

NOMBRE DEL TRABAJO

**ORTIZ PICHIHUA, MARYCRUZ Final TPS.  
pdf**

RECUENTO DE PALABRAS

**9991 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**55361 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**87 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Mar 22, 2024 11:28 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Mar 22, 2024 11:29 AM GMT-5****● 22% de similitud general**

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

- 22% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref



**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA  
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN  
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS  
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)**

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.untels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

**TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

- 1). TESIS ( )      2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL (x )

**DATOS PERSONALES**

|  |
|--|
| Apellidos y Nombres: Marycruz Ortiz Pichihua |
| D.N.I.: 47801643                             |
| Otro Documento:                              |
| Nacionalidad: Peruana                        |
| Teléfono: 963654587                          |
| e-mail: marycruzortizm@gmail.com             |

**DATOS ACADÉMICOS**

**Pregrado**

|   |
|---|
| Facultad: Facultad de Ingeniería y Gestión                              |
| Programa Académico: Trabajo de Suficiencia Profesional                  |
| Título Profesional otorgado: Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones |

**Postgrado**

|                             |
|-----------------------------|
| Universidad de Procedencia: |
| País: Perú                  |
| Grado Académico otorgado:   |

**Datos de trabajo de investigación**

|  |
|--|
| Título:<br>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS QUE CONTROLAN LA CENTRALITA ELECTRÓNICA DEL SISTEMA AIRE ACONDICIONADO DE LOS TRENES ANSALDO DEL METRO DE LIMA |
| Fecha de Sustentación: 16 de diciembre del 2023  |
| Calificación: Aprobado con Distinción  |
| Año de Publicación: 2024   |

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA**

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo X No autorizo \_\_\_\_\_

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

| Derechos de autor         |   |          |
|---------------------------|---|----------|
| TIPO DE ACCESO            | ATRIBUCIONES DE ACCESO  | ELECCIÓN |
| ACCESO ABIERTO<br>12.1(*) | <b>info:eu-repo/semantics/openAccess</b><br>(Para documentos en acceso abierto) | (x)      |

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

| Derechos de autor  |   |          |
|--------------------|---|----------|
| TIPO DE ACCESO     | ATRIBUCIONES DE ACCESO  | ELECCIÓN |
| ACCESO RESTRINGIDO | <b>info:eu-repo/semantics/restrictedAccess</b><br>(Para documentos restringidos)  | ( )      |
|                    | <b>info:eu-repo/semantics/embargoedAccess</b><br>(Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo) | ( )      |
|                    | <b>info:eu-repo/semantics/closedAccess</b><br>(para documentos confidenciales)  | ( )      |

(\*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



UNIVERSIDAD NACIONAL  
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

---

Motivos de la elección del acceso restringido:

---

---

---

---

---

ORTIZ PICHUHUA MARYCRUZ

---

APELLIDOS Y NOMBRES

47801643

---

DNI

---

Firma y huella:



Lima, 21 de marzo del 20 24

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y**  
**TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA  
LOS EQUIPOS QUE CONTROLAN LA CENTRALITA ELECTRÓNICA  
DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DE LOS TRENES ANSALDO  
DEL METRO DE LIMA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

ORTIZ PICHIHUA, MARYCRUZ

ORCID: 0009-0000-7784-6977

**ASESOR**

CARTAGENA GORDILLO, ALEX

ORCID: 0000-0001-8076-0699

**Villa El Salvador**

**2023**



VI Programa de Titulación por la Modalidad de Trabajo de Suficiencia Profesional  
Decanato de la Facultad de Ingeniería y Gestión

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

En Villa El Salvador, siendo las .....<sup>14:40</sup> horas del día 16 de diciembre de 2023, se reunieron en las instalaciones de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, los miembros del Jurado Evaluador del Trabajo de Suficiencia Profesional integrado por:

|            |   |                                   |               |
|------------|---|-----------------------------------|---------------|
| Presidente | : | DR. ORLANDO ADRIAN ORTEGA GALICIO | CIP N° 79878  |
| Secretario | : | MG. FREDY CAMPOS AGUADO           | CIP N° 173769 |
| Vocal      | : | MG. PABLO ANDRES VILLEGAS CHUNGA  | CIP N° 199274 |

Designados con Resolución de Decanato de la Facultad de Ingeniería y Gestión N° 984-2023-UNTELS-R-D de fecha 13 de diciembre del 2023.

Se da inició al acto público de sustentación y evaluación del Trabajo de Suficiencia Profesional, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones, bajo la modalidad de Titulación por Trabajo de Suficiencia Profesional (Resolución de Consejo Universitario N° 065-2023-UNTELS-CU de fecha 08 de agosto del 2023), en la cual se APRUEBA el "Reglamento, Directiva, Cronograma y Presupuesto del VI Programa de Titulación por la Modalidad de Trabajo de Suficiencia Profesional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur"; siendo que el Art. 4º del precitado Reglamento establece que: "La Modalidad de Titulación prevista consiste en la presentación, aprobación y sustentación de un Trabajo de Suficiencia Profesional que dé cuenta de la experiencia profesional y además permita demostrar el logro de las competencias adquiridas en el desarrollo de los estudios de pregrado que califican para el ejercicio de la profesión correspondiente. Quienes participen en esta modalidad no podrán tramitar simultáneamente otras modalidades de titulación. Además, los participantes inscritos en esta modalidad, deberán acreditar un mínimo de dos (02) años de experiencia laboral, de acuerdo a lo establecido en la Resolución N° 174-2019- SUNEDU/CD y al anexo 1 sobre Glosario de Términos en el punto veinte (20)...", en el cual;

La Bachiller **MARYCRUZ ORTIZ PICHUHUA**

Sustentó su Trabajo de Suficiencia Profesional: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS QUE CONTROLAN LA CENTRALITA ELECTRÓNICA DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DE LOS TRENES ANSALDO DEL METRO DE LIMA**

Concluida la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, se procedió a la calificación correspondiente según el siguiente detalle:

Condición <sup>Aprobado con distinción</sup>.....Equivalencia.....<sup>May. bueno</sup>.....de acuerdo al Art. 65º del Reglamento General para el Otorgamiento de Grado Académico y Título Profesional de la UNTELS vigente.

Siendo las .....<sup>15:00</sup> horas del día 16 de diciembre de 2023 se dio por concluido el acto de sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, firmando la presente acta los miembros del Jurado.

  
SECRETARIO  
MG. FREDY CAMPOS AGUADO  
CIP N° 173769

  
PRESIDENTE  
DR. ORLANDO ADRIAN ORTEGA GALICIO  
CIP N° 79878

  
VOCAL  
MG. PABLO ANDRES VILLEGAS CHUNGA  
CIP N° 199274

Nota: Art. 14°.- La sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional se realizará en un acto público. De faltar algún miembro del Jurado, la sustentación procederá con los dos integrantes presentes. En caso de ausencia del presidente del jurado, asumirá la presidencia el docente de mayor categoría y antigüedad. En caso de ausencia de dos o más miembros del jurado, la sustentación será reprogramada durante los 05 días siguientes.

## **Dedicatoria**

El presente trabajo va dedicado a mis padres y hermanas, por siempre apoyarme en todos mis decisiones y proyectos, por contribuir en mi crecimiento personal y profesional.

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer a cada una de las personas que contribuyeron de manera significativa en la elaboración de este trabajo.

No puedo dejar de agradecer a mis amigos y familiares que me brindaron el apoyo incondicional y aliento durante el proceso. Cada una de sus palabras fue de gran apoyo y estoy muy agradecida por su ayuda.

# ÍNDICE

|   |      |
|---|------|
| RESUMEN .....   | viii |
| INTRODUCCIÓN .....  | ix   |
| CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES .....                                  | 1    |
| 1.1 Contexto .....  | 1    |
| 1.2 Delimitación temporal y espacial del trabajo.....                 | 1    |
| 1.3 Objetivos.....  | 2    |
| 1.3.1 Objetivo General.....   | 2    |
| 1.3.2 Objetivos Específicos .....                                     | 2    |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....                                       | 3    |
| 2.1 Antecedentes:.....  | 3    |
| 2.1.1 Antecedentes Internacionales .....                              | 3    |
| 2.1.2 Antecedentes Nacionales .....                                   | 4    |
| 2.2 Bases teóricas: .....   | 5    |
| 2.2.1 Mantenimiento .....   | 5    |
| 2.2.2 Tipos de mantenimientos.....                                    | 7    |
| 2.2.3 Plan de mantenimiento .....                                     | 8    |
| 2.2.4 Normas de mantenimiento.....                                    | 9    |
| 2.2.5 Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad ..... | 11   |
| 2.2.6 Análisis de modo de falla y sus efectos .....                   | 12   |
| 2.2.7 Diagrama de decisión de RCM.....                                | 13   |
| 2.2.8 Tren Ansaldo Breda MB-300 .....                                 | 17   |
| 2.2.9 Equipo HVAC del tren Ansaldo MB-300 .....                       | 17   |
| 2.3 Definición de términos básicos.....                               | 23   |
| CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL .....                | 25   |
| 3.1 Determinación y análisis del problema: .....                      | 25   |
| 3.2 Modelo de solución propuesto:.....                                | 27   |
| 3.2.1 Diseño del Plan de Mantenimiento .....                          | 28   |
| 3.2.2 Elaboración del Análisis AMFE .....                             | 30   |
| 3.2.3 Elaboración del Diagrama de decisiones RCM.....                 | 39   |
| 3.3. Resultados .....   | 56   |
| CONCLUSIONES.....   | 60   |
| RECOMENDACIONES .....   | 61   |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 62 |
| ANEXOS .....                     | 66 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 <i>Evolución del mantenimiento</i> .....                                     | 6  |
| Figura 2 <i>Evolución del mantenimiento - Nuevas técnicas</i> .....                   | 6  |
| Figura 3 <i>Tipos de Mantenimiento</i> .....  | 7  |
| Figura 4 Preguntas para que una metodología sea considerada como RCM .....            | 10 |
| Figura 5 <i>Las 7 preguntas básicas RCM</i> .....                                     | 11 |
| Figura 6 <i>Diagrama de Decisiones RCM</i> .....                                      | 14 |
| Figura 7 <i>Tren Ansaldo Breda MB-300</i> .....                                       | 17 |
| Figura 8 <i>Equipo de aire acondicionado</i> .....                                    | 18 |
| Figura 9 <i>Tarjeta termorreguladora</i> .....  | 20 |
| Figura 10 <i>Diagrama de control de la centralita electrónica</i> .....               | 21 |
| Figura 11 <i>Unidad de Control</i> .....  | 21 |
| Figura 12 <i>Ciclo de refrigeración</i> .....   | 22 |
| Figura 13 <i>Fallas presentadas durante el año 2022</i> .....                         | 26 |
| Figura 14 <i>Disponibilidad de los equipos de aire acondicionado (Año 2022)</i> ..... | 26 |
| Figura 15 <i>Diagrama de bloques para la elaboración del proyecto</i> .....           | 27 |
| Figura 16 <i>Inspección del sensor PT1000</i> .....                                   | 49 |
| Figura 17 <i>Compartimiento del panel de control</i> .....                            | 49 |
| Figura 18 <i>Panel de control del sistema de aire acondicionado</i> .....             | 50 |
| Figura 19 <i>Establecer conexión con la interfaz RS232</i> .....                      | 51 |
| Figura 20 <i>Software SIM 365 para las pruebas de funcionamiento</i> .....            | 52 |
| Figura 21 <i>Pantalla de forzamiento para las pruebas</i> .....                       | 53 |
| Figura 22 <i>Estado actual del controlador</i> .....                                  | 54 |
| Figura 23 <i>Pantalla de anomalías</i> .....  | 55 |
| Figura 24 <i>Cantidad de fallos total durante los años 2022 y 2023</i> .....          | 56 |
| Figura 25 <i>Cantidad de fallas por meses durante los periodos 2022 y 2023</i> .....  | 57 |
| Figura 26 <i>Disponibilidad durante el Año 2023</i> .....                             | 59 |

## INDICE DE TABLAS

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabla 1  | <i>Hoja de Información RCM</i> .....   | 12 |
| Tabla 2  | <i>Hoja de Decisiones RCM</i> .....  | 16 |
| Tabla 3  | <i>Listado de equipos que controla la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado</i> ..... | 28 |
| Tabla 4  | <i>Funciones de los componentes del equipo de aire acondicionado</i> .....                               | 29 |
| Tabla 5  | <i>Registro de la hoja de información RCM</i> .....  | 31 |
| Tabla 6  | <i>Nomenclatura AMFE</i> .....   | 39 |
| Tabla 7  | <i>Nomenclatura del diagrama de decisiones</i> .....   | 40 |
| Tabla 8  | <i>Registro de la hoja de decisión RCM</i> .....   | 41 |
| Tabla 9  | <i>Plan de mantenimiento</i> .....   | 46 |
| Tabla 10 | <i>Indicadores de mantenimiento</i> .....  | 59 |

## RESUMEN

En el presente trabajo de suficiencia profesional, tuvo como propósito diseñar e implementar un plan de mantenimiento para los equipos que controlan la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado de los trenes Ansaldo del Metro de Lima, con el objetivo de aumentar la disponibilidad, disminuir la cantidad de fallas de los equipos de aire acondicionado y mejorar el confort en la sala de pasajeros de los trenes, más aún en época de verano, donde la temperatura puede llegar hasta los 29°C, según Senamhi.

Para la elaboración del diseño del plan de mantenimiento, se utilizó la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y las herramientas de Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE) y El Diagrama de Decisión de RCM, con el objetivo de encontrar las tareas de mantenimiento técnicamente más apropiadas para los equipos que controlan la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado de los trenes Ansaldo.

Como resultado se obtuvo la implementación del plan de mantenimiento con las tareas obtenidas en la fase de diseño. Una de las tareas primordiales es la prueba de funcionamiento realizada mediante el software SIM365, el cual permite controlar y diagnosticar el estado de los equipos.

El resultado que se obtuvo con el presente trabajo es el aumento de la disponibilidad al 99.01% durante el periodo de mayo a octubre del año 2023, en comparación al mismo periodo del año 2022 donde la disponibilidad era de 93.89%. Finalmente, se disminuyó la cantidad de fallas a un 75%, mejorando con ello el confort en la sala de pasajeros de los trenes Ansaldo.

## INTRODUCCIÓN

El sistema ferroviario en el Perú se ha convertido en uno del medio de transporte más utilizado por millones de usuarios para llegar a su centro de estudios o labores en menor tiempo. En el año 2022, el tráfico de pasajeros en el Metro de Lima de la Línea 1 aumentó a 129,6 millones, lo que es igual a transportar a 1200 pasajeros por tren, esto de acuerdo con lo indicado en el informe de desempeño 2022, publicado por OSITRAN. Por tal motivo, es necesario mantener operativo todos los sistemas del tren, entre ellos el sistema de aire acondicionado, el cual proporciona un ambiente de confort para los pasajeros. Por consiguiente, debe estar en funcionamiento en todas las estaciones del año más aún en época de verano, donde la temperatura puede llegar a superar los 29°C, según Senamhi. De acuerdo con el historial de fallas en el año 2022 existieron un total de 14 fallas, y una disponibilidad del 93.89%.

En ese sentido, surgen las siguientes preguntas : ¿Es posible mejorar la capacidad de funcionamiento de los equipos del sistema de aire acondicionado de los trenes Ansaldo del Metro de Lima?, ¿Es posible disminuir la cantidad de fallas? Para dar respuesta a estas interrogantes, se realizó el diseño e implementación del plan de mantenimiento para los equipos que controlan la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado de los trenes Ansaldo del Metro de Lima, utilizando la metodología RCM en base a las normas SAE JA1011 y SAE JA1012 , con la finalidad de aumentar la disponibilidad, disminuir la cantidad de fallos, evitar paradas de funcionamiento no programadas, y mejorar el confort para los usuarios que se transportan en el tren eléctrico.

El presente trabajo se estructuró en 3 capítulos. El capítulo I comprende los objetivos del presente trabajo y el contexto de la empresa. En capítulo II comprende el desarrollo de los antecedentes, asimismo, se determinan las bases teóricas para la elaboración de este trabajo. El capítulo III comprende el diseño del plan de mantenimiento, que se desarrollará utilizando la metodología RCM, la herramienta AMFE y El Diagrama de Decisión de RCM, con el objetivo de encontrar las tareas de mantenimiento técnicamente más apropiadas para los equipos que controla la centralita electrónica.

## **CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 Contexto**

La Línea 1 del Metro de Lima es una empresa con más de 12 años en el ámbito ferroviario, siendo el medio de transporte más utilizado por millones de pasajeros, para llegar a su destino en menor tiempo, con seguridad y eficiencia. (Metro de Lima Línea 1, 2020)

Su misión es ser una organización con recurso humano capacitado, brindando un servicio integral, con la finalidad de contribuir al desarrollo de la ciudad y mejorar la calidad de vida de los pasajeros (Metro de Lima Línea 1, 2020).

Tiene como visión ser conocido como el operador de transporte más seguro, moderno, generador de cultura ciudadana y desarrollo sostenible (Metro de Lima Línea 1, 2020).

### **1.2 Delimitación temporal y espacial del trabajo**

El diseño e implementación del plan de mantenimiento para los equipos que controlan la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado de los trenes Ansaldo del Metro de Lima, se desarrolló durante los meses enero y abril del año 2023 y se llevó a cabo en las instalaciones del Patio Taller del Metro de Lima ubicado en el distrito de Villa El Salvador.

El diseño se llevó a cabo utilizando la metodología RCM, mediante las herramientas AMFE y el Diagrama de decisión RCM, con el objetivo de encontrar las tareas de mantenimiento técnicamente más apropiadas para la implementación.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Diseñar e Implementar un plan de mantenimiento para los equipos que controlan la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado de los trenes Ansaldo del Metro de Lima

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar un plan de mantenimiento para los equipos que controlan la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado de los trenes Ansaldo del Metro de Lima
- Implementar el plan de mantenimiento de acuerdo con las tareas propuestas obtenidas durante el diseño.
- Validar los resultados obtenidos del plan de mantenimiento durante su aplicación y pruebas.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes:

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

Vera (2018), en su investigación titulada: "Propuesta plan de mantenimiento clima LRV x"trapolis 100 en empresa Alstom chile S.A", propone elaborar un plan de mantenimiento para el sistema de climatización de los trenes Alstom del metro de Chile, a través de la metodología RCM y la herramienta "Análisis de Modos de Fallo, Efectos y Criticidad (FMECA)", para ello analizó el historial de fallas y examinó el estado actual de los equipos de climatización, con la finalidad de realizar el llenado de hoja de información y la hoja de decisiones RCM. Entre sus resultados obtuvo las tareas más adecuadas para el plan de mantenimiento y los procedimientos para su ejecución.

Finalmente, concluye que, la tarea de limpieza general del equipo contribuye a mantener adecuadamente la funcionalidad de los equipos de climatización de los trenes Alstom.

Cardona (2020), en su investigación titulada: "Formulación de plan de mantenimiento basado en RCM para bombas de vacío del hospital universitario san Vicente fundación", propone diseñar un plan de mantenimiento, con el propósito de incrementar la disponibilidad y prevenir los fallos de las bombas de vacío que son utilizados frecuentemente en la sala de cuidados intensivos. En ese sentido, es necesario conocer el historial de mantenimientos correctivos realizados a los equipos a través del sistema SAP y posteriormente aplicar la metodología RCM nos permite llenar la hoja de información donde se detalla los ítems a registrar con el fin de hallar las consecuencias de cada fallo. Entre sus resultados obtuvo un aumento de disponibilidad del 97.85% a 99.5%, después de la implementación. Finalmente concluye que, la metodología RCM permite determinar los posibles fallos que pueden presentar los equipos. Asimismo, menciona que, para realizar un correcto análisis del equipo es necesario el apoyo del personal técnico, puesto que, ellos trabajan directamente con los equipos.

