evaporador	1	9	4	2	7	45	45	Baja criticidad
Ventilador del condensador	5	7	2	1	5	20	100	Critico
Tipos de Filtro Roof Top	0	4	1	1	1	6	0	Baja criticidad
Inyector	2	9	3	2	5	34	68	Semicritico
Equipos Eléctricos Roof Top	0	10	4	1	5	46	0	Baja criticidad
Ductos de ventilación	0	6	1	2	4	12	0	Baja criticidad
Moto dâmpner	0	6	1	2	5	13	0	Baja criticidad
Termostatos	4	6	1	1	4	11	44	Baja criticidad

**Tabla 15: Criticidad del TE-RTU-05**

TE-RTU-05	Frecuencia de fallas (Anual)	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de mantenimiento	Impacto a seguridad ambiente e Higiene	Consecuencia	Total	Criticidad
Compresor	5	9	3	2	7	36	180	Critico
Serpentín del condensador	0	9	4	2	7	45	0	Baja criticidad
Serpentín del evaporador	2	9	4	2	7	45	90	Critico
Ventilador del condensador	0	7	2	1	5	20	0	Baja criticidad
Tipos de Filtro Roof Top	0	4	1	1	1	6	0	Baja criticidad
Inyector	0	9	3	2	5	34	0	Baja criticidad
Equipos Eléctricos Roof Top	0	10	4	1	5	46	0	Baja criticidad
Ductos de ventilación	0	6	1	2	4	12	0	Baja criticidad
Moto dâmpner	0	6	1	2	5	13	0	Baja criticidad
Termostatos	2	6	1	1	4	11	22	Baja criticidad

**Tabla 16: Criticidad del TE-RTU-08**

TE-RTU-08	Frecuencia de fallas (Anual)	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de mantenimiento	Impacto a seguridad ambiente e Higiene	Consecuencia	Total	Criticidad
Compresor	3	9	3	2	7	36	108	Critico
Serpentín del condensador	0	9	4	2	7	45	0	Baja criticidad
Serpentín del evaporador	0	9	4	2	7	45	0	Baja criticidad
Ventilador del condensador	5	7	2	1	5	20	100	Critico
Tipos de Filtro Roof Top	0	4	1	1	1	6	0	Baja criticidad
Inyector	3	9	3	2	5	34	102	Critico
Equipos Eléctricos Roof Top	0	10	4	1	5	46	0	Baja criticidad
Ductos de ventilación	0	6	1	2	4	12	0	Baja criticidad
Moto dâmpner	0	6	1	2	5	13	0	Baja criticidad
Termostatos	6	6	1	1	4	11	66	Semicritico

**Tabla 17: Criticidad del CO-RTU-12**

CO-RTU-12	Frecuencia de fallas (Anual)	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de mantenimiento	Impacto a seguridad ambiente e Higiene	Consecuencia	Total	Criticidad
Compresor	2	7	3	2	7	30	60	Semicrítico
Serpentín del condensador	0	9	4	2	7	45	0	Baja criticidad
Serpentín del evaporador	3	9	4	2	7	45	135	Crítico
Ventilador del condensador	0	7	2	1	5	20	0	Baja criticidad
Tipos de Filtro Roof Top	0	4	1	1	1	6	0	Baja criticidad
Inyector	0	9	3	2	5	34	0	Baja criticidad
Equipos Eléctricos Roof Top	0	10	4	1	5	46	0	Baja criticidad
Ductos de ventilación	0	6	1	2	4	12	0	Baja criticidad
Moto dâmpfer	0	6	1	2	5	13	0	Baja criticidad
Termostatos	2	6	1	1	4	11	22	Baja criticidad

**Tabla 18: Criticidad del PP-RTU-02**

PP-RTU-02	Frecuencia de fallas (Anual)	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de mantenimiento	Impacto a seguridad ambiente e Higiene	Consecuencia	Total	Criticidad
Compresor	0	9	3	2	7	36	0	Baja criticidad
Serpentín del condensador	0	9	4	2	7	45	0	Baja criticidad
Serpentín del evaporador	1	9	4	2	7	45	45	Baja criticidad
Ventilador del condensador	5	8	2	1	5	22	110	Crítico
Tipos de Filtro Roof Top	0	4	1	1	1	6	0	Baja criticidad
Inyector	4	9	3	2	5	34	136	Crítico
Equipos Eléctricos Roof Top	0	10	4	1	5	46	0	Baja criticidad
Ductos de ventilación	0	6	1	2	4	12	0	Baja criticidad
Moto dâmpfer	0	6	1	2	5	13	0	Baja criticidad
Termostatos	4	6	1	1	4	11	44	Baja criticidad

Antes de realizar el cuadro del FMECA realizamos el análisis de criticidad para detectar los componentes más críticos, ya teniendo identificados procedemos a realizar el cuadro de modo y efecto de fallos.

**Tabla 19: Análisis del Compresor**

Nombre del equipo: Compresor Codigo: COM01 Sistema: De Aire acondicionado								
Pieza	Función que realiza	Modo de fallo	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles Actuales	G	O	IPR
Pistón	Reduce el volumen y aumenta la presión del gas	Desgaste de pistón	Perdida de presión en el sistema	Falta de lubricación	Mtto. Preventivo	5	6	90
		Rodamiento desgastado	Perdida de aislamiento	Falta de engrase	Preventivo/inspección	5	4	160
Bobina	Genera fuerza de giro	Bobina con bajo aislamiento	Bobina quemada	Falta prueba aislamiento	Mtto. Preventivo	6	5	270
		Sobre tensión	Bobina quemada	Falta equipos de protección	Mtto. Preventivo	8	6	144
		Sobrecalentamiento	Perdida de aislamiento	Temperatura del gas elevado	Mtto. Preventivo	5	7	315
		Sobre corriente	Bobina quemada	Falta equipos de protección	Mtto. Preventivo	8	6	144
Cables eléctrico	Alimentación eléctrica del motor	Circuito abierto	Falla en el arranque	Cable corroído/sulfatado	Mtto. Preventivo	9	2	72
		Cable a tierra	Falla en el arranque	Cable suelto	inspección visual	7	3	84
		No hay tensión	Motor no arranca	Cable corroído/sulfatado	Correctivo	9	2	72
Rodamiento	Permite giro del eje	Desgaste del rodamiento	Sobrecalentamiento del motor	Desgaste	Mtto. Preventivo	4	7	140
		Roto	deformación del eje	Rotura del rodamiento	Correctivo	7	7	196
Aceite	Lubricar partes mecánicas	Perdida de aceite	Bobina quemada	Bajo nivel de aceite	Preventivo/inspección	6	6	108
		Perdida de viscosidad	Desgaste de partes mecánicas	No se cambio aceite	Mtto. Preventivo	6	4	72
Resistencia	Evite que el aceite absorba liquido	No calienta aceite del compresor	Aceite con agua	Falta ajuste de la resistencia	Preventivo/inspección	5	6	150
		Resistencia rota	Bobina quemada	Sobreesfuerzo	inspección visual	5	9	270
Juntas tóricas y anillos	Sella los elementos de carga deslizando hidráulicos y limpiadores	Filtración de aceite	Resecamiento	Falta de lubricación / Polución	inspección visual	4	6	192

**Tabla 20: Análisis del Serpentin del Condensador**

Nombre del equipo: Serpentin del condensador

Código: SERCON

Sistema: Refrigerante

Pieza	Función que realiza	Modo de fallo	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles Actuales	G	O	D	IPR
Aletas	Atrapar el calor y mejorar el intercambio	Intercambio de calor no se realiza correctamente	Aletas dobladas o dañadas por corrosión	Presión de agua excesiva durante la limpieza	Correctivo	7	6	6	252
Refrigerante	Trasladar calor al serpentín	Fuga de refrigerante	No absorbe calor	Tubería corroída	Correctivo	9	6	5	270
		Contaminación	No absorbe calor	Fuera de clase	Correctivo	6	5	4	120
Tubería de cobre	Trasladar refrigerante por el serpentín del condensador	Falta de precisión constante	No absorbe calor	Tubería corroída	Correctivo	9	6	5	270
		Fuga de refrigerante	No opera ciclo de refrigeración	Tubería picada o corroída	Mtto. Preventivo	8	5	4	160

**Tabla 21: Análisis del Serpentin del evaporador**

Nombre del equipo: Serpentin del evaporador

Código: SEREVA

Sistema: Refrigerante

Pieza	Función que realiza	Modo de fallo	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles Actuales	G	O	D	NPR
Aletas	Atrapar el calor y mejorar el intercambio	Intercambio de calor no se realiza correctamente	Aletas dobladas o dañadas por corrosión	Precisión excesiva durante la limpieza	Correctivo	7	7	6	294
Refrigerante	Trasladar frío al serpentín	Fuga del refrigerante	No opera ciclo de refrigeración	Tubería picada o corroída	Mtto. Preventivo	8	5	4	160
		Contaminación	No traslada Frío	Fuera de clase / humedad	Correctivo	7	4	4	112
Válvula termoexpansión	Controlar el caudal del refrigerante en estado líquido que ingresa al evaporador.	Alta presión del refrigerante	Daño de la tubería de cobre	Descalibración	Mtto. Preventivo	8	4	5	160
		Obstrucción del refrigerante	No absorbe calor	Falta refrigerante / fuga	Inspección visual	8	6	4	192
Tubería de cobre	Trasladar refrigerante por el serpentín del evaporador	Falta de presión constante	Paro inesperado del sistema	Descalibración	Mtto. Preventivo	6	3	5	90
		Fuga de refrigerante	No absorbe calor	Tubería corroída	Correctivo	9	6	5	270
			No opera ciclo de refrigeración	Tubería picada o corroída	Mtto. Preventivo	8	5	4	160

**Tabla 22: Análisis del Ventilador del Condensador**

Nombre del equipo: Ventilador del condensador

Código: VCON01

Sistema: Mecánica

Pieza	Función que realiza	Modo de fallo	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles Actuales	G	O	D	IPR
Eje	Guía el movimiento para las hélices	Eje trabado	No produce el movimiento para generar el viento	Rodamiento desgastado	Mtto. Preventivo	5	7	3	105
		Círculo abierto	Falla en el arranque	Bonina cortocircuitada	Mtto. Preventivo	7	6	5	210
Cables eléctrico	Alimentación eléctrica del motor	Cable a tierra	Falla en el arranque	Cable corroído/sulfatado	Mtto. Preventivo	9	3	5	135
		No hay tensión	Motor no arranca	Cable suelto / Falso contacto	Inspección visual	7	6	4	168
		Rodamiento desgastado	Perdida de aislamiento	Cable corroído/sulfatado	Correctivo	9	3	4	108
Bobina	Generar fuerza de giro	Bobina con bajo aislamiento	Bobina quemada	Falta de engrase	Preventivo/inspección	5	6	8	240
		Sobre tensión	Bobina quemada	Bajo aislamiento	Mtto. Preventivo	9	4	8	288
		Sobre corriente	Bobina quemada	Falta equipos de protección	Mtto. Preventivo	9	5	1	45
Rodamiento	Permite giro del eje	Desgaste del rodamiento	Sobrecalentamiento	Falta equipos de protección	Mtto. Preventivo	9	5	5	225
		Roto	deformación del eje	Desgaste	Mtto. Preventivo	6	7	8	336
Hélice	Extraer calor del refrigerante que pasa por el serpentín del condensador	Roto	Sobrecalentamiento	Rotura del rodamiento	Correctivo	8	4	6	192
		No hay energía eléctrica	Equipo no opera	Desgaste de rodamiento	Inspección visual	6	7	8	336
		No hay flujo de aire	Sobrecalentamiento	Cablería corroída/sulfatada	Correctivo	9	3	5	135
				Desgaste de rodamiento	Inspección visual	6	7	8	336



