



Propuesta de Sistema de Mantenimiento basado en la metodología RCM para las plantas eléctricas tipo GPU del Grupo Aeronaval del Caribe

Alfonso Rafael Fren Mejía, 20452014697

Víctor Andrés Howard Leal, 20451823805

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Puerto Colombia, Colombia

2022

Propuesta de Sistema de Mantenimiento basado en la metodología RCM para las plantas eléctricas tipo GPU del Grupo Aeronaval del Caribe

Alfonso Rafael Fren Mejía

Víctor Andrés Howard Leal

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Doctor Carlos Ramón Batista Rodríguez

Línea de Investigación:

Gestión de la Productividad, la Competitividad y la Innovación.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Puerto Colombia, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

Cumple con los requisitos para optar al Título de

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Puerto Colombia, Julio 2022.

Contenido

	Pág.
Resumen	x
Abstract	xi
Introducción.....	12
1. Marco teórico.....	17
1.1. Bases Teóricas.....	17
1.1.1. Mantenimiento.....	17
1.1.2. Tipos de Mantenimiento.....	17
1.1.3. Análisis de Criticidad.....	21
1.1.4. Disponibilidad	21
1.1.5. Indicadores	21
1.2. Contexto Operacional	23
1.2.1. Planta Eléctrica	23
1.2.2. Plantas GPU.....	25
1.3. Antecedentes sobre Mantenimiento.....	29
2. Metodología.....	37
2.1. Tipo de investigación.....	37
2.2. Plan de acción para alcanzar los objetivos específicos	37
2.2.1. Fase previa a la aplicación del RCM.....	37
2.2.2. Fase de análisis	38
b) Etapa de categorización de efectos defalla:.....	38
2.2.3. Fase de retroalimentación y resultados	39
3. Resultados	40
3.1. Recopilación de información sobre activos, clasificación y contextualización de funciones operacionales	40
3.2. Análisis de los modos, causas y efectos del fallo y cómo afecta al funcionamiento general del grupo.....	46
3.3. Determinación de los modos de Fallo Funcional	49
3.4. Establecimiento de las consecuencias de falla	51
3.5. Propuesta de acciones a realizar al activo para predecir o prevenir la ocurrencia de falla y garantizar los recursos para su ejecución	52
3.6. Análisis integral de los Resultados.....	57
Conclusiones y Recomendaciones	58
Anexos	60

Referencias Bibliográficas 82

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1 Tipos de Mantenimientos	18
Figura 2 Proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad	20
Figura 3 JetEx6D Generator Set	24
Figura 4 Proceso del equipo	26
Figura 5 JetEx6D Conjunto Generador	27
Figura 6 Fallas presentadas en las plantas de la Aviación Naval a Nivel Nacional	41
Figura 7 Número de Incidencias en las plantas de la Aviación Naval por Sistemas	41
Figura 8 Diagrama de Pareto - Historial de Fallas	41
Figura 9 Categorización de equipos de la Planta Eléctrica Hobart JetEx 6D	42
Figura 10 Secuencia del RCM	48
Figura 11 Proceso de Gestión del Mantenimiento aplicando el análisis de modos de fla y sus efectos y criticidad, AMFEC	50
Figura 12 Patrones de Falla (Industria Aeronáutica)	54
Figura 13 Asignación de tareas de mantenimiento	55

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Tipos de Plantas	23
Tabla 2 Características del JetEx6D Generador Set	25
Tabla 3 Dimensiones Físicas Hobart JetEx6D	27
Tabla 4 Generador Hobart JetEx6D.....	27
Tabla 5 Motor Hobart JetEx6D	28
Tabla 6 Cable Hobart JetEx6D.....	28
Tabla 7 Dispositivos de Protección Hobart JetEx6D.....	28
Tabla 8 Número de Incidencias en las plantas de la Aviación Naval	40
Tabla 9 Clasificación de Activos	42
Tabla 10 Subsistema - Grupo GPU Generador Hobart JetEx6D.....	43
Tabla 11 Grupos - Equipos.....	43
Tabla 12 Función principal de los Equipos	45
Tabla 13 Análisis Grupo – Evento.....	46
Tabla 14 Evento – Falla	47
Tabla 15 Efectos de las fallas	50
Tabla 16 Falla - Afectación al Funcionamiento General del Grupo al que Pertenece	51
Tabla 17 Categorías de consecuencia	52
Tabla 18 Falla – categoría de Consecuencia	53
Tabla 19 Consecuencias - Efecto ¿Qué Sucede Cuando Se Produce La Falla? - Afectación.....	53
Tabla 20 Afectación - Estrategia de Mantenimiento.....	54