Yanez (2021), en su investigación titulada: “Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para una flota de buses urbanos en el sur de Quito” tiene como propósito elaborar un plan basado RCM, aumentar la confiabilidad, la disponibilidad de las unidades, la reducción de mantenimientos no programados y la reducción de los gastos de reparación. Propone utilizar la metodología RCM, aplicando para ello el análisis AMFE, con el propósito de determinar los fallos principales que presentan los buses. Entre sus resultados obtuvo, una reducción en las paradas de mantenimiento correctivo del 47% , una disminución del 46% en la tasa de fallas; en consecuencia, un aumento de confiabilidad y disponibilidad. Finalmente, concluye que, realizar el plan de mantenimiento mediante la metodología del RCM proporciona una reducción del 26% en los costos de mantenimiento.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

Morales (2022), en su investigación titulada: “Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento en el sistema HVAC del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez utilizando la metodología RCM”, tiene como propósito de reducir los costos de mantenimiento correctivo de los equipos HVAC e incrementar la disponibilidad, a través de la metodología RCM. Como resultado obtuvo una reducción del 50% de las fallas y reducción en los costos de mantenimiento correctivo. Finalmente, concluye que, la implementación del RCM facilita información para la toma de decisiones.

Alca (2020), en su investigación titulada: “Propuesta de un plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, con el propósito de reducir el número de las fallas de los cargadores frontales 950I, durante su operación, en la unidad minera pampahuay, oyón - 2020”, tiene como propósito diseñar un plan de mantenimiento, disminuir la cantidad de fallos de los cargadores frontales y mejorar la operatividad de los sistemas. Propone utilizar la metodología RCM para posteriormente determinar las tareas de mantenimiento en base a las consecuencias obtenidas en el análisis AMFE. Por ello, es necesario conocer el funcionamiento, el historial de

fallas y la criticidad de cada sistema de los cargadores frontales que puedan afectar la confiabilidad. Como resultados obtuvo un aumento en la disponibilidad del 32.32% después de implementar el plan de mantenimiento; asimismo, la reducción al 54.11% de la cantidad de fallos, disminuyendo así de 85 a 39 las fallas presentadas por cargadores frontales.

Salazar (2019), en su investigación titulada: “Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) para incrementar la disponibilidad de los tractocamiones Freightliner de la empresa Transportes Pakatnamu SAC”, propone implementar un plan de mantenimiento, con el propósito de aumentar la disponibilidad y disminuir la cantidad fallas de los tractocamiones, utilizando la metodología MCC en base a la Norma SAE JA1011 y respondiendo a las 7 preguntas que indica la norma. Como resultado se obtuvo un aumento en la disponibilidad de 83.26% a 97.31% después de implementar el plan de mantenimiento MCC. Finalmente, concluye que, el RCM influye en la disponibilidad de los tractocamiones e incrementa su vida útil.

## **2.2 Bases teóricas:**

### **2.2.1 Mantenimiento**

El mantenimiento se define como un conjunto de procedimientos necesarios, para que los equipos cumplan con la función para la cual fueron construidos, con la finalidad de prolongar su vida útil (Pérez, 2021).

La Figura 1, muestra la evolución del mantenimiento a lo largo de los años. Asimismo, en la Figura 2, se muestra las nuevas técnicas de mantenimiento, que contribuyen a la toma de decisiones, como el análisis de fallos y sus efectos, la técnica de monitoreo, el análisis de mantenibilidad y confiabilidad (Mounbray, 2004).

**Figura 1**

*Evolución del mantenimiento*

|                                  |  |  |
|----------------------------------|--|--|
|                                  |  | <b><u>Tercera Generación</u></b>   |
|                                  |  | 1980 - 2010  |
|                                  | <b><u>Segunda Generación</u></b>   |  |
|                                  | 1960 - 1970  |  |
| <b><u>Primera Generación</u></b> |  |  |
| 1940 - 1950                      |  |  |
| *Reparar cuando se rompe.        | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Mayor disponibilidad de planta.</li> <li>* Mayor vida de los equipos.</li> <li>* Menor costo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Mayor disponibilidad y confiabilidad de las plantas.</li> <li>* Mayor seguridad</li> <li>* Mejor calidad del producto.</li> <li>* Ningún daño al medio ambiente.</li> <li>* Mayor vida de los equipos</li> <li>* Mayor costo-eficacia</li> </ul> |

Nota. Adaptado de RCM II (Moubray, 2004).

**Figura 2**

*Evolución del mantenimiento - Nuevas técnicas*

|                                  |  |   |
|----------------------------------|--|---|
|                                  |  | <b><u>Tercera Generación</u></b>  |
|                                  |  | 1980 - 2010   |
|                                  | <b><u>Segunda Generación</u></b>   |   |
|                                  | 1960 - 1970  |   |
| <b><u>Primera Generación</u></b> |  |   |
| 1940 - 1950                      |  |   |
| *Reparar cuando falla.           | <ul style="list-style-type: none"> <li>*Reparaciones programadas.</li> <li>*Sistemas de planeamiento y control del trabajo.</li> <li>*Computadoras grandes y lentas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Monitoreo de condición.</li> <li>* Diseño direccionado a la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento.</li> <li>* Estudios de Riesgo.</li> <li>* Computadoras rápidas y pequeñas.</li> <li>* Análisis de modos de falla y efectos.</li> <li>* Sistemas Expertos</li> <li>* Capacidades Múltiples y trabajo en equipo.</li> </ul> |

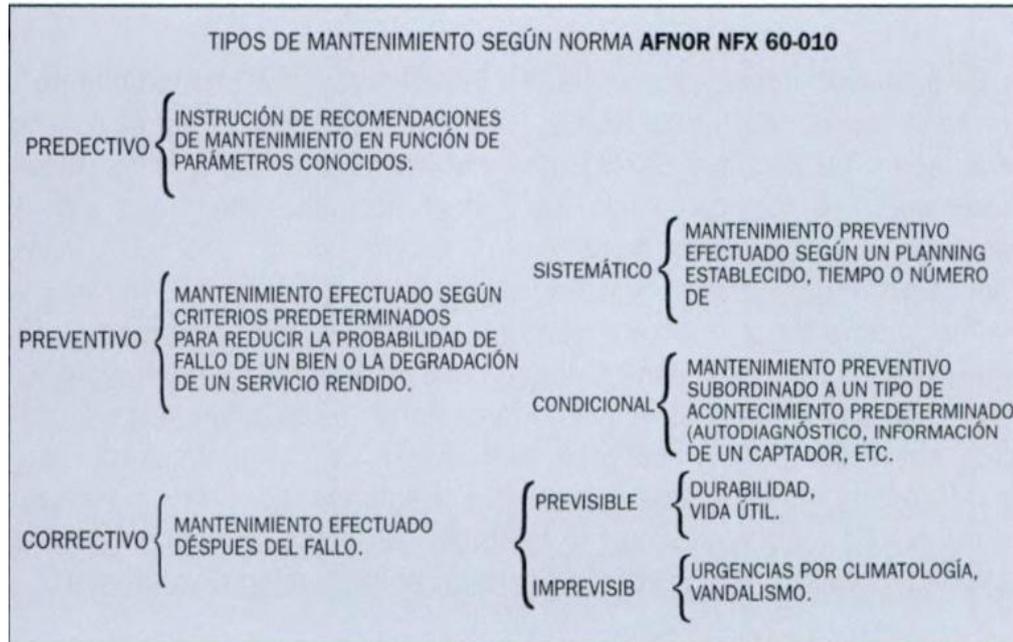
Nota. Adaptado de RCM II (Moubray, 2004).

## 2.2.2 Tipos de mantenimientos

Conforme a la norma AFNOR NFX 60-010, existen 3 tipos de mantenimiento, como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3**

*Tipos de Mantenimiento*



Nota. Adaptado de Norma AFNOR NFX 60-010

### 2.2.2.1 Mantenimiento Correctivo

Se define como todas las acciones a realizar a las instalaciones, edificaciones o máquinas cuando dejan de funcionar correctamente debido a un fallo. Su objetivo es restablecer la calidad del servicio para el buen funcionamiento; por tal razón, implica una pronta atención sin contar con una planificación previa. Estos trabajos suelen realizarse a través de reportes de máquinas fuera de servicio, en estas situaciones, el personal solo debe llevar a cabo las reparaciones, necesarias para que el equipo siga prestando servicio; y con ello disminuir el tiempo de parada (García, 2006).

### **2.2.2.2 Mantenimiento Preventivo**

Es un conjunto de actividades planificadas, programadas periódicamente, con la finalidad de asegurar el funcionamiento eficiente y seguro de un equipo, evitando así fallos imprevistos; a través de una serie de pasos sistemáticos, que consisten en inspeccionar y desmontar las máquinas, para sustituir o reparar las piezas desgastadas antes de que ocurra un fallo (Rey, 2001). Asimismo, este mantenimiento tiene como ventaja reducir el almacenamiento de repuestos ajustando su adquisición a los periodos planificados (Sánchez et al., 2006).

### **2.2.2.3 Mantenimiento Predictivo**

Es un conjunto de métodos y técnicas aplicados a máquinas y equipos, que permiten determinar su estado, con el fin de intervenir antes de que ocurran las fallas. Por tanto, es necesario establecer una serie de parámetros medibles, cuya variación refleja el deterioro de los componentes. Asimismo, tiene como propósito asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas mediante un seguimiento continuo (Rey, 2001).

Finalmente cuando los parámetros de la maquina y equipo no se encuentran dentro del rango establecido, indican una falla inminente. En consecuencia, se deben implementar acciones correctivas, para eliminar la causa de la falla y reparar o reemplazar las piezas desgastadas o dañadas (Sánchez et al., 2006).

### **2.2.3 Plan de mantenimiento**

Se define como un registro de todas las actividades planificadas, que se realizan dentro de una planta para garantizar la disponibilidad de las máquinas y equipos. Es un documento dinámico, que se actualiza constantemente en base al análisis de eventos que ocurren en la planta (García, 2003).

## **2.2.4 Normas de mantenimiento**

### **Norma ISO 14424**

La norma de la Organización Internacional de Normalización ISO 14424, proporciona la base completa para obtener una buena recolección de datos; asimismo define los principios de la recolección, así como también las definiciones y términos (ISO 14424, 2016)

A continuación, se describen las categorías para la recolección de datos recomendadas en el estándar:

- Datos de los equipos, tales como taxonomía .
- Datos de las fallas: las causas de las fallas y las consecuencias de las fallas.
- Datos del mantenimiento: acciones del mantenimiento y consecuencia del mantenimiento.

### **Normas SAE J1739**

La norma de la Sociedad de Ingenieros Automotrices SAE J1739 establece los requisitos y recomendaciones para guiar en el desarrollo del análisis de modo de falla y sus efectos AMFE (SAE J1739, 2021).

### **Norma SAE JA1011**

La norma SAE JA1011 puede ser utilizada por cualquier empresa que cuente con activos o sistemas que quiera manejar e implementar la metodología RCM.

Asimismo, antes de iniciar con el análisis indicado por la norma SAE JA1011, se deberá analizar la información recopilada del activo que será estudiado.

Este estándar, establece los requisitos a cumplir, para que una metodología se define como RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). Por tal razón, todos los procesos de RCM deberán responder satisfactoriamente a las 7 preguntas (SAE JA1011, 1999).

Preguntas para iniciar con el desarrollo del plan de mantenimiento conforme a la metodología RCM. Ver la Figura 4.

**Figura 4**

Preguntas para que una metodología sea considerada como RCM

| ÍTEM | RCM   |   |
|------|---|---|
| 1    | <i>¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente?</i> | <i>Funciones</i>                                |
| 2    | <i>¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones?</i>   | <i>Fallas funcionales</i>                       |
| 3    | <i>¿Qué causa cada falla funcional?</i>   | <i>Modo de falla</i>                            |
| 4    | <i>¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?</i>  | <i>Efectos de falla</i>                         |
| 5    | <i>¿De qué manera afecta cada falla?</i>  | <i>Consecuencias de fallas</i>                  |
| 6    | <i>¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?</i>  | <i>Tareas proactivas e intervalos de tareas</i> |
| 7    | <i>¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible?</i>   | <i>Acciones predeterminadas</i>                 |

Nota: Adaptado de la norma SAE (SAE JA1011, 1999)

### **Norma SAE JA1012**

La norma SAE JA1012, aclara los criterios mencionados en la norma SAE JA1011, y sintetiza los problemas que deberían ser considerados para aplicar RCM exitosamente.

Las secciones de la 5 a la 14 y la 16 a la 17 amplían los detalles de la norma SAE JA1011; asimismo, en la sección 8.1 menciona que, los modos de fallo deberán registrarse en el AMFE, tal como se menciona en el Anexo 4.

Finalmente, en la sección 15 menciona que, para dar respuestas a las 3 últimas preguntas del proceso RCM, vinculados al manejo de cada modo de falla identificados en el AMFE, se puede utilizar el diagrama de decisiones para el manejo de los modos de fallas y sus respectivas consecuencias (SAE JA1012, 2002).

### 2.2.5 Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Determina las acciones para garantizar la correcta funcionalidad de los activos. (Moubray, 2004). Asimismo, busca evaluar detalladamente la gravedad y las consecuencias de cada fallo, asignando un valor numérico a dichas consecuencias. De esta forma, mide la importancia de cada fallo de manera cuantitativa. (García, 2003)

La metodología RCM utiliza la herramienta AMFE, con el objetivo de determinar las tareas adecuadas para la mejora del plan de mantenimiento (Keith, 2002). El objetivo principal de aplicar la metodología RCM, es incrementar la disponibilidad de los equipos, reducir los gastos asociados al mantenimiento y evitar que todos los equipos se degraden con el tiempo y fallan. (García, 2008)

En la Figura 5, se plantean las 7 preguntas de la metodología RCM, que se realiza al activo o al sistema. Las respuestas a las 4 primeras preguntas se desarrollan utilizando la herramienta AMFE y las 3 últimas preguntas se refieren a cada modo de falla, para ello se utiliza el método de diagrama de decisiones de RCM. (Moubray, 2004).

**Figura 5**

*Las 7 preguntas básicas RCM*

|  |   | ÍTEM | RCM   |
|--|---|------|---|
| Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos (AMFE) |  | 1    | <i>¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente?</i> |
|  |   | 2    | <i>¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones?</i>   |
|  |   | 3    | <i>¿Qué causa cada falla funcional?</i>   |
|  |   | 4    | <i>¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?</i>  |
| Diagrama de Decisiones de RCM                    |  | 5    | <i>¿De qué manera afecta cada falla?</i>  |
|  |   | 6    | <i>¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?</i>  |
|  |   | 7    | <i>¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible?</i>   |

Nota. Adaptado de la norma SAE (SAE JA1011, 1999)

### 2.2.6 Análisis de modo de falla y sus efectos

Es una técnica analítica que identifica y evalúa los posibles modos de falla de un sistema o equipo, así como sus causas y efectos, con la finalidad de prevenirlos o corregirlos por medio de acciones específicas y mecanismo de control (Argüelles, 2012).

La mejor fuente de información para preparar documentos AMFE y realizar el llenado de estos, son los técnicos que mantienen y operan los equipos diariamente. Ellos saben cómo funciona el equipo, qué problemas pueden presentar, la importancia de cada problema y qué pasos seguir para repararlo (Moubray, 2004).

Después de la recolección de información del equipo o sistema analizado, en la Tabla 1, se muestra la Hoja de Información RCM a llenar, para determinar la función, la falla funcional, el modo de fallo y sus efectos.

**Fallas funcionales (FF)** : Es un evento que provoca inestabilidad del activo, el cual no se encuentra disponible para cumplir su función (SAE JA1012, 2002).

**Modo de falla (FM)** : Es la posible causa que produce la pérdida de funcionamiento de un activo (SAE JA1012, 2002).

**Efecto de falla** : Es la consecuencia que ocasiona un modo de falla de un activo (SAE JA1012, 2002).

**Tabla 1**

*Hoja de Información RCM*

| Componente | Función |  | Falla funcional<br>(Pérdida de función) |  | Modo de Falla<br>(Causa de la falla) |  | Efecto de Falla<br>(¿Qué sucede cuando se produce una falla) |
|------------|---------|--|---|--|--------------------------------------|--|--|
|            | 1       |  | A                                       |  | 1                                    |  |  |

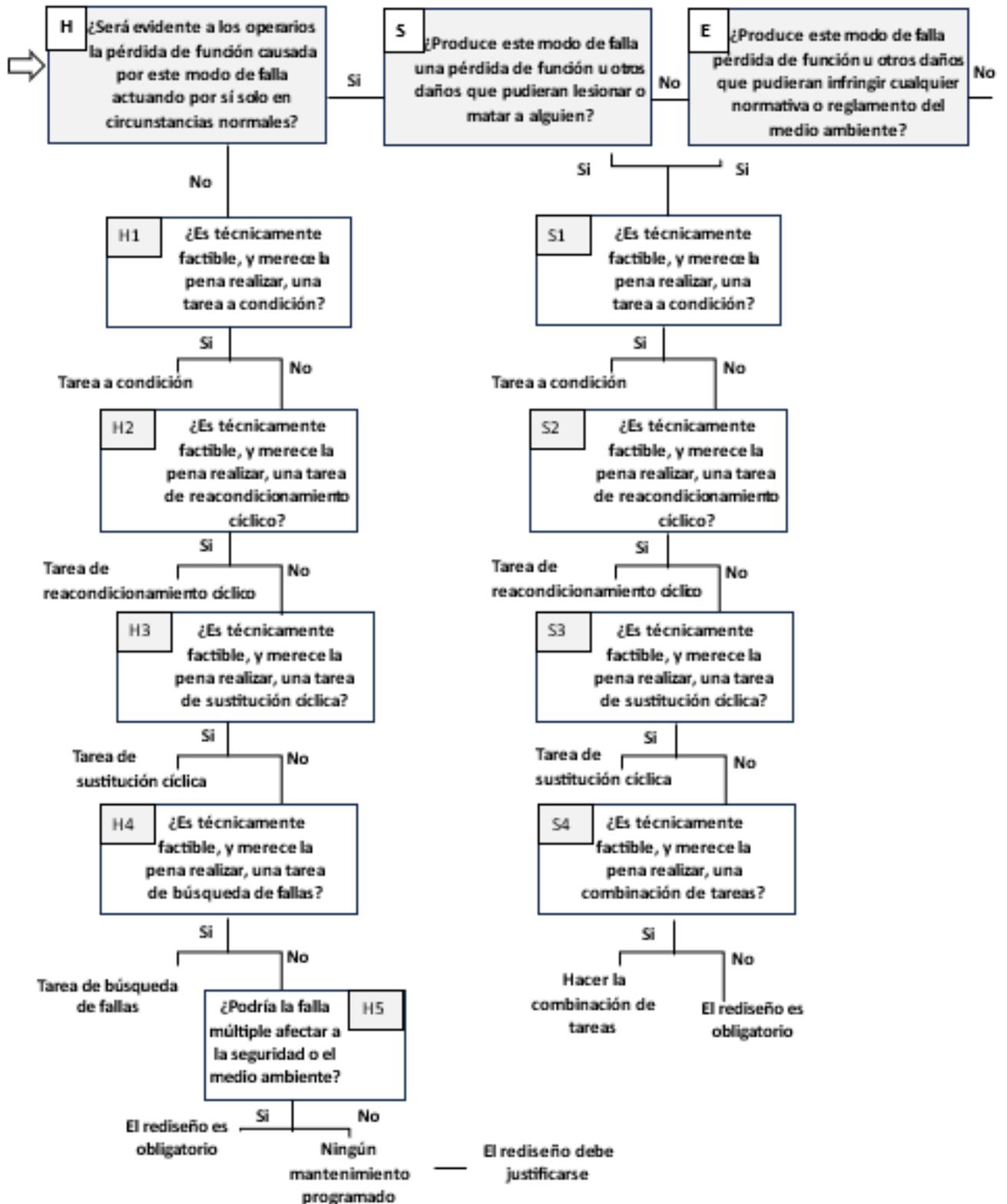
Nota. Adaptado de RCM II (Moubray, 2004).