**Tabla 23: Análisis del Inyector**

Nombre del equipo: Inyector (Impulsor Sirocco)									
Código: INY01									
Sistema: Mecánica									
Pieza	Función que realiza	Modo de fallo	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles Actuales	G	O	D	IPR
Impulsor	Crea flujo de aire en el sistema	Bajo flujo de aire	Paletas rotas	Polución y suciedad	Mtto. Preventivo	8	4	3	96
			Ruido extraño por rozamiento	Rodaje desgastados	Mtto. Preventivo	5	4	8	160
			Desgaste de excesivo	Falta de ajuste / centrado	Mtto. Preventivo	6	5	7	210
Bobina	Generar fuerza de giro	Rodamiento desgastado	Perdida de aislamiento	Falta de engrase	Preventivo/inspección	4	6	8	192
		Bobina con bajo aislamiento	Bobina quemada	Bajo aislamiento	Mtto. Preventivo	9	7	8	504
		Sobre tensión	Bobina quemada	Falta equipos de protección	Mtto. Preventivo	8	2	5	80
		Sobre corriente	Bobina quemada	Falta equipos de protección	Mtto. Preventivo	9	6	6	324
Rodamiento	Permite giro del eje	Desgaste del rodamiento	Sobrecalentamiento	Desgaste	Mtto. Preventivo	5	6	6	180
		Roto	Deformación del eje	Rodamiento roto	Correctivo	8	3	4	96
Cables eléctrico	Alimentación eléctrica del motor	Circuito abierto	Falla en el arranque	Cable corroído/sulfatado	Mtto. Preventivo	9	3	7	189
		Cable a tierra	Falla en el arranque	Cable suelto	Inspección visual	8	6	5	240
		No hay tensión	Motor no arranca	Cable corroído/sulfatado	Correctivo	9	4	7	252
Chumacera	Permite giro del eje	Falta engrase	Desgaste de rodamientos	Engrase de forma incorrecta	Inspección visual	4	5	6	120
		Roto	Deformación del eje	Chumacera rota	Correctivo	9	2	5	90
Faja	Entrega movimiento a la polea del sirocco	Falta alineamiento/tensar	Deslizamiento	Desgaste de la faja	Mtto. Preventivo	4	8	6	192
		No hay flujo de aire	Sobrecalentamiento	Rotura de la faja	Correctivo	9	6	4	216
		Bajo flujo de aire	Sobrecalentamiento	Selección errada de faja	Inspección visual	4	5	7	140
Polea de ventilador sirocco	Mueve al sirocco	Desgaste	Alta vibración	Pernos flojos	Mtto. Preventivo	6	5	8	240
				Desgaste de rodamiento	Correctivo	6	7	6	252

**Tabla 24: Análisis del Termostato**

Pieza	Función que realiza	Modo de fallo	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles Actuales	G	O	D	IPR
Componentes electrónicos	Regular el funcionamiento del equipo	No censa la temperatura	Sensor dañado	Polución y suciedad	Correctivo	7	6	6	252
		No envía señal al equipo	Sistema apagado	Falso contacto / contacto desgastado	Correctivo	8	3	8	192

Después de completar los valores de cada componente analizado y tener el índice de prioridad de riesgo procedemos hacer el cuadro resumen, el cual nos permite ver los tres estados del IPR (Aceptable, Reducción deseable, Inaceptable).

**Tabla 25: Cuadro resumen de análisis de FMECA**

Componentes	Pieza	G	O	D	IPR	Descripción
Compresor	Pistón	5	6	3	90	Aceptable
	Bobina	5	4	8	160	Reducción deseable
		6	5	9	270	Inaceptable
		8	6	3	144	Reducción deseable
		5	7	9	315	Inaceptable
		8	6	3	144	Reducción deseable
	Cables eléctrico	9	2	4	72	Aceptable
		7	3	4	84	Aceptable
		9	2	4	72	Aceptable
	Rodamiento	4	7	5	140	Reducción deseable
		7	7	4	196	Reducción deseable
	Aceite	6	6	3	108	Aceptable
		6	4	3	72	Aceptable
	Resistencia	5	6	5	150	Reducción deseable
		5	9	6	270	Inaceptable
Juntas tóricas y anillos	4	6	8	192	Reducción deseable	
					Aceptable	
Serpentin del Condensador	Aletas	7	6	6	252	Inaceptable
	Refrigerante	9	6	5	270	Inaceptable
		6	5	4	120	Aceptable
	Tubería de cobre	9	6	5	270	Inaceptable
	8	5	4	160	Reducción deseable	

Serpentin del Evaporador	Aletas	7	7	6	294	Inaceptable
	Refrigerante	8	5	4	160	Reducción deseable
		7	4	4	112	Aceptable
	Válvula	8	4	5	160	Reducción deseable
		8	6	4	192	Reducción deseable
	Tubería de cobre	6	3	5	90	Aceptable
9		6	5	270	Inaceptable	
8		5	4	160	Reducción deseable	
Ventilador del Condensador	Eje	5	7	3	105	Aceptable
		7	6	5	210	Inaceptable
	Cables eléctrico	9	3	5	135	Reducción deseable
		7	6	4	168	Reducción deseable
	Bobina	9	3	4	108	Aceptable
		5	6	8	240	Inaceptable
		9	4	8	288	Inaceptable
		9	5	1	45	Aceptable
	Rodamiento	9	5	5	225	Inaceptable
		6	7	8	336	Inaceptable
	Hélice	8	4	6	192	Reducción deseable
		6	7	8	336	Inaceptable
9		3	5	135	Reducción deseable	
Inyector	Impulsor	6	7	8	336	Inaceptable
		8	4	3	96	Aceptable
		8	4	3	96	Aceptable
	Bobina	5	4	8	160	Reducción deseable
		6	5	7	210	Inaceptable
		4	6	8	192	Reducción deseable
	Rodamiento	9	7	8	504	Inaceptable
		8	2	5	80	Aceptable
	Cables eléctrico	9	6	6	324	Inaceptable
		5	6	6	180	Reducción deseable
		8	3	4	96	Aceptable
		9	3	7	189	Reducción deseable
		8	6	5	240	Inaceptable
	Chumacera	9	4	7	252	Inaceptable
		4	5	6	120	Aceptable
9		2	5	90	Aceptable	
Faja	4	8	6	192	Reducción deseable	
	9	6	4	216	Inaceptable	
	4	5	7	140	Reducción deseable	
Polea de ventilador sirocco	6	5	8	240	Inaceptable	
	6	7	6	252	Inaceptable	
Termostato	Componentes electrónicos	7	6	6	252	Inaceptable
		8	3	8	192	Reducción deseable

## Tareas alternativas de mantenimiento

Ahora vamos a verificar que modos de fallo son medibles y no medibles, dependiendo del grupo que se ubiquen aplicaremos las siguientes estrategias.

Tabla 26: Modos de fallos medibles y no medibles.

Modos de falla	Estrategias
Modos de fallas medibles	Monitoreo a condición
Modo de fallas no medibles	Correctivo / Preventivo
	Rediseñar o posiblemente no usar

**Tabla 27: Cuadro resumen - Medible, no medible**

Componentes	Pieza	G	O	D	IPR	Descripción	Modos de falla
Compresor	Bobina	5	4	8	160	Reducción deseable	Medible
		6	5	9	270	Inaceptable	Medible
		8	6	3	144	Reducción deseable	Medible
		5	7	9	315	Inaceptable	Medible
		8	6	3	144	Reducción deseable	Medible
	Rodamiento	4	7	5	140	Reducción deseable	Medible
		7	7	4	196	Reducción deseable	Medible
	Resistencia	5	6	5	150	Reducción deseable	Medible
		5	9	6	270	Inaceptable	Medible
		4	6	8	192	Reducción deseable	No medible
Serpentin del Condensador	Aletas	7	6	6	252	Inaceptable	Medible
	Refrigerante	9	6	5	270	Inaceptable	Medible
	Refrigerante	9	6	5	270	Inaceptable	Medible
	luberia de cobre	8	5	4	160	Reducción deseable	Medible
Serpentin del Evaporador	Aletas	7	7	6	294	Inaceptable	Medible
	Refrigerante	8	5	4	160	Reducción deseable	Medible
	Válvula	8	4	5	160	Reducción deseable	Medible
	Válvula	8	6	4	192	Reducción deseable	Medible
	luberia de cobre	9	6	5	270	Inaceptable	Medible
Ventilador del Condensador	Eje	8	5	4	160	Reducción deseable	Medible
	Eje	7	6	5	210	Inaceptable	Medible
	Cables eléctrico	9	3	5	135	Reducción deseable	Medible
	Cables eléctrico	7	6	4	168	Reducción deseable	Medible
	Bobina	5	6	8	240	Inaceptable	No medible
Inyector	Bobina	9	4	8	288	Inaceptable	Medible
	Bobina	9	5	5	225	Inaceptable	Medible
	Rodamiento	6	7	8	336	Inaceptable	Medible
	Rodamiento	8	4	6	192	Reducción deseable	Medible
	Hélice	6	7	8	336	Inaceptable	Medible
	Hélice	9	3	5	135	Reducción deseable	Medible
	Impulsor	6	7	8	336	Inaceptable	Medible
	Impulsor	5	4	8	160	Reducción deseable	Medible
	Impulsor	6	5	7	210	Inaceptable	Medible
	Bobina	4	6	8	192	Reducción deseable	Medible
Termostato	Bobina	9	7	8	504	Inaceptable	Medible
	Bobina	9	6	6	324	Inaceptable	Medible
	Rodamiento	5	6	6	180	Reducción deseable	Medible
	Rodamiento	9	3	7	189	Reducción deseable	Medible
	Cables eléctrico	8	6	5	240	Inaceptable	Medible
	Cables eléctrico	9	4	7	252	Inaceptable	Medible
Termostato	Faja	4	8	6	192	Reducción deseable	Medible
	Faja	9	6	4	216	Inaceptable	Medible
	Faja	4	5	7	140	Reducción deseable	No medible
	Polea de ventilador sirocco	6	5	8	240	Inaceptable	Medible
	Polea de ventilador sirocco	6	7	6	252	Inaceptable	Medible
Termostato	Componentes electrónicos	7	6	6	252	Inaceptable	Medible
	Componentes electrónicos	8	3	8	192	Reducción deseable	No medible

### Método de monitoreo y condición de funcionamiento

En esta etapa procedemos a utilizar la tabla del Anexo A y los parámetros que son viables, así también; el estado ON/OFF del equipo.

**Tabla 28: Estado de la inspección del compresor**

Tipo de maquina: Compresor		Medición de parámetros						Estado del equipo
Fallas del equipo	Ruidos extraños	Termografía	Temperatura	Parámetros eléctricos	Prueba de aislamiento	Inspección visual / Verificación	Nivel de aceite	Equipo operativo
Falta de engrase en los rodamientos	X					X		SI
Falta de equipos de protección sistema eléctrico				X		X		SI
Temperatura elevada /Sobrecalentamiento			X	X				SI
Cable corroído /sulfatado del compresor					X	X		
Desgaste del rodamiento	X	X						SI
Bajo nivel de aceite						X	X	SI
Falta ajuste de la resistencia			X			X		SI
Sobreesfuerzo		X		X				SI

**Tabla 29: Estado de la inspección del Serpentin del Condensador**

Tipo de maquina: Serpentin del condensador		Medición de parámetros				Estado del equipo
Fallas del equipo	Medición de la presión	Inspección visual / Verificación	Pruebas de estanqueidad	PH y concentración de aditivos	Equipo operativo	
Presión de agua excesiva durante el mantto	x	x			NO	
Tubería corroída		x	x		NO	
Refrigerante fuera de clase / con humedad		x		x	NO	
Tubería picada	x		x		NO	

**Tabla 30: Estado de la inspección del Serpentin del Evaporador**

Tipo de maquina: Serpentin del evaporador		Medición de parámetros				Estado del equipo
Fallas del equipo	Medición de la presión	Inspección visual / Verificación	Pruebas de estanqueidad	PH y concentración de aditivos	Equipo operativo	
Presión de agua excesiva durante el mantto	x	x			NO	
Tubería corroída		x	x		NO	
Refrigerante fuera de clase / con humedad		x		x	NO	
Tubería picada		x	x		NO	
Fuga de refrigerante	x		x		NO	

**Tabla 31: Estado de la inspección del Ventilador del condensador**

Tipo de máquina: Ventilador del condensador		Medición de parámetros					Estado del equipo
Fallas del equipo	Ruidos extraños	Termografía	Temperatura	Parámetros eléctricos	Prueba de aislamiento	Inspección visual / Verificación	Equipo operativo
Rodamiento desgastado	X	X					SI
Bobina cortocircuitada		X		X			SI
Cable corroído /sulfatado				X	X	X	NO
Falta de engrase rodamiento	X	X					SI
Bajo aislamiento		X			X		NO
Falta equipos de protección				X		X	SI