(Dedicatoria)

Esta parte del TIG tiene muchos posibles destinatarios: quienes me apoyaron, quienes me ayudaron y quienes esperaban este resultado. De antemano, a todos, gracias, pero quiero centrar la dedicatoria al motor que impulsa todas mis decisiones y acciones, a mi familia, a quienes con su apoyo, comprensión y sacrificio del intangible más valioso como lo es el tiempo, ayudaron a que este objetivo personal y profesional se materializará. A mi madre, que siempre ha creído en mí; a Tatiana, mi mejor amiga y compañera de vida; a mis hijos, para quienes quiero ser ejemplo; a Juan Pablo, hermano de mil batallas; a Víctor mi padre y Vanessa mi hermana, que desde el cielo iluminan mi camino. Todo este esfuerzo es por ustedes, a todos mil y mil Gracias.

Víctor Andrés Howard Leal.

Dedico este trabajo a mis hijas, Sarah y Adele, porque son los motores de mi inspiración; a mi esposa Diana, por su acompañamiento permanente; a mi mamá, papá y hermanos, quienes mantuvieron sus oraciones en toda mi carrera; y a la Universidad Antonio Nariño, por su gestión constante para ayudarnos a nuestro crecimiento profesional.

Alfonso Rafael Fren Mejía.

Agradecimientos

Agradezco a los docentes, colaboradores de la Universidad Antonio Nariño y personal de apoyo. Destaco de manera especial al tutor Dr. Carlos Batista, quien con su forma de presentar las asignaturas me amplió las perspectivas acerca de la importancia del Mantenimiento en la industria, pero sobre todo de lo fundamental que es estudiar para aprender; a la Dra. Rosa Urquiza por su profesionalismo desinteresado; a mi compañero del TIG por su compromiso e incansable trabajo; a mi familia por su comprensión incondicional. Por último, y no menos importante, agradezco al Grupo Aeronaval del Caribe de la Armada Nacional por el apoyo prestado para el desarrollo de esta investigación, a todos GRACIAS.

Víctor Andrés Howard Leal

Agradezco a aquellas personas que me colaboraron con sus conocimientos para hacer posible el desarrollo del trabajo de grado como Ingeniero Mecánico; al Dr. Carlos Batista, quien, a través de su conocimiento y apoyo, me mostró el camino para seleccionar la temática; a la Dra. Rosa Urquiza, por sus ideas y recomendaciones; a mis compañeros de estudio y trabajo, por su ayuda para resolver problemas del proyecto. Para todos ellos, bendiciones

Alfonso Rafael Fren Mejía

Resumen

El Grupo Aeronaval del Caribe (GANCA) sufre contratiempos y retrasos en la operación de sus aeronaves, debido a la falta de disponibilidad de los equipos de alimentación eléctrica en tierra (plantas Generadoras GPU HOBART), por averías e imprevistos. En este documento se analizan las GPU del GANCA, teniendo en cuenta su rol en las operaciones de las aeronaves. La creación de esta propuesta tiene como propósito desarrollar una alternativa de mantenimiento basada en Confiabilidad que conlleve a brindar mayor disponibilidad operativa en las GPU. A partir de la recolección, clasificación y categorización de los equipos, subsistemas y sistemas hasta el nivel de componentes, se logró el desarrollo de matrices, análisis de criticidad, causas y consecuencias, con el fin de reconocer, anticipar y controlar los modos de falla a través de tareas de mantenimiento. Se logró como resultado de la aplicación de la metodología de Mantenimiento centrado en Confiabilidad o RCM, por sus siglas en inglés. Con esto, el GANCA tendrá una solución para el mantenimiento de sus GPU, el cual podrá ser usado como referencia para otros equipos que sirven de apoyo terrestre en la Aviación Naval de Colombia. Se concluyó el documento con la entrega de la propuesta de RCM al GANCA, que servirá de referencia para impactar en el aumento de la disponibilidad y mejorar la efectividad de mantenimiento. Desde el punto de vista práctico, se recomienda usar el esquema propuesto en este trabajo.