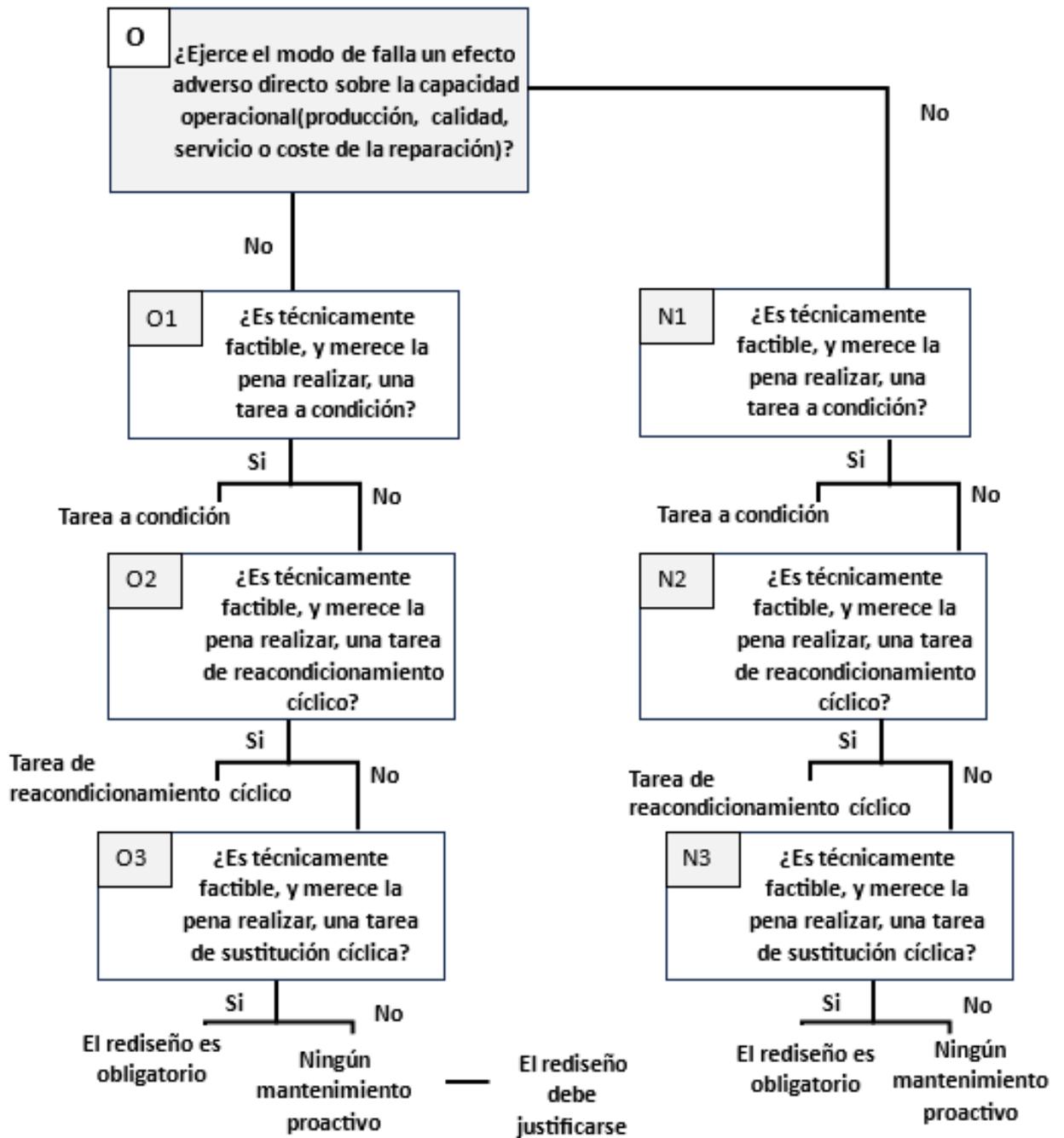
### **2.2.7 Diagrama de decisión de RCM**

El diagrama de decisiones RCM, incorpora todos los procesos de toma de decisiones en una única estructura estratégica, como se observa en la Figura 6; y se aplica a cada modo de falla enumerado en la Hoja de Decisiones RCM de la Tabla 2 (Moubray, 2004).

Figura 6

Diagrama de Decisiones RCM





Nota: Adaptado de RCM II (Moubray, 2004)

En la tabla 2, se observa la hoja de decisiones RCM, segmentada en dieciséis columnas. En las columnas identificadas con las siglas F, FF y FM, registrar la información obtenida en la hoja de información RCM de la Tabla N°01.

Los encabezados de las diez restantes columnas hacen alusión a las interrogantes del diagrama de decisiones RCM, como se observa en la Figura 6; por consiguiente:

- Las columnas H, S, E, O y N se emplean para responder a las interrogantes referente a las consecuencias obtenidas por cada modo de falla.
- Las siguientes tres columnas (etiquetadas H1, H2, H3) permiten responder si seleccionó una tarea proactiva.
- Si se responde a la interrogante “ acción a falta de”, registrar las respuestas en las columnas que cuentan con el encabezado H4 y H5 o S4.

Las 3 columnas registran qué tarea se seleccionó (si corresponde), determinar la frecuencia para su ejecución y qué personal debe realizarlo. La columna "Tarea propuesta ", también es utilizada para el registro en caso exista un rediseño.

**Tabla 2**

*Hoja de Decisiones RCM*

| Referencias de información |    |    | Referencias de información |   |   |   | H1 | H2 | H3 | Acción a falta de |    |    | Tarea Propuesta | Intervalo Inicial | A realizase por |
|----------------------------|----|----|----------------------------|---|---|---|----|----|----|-------------------|----|----|-----------------|-------------------|-----------------|
| F                          | FM | FM | H                          | S | E | O | S1 | S2 | S3 | H4                | H5 | S4 |                 |                   |                 |
|                            |    |    |                            |   |   |   | O1 | O2 | O3 |                   |    |    |                 |                   |                 |
|                            |    |    |                            |   |   |   | N1 | N2 | N3 |                   |    |    |                 |                   |                 |
| 1                          | A  | 1  |                            |   |   |   |    |    |    |                   |    |    |                 |                   |                 |

Nota. Adaptado de RCM II (Moubray, 2004).

### 2.2.8 Tren Ansaldo Breda MB-300

El tren Ansaldo Breda, cuenta con un sistema de aire acondicionado encargado de enfriar la sala de pasajeros. Cada coche cuenta con 2 equipos, siendo un total de 12 equipos por tren, los cuales se encuentran montados sobre el techo del coche, como se puede ver en la Figura 7.

**Figura 7**

*Tren Ansaldo Breda MB-300*



Nota: Elaboración propia

### 2.2.9 Equipo HVAC del tren Ansaldo MB-300

#### 2.2.9.1 Descripción de la unidad

La unidad está compuesta por dos circuitos refrigeradores independientes. Con las siguientes características:

- a) Suministro principal de energía: 400 3ph 50Hz
- b) Potencia eléctrica absorbida en MT: 10,8kW
- c) Suministro auxiliar de 72Vdc
- d) Potencia de refrigeración: 21 kW
- e) Tipo de refrigerante: R407C

Condiciones ambientales climáticas de la Unidad:

- a) Condición de invierno +15°C.
- b) Condición de verano +27°C.
- c) Temperatura máxima de trabajo +40°C.

En la Figura 8, se aprecia el equipo de aire acondicionado.

**Figura 8**

*Equipo de aire acondicionado*



Nota. elaboración propia

Cada equipo cuenta con los siguientes componentes:

- Compresor tipo scroll horizontal
- Condensadores
- Evaporador
- Filtro de aire
- Ventiladores de los condensadores
- Ventilador del evaporador
- Filtro secador
- Separador de líquido

- Válvula de expansión termostática
- Válvula solenoide de líquido
- Presostato / Transductores
- Sensores de temperatura PT1000
- Panel de control eléctrico y electrónico
- Centralita electrónica

#### **2.2.9.2 Sistema de control Electrónico de la Unidad**

El sistema se basa en una tarjeta electrónica con un microprocesador que puede ser conectado al sistema de comunicación del tren. Diseñado para gestionar la regulación de la temperatura al interior del compartimiento de los coches del tren, a partir de las señales enviadas por los sensores que capta la temperatura ambiente, la temperatura externa, la temperatura de descarga de aire y de las distintas señales de entrada que forman parte de la unidad de aire acondicionado, generando las órdenes para asegurar el encendido y el apagado del equipo de aire acondicionado.

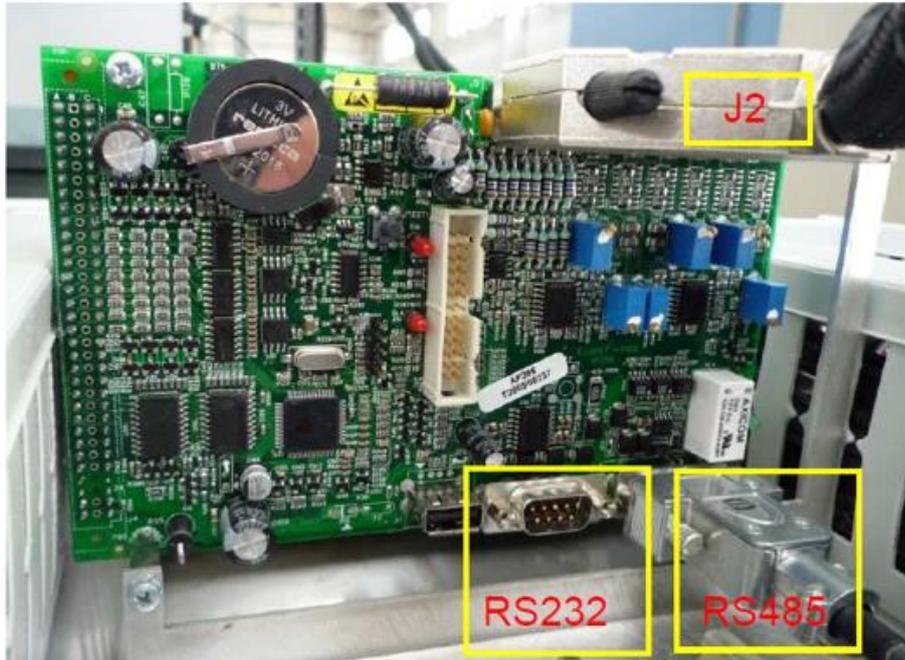
El sistema gestiona las anomalías derivadas de la desconexión del interruptor automático, el corte de las señales proveniente de los sensores (Klimat-fer, 2011).

#### **Centralita Electrónica**

Es uno de los componentes principales del panel control, esta tarjeta de control de temperatura AP365 tiene una interfaz serie RS232 con PC con el fin de permitir la descarga de software y diagnóstico, así como forzar las entradas y salidas, como se observa en la Figura 9 (Klimat-fer, 2011).

**Figura 9**

*Tarjeta termorreguladora*



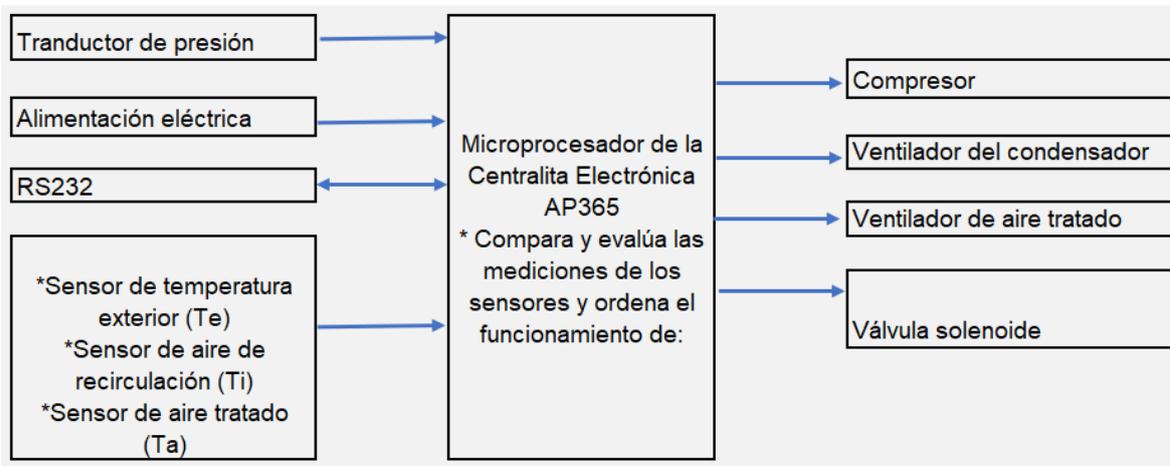
Nota. Adaptado de Klimat-Fer (2011)

### **2.2.9.3 Diagrama de bloques del sistema aire acondicionado**

El microprocesador es el encargado de gobernar el funcionamiento de los equipos de aire acondicionado, como se observa en la Figura 10 y 11.

**Figura 10**

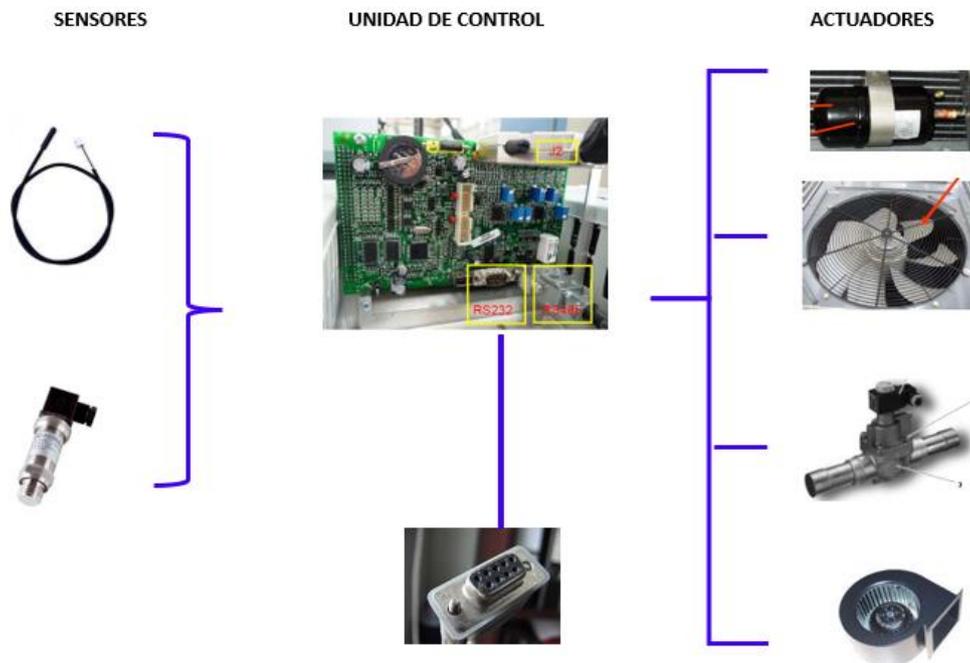
*Diagrama de control de la centralita electrónica*



Nota. Elaboración propia

**Figura 11**

*Unidad de Control*



Nota. Elaboración propia

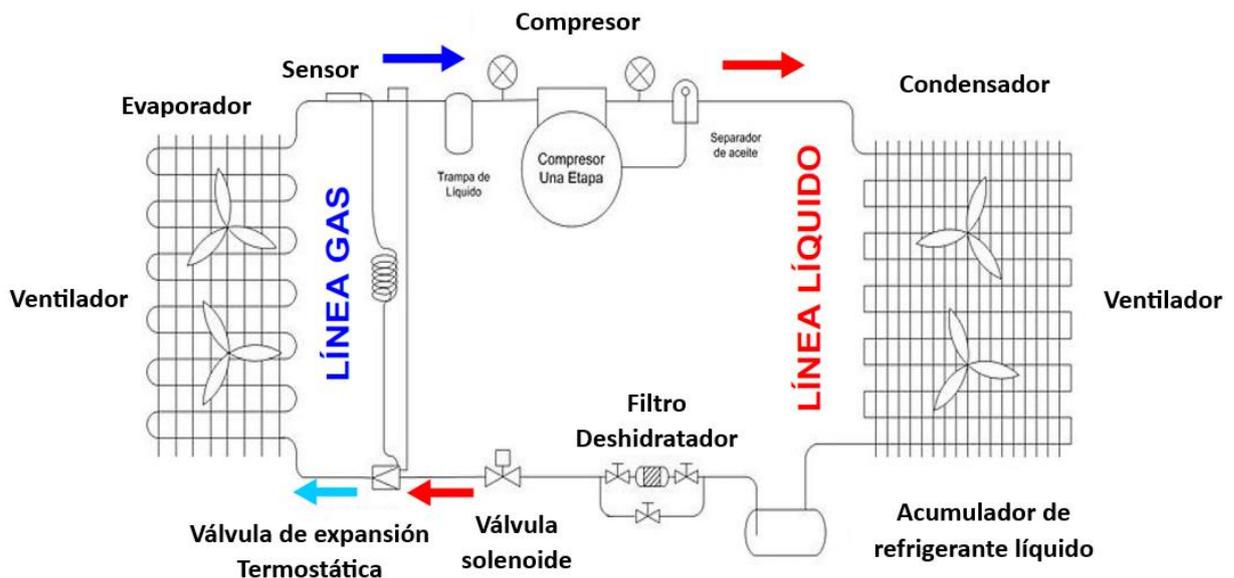
#### 2.2.9.4 Ciclo de refrigeración

El ciclo de refrigeración inicia cuando el refrigerante R407C ingresa al compresor en forma de gas a baja presión y a baja temperatura. El gas se comprime y sale del compresor a una alta temperatura y presión, y viaja a través de las bobinas o tubos del condensador, donde se enfría por la exposición al aire exterior soplado por un ventilador del condensador, pasando el refrigerante en forma de líquido desde el condensador hacia la válvula de líquido, encargada de controlar el paso del flujo del refrigerante a través del evaporador. Mediante la válvula de expansión se distribuye el refrigerante.

El refrigerante frío y convertido en gas parcialmente continúa a través de los tubos del evaporador. El ventilador del evaporador sopla el aire tratado al ambiente interno (sala de pasajeros) a través de estos serpentines, donde el refrigerante se evapora por completo. El refrigerante deja el evaporador, ahora convertido en gas vuelve a ingresar al compresor para continuar el ciclo, como se muestra en la Figura 12 (Klimat-fer, 2011).