**Tabla 32: Estado de la inspección del Inyector**

Tipo de máquina: Inyector			Medición de parámetros				Estado del equipo
Fallas del equipo	Ruidos extraños	Termografía	Ajuste mecánico / Torque	Parámetros eléctricos	Prueba de aislamiento	Inspección visual / Verificación	Equipo operativo
Pulución y suciedad						X	SI
Rodaje desgastado	X	X					SI
Falta de ajuste y centrado	X					X	NO
Falta de engrase rodamiento	X	X					SI
Bajo aislamiento				X	X		NO
Falta equipos de protección				X		X	SI
Rodamiento roto	X	X					SI
Cable corroído /sulfatado				X	X		NO
Cable suelto			X			X	NO
Engrase de forma incorrecta	X					X	SI
Chumatera rota	X		X			X	NO
Desgaste de faja	X		X			X	NO
Faja Rota	X		X			X	NO
Selección errada de faja						X	SI
Pernos flojos	X		X			X	NO

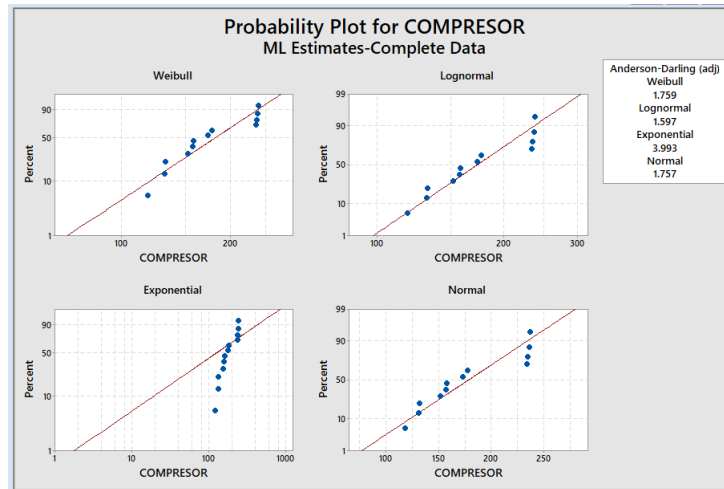
**Tabla 33: Estado de la inspección del Termostato**

Tipo de máquina: Termostato		Medición de parámetros		Estado del equipo
Fallas del equipo	Verificación de señal	Inspección visual / Verificación	Equipo operativo	
Pulución y suciedad	X	X	SI	

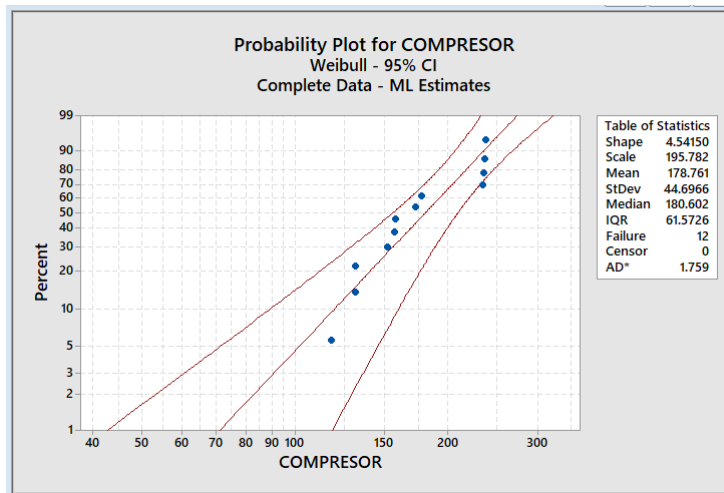
### Intervalo de monitoreo

Para el intervalo de monitoreo utilizaremos el Software Minitab quien nos permitirá identificar la mejor distribución, los límites de confianza para cada componente de los equipos. La data utiliza para este análisis es el tiempo medio entre fallos (MTBF).

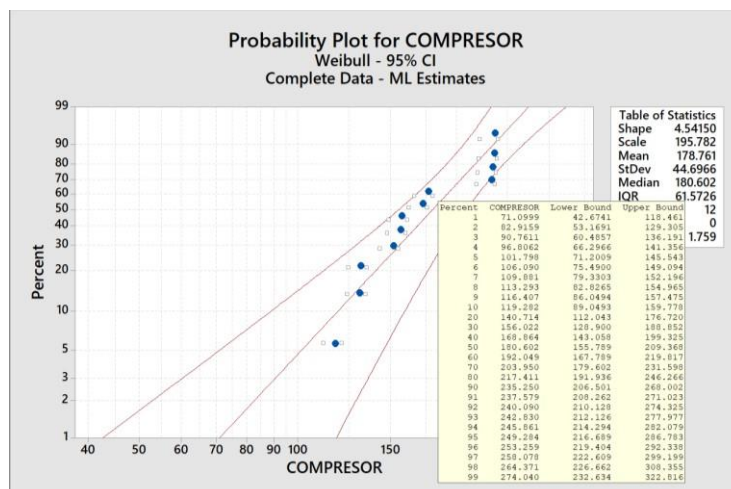
**Figure 6: Análisis de distribución**



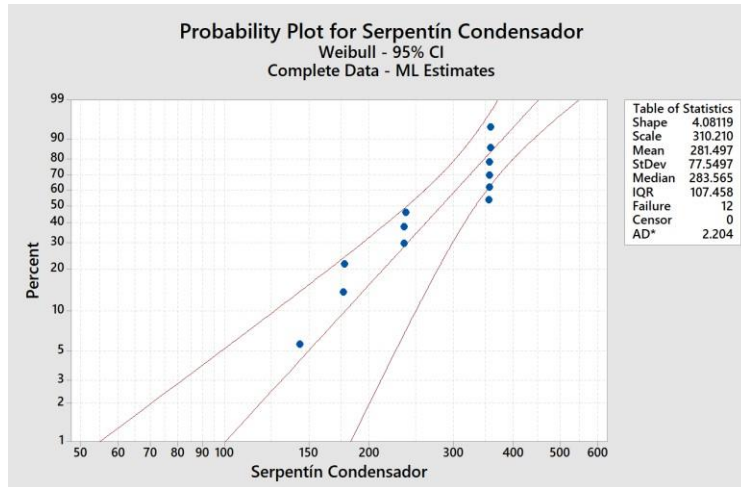
**Figure 7: Distribución de Weibull - Compresor**



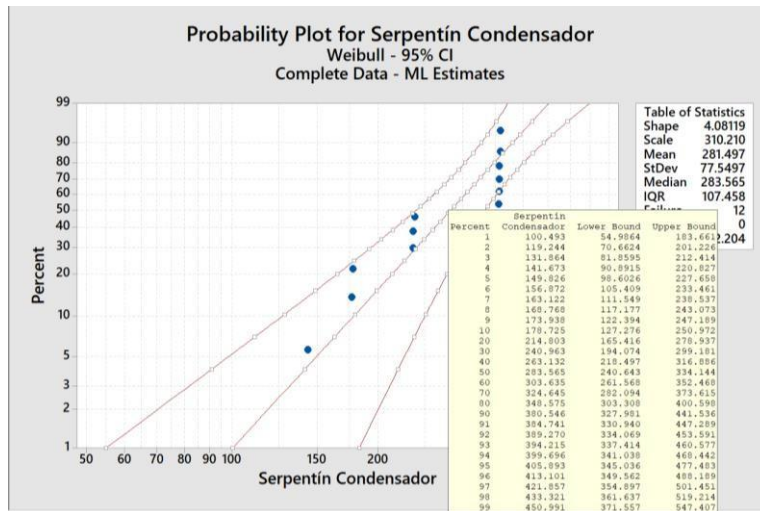
**Figure 8: Escenario Conservador Compresor - 95%**



**Figure 9: Distribución de Weibull - Serpentin del Condensador**



**Figure 10: Escenario Conservador Serpentin C. - 95%**



**Figure 11: Distribución de Weibull - Ventilador de Condensador**

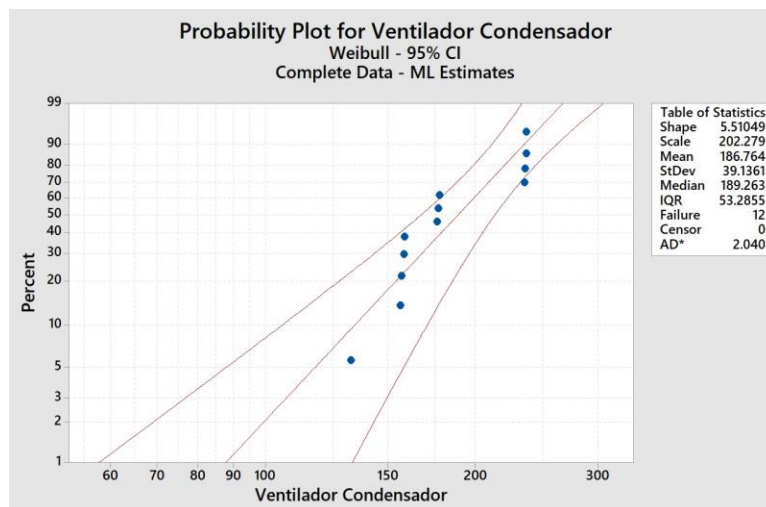


Figure 12: Escenario Conservador Condensador - 95%

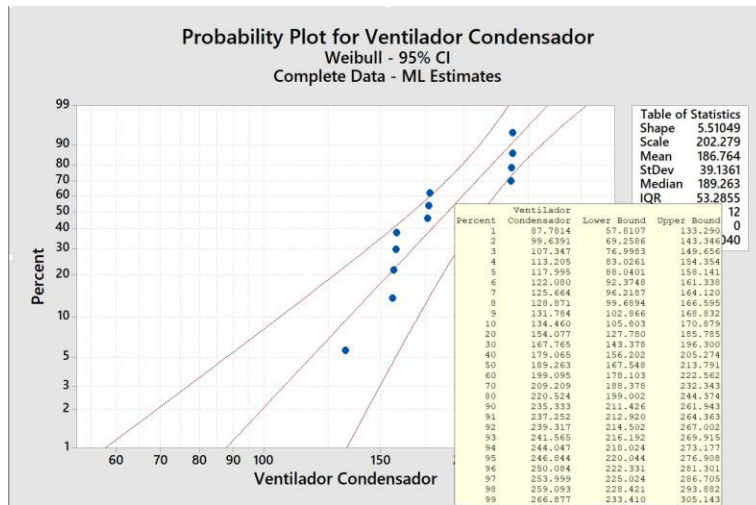


Figure 13: Distribución de Weibull - Serpentin Evaporador

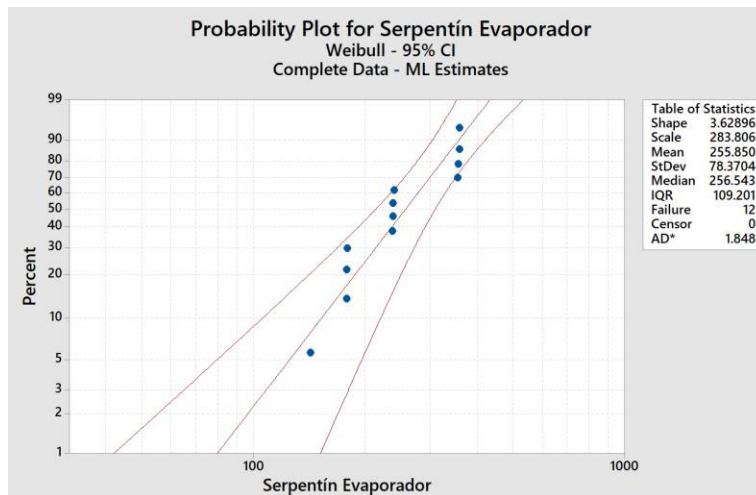
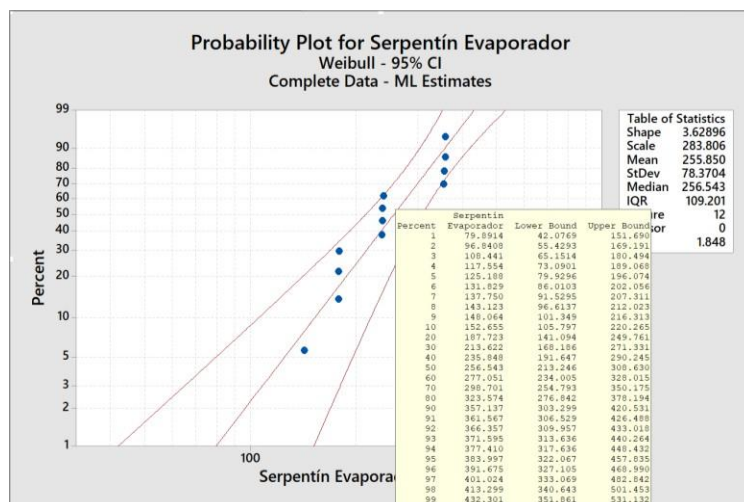
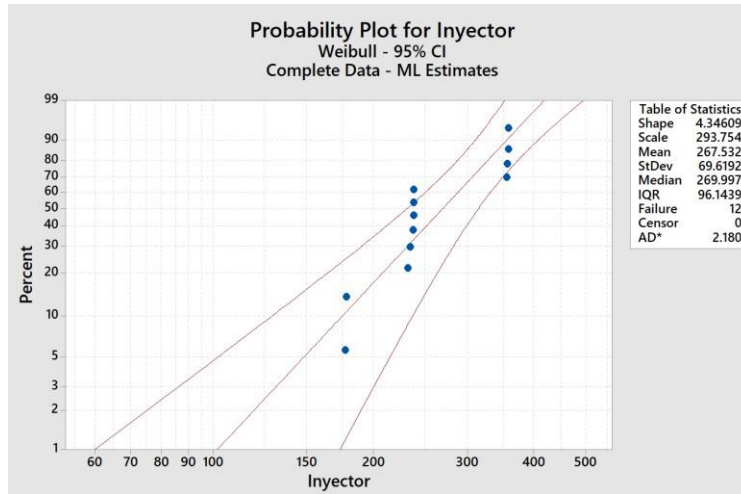