Palabras claves: *Análisis de Criticidad, Gestión de Mantenimiento, GPU, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM.*

Abstract

The Caribbean Aeronaval Group (GANCA) setbacks and delays in the operation and maintenance of its aircraft, due to the unavailability of power supply equipment on the ground (HOBART GPU Generating plants), breakdowns and unforeseen events; when there are three of these units in these facilities. In this document we make an analysis of the GANCA GPUs, considering their importance in aircraft operations. The purpose of creating a maintenance proposal is to develop a system that improves reliability and provides greater operational availability. Results were obtained where the collection, equipment classification and categorization, subsystems and systems are highlighted up to the level where, through matrices, we carry out the analysis of criticality, causes and consequences; in order to recognize, anticipate and control failure modes. With this, GANCA will have a solution for the maintenance of its GPUs, which can be used as a reference for other equipment that serves as ground support in the Colombian Naval Aviation. We conclude our document, with the delivery of the RCM proposal to GANCA, which will serve as a reference to impact the increase in availability and improve maintenance effectiveness. From a practical point of view, it is recommended to use the scheme proposed in this document.

Keywords: Criticality Analysis, Maintenance Management, GPU, Reliability Centered Maintenance, RCM.

Introducción

La Ingeniería de Confiabilidad es el estudio de la longevidad y el fallo de los equipos. Es una metodología desarrollada en sus orígenes por la industria comercial de aviación de U.S.A., en su búsqueda de lograr mejoramiento en temas de seguridad y confiabilidad.

Debido a la gran importancia de mantener los equipos para garantizar la máxima disponibilidad de las plantas eléctricas tipo GPU (por las siglas en inglés de *Ground Power Unit*), se hace necesario comprender el proceso de fallo de los dispositivos, con el fin de ayudar a lograr mejoras a través de la integración de nuevos programas de mantenimiento. Los documentos que contienen los requisitos de mantenimiento deben revisarse periódicamente para identificar procesos, técnicas o tecnologías de mantenimiento, o para llamar la atención sobre herramientas y suministros obsoletos. Con la mejora de las técnicas actuales de mantenimiento se incrementa la disponibilidad de los equipos y a su vez la confiabilidad.

El presente Trabajo Integral de Grado tiene como finalidad realizar la propuesta de un programa de mantenimiento aplicando la metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM, por las siglas en inglés de *Reliability Centered Maintenance*) en las plantas tipo GPU del Grupo Aeronaval del Caribe.

Planteamiento del Problema

El Grupo Aeronaval del Caribe (GANCA) apoya operaciones aeronavales de la Armada de Colombia, por medio de aviones y helicópteros de la Aviación Naval. Estas aeronaves requieren de distintos equipos de apoyo terrestre para el desarrollo de su función. Actualmente, el GANCA cuenta con tres equipos GPU que abastecen a las aeronaves de alimentación eléctrica

en tierra, con el fin de garantizar funcionamiento de los sistemas que componen ese equipo.

En los últimos dos años el incremento de los tiempos por paradas inesperadas ha aumentado, producto de fallas en los sistemas que componen las GPU. Sin embargo, *“el desarrollo del mantenimiento va enfocado, a optimizar costos, aumentar la disponibilidad y confiabilidad operacional, optimizar el rendimiento, reducir paradas de máquinas y aumentar el período de vida útil de los activos, entre otros”* (Guevara Gamarra, 2019). Si fallase todo esto, afectaría la operatividad de las aeronaves.

Por lo consiguiente, la situación descrita genera afectación, tanto en la ejecución del mantenimiento preventivo en los equipos, como en la oportuna planeación y optimización del recurso material y humano que compone la División de Equipos Terrestres de Apoyo Aeronáutico del Grupo Aeronaval del Caribe. Es importante tener siempre presente que *“al llevar una correcta gestión del mantenimiento, nos permitirá reducir paradas de producción, incrementar el tiempo de vida de nuestros equipos”* (Reaño Ramos, 2019).

Dado lo anterior y para poder superar esta situación, se ha generado una intensa estrategia de carácter correctivo sobre los equipos que han presentado las novedades.

Desde el departamento de Planeación del mantenimiento, gracias a un análisis desarrollado, se tuvo en cuenta que la criticidad de las GPU afecta la operatividad de otros, por medio de fallas representativas generando gastos a la unidad militar. Por tal motivo las organizaciones *“invierten parte de sus recursos para mejorar su área de mantenimiento con el fin de detectar fallas que les permita garantizar la operación”* (Guaitarilla Soto, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, es de suma importancia determinar las posibles causas que dieron origen a las fallas, evitando así que se impacten negativamente la operación de las aeronaves y las consecuencias que esto conlleva.