**Figura 12**

*Ciclo de refrigeración*



Nota. Adaptado de Klimat-fer (2011)

### 2.3 Definición de términos básicos

**HVAC:** El término HVAC se refiere a la Ventilación, Aire Acondicionado y Calefacción. Es un sistema que se utiliza para controlar la humedad , la calidad del aire y la temperatura en un espacio cerrado.

**Mantenimiento preventivo:** Conjunto de tareas planificadas que se realizan de forma regular para prevenir posibles problemas o averías del equipo de aire acondicionado de los trenes. Incluye la limpieza, inspección, lubricación y ajuste de los componentes del sistema.

**Mantenimiento correctivo:** Conjunto de tareas que se realizan para corregir problemas o averías en el sistema de aire acondicionado de los trenes una vez que se han producido. Incluye la reparación o reemplazo de componentes dañados o defectuosos.

**Filtro de aire:** Se encarga de filtrar el aire que circula en el tren. Su función es eliminar partículas de polvo, polen, bacterias y otros contaminantes del aire, mejorando así la calidad del aire interior.

**Compresor:** Es un equipo de aire acondicionado que se encarga de comprimir el refrigerante y bombearlo a través del sistema. Genera la presión necesaria para que el refrigerante pueda absorber y liberar calor.

**Evaporador:** Es un equipo de aire acondicionado que se encarga de absorber el calor del aire interior y transferirlo al refrigerante. Es donde se produce el enfriamiento del aire.

**Condensador:** Se encarga de liberar el calor absorbido por el refrigerante al aire exterior. Es donde se produce la refrigeración del aire.

**Termostato:** Dispositivo que se utiliza para controlar la temperatura del sistema de aire acondicionado. Permite ajustar la temperatura deseada y encender o apagar el sistema según sea necesario.

**Ductos:** Conductos por los que circula el aire acondicionado en el tren. Se encargan de distribuir el aire acondicionado a los diferentes espacios del tren, como los compartimentos de pasajeros.

**Unidad de control:** Es un equipo del aire acondicionado que se encarga de controlar y supervisar el funcionamiento del sistema. Permite ajustar parámetros, recibir y enviar señales, y monitorear el rendimiento del sistema.

**Registro de mantenimiento:** Documento o sistema donde se registran todas las actividades de mantenimiento realizadas. Incluye fechas, tareas realizadas, observaciones.

**EAM:** Software para la gestión de activos empresariales de ORACLE, permite mantener de forma eficiente los activos, asimismo, optimiza y mide el rendimiento de las operaciones de mantenimiento, los costos y el historial de fallos.

## CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

### 3.1 Determinación y análisis del problema:

El Metro de Lima actualmente es la única empresa de transporte ferroviario en el Perú, encargada de transportar a millones de pasajeros. Por consiguiente, el mantenimiento del Material Rodante debe ser realizado de manera correcta, de acuerdo con el Kilometraje recorrido y el plan de mantenimiento establecido, con la finalidad de preservar la vida útil de todos los equipos que componen el tren. Asimismo, brindar un servicio seguro y con confort. Cabe señalar que la empresa cuenta con toda la infraestructura y herramientas para realizar el mantenimiento de todos los equipos que componen el material rodante.

Pero pese a ello, el mantenimiento del sistema de aire acondicionado cuenta con poco estudio y análisis, dado que son pocas las averías que suelen presentar estos equipos y no afectan la operatividad del tren, pese a ello, estos equipos son necesarios para garantizar una buena experiencia a los pasajeros (Vera, 2018) y más aún en época de verano donde las temperaturas se llegan a incrementar a 29°C, según Senamhi .

Como se mencionó en el párrafo precedente el plan de mantenimiento es poco estructurado. En ese sentido, el plan de mantenimiento actual no contempla actividades a ejecutar para mantener a los equipos que controlan la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado. En consecuencia, el plan de mantenimiento actual no resultó ser suficiente para garantizar un alto nivel de los indicadores de mantenimiento, de acuerdo con los reportes de fallos y la cantidad de mantenimientos correctivos ejecutados, en el año 2022, los equipos presentaban un 93.89% de disponibilidad.

En la Figura 13, se observa la cantidad de fallas presentadas durante el año 2022.

**Figura 13**

*Fallas presentadas durante el año 2022*



Nota. Elaboración Propia

En la Figura 14, se muestra la disponibilidad presentada por los equipos de aire acondicionado de los 5 trenes Ansaldo, durante el año 2022, información obtenida mediante el software de mantenimiento EAM de ORACLE.

**Figura 14**

*Disponibilidad de los equipos de aire acondicionado (Año 2022)*



Nota. Elaboración propia

### 3.2 Modelo de solución propuesto:

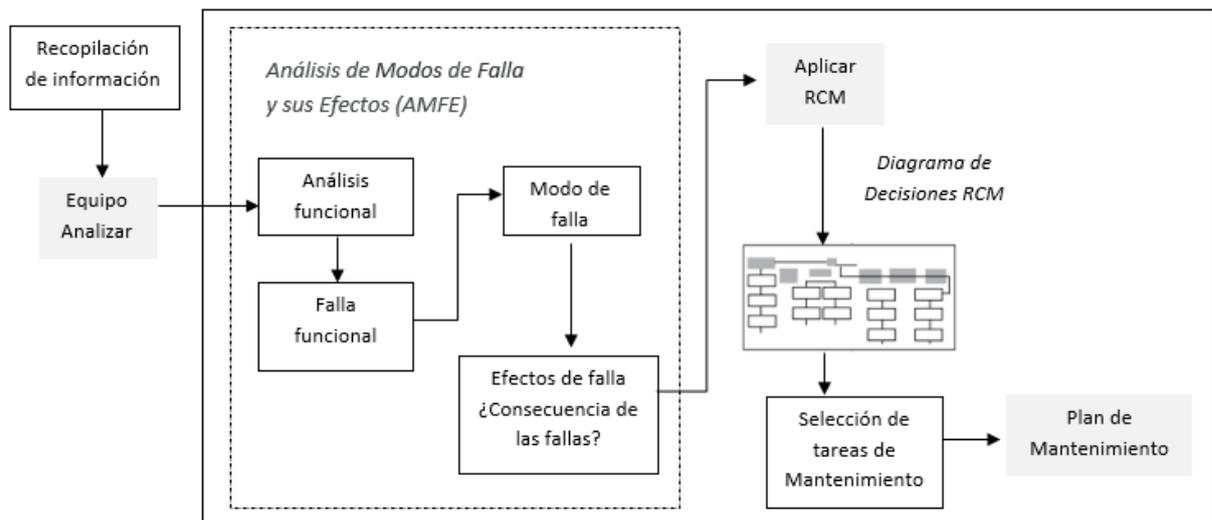
Con la finalidad de diseñar e implementar un plan de mantenimiento, que nos brinde las tareas adecuadas para los equipos que controla la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado de los trenes Ansaldo del Metro de Lima; se utiliza la metodología RCM en base al estándar de las normas SAE JA1011 y SAE JA1012.

La metodología RCM debe responder a 7 preguntas, para lo cual se emplean las herramientas AMFE y el diagrama de decisiones de RCM, con el objetivo de encontrar las tareas adecuadas para el plan de mantenimiento, mejorar los indicadores de mantenimiento y aumentar la disponibilidad.

A continuación en la Figura 15, se observa el diagrama de bloques utilizado para el diseño del plan de mantenimiento.

**Figura 15**

*Diagrama de bloques para la elaboración del proyecto*



Nota. Elaboración propia

### 3.2.1 Diseño del Plan de Mantenimiento

#### 3.2.2.1 Recopilación de información

En este punto se da a conocer los equipos que controla la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado de los trenes Ansaldo del Metro de Lima y la función que cumple cada uno de estos, que posteriormente se utilizará para realizar el llenado de la hoja de información RCM.

La Tabla 3, muestra los equipos que controla la centralita electrónica del equipo de aire acondicionado.

**Tabla 3**

*Listado de equipos que controla la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado*

| <b>N°</b> | <b>Equipos</b>                  |
|-----------|---------------------------------|
| 1         | Tarjeta termorregulador AP365   |
| 2         | Sensores                        |
| 3         | Presostatos                     |
| 4         | Compresores                     |
| 5         | Ventiladores del condensador    |
| 6         | Ventilador del aire tratado     |
| 8         | Válvula de solenoide de líquido |
| 9         | Filtro de airea                 |

Nota. Elaboración propia

En la tabla 4, se describe la función de cada equipo que controla la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado.

**Tabla 4**

*Funciones de los componentes del equipo de aire acondicionado*

| <b>EQUIPO</b>                   | <b>FUNCIÓN</b>  |
|---------------------------------|---|
| Tarjeta termorregulador AP365   | Realiza el control electrónico a través de un microprocesador que se encarga de la regular de la temperatura a partir de las señales de los distintos sensores. |
| Sensores PT1000                 | Monitorea la temperatura  |
| Presostato                      | Realiza el control de las presiones, si el sistema trabaja por debajo o por superar los límites de presión permitido el compresor se detiene.                   |
| Compresor                       | Comprime el gas refrigerante.   |
| Ventilador del condensador      | Envía el aire procedente del ambiente a través de los condensadores. Para el intercambio de calor.  |
| Ventilador de aire tratado      | Impulsa el aire tratado a la sala de pasajeros.   |
| Válvula de solenoide de líquido | Es activada por el control electrónico para regular el flujo del refrigerante que pasa a través del evaporador.   |

---

|                |   |
|----------------|---|
| Filtro de aire | Impide el paso de polvo, suciedad y cualquier tipo de partícula hacia los evaporadores. |
|----------------|---|

---

Nota. Elaboración propia

### **3.2.2 Elaboración del Análisis AMFE**

En esta fase del trabajo se realizó el registro de la hoja de información RCM, mediante la herramienta AMFE. Para ello se determina la función de cada equipo que controla la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado de los trenes; asimismo, la falla funcional, el modo de falla y sus efectos. Teniendo en cuenta que se considera como fallo a la incapacidad de un equipo para cumplir la función para la cual está diseñado.

En la Tabla 5, se observa el registro del Análisis AMFE, donde se observa los diferentes modos de fallos del equipo de aire acondicionado que son controlados por la centralita.

**Tabla 5**

*Registro de la hoja de información RCM*

| <b>COMPONENTE</b>             | <b>FUNCIÓN</b>   | <b>FALLA FUNCIONAL<br/>(Pérdida de función)</b> | <b>MODO DE FALLA<br/>(Causa de la falla)</b>   | <b>EFECTO DE FALLA<br/>(¿Qué sucede cuando se produce una falla)</b>   |
|-------------------------------|--|---|--|--|
| Tarjeta termorregulador AP365 | Realiza el control electrónico a través de un microprocesador que se encarga de la regular la temperatura a partir de las señales de los distintos sensores. | A No controla la regulación de la temperatura.  | <p>1 Fallo en el circuito de la tarjeta de control.</p> <p>2 Falso contacto en las conexiones, terminales sulfatados</p> | <p>El equipo de aire acondicionado no enciende. Señal de piloto de avería encendido,</p> <p>El equipo de aire no enciende. Señal de piloto de avería encendido</p> |

|                 |   |                          |  |   |                            |   |
|-----------------|---|--------------------------|--|---|----------------------------|---|
|                 |   |                          |  |   |                            |   |
| Sensores PT1000 | 2 | Monitorea la temperatura | A<br>Sonda no envía señal de temperatura, lecturas inexactas |   | Entradas y salidas dañadas | Encendido y apagado forzado del equipo de aire acondicionado.   |
|                 |   |                          |  | 1 | Sensor PT1000 defectuoso   | Encendido y apagado forzado del compresor. No hay una correcta regulación de la temperatura.                                |
|                 |   |                          |  | 2 | Sensor PT1000 sucio        | Encendido y apagado forzado del compresor. Encendido de piloto de avería. No hay una correcta regulación de la temperatura. |

|            |   |   |   |   |   |  |   |
|------------|---|---|---|---|---|--|---|
| Presostato | 3 | Presostato de Baja:<br>Realiza el control de las presiones, si el sistema trabaja por debajo límite de presión permitidos el compresor se detiene | A | El presostato de baja presión no regula las presiones | 3 | Sensores PT1000 mal sujetos, conexiones en mal estado. | . Encendido de piloto de avería. No hay una correcta regulación de la temperatura. Encendido y apagado forzado del compresor<br>No arranca el compresor. Encendido y apagado forzado del compresor. |
|            |   |   |   |   | 1 | Presostato defectuoso                                  | Presión de trabajo inestable, sobrepresiones.   |
|            |   |   |   |   | 2 | Conexiones en mal estado                               | Encendido y apagado forzado del compresor. Presión de trabajo inestable, sobrepresiones.  |

|           |   |  |   |  |   |   |   |
|-----------|---|--|---|--|---|---|---|
| Compresor | 4 | Presostato de alta:<br>Realiza el control de las presiones, si el sistema supera los límites de presión permitidos, el compresor se detiene. | A | El presostato de alta presión no regula las presiones. | 1 | Presostato no detecta la presión, averiado          | Presión de trabajo inestable, sobrepresión<br>No arranca el compresor.<br>Encendido y apagado forzado del compresor<br>No arranca el compresor.<br>Encendido y apagado forzado del compresor. |
|           | 5 | Comprime el gas refrigerante y permite circular el gas refrigerante.   | A | Compresor no enciende                                  | 2 | Conexiones en mal estado                            | Presión de trabajo inestable, sobrepresiones.   |
|           |   |  |   |  | 1 | Conexiones en mal estado (sulfatado y cable suelto) | Termomagnético IUC se apertura por protección.<br>Compresor no Arranca  |

|          |                                 |          |   |  |
|----------|---------------------------------|----------|---|--|
|          |                                 |          |   | Equipo de aire acondicionado inoperativo. Termomagnético IUC se apertura por protección. El Compresor no arranca.                            |
|          |                                 | <b>2</b> | Relé de fase averiado presenta una fase abierta | Encendido y apagado forzado del compresor. Enciende el indicador de avería. No se eleva la presión del gas refrigerante, sobre temperaturas. |
| <b>B</b> | No comprime el gas refrigerante | <b>1</b> | Falta de gas refrigerante                       |  |

|                              |   |  |   |                                    |   |                                      |   |
|------------------------------|---|--|---|------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Ventiladores del condensador | 6 | Envía el aire procedente del ambiente a través de los condensadores. Para el intercambio de calor. | C | Valores de presión anormales       | 1 | Presostato de baja fuera de rango    | El equipo de aire acondicionado entra en avería y se apaga, se bloquea el compresor, el térmico IUC se activa por protección. |
|                              |   |  |   |                                    | 2 | Obstrucción del sistema              | Presión inestable, sobre temperatura equipo se apaga  |
|                              |   |  | A | No arranca el motor del ventilador | 1 | Bobinas abiertas                     | No arranca el motor, se eleva el amperaje y genera un corto. No se realiza el intercambio de calor en los condensadores.      |
|                              |   |  | B | Vibración y ruido anormal          | 1 | Amortiguadores de goma en mal estado |   |

|                            |   |   |   |  |   |                                      |  |
|----------------------------|---|---|---|--|---|--------------------------------------|--|
| Ventilador de aire tratado | 7 | Impulsa el aire tratado a la sala de pasajeros. | A | Impulsa aire insuficiente a la sala de pasajeros | 1 | Evaporadores sucios.                 | Inestabilidad que genera ruido y vibración durante el funcionamiento.  |
|                            |   |   |   |  | 2 | Sensor de aire tratado en mal estado | Evaporador escarchado.<br>La tarjeta control AP365 no regula correctamente la temperatura.<br>Distribución de aire insuficiente. |
|                            |   |   | B | El motor no arranca                              | 1 | Bobinas abiertas                     | No arranca el motor, se eleva el amperaje y genera un corto.   |

|                              |   |   |   |   |   |   |  |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|--|
| Válvula solenoide de líquido | 8 | Regular el flujo del refrigerante que pasa a través del evaporador.                     | A | Falta de refrigerante. No regula el refrigerante. | 1 | Pérdida de control electrónico por parte de la centralita | Encendido y forzado del equipo de aire acondicionado.  |
| Filtro de aire               | 9 | Impide el paso de polvo, suciedad y cualquier tipo de partícula hacia los evaporadores. | A | No retiene la suciedad y polvo                    | 1 | Filtros sucios  | Obstruye la circulación de aire, goteo del aire acondicionado por retención suciedad en el evaporador. |

Nota. Elaboración propia

Una vez realizado el análisis AMFE, correspondientes a las primeras 4 preguntas de la metodología RCM , se continúa con la herramienta diagrama de decisiones que nos permite responder a las 3 preguntas restantes y; posterior ello, identificar las tareas de mantenimiento más pertinentes para cada efecto de falla, de acuerdo con el análisis realizado en la Tabla 6.

**Tabla 6**

Nomenclatura AMFE

| <b>Nomenclatura</b> | <b>Descripción</b>                                    |
|---------------------|---|
| F                   | Función   |
| FF                  | Falla Funcional                                       |
| MF                  | Modo de Falla   |
| 1 "F"               | Ítem correspondiente al número de la función          |
| A "FF"              | Ítem correspondiente a la letra de la falla funcional |
| 1 "FM"              | Ítem correspondiente a los modos de falla             |

Nota. Elaboración propia

### **3.2.3 Elaboración del Diagrama de decisiones RCM**

Para realizar esta etapa se debe determinar el tipo de consecuencia producida por cada modo de falla, para luego dar respuesta a cada de las interrogantes del diagrama de decisiones de RCM que se observa en la Figura 6, con el propósito de realizar el llenado de la hoja de decisiones, que ayudará a determinar las tareas adecuadas para el mantenimiento de cada equipo.

En la Tabla 7, se observa la nomenclatura de cada columna de la hoja de decisiones que nos ayudará a realizar el llenado.

**Tabla 7**

*Nomenclatura del diagrama de decisiones*

| <b>Nomenclatura</b> | <b>Descripción</b>                            |
|---------------------|---|
| H1, S1, O1, N1      | Tareas a condición                            |
| H2, S2, O2, N2      | Tareas de reacondicionamiento cíclico         |
| H3, S3, O3, N3      | Tareas de sustitución cíclica                 |
| H4                  | Tarea de búsqueda de falla                    |
| H5                  | La falla afecta la seguridad o medio ambiente |
| S4                  | Realizar combinación de tarea                 |

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 8, se muestra la hoja de decisiones con la respuesta a cada una de las interrogantes del diagrama de decisiones, para la identificación de las tareas apropiadas para el plan de mantenimiento de cada uno de los equipos.