Figure 14: Escenario Conservador Serpentin del Eva. - 95%

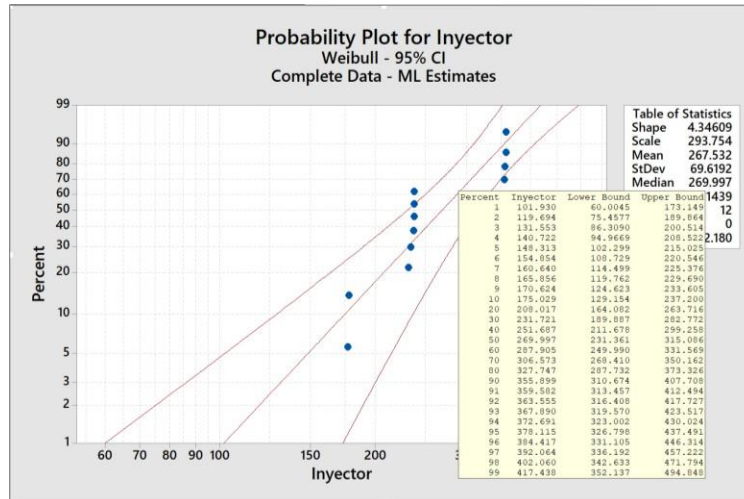




**Figure 15: Distribución de Weibull - Inyector**



**Figure 16: Escenario Conservador Inyector - 95%**



**Figure 17: Distribución de Weibull - Termostato**

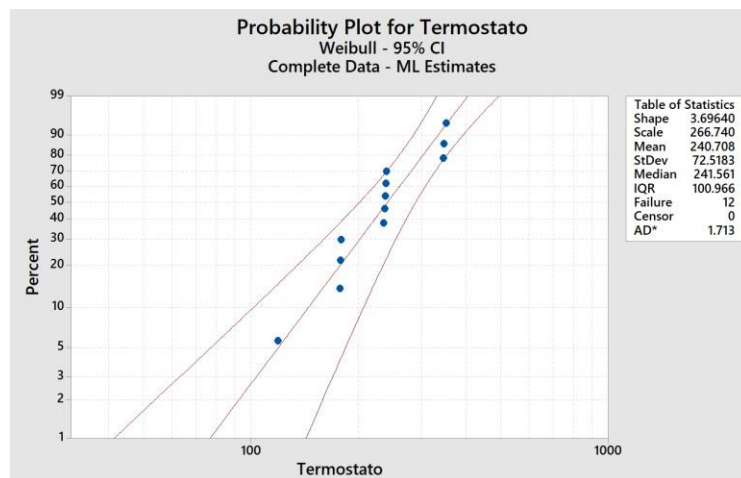
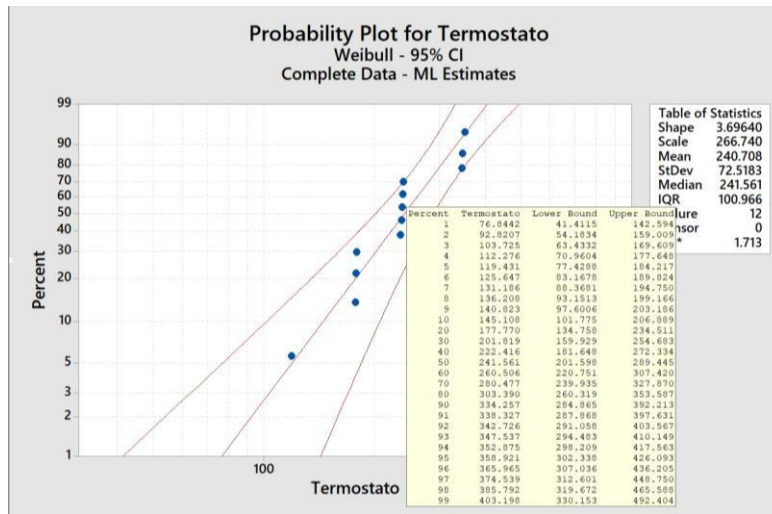


Figure 18: Escenario Conservador Termostato - 95%



Se realizó el análisis con el programa estadístico Minitab donde la mejor distribución para los datos ingresados es la distribución de Weibull, después realizamos el análisis de distribución paramétricas y gráficos de probabilidad donde utilizamos un escenario conservador para establecer la frecuencia de inspección para nuestros equipos.

Tabla 34: Frecuencia de inspección del Compresor

Tipo de máquina: Compresor		Medición de parámetros						Estado del equipo	EQUIPOS DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN
Fallas del equipo	Ruidos extraños	Termografía	Temperatura	Parámetros eléctricos	Prueba de aislamiento	Inspección visual / Verificación	Nivel de aceite	Equipo operativo	Descripción	Días
Falta de engrase en los rodamientos	X					X		SI	NO	6
Falta de equipos de protección sistema eléctrico				X		X		SI	PINZA AMPERIMETRICA / HERRAMIENTAS AISLADAS	6
Temperatura elevada /Sobrecalentamiento			X	X				SI	PIRÓMETRO	6
Cable corroído /sulfatado del compresor					X	X			MEGOMETRO	6
Desgaste del rodamiento	X	X						SI	CÁMARA TERMOGRÁFICA	6
Bajo nivel de aceite						X	X	SI	NO	6
Falta ajuste de la resistencia			X			X		SI	PIRÓMETRO	6
Sobreesfuerzo		X		X				SI	CÁMARA TERMOGRÁFICA / PINZA AMPERIMETRICA	6

**Tabla 35: Frecuencia de inspección del Serpentín del Condensador**

Tipo de maquina: Serpentín del condensador		Medición de parámetros				Estado del equipo	EQUIPOS DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN
Fallas del equipo	Medición de la presión	Inspección visual / Verificación	Pruebas de estanqueidad	PH y concentración de aditivos	Equipo operativo	Descripción	Días	
Presión de agua excesiva durante el mantto	x	x			NO	MANÓMETRO	6	
Tubería corroída		x	x		NO	VACUÓMETRO	6	
Refrigerante fuera de clase / con humedad		x		x	NO	NO	6	
Tubería picada	x		x		NO	MANÓMETRO / VACUÓMETRO	6	

**Tabla 36: Frecuencia de inspección del Serpentín del Evaporador**

Tipo de maquina: Serpentín del evaporador		Medición de parámetros				Estado del equipo	EQUIPOS DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN
Fallas del equipo	Medición de la presión	Inspección visual / Verificación	Pruebas de estanqueidad	PH y concentración de aditivos	Equipo operativo	Descripción	Días	
Presión de agua excesiva durante el mantto	x	x			NO	MANÓMETRO	6	
Tubería corroída		x	x		NO	VACUÓMETRO		
Refrigerante fuera de clase / con humedad		x		x	NO	NO	6	
Tubería picada		x	x		NO	VACUÓMETRO	6	
Fuga de refrigerante	x		x		NO	MANÓMETRO / VACUÓMETRO	6	

**Tabla 37: Frecuencia de inspección del Ventilador del Condensador**

Tipo de maquina: Ventilador del condensador		Medición de parámetros					Estado del equipo	EQUIPOS DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN
Fallas del equipo	Ruidos extraños	Termografía	Temperatura	Parámetros eléctricos	Prueba de aislamiento	Inspección visual / Verificación	Equipo operativo	Descripción	Días
Rodamiento desgastado	X	X					SI	CÁMARA TERMOGRÁFICA	7
Bobina cortocircuitada		X		X			SI	CÁMARA TERMOGRÁFICA / PINZA AMPERIMETRICA	7
Cable corroído /sulfatado				X	X	X	NO	PINZA AMPERIMETRICA / MEGOMETRO	7
Falta de engrase rodamiento	X	X					SI	CÁMARA TERMOGRÁFICA	7
Bajo aislamiento		X			X		NO	CÁMARA TERMOGRÁFICA/ MEGOMETRO	7
Falta equipos de protección				X		X	SI	PINZA AMPERIMETRICA	7

**Tabla 38: Frecuencia de inspección del Inyector**

Tipo de máquina: Inyector			Medición de parámetros				Estado del equipo	EQUIPOS DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN
Fallas del equipo	Ruidos extraños	Termografía	Ajuste mecánico / Torque	Parámetros eléctricos	Prueba de aislamiento	Inspección visual / Verificación	Equipo operativo	Descripción	Días
Pulución y suciedad						X	SI	NO	6
Rodaje desgastado	X	X					SI	CÁMARA TERMOGRÁFICA	6
Falta de ajuste y centrado	X					X	NO	NO	6
Falta de engrase rodamiento	X	X					SI	CÁMARA TERMOGRÁFICA	6
Bajo aislamiento				X	X		NO	PINZA AMPERIMETRICA / MEGOMETRO	6
Falta equipos de protección				X		X	SI	PINZA AMPERIMETRICA	6
Rodamiento roto	X	X					SI	CÁMARA TERMOGRÁFICA	6
Cable corroído /sulfatado				X	X		NO	PINZA AMPERIMETRICA / MEGOMETRO	6
Cable suelto			X			X	NO	PINZA AMPERIMETRICA	6
Engrase de forma incorrecta	X					X	SI	NO	6
Chumatera rota	X		X			X	NO	TORQUIMETRO	6
Desgaste de faja	X		X			X	NO	TORQUIMETRO	6
Faja Rota	X		X			X	NO	TORQUIMETRO	6
Selección errada de faja						X	SI	NO	6
Pernos flojos	X		X			X	NO	TORQUIMETRO	6