**Tabla 8**

*Registro de la hoja de decisión RCM*

| Referencias de información |    |    | Evaluación de Consecuencias |   |   |   | H1       | H2       | H3       | Acción a falta de |    |    | Tarea Propuesta  | Intervalo Inicial | A realizar por |
|----------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----------|----------|----------|-------------------|----|----|--|-------------------|----------------|
| F                          | FM | FM | H                           | S | E | O | S1       | S2       | S3       | H4                | H5 | S4 |  |                   |                |
|                            |    |    |                             |   |   |   | O1<br>N1 | O2<br>N2 | O3<br>N3 |                   |    |    |  |                   |                |
| 1                          | A  | 1  | S                           | N | N | S | S        | N        | N        |                   |    |    | Inspección y limpieza de la tarjeta de control AP365           | Año               | Técnicos       |
| 1                          | A  | 2  | S                           | N | N | S | S        | N        | N        |                   |    |    | Revisión de las conexiones de tarjeta de control AP365         | Año               | Técnicos       |
| 1                          | A  | 3  | S                           | N | N | S | S        | N        | N        |                   |    |    | Realizar pruebas de funcionamiento con el Software SIM365      | Semestral         | Técnicos       |
| 2                          | A  | 1  | S                           | N | N | N | S        | N        | N        |                   |    |    | Cambio de sensor PT1000  | Condiciona        | Técnicos       |
| 2                          | A  | 2  | S                           | N | N | N | S        | N        | N        |                   |    |    | Inspección de las conexiones y limpieza de los sensores PT1000 | Año               | Técnicos       |

| Referencias de información | Evaluación de Consecuencias |    |    |   |   |   |   | H1       | H2       | H3       | Acción a falta de |    |  | Tarea Propuesta | Intervalo Inicial | A realizar por |
|----------------------------|-----------------------------|----|----|---|---|---|---|----------|----------|----------|-------------------|----|--|-----------------|-------------------|----------------|
|                            | F                           | FM | FM | H | S | E | O | S1       | S2       | S3       | H4                | H5 | S4   |                 |                   |                |
|                            |                             |    |    |   |   |   |   | O1<br>N1 | O2<br>N2 | O3<br>N3 |                   |    |  |                 |                   |                |
| 2                          | A                           | 3  | S  | N | N | N | S | N        | N        |          |                   |    | Prueba de sensores PT1000 con el software SIM365         | Semestral       | Técnicos          |                |
| 3                          | A                           | 1  | S  | N | N | N | S | N        | N        |          |                   |    | Inspección de conexiones del presostato de baja presión. | Año             | Técnicos          |                |
| 3                          | A                           | 2  | S  | N | N | N | S | N        | N        |          |                   |    | Prueba de presostato con el software SIM365              | Semestral       | Técnicos          |                |
| 4                          | A                           | 1  | S  | N | N | N | S | N        | N        |          |                   |    | Inspección de conexiones del presostato de alta presión. | Año             | Técnicos          |                |
| 4                          | A                           | 2  | S  | N | N | N | S | N        | N        |          |                   |    | Prueba de presostato con el software SIM365              | Semestral       | Técnicos          |                |

| Referencias de información |    |    | Evaluación de Consecuencias |   |   |   | H1 | H2 | H3 | Acción a falta de |    |    | Tarea Propuesta   | Intervalo Inicial | A realizar por |
|----------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----|----|----|-------------------|----|----|---|-------------------|----------------|
| F                          | FM | FM | H                           | S | E | O | O1 | O2 | O3 | H4                | H5 | S4 |   |                   |                |
| 5                          | A  | 1  | S                           | N | N | S | S  | N  | N  |                   |    |    | Inspección de conexiones eléctricas del compresor                     | Año               | Técnicos       |
| 5                          | A  | 2  | S                           | N | N | S | S  | N  | N  |                   |    |    | Limpieza e inspección del panel de control eléctrico.                 | Año               | Técnicos       |
| 5                          | B  | 1  | S                           | N | N | S | S  | N  | N  |                   |    |    | Verificación del funcionamiento del compresor con el software SIM365. | Semestral         | Técnicos       |
| 5                          | C  | 1  | S                           | N | N | S | S  | N  | N  |                   |    |    | Verificación de las presiones mediante el software SIM365.            | Semestral         | Técnicos       |

| Referencias de información |    |    | Evaluación de Consecuencias |   |   |   | H1 | H2 | H3 | Acción a falta de |    |    | Tarea Propuesta  | Intervalo Inicial | A realizar por |
|----------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----|----|----|-------------------|----|----|--|-------------------|----------------|
| F                          | FM | FM | H                           | S | E | O | O1 | O2 | O3 | H4                | H5 | S4 |  |                   |                |
|                            |    |    |                             |   |   |   | N1 | N2 | N3 |                   |    |    |  |                   |                |
| 5                          | C  | 2  | S                           | N | N | S | S  | N  | N  |                   |    |    | Verificación de las presiones mediante el software SIM365          | Semestral         | Técnicos       |
| 6                          | A  | 1  | S                           | N | N | S | S  | N  | N  |                   |    |    | Inspección de conexiones eléctricas del ventilador del condensador | Año               | Técnicos       |
| 6                          | B  | 1  | S                           | N | N | N | S  | N  | N  |                   |    |    | Inspección de los amortiguadores del motor del ventilador.         | Año               | Técnicos       |
| 7                          | A  | 1  | S                           | N | N | N | N  | N  | N  |                   |    |    | Limpieza e inspección del evaporador.                              | Año               | Técnicos       |
| 7                          | A  | 2  | S                           | N | N | N | S  | N  | N  |                   |    |    | Prueba de sensores PT1000 con el software SIM365                   | Semestral         | Técnicos       |

| Referencias de información |    |    | Evaluación de Consecuencias |   |   |   | H1 | H2 | H3 | Acción a falta de |    |    | Tarea Propuesta  | Intervalo Inicial | A realizar por |
|----------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----|----|----|-------------------|----|----|--|-------------------|----------------|
| F                          | FM | FM | H                           | S | E | O | O1 | O2 | O3 | H4                | H5 | S4 |  |                   |                |
|                            |    |    |                             |   |   |   | N1 | N2 | N3 |                   |    |    |  |                   |                |
| 7                          | B  | 1  | S                           | N | N | N | S  | N  | N  |                   |    |    | Inspección de conexiones eléctricas del ventilador de aire tratado | Año               | Técnicos       |
| 8                          | A  | 1  | S                           | N | N | N | S  | N  | N  |                   |    |    | Inspección de la válvula solenoide de líquido                      | Año               | Técnicos       |
| 9                          | A  | 1  | S                           | N | N | S | S  | S  | S  |                   |    |    | Cambio de filtro   | 3 meses           | Técnicos       |

### 3.2.2.1 Implementación del Plan de mantenimiento

Al utilizar la metodología RCM en base a las normas SAE JA1011 y SAE JA 1012, se obtuvo las tareas adecuadas para el plan de mantenimiento de los equipos que controla la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado de los trenes Ansaldo del Metro de Lima, con el propósito de garantizar la operatividad adecuado de los equipos e incrementar la disponibilidad.

En la Tabla 9, se muestra el plan de mantenimiento aplicado a los equipos que controla la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado.

**Tabla 9**

*Plan de mantenimiento*

| PLAN DE MANTENIMIENTO           |            |   |                  |
|---------------------------------|------------|---|------------------|
| COMPONENTE                      | CÓDIGO     | TAREAS  | FRECUENCIA       |
| Centralita Electrónica<br>AP365 | <b>101</b> | Inspección y limpieza de la tarjeta de control AP365.     | <b>AÑO</b>       |
|                                 | <b>102</b> | Revisión de las conexiones de tarjeta de control AP365    | <b>AÑO</b>       |
|                                 | <b>103</b> | Realizar pruebas de funcionamiento con el software SIM365 | <b>SEMESTRAL</b> |
| Sensores PT1000                 | <b>104</b> | Cambio de sensor PT1000                                   | <b>AÑO</b>       |

| PLAN DE MANTENIMIENTO       |            |   |                  |
|-----------------------------|------------|---|------------------|
| COMPONENTE                  | CÓDIGO     | TAREAS  | FRECUENCIA       |
|                             | <b>105</b> | Inspección de las conexiones y limpieza de los sensores PT1000  | <b>AÑO</b>       |
|                             | <b>106</b> | Prueba de sensores PT1000 con el software SIM365  | <b>SEMESTRAL</b> |
| Presostatos de seguridad    | <b>107</b> | Inspección de conexiones de los presostatos.  | <b>AÑO</b>       |
|                             | <b>108</b> | Prueba de presostato con el software SIM365   | <b>SEMESTRAL</b> |
| Compresor                   | <b>109</b> | Inspección de conexiones eléctricas del compresor y medición de corriente del motor.                  | <b>AÑO</b>       |
|                             | <b>110</b> | Limpieza e inspección del panel de control eléctrico.   | <b>AÑO</b>       |
|                             | <b>111</b> | Verificación del funcionamiento del compresor con el software SIM365                                  | <b>SEMESTRAL</b> |
| Ventilador de condensadores | <b>112</b> | Inspección de conexiones eléctricas del ventilador del condensador y medición de corriente del motor. | <b>AÑO</b>       |
|                             | <b>113</b> | Inspección de los amortiguadores del motor del ventilador.  | <b>AÑO</b>       |
| Ventilador de aire tratado  | <b>114</b> | Limpieza del evaporador   | <b>AÑO</b>       |
|                             | <b>115</b> | Inspección de evaporadores  | <b>AÑO</b>       |

| PLAN DE MANTENIMIENTO           |            |   |                |
|---------------------------------|------------|---|----------------|
| COMPONENTE                      | CÓDIGO     | TAREAS  | FRECUENCIA     |
|                                 | <b>116</b> | Inspección de conexiones eléctricas del ventilador de aire tratado y medición de corriente del motor. | <b>AÑO</b>     |
| Válvula de solenoide de líquido | <b>117</b> | Inspección de válvula solenoide de líquido  |                |
| Filtros                         | <b>118</b> | Cambio de Filtros   | <b>3 MESES</b> |

Nota: Elaboración propia

A continuación se muestran en la Figura 16, la tarea de mantenimiento de inspección de los sensores PT1000,

**Figura 16**

*Inspección del sensor PT1000*



Nota. Elaboración propia

Para realizar las tareas de mantenimiento correspondientes a la centralita electrónica, se tiene que acceder al compartimento del panel de control, el cual está ubicado dentro del coche del tren, como se muestra en la Figura 17.

**Figura 17**

Compartimento del panel de control.



Nota. Elaboración propia

Luego de la apertura del compartimiento y haber accedido al panel de control, proceder a realizar la limpieza de las tarjetas de la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado, como se muestra en la Figura 18.

**Figura 18**

*Panel de control del sistema de aire acondicionado*

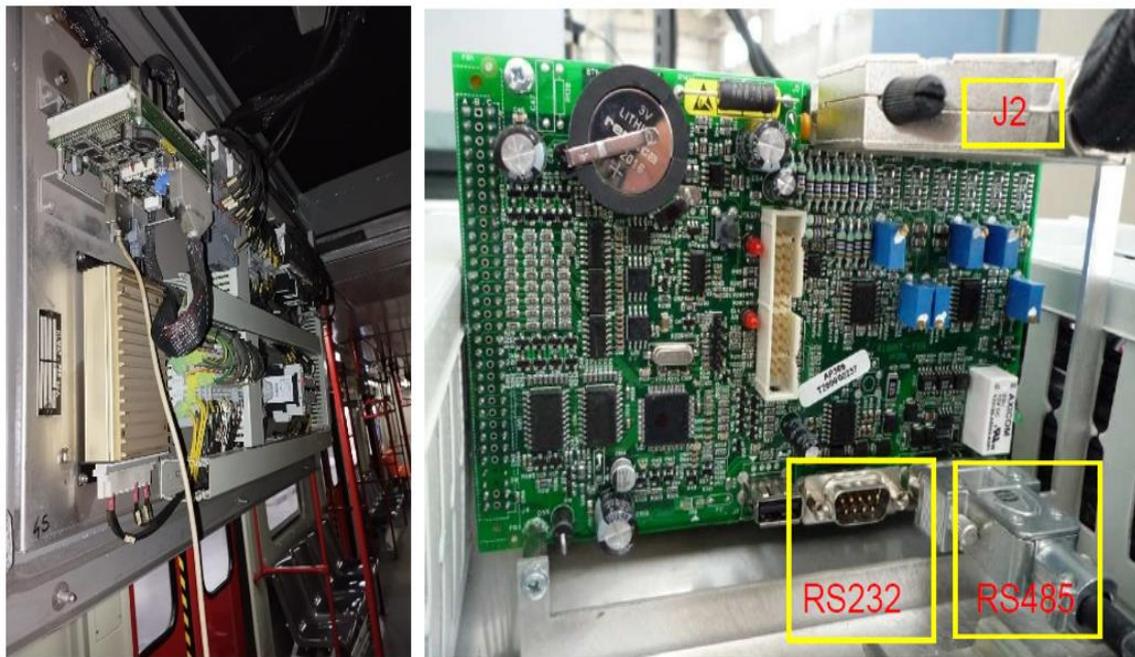


Nota: Elaboración propia

En la Figura 19, se observa que la tarjeta cuenta con un interfaz serie RS232 con conexión a una PC, que permite el diagnóstico y control, de los equipos que controla la centralita. Asimismo, permite forzar el estado de las entradas y salidas.

**Figura 19**

*Establecer conexión con la interfaz RS232*

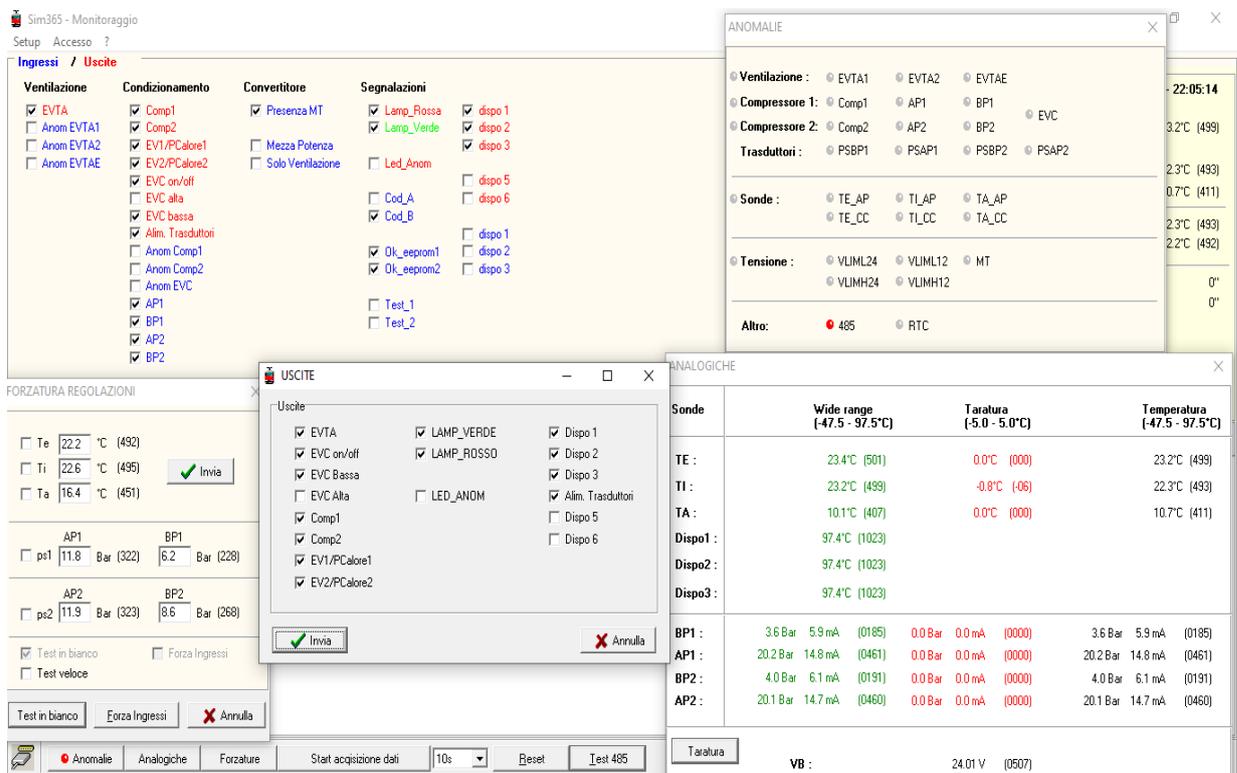


Nota. Elaboración propia

En la Figura 20, se observa el software de SIM365 utilizado para monitorear la centralita electrónica AP365. Al realizar las pruebas se verifica que todos los equipos funcionen correctamente y dentro de los parámetros establecidos. Por consiguiente, se encuentran en condiciones óptimas para brindar un buen servicio de confort a los pasajeros.

**Figura 20**

*Software SIM 365 para las pruebas de funcionamiento*

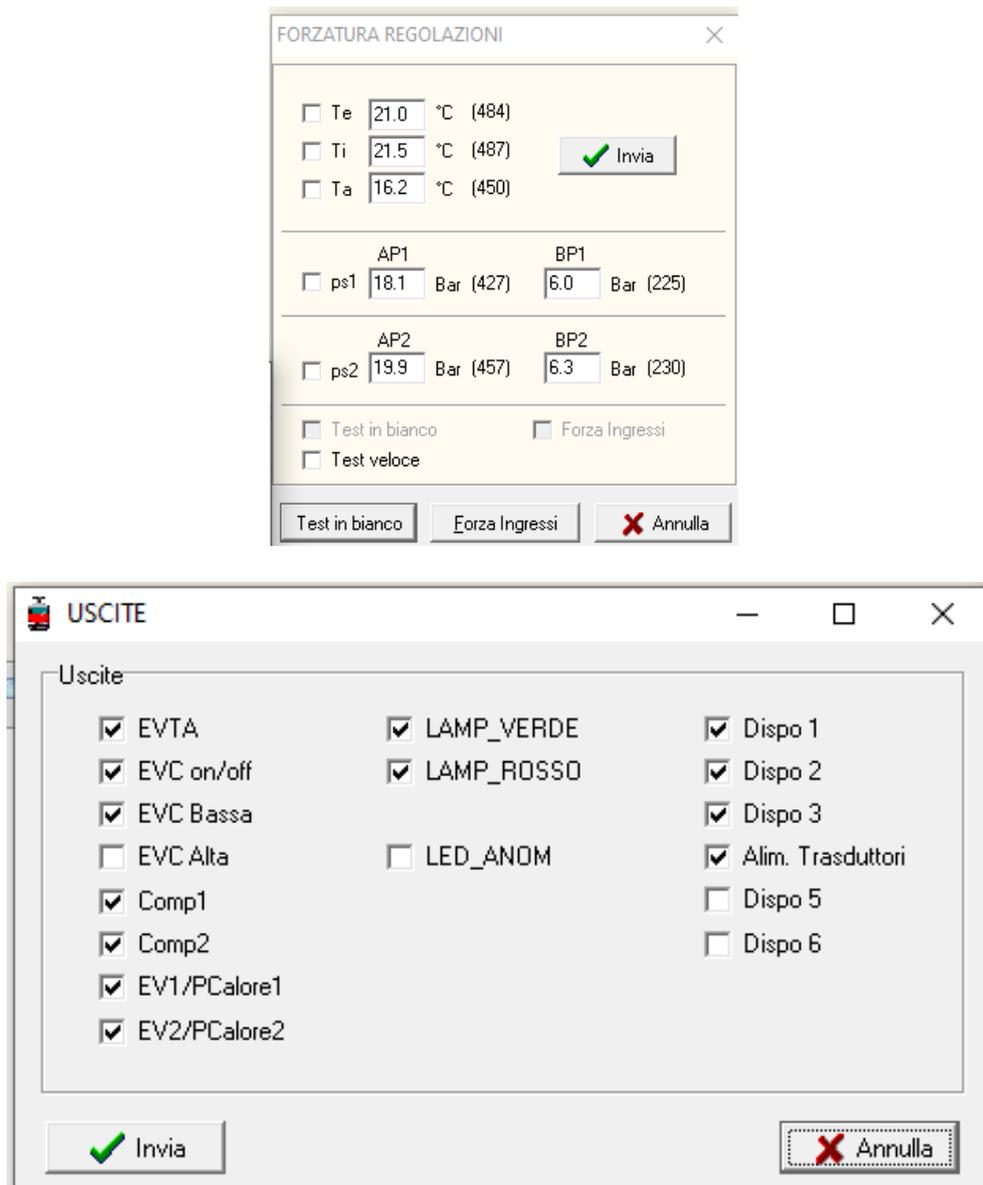


Nota. Elaboración Propia

En la Figura 21, se observa la pantalla de forzamiento; asimismo, para iniciar las pruebas de funcionamiento debemos seleccionar el botón “test en banco” el cual apertura la ventana “USCITE” que permite forzar el encendido y apagado de los equipos de aire acondicionado

**Figura 21**

*Pantalla de forzamiento para las pruebas*



Nota. Elaboración propia

Asimismo, en la Figura 22, se observa el estado actual del controlador, donde se visualiza en tiempo real la temperatura obtenida por los sensores:

\*Sensor de temperatura exterior (Te)

\*Sensor de temperatura de aire de recirculación (Ti)

\*Sensor de temperatura de aire tratado (Ta)

También se observan las presiones obtenidas por los presostatos de alta presión (AP) y baja presión (BP), las cuales se encuentran dentro del rango establecido.