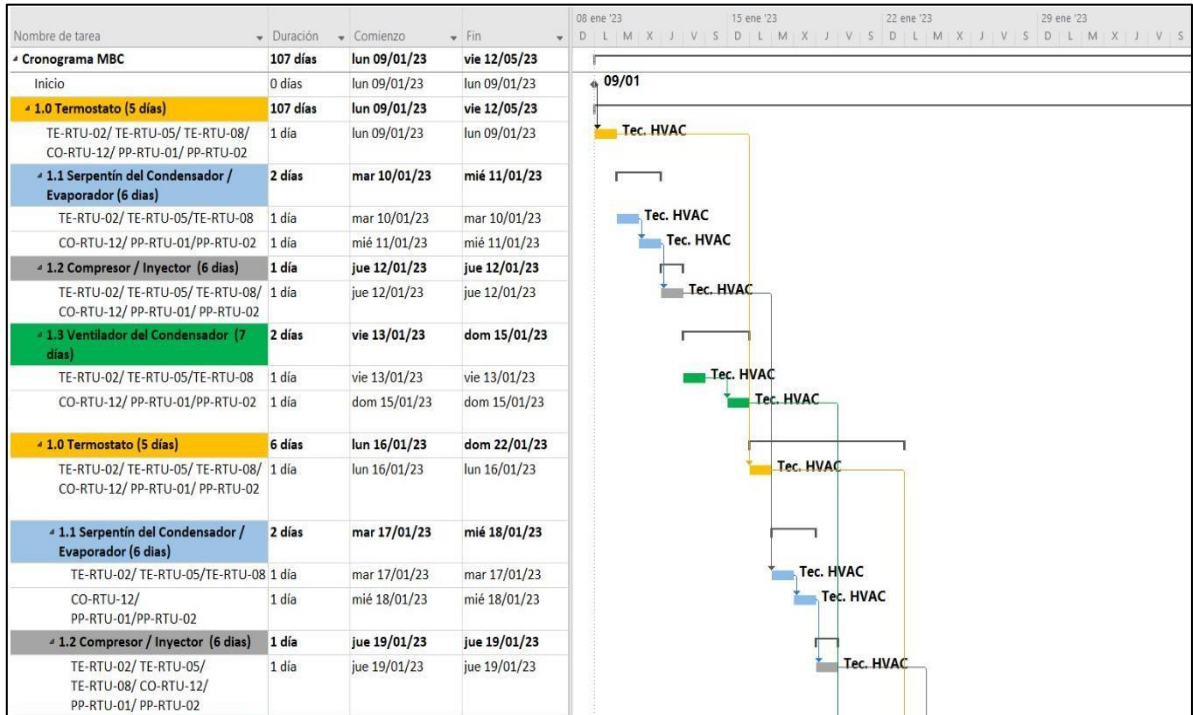
**Tabla 39: Frecuencia de inspección del Termostato**

Tipo de máquina: Termostato		Medición de parámetros		Estado del equipo	EQUIPOS DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN
Fallas del equipo	Verificación de señal	Inspección visual / Verificación	Equipo operativo	Descripción	Días	
Pulución y suciedad	X	X	SI	NO	5	

### Cronograma de actividades

Nuestro plan de mantenimiento predictivo tiene una duración de un año, el cual inicio el mes de enero y culmina en el mes de diciembre del 2023 para su análisis final. El trabajo se basa en el monitoreo constantes de los componentes más importantes del equipo y mayor incidencia de fallas, la implementación nos permite tener un mejor control de nuestros activos, mejorar la eficiencia y nos da un impacto favorable en el consumo de energía.

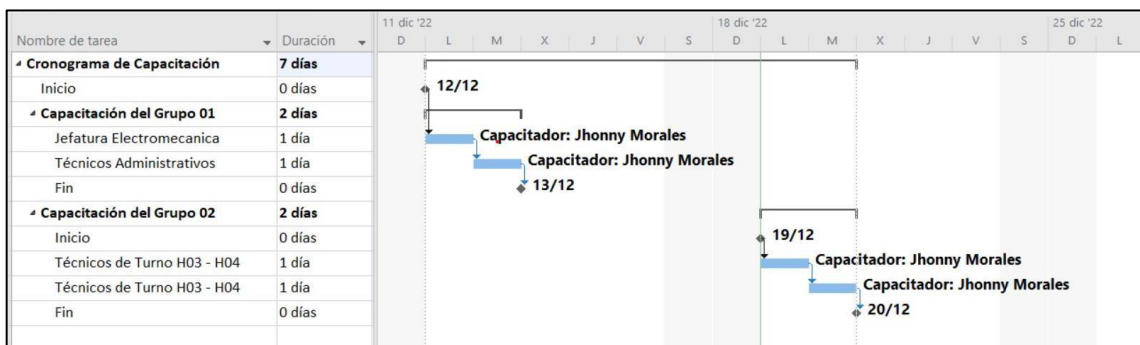
**Figure 19 Plan de mantenimiento predictivo.**



### Capacitación del personal.

Para la implementación del plan de mantenimiento predictivo, damos inicio a la capacitación del personal sobre la implementación y el uso de los equipos.

**Figure 20: Plan de Capacitación**



### Lista de repuestos equipos de Climatización

Se coordino con el área de logística para importar los repuestos más críticos y con mayor frecuencia de fallo de la marca TRANE, los cuales se reciben de forma escalonada y son almacenados en un ambiente en plataforma.

## 5.1. Resultados descriptivos

### 5.1.1. Eficiencia energética.

Tabla 40: Estadística de Eficiencia energética Antes - después

		Estadísticos	
		Eficiencia_energ ética_2022	Eficiencia_energ ética_2023
N	Válido	30	30
	Perdidos	0	0
Media		72,6333	74,9333
Mediana		62,0000	64,5000
Desv. Desviación		29,18016	30,93033

En nuestro análisis se tomó los datos de los cinco (5) primeros meses del 2022 el cual nos da una media de eficiencia energética de 72.63 BTU por cada 1 Kwh/C° con la implementación de la gestión de mantenimiento predictivo aplicado en el periodo 2023 durante los cinco (5) primeros meses, se obtuvo un incremento de la media de eficiencia energía de 74,93 BTU por cada 1 Kwh/°C. En las tablas líneas abajo se puede apreciar los cuadros con los resultados mencionados.

En la tabla líneas arriba podemos ver los siguientes resultados:

- La eficiencia energética del 2022 tiene una media de 72,63 y después la mejora tiene un incremento de la media de 74,93.
- La eficiencia energética tiene una mediana de 62,00 y después de la implementación una mediana de 64,50.
- Una desvía estándar de 29,18 y después de la implementación tiene una desviación de 30,93.

**Tabla 41: Frecuencia de eficiencia energética antes**

Eficiencia_Energetica_2022						
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado	
Válido	42,00	1	3,3	3,3	3,3	
	43,00	1	3,3	3,3	6,7	
	44,00	1	3,3	3,3	10,0	
	45,00	1	3,3	3,3	13,3	
	46,00	1	3,3	3,3	16,7	
	48,00	1	3,3	3,3	20,0	
	49,00	1	3,3	3,3	23,3	
	52,00	2	6,7	6,7	30,0	
	53,00	1	3,3	3,3	33,3	
	55,00	2	6,7	6,7	40,0	
	58,00	1	3,3	3,3	43,3	
	60,00	1	3,3	3,3	46,7	
	61,00	1	3,3	3,3	50,0	
	63,00	1	3,3	3,3	53,3	
	67,00	2	6,7	6,7	60,0	
	68,00	1	3,3	3,3	63,3	
	74,00	1	3,3	3,3	66,7	
	79,00	1	3,3	3,3	70,0	
	84,00	1	3,3	3,3	73,3	
	85,00	1	3,3	3,3	76,7	
	92,00	1	3,3	3,3	80,0	
	100,00	1	3,3	3,3	83,3	
	111,00	1	3,3	3,3	86,7	
	125,00	1	3,3	3,3	90,0	
	129,00	1	3,3	3,3	93,3	
	135,00	1	3,3	3,3	96,7	
	137,00	1	3,3	3,3	100,0	
	Total		30	100,0	100,0	

**Tabla 42: Frecuencia de eficiencia energética después**

Eficiencia_Energetica_2023						
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado	
Válido	44,00	2	6,7	6,7	6,7	
	46,00	3	10,0	10,0	16,7	
	49,00	1	3,3	3,3	20,0	
	50,00	1	3,3	3,3	23,3	
	53,00	2	6,7	6,7	30,0	
	54,00	1	3,3	3,3	33,3	
	56,00	2	6,7	6,7	40,0	
	59,00	1	3,3	3,3	43,3	
	62,00	2	6,7	6,7	50,0	
	67,00	1	3,3	3,3	53,3	
	68,00	2	6,7	6,7	60,0	
	70,00	1	3,3	3,3	63,3	
	76,00	1	3,3	3,3	66,7	
	81,00	1	3,3	3,3	70,0	
	86,00	1	3,3	3,3	73,3	
	88,00	1	3,3	3,3	76,7	
	94,00	1	3,3	3,3	80,0	
	103,00	1	3,3	3,3	83,3	
	114,00	1	3,3	3,3	86,7	
	131,00	1	3,3	3,3	90,0	
	137,00	1	3,3	3,3	93,3	
	142,00	1	3,3	3,3	96,7	
	143,00	1	3,3	3,3	100,0	
	Total		30	100,0	100,0	

### 5.1.2. Eficiencia operacional de los equipos

Tabla 43: Estadística de Eficiencia operacional del equipo Antes - después

		Estadísticos	
		Eficiencia_antes	Eficiencia_despues
N	Válido	30	30
	Perdidos	0	0
Media		,8855	,9043
Mediana		,8860	,9030
Desv. Desviación		,00629	,01106

Para nuestro trabajo de investigación se tomó los datos de los primeros cinco (5) meses del 2022 los cuales tienen una media de eficiencia operacional de 88.55%, y se comparó con los datos de los primeros cinco (5) meses del 2023 que tiene una media de eficiencia operacional de 90.43%. En las tablas líneas abajo se puede apreciar los cuadros con los resultados mencionados.

En la tabla líneas arriba podemos ver los siguientes resultados:

- La eficiencia operacional tiene una media de 88,39% antes de la implementación, y después tiene una media de 90,43%.
- La eficiencia operacional tiene una mediana de 88.60% antes de la implementación y después tiene una media de 90,30%
- Una desvía estándar de 0,01025 antes de la implementación y después tiene una desviación de 0,01106.



**Tabla 44: Frecuencia de eficiencia operacional antes**

**EFICIENCIA\_2022**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	88,00	10	33,3	33,3	33,3
	89,00	18	60,0	60,0	93,3
	90,00	2	6,7	6,7	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

**Tabla 45: Frecuencia de eficiencia operacional después**

**EFICIENCIA\_2023**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	89,00	5	16,7	16,7	16,7
	90,00	12	40,0	40,0	56,7
	91,00	8	26,7	26,7	83,3
	92,00	4	13,3	13,3	96,7
	94,00	1	3,3	3,3	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

### 5.1.3. Consumo de energía de los equipos

Tabla 46: Consumo de energía antes y después

		Estadísticos	
		Consumo_energía_2022	Consumo_energía_2023
N	Válido	30	30
	Perdidos	0	0
Media		1821,7153	1778,2453
Mediana		1837,3950	1802,4000
Desv. Desviación		572,42641	574,69996

Para nuestro trabajo de investigación se tomó los datos de los primeros cinco (5) meses del 2022 los cuales tienen una media de consumo de energía de 1821,71 KWH/°C y se comparó con los datos de los primeros cinco (5) meses del 2023 que tiene una media de consumo de energía 1778,24 KWH/°C. En las tablas líneas abajo se puede apreciar los cuadros con los resultados mencionados.

En la tabla líneas arriba podemos ver los siguientes resultados:

- El consumo de energía del 2022 tiene una media de 1821,71 y después de la implementación tiene una media de 1778,24.
- El consumo de energía tiene una mediana de 1837,39 y después de la implementación tiene una mediana de 1802,40
- Una desvía estándar de 572,42 y después de la implementación tiene una desvía estándar de 574,69.