**Figura 22**

*Estado actual del controlador*

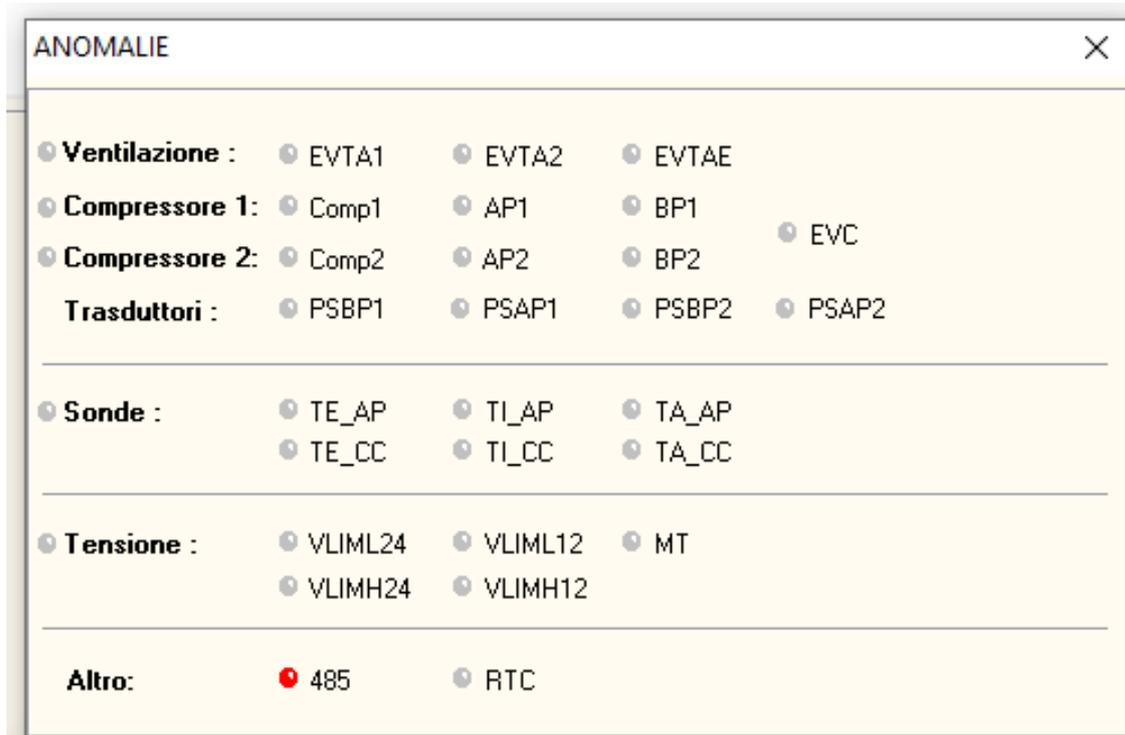
| ANALOGICHE   |                                |         |        |                            |        |        |                                 |         |        |
|--|--------------------------------|---------|--------|----------------------------|--------|--------|---------------------------------|---------|--------|
| Sonde  | Wide range<br>[-47.5 - 97.5°C] |         |        | Taratura<br>[-5.0 - 5.0°C] |        |        | Temperatura<br>[-47.5 - 97.5°C] |         |        |
| TE :   | 23.4°C (501)                   |         |        | 0.0°C (000)                |        |        | 23.2°C (499)                    |         |        |
| TI :   | 23.2°C (499)                   |         |        | -0.8°C (-06)               |        |        | 22.3°C (493)                    |         |        |
| TA :   | 10.1°C (407)                   |         |        | 0.0°C (000)                |        |        | 10.7°C (411)                    |         |        |
| Dispo1 :   | 97.4°C (1023)                  |         |        |                            |        |        |                                 |         |        |
| Dispo2 :   | 97.4°C (1023)                  |         |        |                            |        |        |                                 |         |        |
| Dispo3 :   | 97.4°C (1023)                  |         |        |                            |        |        |                                 |         |        |
| BP1 :  | 3.6 Bar                        | 5.9 mA  | (0185) | 0.0 Bar                    | 0.0 mA | (0000) | 3.6 Bar                         | 5.9 mA  | (0185) |
| AP1 :  | 20.2 Bar                       | 14.8 mA | (0461) | 0.0 Bar                    | 0.0 mA | (0000) | 20.2 Bar                        | 14.8 mA | (0461) |
| BP2 :  | 4.0 Bar                        | 6.1 mA  | (0191) | 0.0 Bar                    | 0.0 mA | (0000) | 4.0 Bar                         | 6.1 mA  | (0191) |
| AP2 :  | 20.1 Bar                       | 14.7 mA | (0460) | 0.0 Bar                    | 0.0 mA | (0000) | 20.1 Bar                        | 14.7 mA | (0460) |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Taratura</div> <div>VB :</div> <div>24.01 V (0507)</div> </div> |                                |         |        |                            |        |        |                                 |         |        |

Nota. Elaboración propia

En la Figura 23, se observa que no existen anomalías en el sistema y todos los equipos se encuentran operativos.

**Figura 23**

*Pantalla de anomalías*



Nota. Elaboración propia

### 3.3. Resultados

#### Fallas del Equipo de aire acondicionado

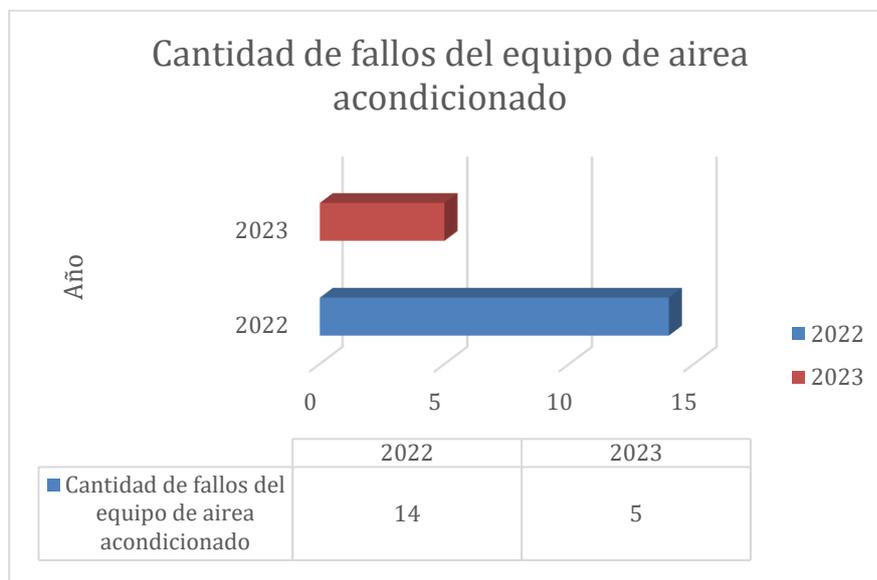
De acuerdo con la evaluación realizada; se verifica que, después de implementar el plan de mantenimiento a los equipos de aire acondicionado, se obtuvo los siguientes resultados:

- En el periodo de mayo a octubre del año 2023, se logró una reducción de fallos a un total de 2, lo que representa una reducción del 75% en relación con los fallos registrados durante el mismo periodo del año 2022, en el que se registró un total de 8 fallos, ver detállales en la Figura 25.

Por otro lado en la Figura 24 se aprecia el número de fallos total registrados durante el año 2022 y 2023.

**Figura 24**

*Cantidad de fallos total durante los años 2022 y 2023*

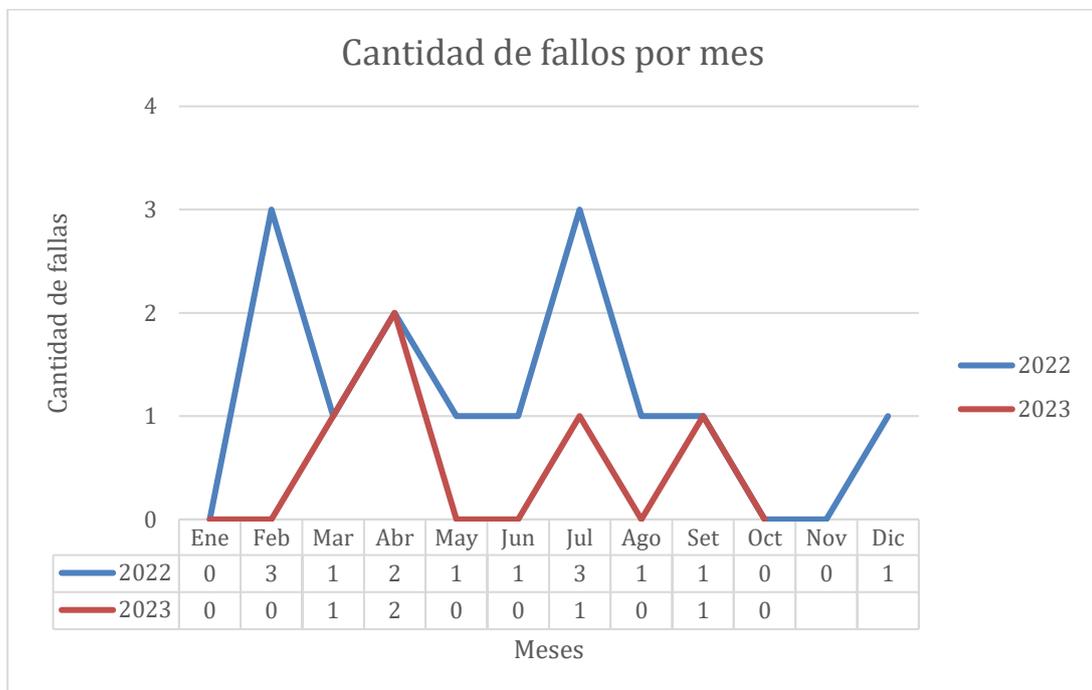


Nota. Elaboración propia

- De igual forma en la Figura 25, se observa una tendencia decreciente en el indicador de fallos, el cual ha disminuido a la cantidad de 2 fallos presentados durante el periodo de mayo y octubre del año 2023, asimismo; se aprecia que a partir del mes de octubre en adelante no se muestra registrado de ningún fallo. En ese sentido, se deduce que, el plan de mantenimiento aplicado contribuye a la reducción de fallos lo cual proporciona una disminución en los costos de mantenimiento correctivo.

**Figura 25**

*Cantidad de fallas por meses durante los periodos 2022 y 2023*



Nota. Elaboración propia

### **Indicadores de Mantenimiento**

Son utilizados para medir las metas establecidas en el plan de mantenimiento.

A continuación se muestran los indicadores a utilizar:

- “Tiempo medio entre fallos” MTBF: Este indicador permite medir el tiempo promedio de un equipo que opera sin interrupciones. En ese sentido, cuanto más alto es este valor del MTBF, más fiable es el equipo. Para el cálculo del MTBF utilizar la ecuación 1.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación} - \text{Tiempo total de fallas}}{\text{Número de fallas}} \quad (1)$$

- “Tiempo medio para reparar” MTTR: Permite medir el tiempo utilizado para reparar una falla, este tiempo se cuenta desde la parada del equipo hasta el inicio de su funcionamiento. Para el cálculo del MTTR utilizar la ecuación 2.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{Número de fallas}} \quad (2)$$

- Disponibilidad: Evalúa el porcentaje del tiempo en el que un equipo se encuentra operando y cumpliendo la función para la cual fue diseñado. Para calcular la disponibilidad se utiliza la ecuación 3.

$$\% \text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100\% \quad (3)$$

En base a los reportes existentes de los fallos y el reporte de paradas obtenido de los registros del software de mantenimiento EAM de ORACLE, se determinó que hubo un incremento en el MTBF, lo cual demuestra un aumento en la fiabilidad de los equipos de aire acondicionado durante el año 2023, en comparación con el año 2022. Asimismo, se observa que hay una disminución del MTTR al 5h, en comparación al año 2022, en el cual se tenía un MTTR de 7.75h, como se muestra en la Tabla 10. En ese sentido, se determina que los valores obtenidos favorecen al incremento de la disponibilidad.

**Tabla 10**

*Indicadores de mantenimiento*

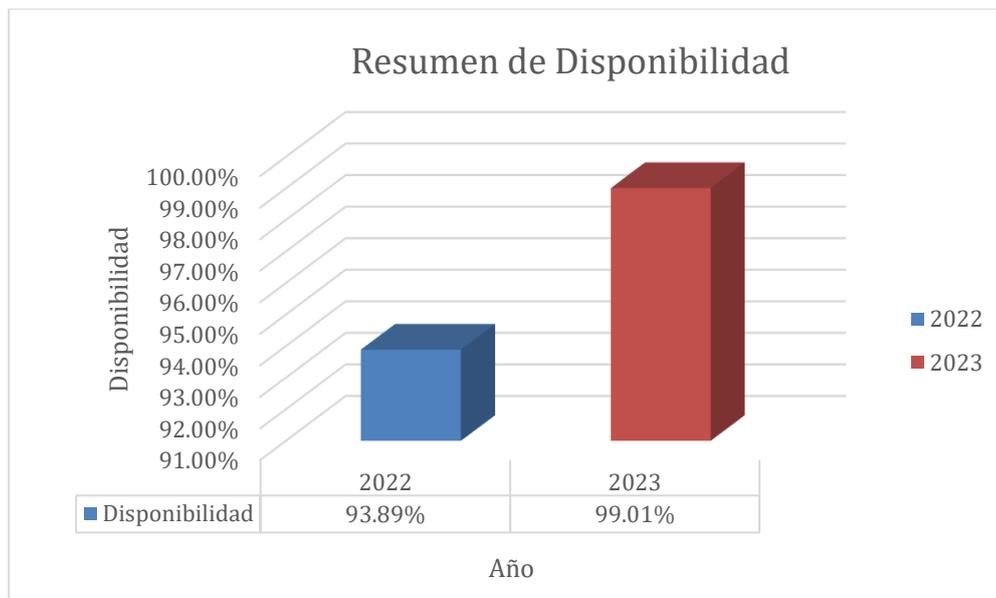
|  | <b>MTTR</b> | <b>MTTB</b> | <b>Disponibilidad</b> |
|--|-------------|-------------|-----------------------|
| Antes del plan de mantenimiento (2022)   | 7.75        | 119.25      | 93.89%                |
| Después del plan de mantenimiento (2023) | 5           | 503         | 99.01%                |

Nota. Elaboración propia

Respecto a la disponibilidad, en la Figura 26 se observa que, durante los meses de mayo a octubre se logró un alto nivel de disponibilidad logrando con ello un 99.01%, siendo este, un aumento del 5% en relación con el año 2022, donde se alcanzó un nivel de disponibilidad del 93.89%, esto antes de la implementación.

**Figura 26**

*Disponibilidad durante el Año 2023*



Nota. Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- Se logró diseñar el plan de mantenimiento para los equipos que controlan la centralita electrónica del sistema de aire acondicionado del tren Ansaldo, mediante la metodología RCM y las herramientas de AMFE y el diagrama de decisiones RCM. Las cuales permitieron determinar las causas de fallos y con ello las tareas más efectivas para el mantenimiento.
- Se implementó el plan de mantenimiento con las tareas más efectivas para los equipos de aire acondicionado, entre ellas tareas de limpieza, inspección, reparación, cambio de piezas y pruebas de funcionamiento mediante el software SIM365.
- La prueba de funcionamiento mediante el software SIM365 es una de las tareas primordiales dentro del plan de mantenimiento, que nos permite monitorear la centralita electrónica AP365, verificando que los equipos funcionen correctamente y no presenten anomalías antes de liberar el Tren para el servicio de los usuarios, con el objetivo de brindar un buen servicio.
- Se validó los resultados obtenidos del plan de mantenimiento, logrando un incremento en la disponibilidad al 99.01%, tal como se muestra en la tabla 10. Asimismo, se evidencia que después de la implementación la cantidad de fallas se redujo a 2 durante el periodo de mayo a octubre del año 2023. Finalmente; se precisa que, el plan de mantenimiento viene brindando resultados favorables, contribuyendo a evitar paradas de los equipos y proporcionando una disminución en los costos de mantenimiento correctivo.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar los resultados obtenidos anualmente; y con ello, determinar si aplica un rediseño del plan de mantenimiento.
- Es importante continuar registrando en el software de mantenimiento EAM de ORACLE, la información de los fallos y paradas de los equipos de aire acondicionado reportados por los conductores y los cuadrilleros del tren.
- Se recomienda utilizar el software SIM365, durante las pruebas de los mantenimientos menores de los equipos de aire acondicionado; dado que, actualmente solo se realizan pruebas de funcionamiento manual.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Vera, C. (2018). *Propuesta plan de mantenimiento clima LRV x"trapolis 100 en empresa Alstom chile S.A.* [Tesis de posgrado, Universidad técnica Federico Santa María].  
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/43761/3560901064006UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cardona, F. (2020). *Formulación de plan de mantenimiento basado en RCM para bombas de vacío del hospital universitario san Vicente fundación* [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia].  
[https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/16201/2/CardonaFaber\\_2020\\_MantenimientoBombasVacio.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/16201/2/CardonaFaber_2020_MantenimientoBombasVacio.pdf)
- Yanez, J. (2021). *Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para una flota de buses urbanos en el sur de Quito* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Indoamérica].  
<https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/2344/1/YANEZ%20JARAMILLO%20JOSE%20ALFONSO.pdf>
- Morales, J. (2022). *Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento en el sistema HVAC del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez utilizando la metodología RCM* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].  
[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/664273/Morales\\_RJ.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/664273/Morales_RJ.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Alca, J. (2020). *Propuesta de un plan de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, con el propósito de reducir el número de las fallas de los cargadores frontales 950I, durante su operación, en la unidad minera*

*pampahuay, oyón - 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur].  
[https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/785/1/T088A\\_47163271\\_T.pdf](https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/785/1/T088A_47163271_T.pdf)

Salazar, J. (2019). *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) para incrementar la disponibilidad de los tractocamiones Freightliner de la empresa Transportes Pakatnamu SAC* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].  
<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8019/BC-4362%20SALAZAR%20ZEGARRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Estados Unidos: Industrial Press.

Pérez, F. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. Universidad Santo Tomás.  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

García, O. (2006). *El Mantenimiento General*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.  
<https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/1297/RED-70.pdf;jsessionid=D30B3D224708818000D7116F84044CB1?sequence=1>

Rey, F. (2001). *Manual del mantenimiento integral en la empresa*. Editorial Fundación Confemetal.

Sánchez, F., Pérez, A., Sancho, J. y Rodríguez, P. (2006). *Mantenimiento mecánico de máquinas*. Editorial Universitat Jaume.I

García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Editorial Díaz de Santos

Keith, R. (2002). *An introduction to predictive maintenance*. Editorial Butterworth Heinemann

García, S. (2008). *Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado*. España: Editorial Díaz de Santos

Argüelles. J. (2012). *Proyectos seis sigmas*. Editorial Reverté.

Klimat-Fer (2011). *Manual de descripción e Ilustrativo*.

SAE JA 1012. (2002). *Norma SAE JA 1012- Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y se superficie*. Slideshare. <https://es.slideshare.net/RobinsonColomaPizarr/norma-sae-ja-1012>.

SAE JA 1011. (1999). *Norma SAE JA 1011—Criterios Para Evaluar Procesos RCM (002)*. studylib. <https://studylib.es/doc/9110815/norma-sae-ja-1011---criterios-para-evaluar-procesos-rcm-->

Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público – OSITRAN ( 2023), *Informe de desempeño 2022: Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao, Línea 1*. <https://www.ositran.gob.pe/anterior/wp-content/uploads/2023/07/id-I1-2022.pdf>

Metro de Lima Línea 1 (2020), *Informe de Sostenibilidad 2020*.  
<https://www.lineauno.pe/wp-content/uploads/2021/07/Informe-de-sostenibilidad-2020.pdf>

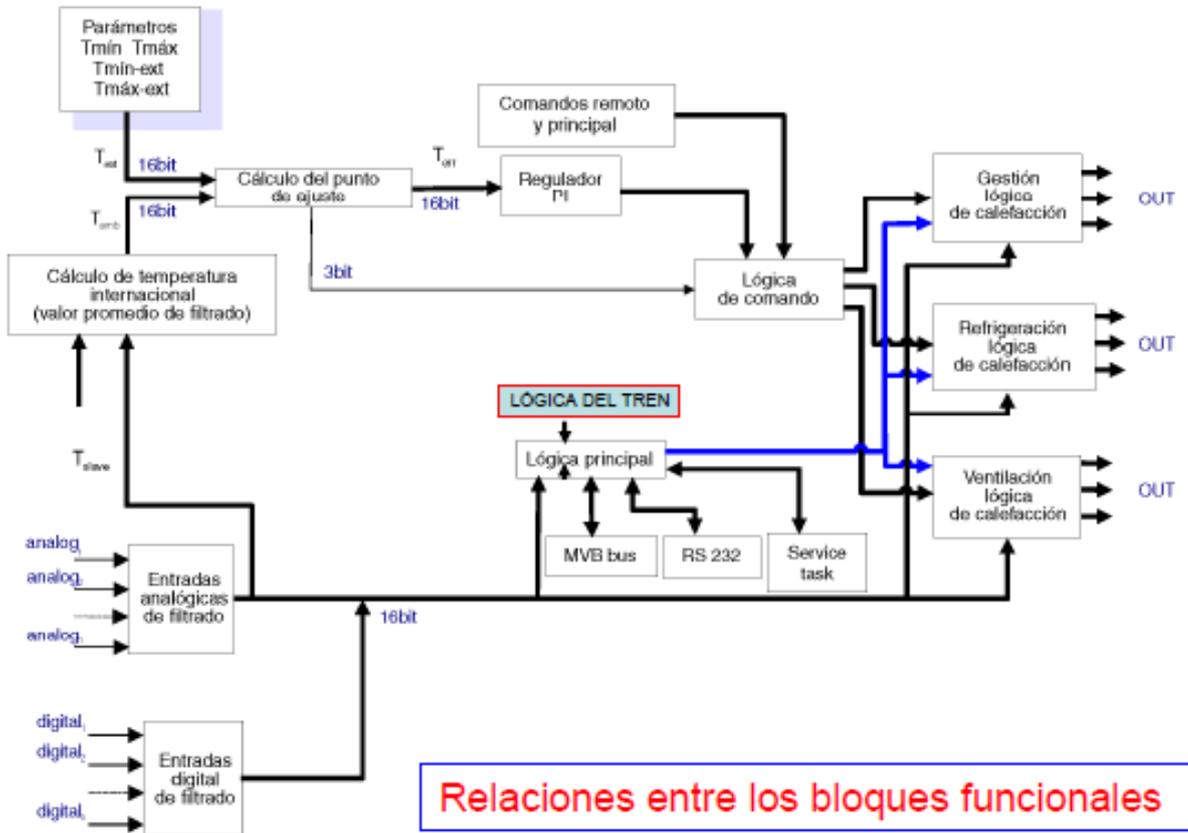
## ANEXOS

### Anexo 1: Formato

| MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE CLIMATIZACIÓN - TREN ANSALDO |   |            |     |            |     |               |
|--|---|------------|-----|------------|-----|---------------|
| PT:  |   | FECHA:     |     |            |     |               |
| Nº TREN  |   |            |     |            |     |               |
| ACTIVIDAD  | DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES  | EQUIPO 1   |     | ESQUIPO 2  |     | OBSERVACIONES |
|  |   | N-S: _____ |     | N-S: _____ |     |               |
|  |   | √/X        | TEC | √/X        | TEC |               |
| <b>1. Centralita Electrónica AP365</b>                   |   |            |     |            |     |               |
| 101  | Inspección y limpieza de la tarjeta de control AP365.   |            |     |            |     |               |
| 102  | Revisión de las conexiones de tarjeta de control AP365  |            |     |            |     |               |
| 103  | Realizar pruebas de funcionamiento con el software SIM365   |            |     |            |     |               |
| <b>2. Sensores PT1000</b>                                |   |            |     |            |     |               |
| 104  | Cambio de sensor PT1000   |            |     |            |     |               |
| 105  | Inspección de las conexiones y limpieza de los sensores PT1000  |            |     |            |     |               |
| 106  | Prueba de sensores PT1000 con el software SIM365  |            |     |            |     |               |
| <b>3. Presostatos de seguridad</b>                       |   |            |     |            |     |               |
| 107  | Inspección de conexiones de los presostatos.  |            |     |            |     |               |
| 108  | Prueba de presostato con el software SIM365   |            |     |            |     |               |
| <b>4. Compresor</b>                                      |   |            |     |            |     |               |
| 109  | Inspección de conexiones eléctricas del compresor y medición de corriente del motor.                  |            |     |            |     |               |
| 110  | Limpieza e inspección del panel de control eléctrico.   |            |     |            |     |               |
| 111  | Verificación del funcionamiento del compresor con el software SIM365                                  |            |     |            |     |               |
| <b>5. Ventilador de condensadores</b>                    |   |            |     |            |     |               |
| 112  | Inspección de conexiones eléctricas del ventilador del condensador y medición de corriente del motor. |            |     |            |     |               |
| 113  | Inspección de los amortiguadores del motor del ventilador.  |            |     |            |     |               |
| <b>6. Ventilador de aire tratado</b>                     |   |            |     |            |     |               |
| 114  | Cambio de filtros.  |            |     |            |     |               |
| 115  | Inspección de evaporadores  |            |     |            |     |               |
| 116  | Inspección de conexiones eléctricas del ventilador de aire tratado y medición de corriente del motor. |            |     |            |     |               |

## Anexo 2: Diagrama

# SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE L'UNIDAD



## Anexo 2: Datasheet del sensor PT1000

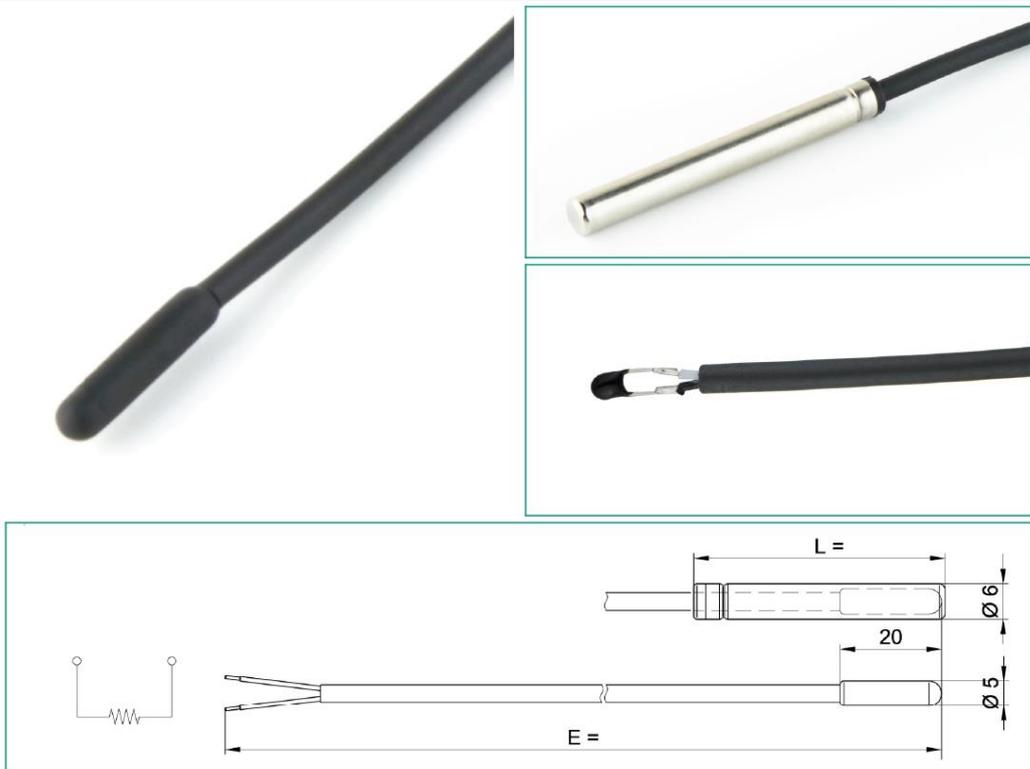


IKE2  
Rev. 0 - 08/12/2022

### 2-WIRE THERMOPLASTIC RUBBER PROBE

#### Airtight 2 wire double insulation rubber probe

- Pt100, Pt1000, thermistor (NTC) sensing element
- IP-68 tightness degree
- Suitable for long-time immersion in corrosive liquids
- Available with a stainless steel case



ITALCOPPIE SENSORI srl  
Via A. Tonani, 10 - Fraz. S. Giacomo al Campo  
26030 Malagnino (CR) - Italy  
[www.italcoppie.com](http://www.italcoppie.com)



## TECHNICAL SPECIFICATION

|   |  |
|---|--|
| <b>Sensing element</b>  | Pt100 $\Omega$ @ 0°C<br>Pt1000 $\Omega$ @ 0°C<br>NTC R(25°C)=10Kohm $\pm$ 1%, beta(25/85)=3977<br>NTC R(25°C)=10Kohm $\pm$ 1%, beta(25/85)=3435<br>NTC R(25°C)=10Kohm $\pm$ 3%, beta(25/85)=3977<br>NTC R(25°C)=2.7Kohm $\pm$ 1%, beta(25/85)=3977<br>NTC R(25°C)=10Kohm, Beta (25/85) =3969, tol $\pm$ 0.2°C (0-70°C) |
| <b>Sensing Element configuration</b>  | single 2-wire  |
| <b>Output signal type</b>   | thermoreistance<br>thermistor  |
| <b>Accuracy class in accordance to IEC751 (*)<br/>(*) The accuracy class is valid only in the temperature range indicated by the norm</b> | cl. A<br>cl. B   |
| <b>Sensing element operating temperature range</b>  | -40 $\div$ 105°C   |
| <b>Insulation resistance</b>  | 100 M $\Omega$ @ 1000 Vdc.   |
| <b>Dielectric strength</b>  | 3750 Vac   |
| <b>Plastic bulb dimension</b>   | $\varnothing$ 5 x20 mm   |
| <b>Plastic bulb material</b>  | TPE (MOULDED)  |
| <b>Extension cable</b>  | TPE 2 conductors   |
| <b>Cable lengths E= (subject to feasibility check)</b>  | 500 mm $\pm$ 100 m   |
| <b>Protective sheath</b>  | missing  |
| <b>Response time (*)<br/>(*) test in water in accordance with IEC 751. Time taken to reach 63.2% of temperature step</b>                  | < 10 seconds   |
| <b>Product marking</b>  | marked with production date and traceability code (FOR CONSTRUCTION WITH STAINLESS STEEL TUBE ONLY)  |
| <b>International protection marking (*)<br/>(*) According to IEC 60529</b>  | IP68   |
| <b>Cable conductors</b>   | copper tinned  |
| <b>Number of cable conductors</b>   | 2  |
| <b>Conductor dimension</b>  | AWG 24   |
| <b>Conductor feature</b>  | strand (7 wire)  |
| <b>Primary insulation</b>   | PP (polypropylene)   |
| <b>Outside diameter of single conductor (*)<br/>(*) primary insulation</b>  | about $\varnothing$ 1.05 mm  |
| <b>Primary insulation colour</b>  | 1 white, 1 black   |
| <b>Secondary insulation</b>   | TPE (thermoplastic rubber) 87 shore A  |
| <b>Secondary insulation colour</b>  | black  |
| <b>Cable size or external shape</b>   | about $\varnothing$ 3,3 mm   |
| <b>Cable working temperature</b>  | -40 $\div$ 105°C (6h @150°C)   |
| <b>Note</b>   | twisted conductors   |

ITALCOPPIE SENSORI srl  
Via A. Tonani, 10 - Fraz. S. Giacomo al Campo  
26030 Malagnino (CR) - Italy  
[www.italcoppie.com](http://www.italcoppie.com)



## ORDER CODES

| IKE2#   |    | E                         | X    |
|---|----|---------------------------|------|
| <b>Sensible element</b>                                     |    | <b>Extension E = (mm)</b> |      |
| Pt100   | P1 | 1000                      | 1000 |
| Pt1000  | P3 | 2000                      | 2000 |
| NTC R(25°C)= 10KΩ ± 1%, Beta (25/85)=3977                   | 1  | <b>Construction</b>       |      |
| NTC R(25°C)= 10KΩ ± 1%, Beta (25/85)=3435                   | 2  | without sheet (STD)       | XXXX |
| NTC R(25°C)= 10KΩ ± 3%, Beta (25/85)=3977                   | 3  | with sheet Ø6x50*         | 6X05 |
| NTC R(25°C)= 2.7KΩ ± 1%, Beta (25/85)=3977                  | 5  | with sheet Ø6x100*        | 6X10 |
| NTC R(25°C)= 10KΩ, Beta (25/85)=3969, tol. ± 0.2°C (0+70°C) | 9  | * On request              |      |
| <b>Class (According to IEC 751*1)</b>                       |    |                           |      |
| B   | B  |                           |      |
| A*2   | A  |                           |      |
| NTC   | X  |                           |      |
| *1 For class A and B  |    |                           |      |
| *2 Only Pt1000  |    |                           |      |

**ITALCOPPIE SENSORI srl**  
 Via A. Tonani, 10 - Fraz. S. Giacomo al Campo  
 26030 Malagnino (CR) - Italy  
[www.italcoppie.com](http://www.italcoppie.com)

WE SENSE  
**TEMPERATURE**

## Anexo 3: Norma SAE JA1011

|  |   |                          |                                   |
|--|---|--------------------------|-----------------------------------|
|  <p><b>SAE</b> The Engineering Society<br/>For Advancing Mobility<br/>Land Sea Air and Space®<br/><b>INTERNATIONAL</b></p> <p>400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001</p>   | <p><b>NORMA PARA<br/>VEHÍCULOS<br/>AEROESPACIALES<br/>Y DE SUPERFICIE</b></p> | <p><b>SAE</b> JA1011</p> | <p><b>EMITIDA<br/>AGO1999</b></p> |
| <p>Emitida 1999-08</p>   |   |                          |                                   |
| <p align="center"><b>Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad</b></p>  |   |                          |                                   |
| <p><b>Prólogo</b>— El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) fue desarrollado inicialmente por la industria comercial de aviación para mejorar la seguridad y la confiabilidad de sus equipos. Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de U.S. en 1978. Desde entonces, MCC ha sido utilizado para ayudar a formular estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo humano organizado, y en casi todos los países industrializados del mundo. El proceso definido por Nowlan and Heap ha servido de base a varios documentos de aplicación en los cuales el proceso MCC ha sido desarrollado y perfeccionado a través de los años. La mayoría de estos documentos conservan los elementos claves del proceso original. Sin embargo, el uso extendido del término "MCC" ha llevado a enaltecer un número de procesos que difieren significativamente del original, pero que sus defensores los llaman también "MCC". Muchos de estos otros procesos fallan en el logro de las metas de Nowlan and Heap, y algunos son activamente contraproducentes.</p> <p>Como resultado, ha habido un crecimiento de la demanda internacional por una norma que imponga los criterios que cualquier proceso deba cumplir para ser llamado "MCC". Este documento contempla esa necesidad. Los criterios en esta norma SAE están basados en los procesos MCC y los conceptos de tres documentos sobre MCC: (1) Libro de 1978 de Nowlan and Heap, "Reliability-Centered Maintenance," (2) MIL-STD-2173(AS) de la Aviación Naval de U.S. (Reliability-Centered Maintenance Requirements of Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment) y su sucesor, U.S. Naval Air Systems Command Management Manual 00-25-403 (Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process), y (3) "Reliability-Centered Maintenance (RCM 2)," por John Moubray. Estos documentos son considerados como los documentos sobre MCC disponibles más ampliamente usados y aceptados.</p> <p>Este documento describe los criterios mínimos que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado "MCC". No intenta definir un proceso específico de "MCC".</p> <p>Este documento está concebido para cualquier persona que desee determinar si cualquier proceso que pretenda ser MCC es de hecho MCC. Es específicamente útil para personas que deseen contratar servicios de MCC (entrenamiento, análisis, facilidades, consultoría, o cualquier combinación de estos).</p> |   |                          |                                   |

Traducción al español de la norma SAE JA1011 "Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes" emitida en Agosto de 1.999.

- 3.33 Tarea Basada en Condición**— Una tarea programada usada para detectar un potencial de falla.
- 3.34 Tarea para Detectar Fallas**— Una tarea programada utilizada para determinar si ha ocurrido una falla oculta específica.
- 3.35 Usuario**— Una persona u organización que opera un activo o sistema y podría sufrir o acarrear la responsabilidad por las consecuencias de un modo de falla de ese sistema.
- 4. Siglas**
- 4.1 MCC**— Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- 5. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)**— Cualquier proceso MCC debe asegurarse de responder satisfactoriamente las siguientes siete preguntas y además, ser respondidas en la secuencia que se muestra:
- ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?
  - ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
  - ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
  - ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?
  - ¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?
  - ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de tareas)?
  - ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible (acciones predeterminadas)?

Para responder cada una de las preguntas anteriores "satisfactoriamente", se debe recolectar la siguiente información, y se deben tomar las siguientes decisiones. Toda la información y decisiones deben ser documentadas de manera que estén totalmente disponibles para el dueño o usuario y sean aceptables para los mismos.

#### **5.1 Funciones**

- 5.1.1 Se debe definir el contexto operacional del activo.
- 5.1.2 Se deben identificar todas las funciones del activo/sistema (todas las funciones primarias y secundarias, incluyendo las funciones de todos los dispositivos de protección).
- 5.1.3 Todos los enunciados de una función deben contener un verbo, un objeto, y un estándar de desempeño (cuantificado en cada caso que se pueda hacer).
- 5.1.4 Los estándares de desempeño incorporados en los enunciados de una función deben tener el nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario del activo/sistema en su contexto operacional.