**Tabla 47: Frecuencia de consumo energía antes**

<b>Consumo_energía_2022</b>					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	952,00	1	3,3	3,3	3,3
	966,00	1	3,3	3,3	6,7
	1004,00	1	3,3	3,3	10,0
	1051,00	1	3,3	3,3	13,3
	1108,00	1	3,3	3,3	16,7
	1173,00	1	3,3	3,3	20,0
	1197,00	1	3,3	3,3	23,3
	1498,00	1	3,3	3,3	26,7
	1532,00	1	3,3	3,3	30,0
	1561,00	1	3,3	3,3	33,3
	1576,00	1	3,3	3,3	36,7
	1613,00	1	3,3	3,3	40,0
	1623,00	1	3,3	3,3	43,3
	1649,00	1	3,3	3,3	46,7
	1783,00	1	3,3	3,3	50,0
	1892,00	1	3,3	3,3	53,3
	1901,00	1	3,3	3,3	56,7
	1912,00	1	3,3	3,3	60,0
	1938,00	1	3,3	3,3	63,3
	2090,00	1	3,3	3,3	66,7
	2093,00	1	3,3	3,3	70,0
	2119,00	1	3,3	3,3	73,3
	2199,00	1	3,3	3,3	76,7
	2242,00	1	3,3	3,3	80,0
	2444,00	1	3,3	3,3	83,3
	2479,00	1	3,3	3,3	86,7
	2636,00	1	3,3	3,3	90,0
	2697,00	1	3,3	3,3	93,3
	2838,00	1	3,3	3,3	96,7
	2886,00	1	3,3	3,3	100,0
Total		30	100,0	100,0	

**Tabla 48: Frecuencia de consumo energía después**

<b>Consumo_energía_2023</b>					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	908,00	1	3,3	3,3	3,3
	915,00	1	3,3	3,3	6,7
	946,00	1	3,3	3,3	10,0
	1024,00	1	3,3	3,3	13,3
	1052,00	1	3,3	3,3	16,7
	1143,00	1	3,3	3,3	20,0
	1147,00	1	3,3	3,3	23,3
	1450,00	1	3,3	3,3	26,7
	1473,00	1	3,3	3,3	30,0
	1507,00	1	3,3	3,3	33,3
	1535,00	1	3,3	3,3	36,7
	1574,00	1	3,3	3,3	40,0
	1588,00	1	3,3	3,3	43,3
	1601,00	1	3,3	3,3	46,7
	1749,00	1	3,3	3,3	50,0
	1855,00	1	3,3	3,3	53,3
	1857,00	1	3,3	3,3	56,7
	1861,00	1	3,3	3,3	60,0
	1901,00	1	3,3	3,3	63,3
	2037,00	1	3,3	3,3	66,7
	2038,00	1	3,3	3,3	70,0
	2082,00	1	3,3	3,3	73,3
	2159,00	1	3,3	3,3	76,7
	2202,00	1	3,3	3,3	80,0
	2414,00	1	3,3	3,3	83,3
	2433,00	1	3,3	3,3	86,7
	2579,00	1	3,3	3,3	90,0
	2672,00	1	3,3	3,3	93,3
	2798,00	1	3,3	3,3	96,7
	2847,00	1	3,3	3,3	100,0
Total		30	100,0	100,0	

## 5.2. Resultados inferenciales

### 5.2.1. Prueba de normalidad de la hipótesis general

Para la siguiente prueba se plantearon las siguientes hipótesis a contrastar:

H<sub>0</sub>: Los datos analizados de la variable eficiencia energética siguen una distribución normal.

H<sub>1</sub>: Los datos analizados de la variable eficiencia energética no siguen una distribución normal.

**Tabla 49: Prueba de normalidad de la eficiencia energética**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Eficiencia_energética_20 22	,142	30	,126	,895	30	,006
Eficiencia_energética_20 23	,145	30	,108	,891	30	,005

a. Corrección de significación de Lilliefors

Análisis de decisión:

Se realiza el análisis de normalidad y como los datos analizados son menores a <50 utilizamos la prueba estadística Shapiro-Wilk.

Como ambos Sig.  $\leq$  0,05 rechazamos la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y aceptamos la Hipótesis alterna.

### 5.2.2. Prueba de normalidad de la hipótesis específica

#### **Eficiencia Operacional**

Para la siguiente prueba se plantearon las siguientes hipótesis a contrastar:

H<sub>0</sub>: Los datos analizados de la variable eficiencia operacional de los equipos siguen una distribución normal.

H<sub>1</sub>: Los datos analizados de la variable eficiencia de los equipos no siguen una distribución normal

**Tabla 50: Prueba de normalidad de la eficiencia operacional de los equipos**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Eficiencia_antes	,134	30	,182	,953	30	,200
Eficiencia_despues	,105	30	,200*	,954	30	,215

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Análisis de decisión:

Se realiza el análisis de normalidad y como los datos analizados son menores a <50 utilizamos la prueba estadística Shapiro-Wilk.

Como ambos  $P \geq 0,05$  aceptamos la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), caso contrario rechaza la Hipótesis nula.

### 5.2.3. Prueba de normalidad de la hipótesis específica

#### Consumo de energía

Para la siguiente prueba se plantearon las siguientes hipótesis a contrastar:

H<sub>0</sub>: Los datos analizados de la variable consumo de energía de los equipos siguen una distribución normal.

H<sub>1</sub>: Los datos analizados de la variable consumo de energía de los equipos no siguen una distribución normal

**Tabla 51: Prueba de normalidad de consumo de energía de los equipos**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Eficiencia_antes	,134	30	,182	,953	30	,200
Eficiencia_despues	,105	30	,200*	,954	30	,215

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Análisis de decisión:

Se realiza el análisis de normalidad y como los datos analizados son menores a <50 utilizamos la prueba estadística Shapiro-Wilk.

Como ambos  $P \geq 0,05$  aceptamos la hipótesis nula ( $H_0$ ), caso contrario rechaza la Hipótesis nula.

#### 5.2.4. Prueba Wilcoxon para la hipótesis general

Para la siguiente prueba se propone la hipótesis a contrastar:

$H_0$ : La eficiencia energética antes es = a la eficiencia energética después.

$H_1$ : La eficiencia energética antes es  $\neq$  a la eficiencia energética después.

**Tabla 52: Prueba Wilcoxon de eficiencia energética antes - después**

Resumen de contrastes de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. <sup>a,b</sup>	Decisión
1	La mediana de diferencias entre Eficiencia_energética_2022 y Eficiencia_energética_2023 es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	<.001	Rechace la hipótesis nula.

a. El nivel de significación es de ,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

La prueba Wilcoxon se realizó para las muestras no paramétricas a los datos de eficiencia energética antes y después de la implementación, en el cuadro líneas arriba nos menciona que la mediana es = 0, por lo que rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

De las pruebas realizadas podemos decir, que la eficiencia energética mejora con la implementación de la nueva metodología.

### 5.2.5. Prueba T de Student para la hipótesis específica Eficiencia operacional

Para la siguiente prueba se propone la hipótesis a contrastar:

$H_0$ : La eficiencia del equipo antes es = a la eficiencia del equipo después.

$H_1$ : La eficiencia del equipo antes es  $\neq$  a la eficiencia del equipo después.

**Tabla 53: Prueba T de Student de eficiencia operacional del equipo antes y después.**

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas			95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Inferior	Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Eficiencia_equipo_2022 - Eficiencia_equipo_2023	-,01879	,01125	,00205	-,02299	-,01459	-9,145	29	<.001

La prueba T de Student se realizó para las muestras emparejadas a los datos de eficiencia de los equipos antes y después de la implementación, en la gráfica líneas abajo se puede visualizar que  $P < 0.05$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).



De las pruebas realizadas podemos decir, que la eficiencia de los equipos antes de la implementación de la metodología es menor que la eficiencia de los equipos cuando se implementó.

### 5.2.6. Prueba T de Student para la hipótesis específica

#### Consumo de energía

Para la siguiente prueba se propone la hipótesis a contrastar:

$H_0$ : El consumo de energía del equipo antes es = al consumo de energía del equipo después.

$H_1$ : El consumo de energía del equipo antes es  $\neq$  al consumo de energía del equipo después.

**Tabla 54: Prueba T de Student de consumo de energía del equipo antes y después.**

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Consumo_energía_2022 - Consumo_energía_2023	43,47000	10,26465	1,87406	39,63711	47,30289	23,196	29	<.001

La prueba T de Student se realizó para las muestras emparejadas a los datos de eficiencia de los equipos antes y después de la implementación, en la gráfica líneas abajo se puede visualizar que  $P < 0.05$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y nos quedamos con la hipótesis alterna.

De las pruebas realizadas podemos decir, que el consumo de energía de los equipos antes de la implementación es mayor al consumo de energía de los equipos después de la implementación.

### 5.3. Otro tipo de resultados estadísticos

A continuación, se muestran resultados estadísticos del antes y después de la aplicación de la nueva metodología de mantenimiento, en el cuadro de estadísticas de muestras emparejadas se puede visualizar una mínima diferencia en las medias, los números analizados son la misma cantidad, la desviación estándar y media de error.

**Tabla 55: Prueba de muestras emparejadas consumo de energía**

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Consumo_energía_2022	1821,7153	30	572,42641	104,51028
	Consumo_energía_2023	1778,2453	30	574,69996	104,92538

En el cuadro de correlaciones de muestras emparejadas se visualiza la media del consumo de energía del 2022 y 2023, donde podemos visualizar la reducción de energía, también, podemos ver el numero muestras, la desviación estándar y la media de error estándar.

**Tabla 56: Prueba de correlación de eficiencia operacional**

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Eficiencia_operacional_2022 & Eficiencia_operacional_2023	30	,254	,176

En el cuadro de estadísticas de muestras emparejadas se puede visualizar la cantidad de la muestra, la correlación y la significancia.

**Tabla 57: Prueba de muestras emparejadas eficiencia operacional equipos**

**Estadísticas de muestras emparejadas**

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Eficiencia_equipo_2022	,8855	30	,00629	,00115
	Eficiencia_equipo_2023	,9043	30	,01106	,00202

En el cuadro de correlaciones de muestras emparejadas se visualiza la media, número de datos analizados, la desviación estándar y la media de error.

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados.**

#### **6.1.1. Contratación de hipótesis general**

En el análisis de los datos del antes y después de la implementación de la gestión del mantenimiento predictivo basado en ISO 17359, se muestra una mejor eficiencia energética en 2.500 BTU °C /KWH con respecto al año anterior.

#### **6.1.2. Contratación de las hipótesis específicas**

En el análisis de los datos del antes y después de la implementación de la gestión del mantenimiento predictivo basado en ISO 17359, se muestra mejoras en la eficiencia operacional de 1.85% de los equipos de climatización del 2023 con respecto al 2022.

### **6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares.**

En el artículo de David Blum, y otros, (15), donde implementa control de predictivos para un modelo de HVAC de oficinas, concluye que ahorro un aproximado de 40% de energía durante los dos meses de prueba periódica sin afectar al confort térmico, y que la mayoría de estos ahorros se observaron en los días en que el clima era templado.

Contratación: La eficiencia energética de los equipos de climatización (HVAC) se ve reflejado en el ahorro energético, para nuestro trabajo se realizó la implementación de la gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 la cual nos dio una reducción de energía del 2.38% entre los meses de enero a mayo, otro factor externo que afecta significativamente con la eficiencia energética es la temperatura ambiente o externa que registra el equipo, teniendo en cuenta que la temperatura promedio del 2023 fue mayor a la del 2022.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

El proyecto de investigación Gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 y uso efecto en la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado del aeropuerto del Callao fue realizado con datos históricos, y en otros casos se tuvieron que promediar con información de los meses anteriores, ya que no se contaba con información del sistema. Por lo tanto, mi persona como autor del presente trabajo me responsabilizo por la información emitida en la tesis.

## VII. CONCLUSIONES

1. Se concluye que la gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 mejora la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado en 2.5 BTU °C/KWH con respecto a los meses del año 2022.
2. Se determina que durante la implementación de la Gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 mejoró la eficiencia operacional en 1.93% de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto del Callao durante el periodo de implementación. Esto quiere decir que la eficiencia operacional total es de 90.43%.
3. Se determina que durante la implementación de la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 se logra reducir el consumo de energía en 2.3% de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto del Callao durante el periodo de implementación.