#### **5.2 Fallas Funcionales**— Se deben definir todos los estados de falla asociados con cada función.

#### **5.3 Modos de Falla**

- 5.3.1 Se deben identificar los modos de falla "probables" que puedan causar cada falla funcional.
- 5.3.2 El método utilizado para decidir que constituye un modo de falla "probable" debe ser aceptado por el dueño o usuario del activo.

## Anexo 4: Norma SAE JA1012

|   |  |                   |                            |
|---|--|-------------------|----------------------------|
| <br>400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001  | <b>PRÁCTICAS<br/>RECOMENDADAS<br/>PARA VEHICULOS<br/>AEROSPACIALES<br/>Y DE SUPERFICIE</b> | <b>SAE</b> JA1012 | <b>EMITIDA<br/>ENE2002</b> |
|   |  | Emitida           | 2002-01                    |
| <b>Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)</b>  |  |                   |                            |
| <p><b>Prólogo</b>— El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de U.S. en 1978. El mismo describió los procesos innovadores y actuales, para ese entonces, usados para desarrollar programas de mantenimiento para aviones comerciales. Desde entonces, el proceso MCC ha sido ampliamente utilizado por otras industrias, y desarrollado y mejorado ampliamente. Estas mejoras se han incorporado en numerosos documentos de aplicación, publicados por una variedad de organizaciones alrededor del mundo. Muchos de estos documentos permanecen fieles a los principios básicos del MCC expuestos por Nowlan y Heap.</p> <p>Sin embargo, en el desarrollo de algunos de estos documentos, se han omitido o malinterpretado elementos claves del proceso MCC. Debido a la creciente popularidad de MCC, han surgido otros procesos a los cuales sus defensores les han dado el nombre de "MCC", pero que no están basados en absoluto en Nowlan y Heap. Mientras que la mayoría de estos procesos pueden alcanzar algunas de las metas de MCC, otros pocos son activamente contraproducentes, y algunos son, incluso, dañinos.</p> <p>Como resultado, a habido un crecimiento de la demanda internacional por una norma que imponga los criterios que cualquier proceso deba cumplir para ser llamado "MCC". SAE JA1011 contempla esa necesidad. Sin embargo, SAE JA1011 presupone un alto grado de familiaridad con los conceptos y la terminología de MCC. Esta guía amplifica, y donde es necesario clarifica, estos conceptos claves y términos, especialmente aquellos que son únicos para MCC.</p> <p>Nótese que esta guía no esta concebida para ser un manual o una guía de procedimiento para desarrollar MCC. Es para aquellos quienes deseen aplicar MCC, que estén sumamente animados a estudiar el asunto en gran detalle, y a desarrollar sus competencias bajo la guía de practicantes MCC experimentados.</p> |  |                   |                            |

Traducción al español de la norma SAE JA1012 "A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard" emitida en Enero de 2.002.

## SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

1. **Alcance**— SAE JA1012 ("A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard") amplifica y aclara cada uno de los criterios claves listados en SAE JA1011 ("Evaluation Criteria for RCM Processes"), y resume problemas adicionales que deben ser tomados en cuenta para aplicar MCC exitosamente.
- 1.1 **Organización de la Guía**— Las Secciones de la 5 a la 14, 16 y 17 de esta guía reflejan las secciones de SAE JA1011 en la mayoría de su contenido. La Sección 15 explica más detalladamente como se pueden combinar los elementos claves del proceso MCC para seleccionar políticas apropiadas de manejo individual de modos de falla y sus consecuencias. La Sección 18 toma en cuenta la gerencia y los aspectos relacionados con recursos esenciales para el desarrollo exitoso de MCC.
2. **Referencias**
- 2.1 **Publicaciones Aplicables**— Las siguientes publicaciones forman parte de este documento con una magnitud especificada en el mismo. A menos que sea indicado, aplicará la emisión más reciente de las publicaciones SAE. La emisión aplicable surtirá efecto a partir de la fecha de la orden de compra. En caso de existir algún conflicto entre el texto de este documento y las referencias citadas en el mismo, prevalece el texto de este documento. Nada en este documento; sin embargo, reemplaza leyes y regulaciones aplicables a menos que se haya obtenido una exención específica.
  - 2.1.1 Publicaciones SAE— Disponible en SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.  
  
SAE JA1011—Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes
- 2.2 **Publicaciones Relacionadas**
- 2.2.1 PUBLICACIONES DEL DEPARTAMENTO DE COMERCIO DE U.S.— Disponible en NTIS, Port Royal Road, Springfield, VA 22161  
  
Nowlan, F. Stanley, and Howard F. Heap, "Reliability-Centered Maintenance," Departamento de Defensa, Washington, D.C. 1978. Número de Reporte AD-A066579.
- 2.2.2 PUBLICACIONES DEL DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE U.S.— Disponible en DODSSP, Subscription Services Desk, Building 4/Section D, 700 Robbins Avenue, Philadelphia, PA 19111-5098  
  
MIL-STD 2173(AS)— "Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment" (U.S. Naval Air Systems Command)  
NAVAIR 00-25-403— "Guidelines for the Naval Aviation Reliability Centered Maintenance Process" (U.S. Naval Air System Command)  
MIL-P-24534— "Planned Maintenance System: Development of Maintenance Requirement Cards, Maintenance Index Pages, and Associated Documentation" (U.S. Naval Sea Systems Command)  
S9081-AB-GIB-010/MAINT— "Reliability-Centered Maintenance Handbook" (U.S. Naval Sea Systems Command)
- 2.2.3 PUBLICACIONES DE LA PRENSA INDUSTRIAL— Disponible en Industrial Press, Inc., 200 Madison Avenue, New York City, New York, 10016 (también disponible en Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, Great Britain OX2 8DP).  
  
Moubray, John, "Reliability-Centered Maintenance," 1997
- 2.2.4 PUBLICACIÓN DEL MINISTERIO DE DEFENSA DE U.K.— Disponible en Reliability-centred Maintenance Implementation Team, Ships Support Agency, Ministry of Defence (Navy), Room 22, Block K, Foxhill, Bath, BA1 5AB United Kingdom.

## SAE JA1012 Issued JAN2002 (Traducción)

Por ejemplo, la función primaria de una máquina pulidora se puede definir como "Pulir cojinetes en un ciclo de tiempo de 3.00 minutos, a un diámetro de 75 mm  $\pm$  0.1 mm, con una superficie final no mayor de 0.2 Ra". Esta máquina ha fallado si:

- a. Si se detiene por completo.
  - b. Rectifica una pieza en un ciclo de tiempo mayor a 3.03 minutos.
  - c. Rectifica una pieza en un ciclo de tiempo menor a 2.97 minutos.
  - d. El diámetro excede 75.1 mm.
  - e. El diámetro es menor de 74.9 mm.
  - f. La superficie final es muy rugosa (excede 0.2 Ra)
8. **Modos de falla**— Un proceso MCC que cumple con la norma SAE JA1011 responde la pregunta, "¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?" Esta sección discute los cinco conceptos claves siguientes concierne a los modos de falla que están listados en la Sección 5.3 de SAE JA1011:
- a. Identificar los modos de falla.
  - b. Establecer que se entiende por "probable".
  - c. Niveles de causalidad.
  - d. Fuentes de información.
  - e. Tipos de modos de falla.

### 8.1 Identificando los Modos de Falla— "Se deben identificar los modos de falla probables que puedan causar cada falla funcional". (SAE JA1011, sección 5.3)

La Sección 7 de esta guía menciona que el MCC distingue entre el estado de falla del activo (falla funcional) y los eventos que causan los estados de falla (modos de falla). Debido a que es imposible definir las causas de una falla hasta que se haya establecido exactamente que se entiende por "falla", el proceso MCC identifica las fallas funcionales antes de definir los modos de falla. En la Figura 3 se muestra la manera usual de documentar esto para la función primaria de la bomba ilustrada en la Figura 1. La Figura 3 que lista las funciones de un activo, las fallas funcionales y los modos de falla, muestra casi todos los elementos de un Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF). Los "efectos" de cada modo de falla son listados más adelante (ver la Sección 9 de esta guía).

La Figura 3 también muestra que la descripción de un modo de falla debe contener al menos un pronombre y un verbo. La descripción debe ser suficientemente detallada de modo que posibilite la selección de una política de manejo de fallas adecuada, pero no tan detallada que tome demasiado tiempo realizar el proceso de análisis.

En particular, los verbos utilizados para describir los modos de falla se deben seleccionar cuidadosamente, ya que tienen una gran influencia en el proceso de selección de las políticas de manejo de fallas. Por ejemplo, se debe usar muy poco verbos como "fallar" o "averiarse" o "malfuncionamiento", ya que dan poca o ninguna indicación de cual podría ser la manera apropiada de manejar el modo de falla. El uso de verbos más específicos hace posible seleccionar las opciones de manejo de fallas a partir de un rango completo.

Por ejemplo, en la Figura 3 el modo de falla 1A4 podría llamarse "fallas del acople". Sin embargo; tal frase no provee pistas de que podría hacerse para anticipar o prevenir el modo de falla. Si nosotros decimos "los pernos del acople están sueltos" o "el cubo del acople presenta cizallas debido a la fatiga", entonces se torna mucho más fácil identificar una tarea proactiva.

| ACTIVO: Sistema de Bombeo  |  |   |
|--|--|---|
| FUNCIÓN  | FALLA FUNCIONAL<br>(Pérdida de la Función)               | Modo de Falla<br>(Causa de la Falla)  |
| 1 Transferir agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto. | A No disponible para transferir ninguna cantidad de agua | 1 Cojinete atascado<br>2 Motor quemado<br>3 Impulsor suelto<br>4 Cizallas en el cubo del acople debido a la fatiga<br>5 Válvula de entrada atascada en posición cerrada<br>6 Impulsor atascado por un objeto extraño.....etc. |
|  | B Transfiere menos de 800 litros por minuto              | 1 Impulsor desgastado<br>2 Línea de succión parcialmente bloqueada....etc.  |

FIGURA 3— MODOS DE FALLA DE UNA BOMBA

Para válvulas, interruptores, y dispositivos similares, la descripción del modo de falla debe indicar si la pérdida de la función es causada en la posición abierta o cerrada del elemento que falla. "Atascamiento de la válvula en posición cerrada" dice más que "Atascamiento de la válvula". Además, el propósito de identificar los modos de falla es identificar la causa de la falla funcional de modo que se encuentre la manera de anticiparla o prevenirla. Como resultado, a veces puede ser necesario tomar además otro paso, como por ejemplo "Atascamiento de la válvula en posición cerrada debido al óxido en el paso del tornillo". En este contexto, el uso de la palabra "óxido" sugiere que sería apropiado enfocar los esfuerzos de manejo de fallas en detectar o controlar el óxido.

**8.2 EstableciendoCuál es el Significado de "Probable"—** "El método utilizado para decidir que constituye un modo de falla "probable" debe ser aceptado por el dueño o usuario del activo". (SAE JA1011, sección 5.3.2).

La sección 8.1 menciona que se deben identificar todos los modos de falla probables que pueden causar cada falla funcional. "Probabilidad razonable" significa: una probabilidad que encuentra una prueba de racionalidad, cuando es aplicada por personal conocedor y entrenado. (Un término utilizado en lugar de "razonable" en este contexto es el término "creíble".) Si las personas entrenadas para utilizar MCC, y quienes conocen el activo en su contexto operacional, acuerdan que la probabilidad a la que un modo de falla específico puede ocurrir es suficientemente alta para que garantice un análisis extenso entonces, el modo de falla debe ser listado.

En la práctica, algunas veces es muy difícil decidir si un modo de falla debe o no ser listado. Este problema está relacionado al mismo tiempo a la probabilidad de ocurrencia y al nivel de detalle utilizado para describir los modos de falla. Muy pocos modos de falla, y/o poco detalle, conducen a un análisis superficial y algunas veces peligroso. Muchos modos de falla, y/o mucho detalle, causan que el proceso MCC completo tome mucho más tiempo del necesario. En casos extremos, esto puede causar que el proceso tome dos o incluso tres veces más del tiempo necesario (un fenómeno conocido como "parálisis del análisis"), y puede también conducir a programas de mantenimiento excesivamente difíciles.

sistemas existentes (especialmente modificaciones a equipos) antes de considerar sus requerimientos de mantenimiento. De hecho, todos los diagramas de decisión para MCC consideran el mantenimiento antes de los cambios de especificaciones por cuatro razones, como sigue:

- a. La mayoría de las modificaciones toman de seis meses a tres años desde su concepción hasta su cometido, dependiendo del costo y de la complejidad del nuevo diseño. Por otro lado, la persona de mantenimiento debe mantener el equipo tal como existe hoy, no como lo que debería estar allí o lo que podría estar allí algún tiempo en el futuro. Así que las realidades de hoy deben tratarse con anterioridad a los cambios de diseño de mañana.
- b. La mayoría de las organizaciones encaran muchos más las oportunidades de mejora de diseño deseables que son física y económicamente factibles. Por enfocarse en las consecuencias de la falla, el MCC es de gran ayuda en el desarrollo de un conjunto racional de prioridades para estos proyectos, especialmente porque separa los que son esenciales de aquellos que son meramente deseables. Claramente, tales prioridades sólo se pueden establecer después que se ha completado la revisión.
- c. Los cambios de especificaciones son costosos. Estos incluyen el costo de desarrollar la nueva idea (el diseño de una nueva máquina, la incorporación de un nuevo procedimiento operacional), el costo de llevar la idea a la realidad (la fabricación de una parte nueva, la compra de una nueva máquina, la compilación de un nuevo programa de entrenamiento). Adicionalmente se incurre en costos indirectos si el equipo o las personas tienen que estar fuera de servicio mientras se está implementando el cambio.
- d. Existe un riesgo de que el cambio fallará en la eliminación o incluso en el alivio del problema que está supuesto a resolver. En algunos casos, puede incluso crear más problemas.

Por todas estas razones las aproximaciones de los diagramas de decisión hacia el MCC buscan obtener el desempeño deseado de cualquier sistema en su configuración actual antes de intentar cambiar la configuración del sistema.

15.3.3 APLICANDO LA APROXIMACIÓN DEL DIAGRAMA DE DECISIÓN HACIA EL MCC— Alrededor del mundo se utilizan muchos diagramas de decisión diferentes. Algunos de estos diagramas están conformados muy cercanamente a los principios discutidos previamente, mientras que otros divergen sustancialmente (en algunos casos, a tal magnitud que no cumplen en absoluto con SAE JA011). Algunos de estos diagramas son propios, mientras que otros son del dominio público. Por estas razones, esta Guía no transmite ningún diagrama de decisión específico. Sin embargo; sólo con propósitos ilustrativos, en las Figuras 16 y 17 se dan dos ejemplos de diagramas de decisión que cumplen con los principios discutidos en 15.3.1 y 15.3.2. (Note los comentarios en 18.6, acerca de la necesidad de entrenamiento antes de utilizar cualquier diagrama de decisión).

Estos diagramas de decisión se aplican típicamente en tres fases, como sigue:

- a. Trabajando desde el principio, utilice el diagrama de decisión para determinar las categorías de consecuencias que aplican al modo de falla en consideración.
- b. Luego trabajando la columna de consecuencias relevantes, utilice el criterio de factibilidad técnica discutido en las Secciones de la 12 a la 14 de esta guía para evaluar la factibilidad técnica de las posibles políticas de manejo de fallas en cada categoría.
- c. Seleccione una política de manejo de fallas desde la primera categoría que satisfaga el criterio de factibilidad técnica y que tratará efectivamente con las consecuencias del modo de falla en consideración.

- 16. Un Programa de Vida** — “Este documento reconoce que (a) Muchos de los datos usados en el análisis inicial son inherentemente imprecisos, y que los datos más precisos estarán disponibles en el tiempo, (b) La manera en la cual el activo es utilizado, junto a las expectativas de desempeño asociadas, también cambiarán con el tiempo, y (c) La tecnología de mantenimiento continúa evolucionando. De modo que, una revisión periódica es necesaria si el programa de manejo de activos del MCC derivado es asegurar que los activos continúen cumpliendo las expectativas funcionales actuales de sus dueños y usuarios.” (SAE JA10111, sección 5.9.1)

“Por consiguiente cualquier proceso MCC debe proveer una revisión periódica de las decisiones y al mismo tiempo, de la información utilizada para soportar dichas decisiones. El proceso suele conducir de tal manera que una revisión debe asegurar que todas las siete preguntas de la sección 5 continúen siendo respondidas satisfactoriamente y en una manera consistente con el criterio que parte desde 5.1 hasta 5.8. [de SAE JA1011].” (SAE JA1011, sección 5.9.2)

Para asegurarse de que las siete preguntas de SAE JA1011 “continúan siendo respondidas satisfactoriamente y de manera consistente con el criterio que parte” de este documento, se deben responder preguntas específicas, incluyendo las siguientes:

- a. Contexto operacional: ¿El contexto operacional del equipo ha cambiado suficiente para reemplazar alguna información registrada o las decisiones realizadas durante el intervalo inicial? (Por ejemplo, un cambio de una operación una guardia/5-días a una operación 24-horas/7-días, o viceversa.)
  - b. Expectativas operacionales: ¿Las expectativas operacionales han cambiado lo suficiente de modo que sea necesario revisar los estándares operacionales que fueron definidos durante el análisis inicial?
  - c. Modos de falla: Desde el análisis previo, ¿Ha resultado que algunos modos de falla existentes fuesen registrados incorrectamente, o han ocurrido algunos modos de falla no anticipados que deberían ser registrados?
  - d. Efectos de falla: ¿Algo debe ser agregado o cambiado en las descripciones de los efectos de falla? (Esto aplica especialmente a la evidencia de falla y los estimados de tiempos fuera de servicio.)
  - e. Consecuencias de falla: ¿Ha ocurrido algo que lleve a cualquier persona a creer que las consecuencias de falla se deben evaluar de una manera diferente? (Las posibilidades aquí incluyen cambios en las regulaciones ambientales, y el cambio en la percepción de los niveles tolerables de riesgo.)
  - f. Políticas de manejo de fallas: ¿Existe alguna razón para creer que alguna de las políticas de manejo de fallas seleccionada inicialmente ya no es apropiada?
  - g. Tareas programadas: ¿Alguien se ha concientizado de un método de desarrollo de una tarea programada que pueda ser superior a una de estas seleccionadas previamente? (en la mayoría de los casos, “superior” significa “más costo-efectiva”, pero también podría significar técnicamente superior.)
  - h. Intervalos de tarea: ¿Existe alguna evidencia que sugiera que se deba cambiar la frecuencia de alguna tarea?
  - i. Ejecución de tarea: ¿Existe alguna razón que sugiera que una tarea o tareas se deban realizar por algún otro tipo de persona diferente a la seleccionada originalmente?
  - j. Modificaciones del activo: ¿El activo se ha modificado de modo que agregue o substraiga algunas funciones o modos de falla, o que cambie la adecuación de alguna política de manejo de fallas? (Se debe prestar atención especial a los sistemas de control y de protección.)
- 17. Formulación Matemática y Estadística**— “Cualquier formulación estadística y matemática que se pueda utilizar en la aplicación del proceso (especialmente aquellos usados para computar los intervalos de algunas tareas) debe ser lógicamente robusta, y debe estar disponible y ser aprobada por el dueño o usuario del activo.” (SAE JA1011, sección 5.10.1)