## VIII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Jefatura de mantenimiento continuar con la implementación de la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 a los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, durante el periodo 2023, el cual permitirá tener valores más reales con respecto al incremento de la eficiencia energética.
2. Se recomienda seguir con el monitoreo de la eficiencia operacional de los equipos de aire acondicionado durante el periodo 2023 del Aeropuerto del Callao, el cual debe ser contrastado con el periodo 2022 para tener el incremento de la eficiencia operacional de forma anual.
3. Se sugiere seguir con la Gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 a los equipos de aire acondicionado durante el periodo 2023, el cual permitirá una mayor reducción de energía que probablemente sería mayor al 5% con respecto al año 2022.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **GONZÁLES, F.** *Ingeniería de mantenimiento en la dinámica de la competitividad y desarrollo industrial*. Ecuador : COMITÉ EDITORIAL, 2015. págs. Pag. 1-70. Vol. 02. 7 de setiembre 2015.
2. **PÉRES, F.** *Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial*. Bucaramanga, Colombia : USTA, 2021. págs. Pag. 6-112. Vol. 01. 28 de marzo 2023.
3. **SHUYU, L., y otros.** *Método de optimización de mantenimiento basado en la condición usando el margen de rendimiento*. Beijing; China : MDPI, 2023. Vol. 02. 30 de marzo 2023.
4. **AKYUZ, M., ALTUNTAS, Ö. y SOGUT, M.** *Economic and Environmental Optimization of an Airport Terminal Building's Wall and Roof Insulation*. Diyarbakır : MDPI, 2017. págs. Pag. 1 -18. 28 de marzo del 2023.
5. **AMR, H., AHMED, M. y MOHAMED, I.** *Energy audit and evaluation of indoor environment condition inside Assiut International Airport terminal building, Egypt*. Egypt : Elsevier BV, 2021. págs. Pages 3241-3253. Vol. 12. 30 de marzo del 2023.
6. **M., BYLINSKY.** *Airport Carbon Accreditation – Empowering Airports to Reduce Their Emissions*. 2019. 30 de marzo del 2023.
7. **ALARAJ, M, y otros.** *Data-driven based HVAC optimisation approaches: A Systematic*. s.l. : Elsevier, 2021. págs. 1 - 25. 01 de abril del 2023.
8. **SANTORO, B., MENDOZA, F. y RINCON, D.** *Budget-constrained economic model predictive control: A user-friendly proposal for HVAC*. Sao Pablo : Elsevier, 2021. págs. Pages 229-242. Vol. Volume 176.
9. **ARIAS J., COVINOS M.** *Diseño y Metodología de la Investigación*. Arequipa : Enfoques Consulting EIRL., 2021.
10. **FERNÁNDEZ-BEDOYA, V.** *Tipos de justificación en la investigación científica*. Lima : Espíritu Emprendedor TES, 2020. Vol. 4. 02 de abril del 2023.
11. **HUMBERTO, N., LOPES y A., BRAGA, A.** *Condition-based maintenance implementation: a literature review*. Atenas : Elsevier, 2021. 01 de abril del 2023.
12. **FERNANDES, J., y otros.** *Sistemas mecánicos inteligentes para la fabricación en la era de la industria 4.0: mantenimiento predictivo basado en la condición y modificación dinámica del sistema para pequeñas y medianas empresas*. Lisbon, Portugal : MDPI, 2021. 03 de marzo del 2023.
13. **CIANI, L., y otros.** *Condition-Based Maintenance of HVAC on a High-Speed Train for Fault Detection*. Florence, Italy : MDPI, 2021. 02 de marzo del 2023.
14. **SÁNCHEZ, G. y SANZ-CALCEDO, J.** *Aplicación del Mantenimiento Predictivo en Calefacción Hospitalaria, Instalaciones de Ventilación y Aire Acondicionado*. Italia : Emerging Science Journal, 2019. Vol. 3. 30 de marzo del 2023.



15. **D., BLUM, y otros.** *Field Demonstration and Implementation Analysis of Model Predictive Control in an Office HVAC System.* Hong Kong : Elsevier, 2022. 04 de abril del 2023.
16. **MOVAHED, P., TAHERI, S. y RAZBAN, A.** *A bi-level data-driven framework for fault-detection and diagnosis of HVAC systems.* s.l. : Elsevier, 2023. Vol. 339. 04 de abril del 2023.
17. **Castro, M.** *MÉTODO BASADO EN RCM, PARA LA GESTION DE MANTENIMIENTO EN TRACTORES AGRÍCOLAS: CASO MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE COLQUEPATA.* 2017. págs. Pag. 1-131.
18. **GUTIERREZ, C.** *Plan de gestión de mantenimiento basado en la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de bombas concreteras putzmeister. Caso: Concretos Supermix S.A.* Arequipa : UNSA-Institucional, 2019. 03 de abril del 2023.
19. **CONDORI, CH.** *PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN BALANCED SCORECARD Y RCM PARA FAJAS TRANSPORTADORAS EN COMPAÑÍAS MINERAS. CASO: TOQUEPALA.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019. 04 de abril del 2023.
20. **SILUPÚ, J.** *Modelación y Control de sistema de refrigeración en una planta experimental.* Piura : Universidad de Piura, 2023. 03 de abril del 2023.
21. **ALATRISTA, V. y ALEJANDRO, C.** *Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM para el Transformador de Distribución de 250 KVA y Sistema de Distribución de Baja Tensión 380/220 V de la Subestación de TECSUP - Arequipa.* Arequipa : Universidad Católica de Santa María, 2018. 03 de abril del 2023.
22. **GUERRERO, M., y otros.** *MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING.* Sevilla : Universidad de Sevilla, 2019. 04 de abril del 2023.
23. **PÉREZ, F.** *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial.* Bucaramanga, Colombia : USTA, 2021. 04 de abril del 2023.
24. **Revista arbitrada del Instituto Tecnológico Superior de Cajeme. Entorno Académico.** Mexico : Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, 2021. 04 de abril del 2023.
25. **LUNA, M. y VÁZQUEZ, G.** *Metodología de mantenimiento predictivo 4.0 para asegurar procesos de producción.* México : International Institute of Informatics and Cybernetics, 2019. Vol. 16. 04 de abril del 2023.
26. **AMENDOLA, L., ARTACHO, M. y DEPOOL, T.** *Análisis de los factores clave para mejorar la gestión del mantenimiento en la industria de oil&gas en América Latina.* Valencia : Tecnología de la instrumentación, 2017. pág. pp. 566/571. Vol. 92.
27. **TORNE, I., LAJES, S. y CASTILLO, A.** *Gestión del mantenimiento a interruptores de potencia.* . Arica : Revista Scielo, 2017. págs. pp. 192-202. Vol. 26. 04 de abril del 2023.
28. **DIAZ, C., y otros.** *EFFECTIVIDAD GENERAL DE EQUIPOS (OEE) AJUSTADO POR COSTOS.* Tarapacá : Asociación Interciencia, 2020. Vol. 45. 05 de abril del 2023.
29. **ZYGIEREWICZ, A.** *Aplicación de la Directiva sobre eficiencia energética (2012/27/UE): sistemas de obligaciones de eficiencia energética.* Bruselas : Unión Europea, 2016. 05 de abril del 2023.

30. **IHS Markit under license with ANSI.** *Condition monitoring and diagnostics of machines General guidelines.* [ed.] 3. Suiza : ISO, 2018. 15 de abril del 2023.
31. **Agencia Chilena de Eficiencia Energética.** *Guía de implementación ISO 50001.* Santiago : ISO, 2013. 15 de abril del 2023.
32. **RAMOS, C.** *DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.* Ecuador : Universidad Católica del Ecuador, 2021. Vol. 10. 20 de abril del 2023.
33. **ARIAS, J. y COVINOS, M.** *Diseño y Metodología de la investigación.* Arequipoa : ENFOQUES CONSULTING EIRL, 2021. 21 de abril del 2023.
34. **OTERO, A.** *ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN.* Colombia : Universidad del Atlántico, 2018. 22 de abril del 2023.
35. **CONTRERAS, L., RODRIGUEZ, J. y FUENTES, H.** *ANÁLITICA ACADÉMICA: NUEVAS HERRAMIENTAS APLICADAS A LA EDUCACIÓN.* Colombia : Universidad Distrital Francisco José de Caldas , 2021. 23 de abril del 2023.
36. **SOLÍZ, D.** *Cómo hacer un perfil proyecto de Investigación Científica.* California : Palibrio, 2019. 24 de abril del 2023.
37. **HERNANDEZ, S. y DUANA, D.** *Técnicas e instrumentos de recolección de datos.* San Juan Tilcuatla : Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA, 2020. Vol. 09. 25 de abril del 2023.
38. *Economic and Environmental Optimization of an Airport Terminal Building's Wall and Roof Insulation.* **Akyüz, M., Altuntas, Ö. y Sögüt, M.** 11 de Octubre de 2017, Sustainability, págs. Pag. 1 -18.
39. **RAMOS, C.** *DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.* Ecuador : Universidad Católica del Ecuador, 2021. 20 de abril del 2023.

## ANEXOS

### Anexo A: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA									
TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE INDEPENDIENTE	Dimensiones	Indicadores	INDICE/ ITEMS	METODO	TÉCNICAS / INSTRUMENTOS
“ GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN SEGÚN LA ISO 17359 Y SU EFECTO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DEL CALLAO, PERÍODO 2023”	¿De qué manera la gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 tiene efecto en la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado del Aeropuerto internacional del Callao, en el año 2023??	Determinar como la Gestión de mantenimiento Predictivo basado en la Norma ISO 17359 tiene efecto en la Eficiencia energética del Sistema Aire Acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, en el año 2023.	La forma de aplicación de la Gestión de mantenimiento predictivo basado en la Norma ISO 17359 tuvo características favorables que permitieron una eficiencia energética del sistema de aire acondicionado, superior a lo alcanzado en años anteriores.	Gestión de mantenimiento basado en condición según la ISO 17359	Análisis costo/Beneficio	VPN, TIR, y B/C.	Índice: Aceptable 125 > NPR Reducción deseable: 200 > NPR > 125 Inaceptable NPR > 200	Hipotético deductivo	Revisión de documentación de la empresa / Fichas de registros, auditoria de mantenimiento.
					Auditoria de equipamiento	Analisis de Modos y Efectos de fallas			
					Auditoria de confiabilidad y criticidad				
					Seleccione el método de seguimiento				
					Adquisición y análisis de datos	Acciones implementadas			
					Determine la acción de mantenimiento				
					Revisar				

TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE DEPENDIENTE	Dimensiones	Indicadores	INDICE/ ITEMS	METODO	TÉCNICAS / INSTRUMENTOS
" GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN SEGÚN LA ISO 17359 Y SU EFECTO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DEL CALLAO, PERÍODO 2023"	¿De qué manera la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 mejora la eficiencia operacional de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, en el año 2023?	Determinar como la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 mejora la eficiencia operacional de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, en el año 2023.	La Gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 mejora la eficiencia operacional mayor o igual al 90% de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto del Callao, en el año 2023.	Eficiencia energética del sistema de Aire acondicionado	Eficiencia operacional Global	$Disponibilidad (D) = \frac{TPdp - Paradas\ o\ Averias}{TPdp}$	% Eficiencia ≥ 90%	Hipotético deductivo	Análisis de Datos / Ficha de Registro
						$Rendimiento (R) = \frac{Total\ unidades\ producidas}{Tdo\ X\ Cn}$			
						$Calidad (C) = \frac{Total\ de\ unidades\ buenas}{Total\ de\ unidades\ producidas}$			
	¿De qué manera la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 reduce el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, en el año 2023?	Determinar como la Gestión de Mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 reduce el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto Internacional del Callao, en el año 2023.	La Gestión de mantenimiento predictivo basado en la ISO 17359 reduce el consumo de energía en un 2% de los equipos de aire acondicionado del Aeropuerto del Callao, en el año 2023.		Consumo de energía	kWh sistema climatización/ °C temperatura ambiente	KWH/°C < 2% KWH/°C de enero a mayo 2022	Hipotético deductivo	Análisis de Datos / Ficha de Registro

## Anexo B: Tiempo medio entre fallos de las partes críticas.

EQUIPO	EQUIPO	Días de Operación	Cantidad de horas de	Total de horas de operación	Fallas	Cantidad Horas Detenida	MTBF
Compresor	Enero	30	18	540	4	13	131,8
Compresor	Febrero	30	18	540	3	21	173,0
Compresor	Marzo	30	18	540	4	15	131,3
Compresor	Abril	30	18	540	3	8	177,3
Compresor	Mayo	30	16	480	3	9	157,0
Compresor	Junio	30	16	480	2	7	236,5
Compresor	Julio	30	16	480	4	8	118,0
Compresor	Agosto	30	16	480	2	10	235,0
Compresor	Setiembre	30	16	480	2	5	237,5
Compresor	Octubre	30	16	480	2	12	234,0
Compresor	Noviembre	30	16	480	3	6	158,0
Compresor	Diciembre	30	16	480	3	24	152,0
Serpentín del condensador	Enero	30	24	720	3	8	237,3
Serpentín del condensador	Febrero	30	24	720	4	12	177,0
Serpentín del condensador	Marzo	30	24	720	4	7	178,3
Serpentín del condensador	Abril	30	24	720	5	1	143,8
Serpentín del condensador	Mayo	30	24	720	3	3	239,0
Serpentín del condensador	Junio	30	24	720	2	1	359,5
Serpentín del condensador	Julio	30	24	720	2	5	357,5
Serpentín del condensador	Agosto	30	24	720	3	9	237,0
Serpentín del condensador	Setiembre	30	24	720	2	8	356,0
Serpentín del condensador	Octubre	30	24	720	2	5	357,5
Serpentín del condensador	Noviembre	30	24	720	2	6	357,0
Serpentín del condensador	Diciembre	30	24	720	2	2	359,0
Ventilador del condensador	Enero	30	18	540	3	10	176,67
Ventilador del condensador	Febrero	30	18	540	3	8	177,33
Ventilador del condensador	Marzo	30	18	540	4	9	132,75
Ventilador del condensador	Abril	30	18	540	3	6	178,00
Ventilador del condensador	Mayo	30	16	480	2	6	237,00
Ventilador del condensador	Junio	30	16	480	3	9	157,00
Ventilador del condensador	Julio	30	16	480	3	11	156,33
Ventilador del condensador	Agosto	30	16	480	3	4	158,67
Ventilador del condensador	Setiembre	30	16	480	2	8	236,00
Ventilador del condensador	Octubre	30	16	480	2	9	235,50
Ventilador del condensador	Noviembre	30	16	480	2	6	237,00
Ventilador del condensador	Diciembre	30	16	480	3	5	158,33
Serpentín del evaporador	Enero	30	24	720	4	7	178,3
Serpentín del evaporador	Febrero	30	24	720	3	6	238,0
Serpentín del evaporador	Marzo	30	24	720	3	9	237,0
Serpentín del evaporador	Abril	30	24	720	5	8	142,4
Serpentín del evaporador	Mayo	30	24	720	4	4	179,0
Serpentín del evaporador	Junio	30	24	720	2	3	358,5
Serpentín del evaporador	Julio	30	24	720	2	6	357,0
Serpentín del evaporador	Agosto	30	24	720	3	2	239,3
Serpentín del evaporador	Setiembre	30	24	720	2	2	359,0
Serpentín del evaporador	Octubre	30	24	720	2	9	355,5
Serpentín del evaporador	Noviembre	30	24	720	4	6	178,5
Serpentín del evaporador	Diciembre	30	24	720	3	6	238,0
Inyector	Enero	30	24	720	2	7	356,5
Inyector	Febrero	30	24	720	3	17	234,3
Inyector	Marzo	30	24	720	3	5	238,3
Inyector	Abril	30	24	720	2	2	359,0
Inyector	Mayo	30	24	720	3	5	238,3
Inyector	Junio	30	24	720	3	8	237,3
Inyector	Julio	30	24	720	4	11	177,3
Inyector	Agosto	30	24	720	2	5	357,5
Inyector	Setiembre	30	24	720	3	23	232,3
Inyector	Octubre	30	24	720	4	8	178,0
Inyector	Noviembre	30	24	720	3	5	238,3
Inyector	Diciembre	30	24	720	2	3	358,5
Termostato	Enero	30	24	720	3	7	237,7
Termostato	Febrero	30	24	720	3	15	235,0
Termostato	Marzo	30	24	720	4	5	178,8
Termostato	Abril	30	24	720	3	2	239,3
Termostato	Mayo	30	24	720	3	5	238,3
Termostato	Junio	30	24	720	4	8	178,0
Termostato	Julio	30	24	720	4	11	177,3
Termostato	Agosto	30	24	720	2	17	351,5
Termostato	Setiembre	30	24	720	6	6	119,0
Termostato	Octubre	30	24	720	3	8	237,3
Termostato	Noviembre	30	24	720	2	27	346,5
Termostato	Diciembre	30	24	720	2	28	346,0

## Anexo C: Datos de eficiencia energética.

EQUIPOS	MESES	Consumo Kwh/°C 2022	BTU	Eficiencia Energetica 2022	Consumo Kwh/°C 2023	BTU	Eficiencia Energetica 2023
CO-RTU-12	ENERO	2636,39	130000	49	2579,23	130000	50
	FEBRERO	2479,06	130000	52	2432,79	130000	53
	MARZO	2885,72	130000	45	2847,19	130000	46
	ABRIL	2241,55	130000	58	2201,75	130000	59
	MAYO	1900,54	130000	68	1861,46	130000	70
TE-RTU-02	ENERO	2837,85	130000	46	2798,18	130000	46
	FEBRERO	2443,80	130000	53	2413,77	130000	54
	MARZO	2696,69	130000	48	2672,34	130000	49
	ABRIL	2119,30	130000	61	2081,87	130000	62
	MAYO	1938,36	130000	67	1901,01	130000	68
TE-RTU-05	ENERO	1892,27	150000	79	1855,32	150000	81
	FEBRERO	1622,84	150000	92	1588,14	150000	94
	MARZO	1782,52	150000	84	1749,48	150000	86
	ABRIL	1497,83	150000	100	1449,85	150000	103
	MAYO	1197,08	150000	125	1147,49	150000	131
TE-RTU-08	ENERO	1648,95	70000	42	1601,10	70000	44
	FEBRERO	1576,22	70000	44	1534,96	70000	46
	MARZO	1612,67	70000	43	1573,53	70000	44
	ABRIL	1108,12	70000	63	1051,81	70000	67
	MAYO	1050,67	70000	67	1024,32	70000	68
PP-RTU-01	ENERO	1173,33	130000	111	1142,69	130000	114
	FEBRERO	951,81	130000	137	914,89	130000	142
	MARZO	1004,43	130000	129	946,42	130000	137
	ABRIL	965,77	130000	135	907,78	130000	143
	MAYO	1531,82	130000	85	1472,81	130000	88
PP-RTU-02	ENERO	2093,16	115000	55	2036,81	115000	56
	FEBRERO	2090,46	115000	55	2037,78	115000	56
	MARZO	2199,33	115000	52	2158,97	115000	53
	ABRIL	1911,61	115000	60	1856,69	115000	62
	MAYO	1561,31	115000	74	1506,93	115000	76

## Anexo D: Datos de eficiencia operacional.

EQUIPOS	MESES	EFICIENCIA OPERACIONAL 2022	EFICIENCIA OPERACIONAL 2023
CO-RTU-12	ENERO	89,50%	89,90%
	FEBRERO	90,10%	90,40%
	MARZO	89,30%	90,00%
	ABRIL	89,65%	90,55%
	MAYO	88,89%	90,89%
TE-RTU-02	ENERO	89,30%	89,90%
	FEBRERO	88,70%	90,50%
	MARZO	85,80%	87,80%
	ABRIL	89,00%	90,80%
TE-RTU-05	MAYO	88,90%	90,90%
	ENERO	89,00%	89,80%
	FEBRERO	88,60%	90,40%
	MARZO	87,80%	89,80%
TE-RTU-08	ABRIL	88,96%	90,06%
	MAYO	88,90%	90,90%
	ENERO	88,90%	89,80%
	FEBRERO	88,40%	89,20%
PP-RTU-01	MARZO	87,80%	88,80%
	ABRIL	88,96%	91,06%
	MAYO	88,51%	90,51%
	ENERO	88,60%	89,80%
PP-RTU-02	FEBRERO	87,60%	88,50%
	MARZO	88,50%	89,40%
	ABRIL	86,50%	88,10%
	MAYO	88,50%	89,50%
PP-RTU-02	ENERO	89,20%	90,20%
	FEBRERO	88,50%	89,48%
	MARZO	86,90%	88,70%
	ABRIL	88,60%	90,20%
	MAYO	88,70%	90,80%

## Anexo E: Datos de consumo de energía.

Consumo Kwh/°C 2022	Consumo Kwh/°C 2023
2636,39	2579,23
2479,06	2432,79
2885,72	2847,19
2241,55	2201,75
1900,54	1861,46
2837,85	2798,18
2443,80	2413,77
2696,69	2672,34
2119,30	2081,87
1938,36	1901,01
1892,27	1855,32
1622,84	1588,14
1782,52	1749,48
1497,83	1449,85
1197,08	1147,49
1648,95	1601,10
1576,22	1534,96
1612,67	1573,53
1108,12	1051,81
1050,67	1024,32
1173,33	1142,69
951,81	914,89
1004,43	946,42
965,77	907,78
1531,82	1472,81
2093,16	2036,81
2090,46	2037,78
2199,33	2158,97
1911,61	1856,69
1561,31	1506,93



## Anexo F: Instrumentos de recolección de datos según la ISO 17359.

Parameter	Machine type									
	Electric motor	Steam turbine	Aero gas turbine	Industrial gas turbine	Pump	Compressor	Electric generator	RIC engine	Fan	Power transformer
Temperature	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Pressure		*	*	*	*	*		*	*	*
Pressure (head)					*					
Pressure ratio			*	*		*				
Pressure (vacuum)		*			*					
Air flow			*	*		*		*	*	
Fuel flow			*	*				*		
Fluid flow		*			*	*				
Current	*						*			*
Voltage	*						*			*
Resistance	*						*			*
Electrical phase	*						*			
Input power	*				*	*	*		*	*
Output power	*	*	*	*			*	*		*
Noise	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Vibration	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Acoustic emission	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ultrasonics	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Oil pressure	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Oil consumption	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Oil (tribology)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Thermography	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Torque	*	*		*		*	*	*		
Speed	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Length		*								
Angular position		*	*	*		*				
Efficiency (derived)		*	*	*	*	*		*		

\* Indicates condition monitoring measurement parameter is applicable.

**Key**  
 RIC: Reciprocating internal combustion

NOTE This table contains examples and is not an exhaustive list. Other parameters may be appropriate to consider.

Fuente: (30)

Machine type:	Symptom or parameter change									
Examples of faults										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

\* Indicates symptom could occur or parameter could change if fault occurs.

Fuente: (30)

Machine type: Electric motor	Symptom or parameter change												
	Current	Voltage	Resistance	Partial discharge	Power	Torque	Speed	Vibration	Temperature	Coast down time	Axial flux	Oil debris	Cooling gas
Rotor windings	*				*	*	*	*	*		*		*
Stator windings	*							*	*		*		*
Eccentric rotor	*						*				*		
Brush(es) fault	*	*			*	*			*				
Bearing damage	*					*		*	*	*		*	
Insulation deterioration	*	*	*	*									*
Loss of input power phase	*	*						*			*		
Unbalance								*					
Misalignment								*					

\* Indicates symptom could occur or parameter could change if fault occurs.

Fuente: (30)

Machine type: Aero gas turbine	Symptom or parameter change												
	Compressor temperature	Compressor pressure/Pressure ratio	Air flow	Fuel pressure/Fuel flow	Speed	Gas generator temperature	Pressure/Pressure ratio	Power turbine temperature	Exhaust temperature	Vibration	Oil debris	Oil leakage/consumption	
Air inlet blockage	*	*	*		*								
Compressor fouled	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Compressor damaged	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*		
Compressor stall					*		*			*			
Fuel filter blockage		*		*	*		*						
Seal leakage						*	*				*	*	
Combustion chamber holed				*	*				*				
Burner blocked				*	*		*						
Power turbine dirty	*	*	*		*		*	*		*			
Power turbine damage	*	*	*		*		*			*	*		
Bearing wear/damage										*	*	*	
Gear defects										*	*		
Unbalance										*			
Misalignment										*			

\* Indicates symptom could occur or parameter could change if fault occurs.

Fuente: (30)

Equipment type: Power transformer	Symptom or parameter change or detection technique															
	Amps/ volts/ load	Visual	Oil condit ion	Temp erature	Partial discharge	DGA	Noise	Ultra sound	Vibration	Power Factor/ Tan δ	Resist ance	DFR/ PDC/ RVM	FRA	Excitation current	Leak re- actance flux	Bushing capacitance
Insulation dete- rioration	*		*	*	*	*		o		*	*	*	*	*		
Moisture in- gress/ content			*			*				*	*	*				
On-load tap-changer condition/ fault	*		*	*	o	*	o	*	o		*		*	*		
De-energized tap-changer condition/ fault	*		*	*	o	*	o	*	o		*		*	*		
Oil quality dete- rioration			*			*				*		*				
Arcing/ electrical dis- charge		*	*			*		*		*		*				
Connection/ bushing faults				*	*	o	o	*		*	*					*
Overheating/ auxiliary cooling system fault		o	*	*		*		o								
Low oil level		*	o	o		o	o	o								

\* Indicates symptom could occur or parameter could change if fault occurs. o Indicates less common symptom or parameter.

**Key**  
DGA: Dissolved gas analysis  
DFR: Dielectric frequency response  
FRA: Frequency response analysis  
PDC: Polarization and de-polarization current  
RVM: Recovery voltage method  
Tan δ (tan-delta): Tangent dissipation angle  
NOTE: For more details see ISO 18095.

Fuente: (30)