En teoría, el GANCA aplica un plan de mantenimiento preventivo a las GPU según

recomendaciones del fabricante, pero la realidad es otra. Su enfoque está direccionado al mantenimiento correctivo, además *“se considera necesario disponer de herramientas administrativas que permitan mejorar y mantener los principales indicadores de productividad y calidad de las empresas.”* (Lepe Milián, 2018). No se evidencia la documentación de las causas que han provocado las fallas y qué acciones se tomaron para su reparación. Por lo anterior, se pretende dar solución a este problema bajo una propuesta de Sistema de Mantenimiento basado en la metodología RCM para las plantas eléctricas tipo GPU del Grupo Aeronaval del Caribe.

Justificación del Proyecto

Debido a la dinámica en la operación del GANCA, las aeronaves requieren que su componente Equipode Tierra de Apoyo Aéreo (ETAA) mantenga un alto estándar de disponibilidad, con el fin de soportar las operaciones y tareas de mantenimiento, por medio de equipos externos, como el abastecimiento de corriente eléctrica, a través de las plantas eléctricas. Por esta razón, se convierte en una necesidad buscar estrategias de mantenimiento, que permitan garantizar la máxima operatividad de sus GPU.

Con el desarrollo de esta metodología de Confiabilidad se busca fortalecer el Plan de Mantenimiento Preventivo existente para las plantas eléctricas tipo GPU del GANCA, el cual, en la actualidad, es programado por horas de trabajo y por condición de los equipos. De tal forma, sería posible crear matrices de rutas críticas que permitan mantener la disponibilidad, a través del análisis de fallas presentadas, detección de su causa raíz y la elaboración de un listado de stock de repuestos adecuado para soportar las reparaciones.

La implementación de esta estrategia de mantenimiento permitirá tener un enfoque proactivo frente a las fallas, anticipándose a estas. Se buscaría conocer las posibles causas, calcular el

recurso humano y el material adecuado para repararlos equipos sin que aumenten los tiempos de paradas por deficiencia de un stock básico. De tal forma, se evitaría incurrir en pérdidas económicas y demoras en ejecución de las operaciones, y se mantendría la percepción positiva que del Grupo Aeronaval se tiene en la Armada de Colombia.

Para llevar a cabo el proyecto se realizará el inventario de los activos, el análisis de las fallas presentadas, tabulación de costos y el desarrollo de la propuesta de implementación del Plan de Mantenimiento RCM.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de mantenimiento proactivo basado en la metodología RCM para las plantas eléctricas tipo GPU del GANCA.

Objetivo Específicos

- Recopilar información de los activos, clasificarlos y contextualizar sus funciones operacionales.
- Analizar los modos (síntomas), causas de fallos, efectos de fallo y cómo afecta al funcionamiento general del grupo al que pertenece.
- Proponer las acciones que deben realizarse al activo para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla, garantizando los recursos logísticos y humanos para la ejecución de las acciones definidas para cada activo.

Delimitación del Proyecto

Esta investigación está orientada al diseño de una propuesta de Sistema de Mantenimiento basado en la metodología RCM para las plantas eléctricas tipo GPU del Grupo Aeronaval del Caribe.

Alcance del Proyecto

La propuesta se basa en la utilización de la metodología RCM, como apoyo y complemento al Sistema de Mantenimiento que se les aplican a las plantas eléctricas tipo GPU del Grupo Aeronaval del Caribe.

La estructura de este documento se basa en los lineamientos que tiene la Universidad Antonio Nariño, recibidos por los autores durante su formación académica. En esta Introducción se plantea el problema que ocurre en el Grupo Aeronaval del Caribe (GANCA), unidad militar que apoya las operaciones aeronavales de la Armada en el Caribe colombiano, justificación y objetivos del proyecto, En el Capítulo I se presenta el marco teórico que constituye la base para la propuesta. En el Capítulo II aparece la metodología que se sigue. Finalmente, en el Capítulo IV aparece el desarrollo y los resultados logrados respecto a los objetivos específicos planteados: recopilación de información de los activos, clasificación, y contextualización de sus funciones operacionales, además de analizar los modos (síntomas), causas de fallos, efectos de fallo y cómo afecta al funcionamiento general del grupo al que pertenece. Por último, se proponen las acciones que deben aplicarse en el activo para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla y al final diseñar un sistema de mantenimiento proactivo que garantice los recursos logísticos y humanos para la ejecución de las acciones definidas.

1. Marco teórico

En este capítulo se tendrán en cuenta, como primera medida, las bases teóricas recopilando la información necesaria que ayudará al entendimiento de los antecedentes que soportan esta investigación. En ellas se plasmará el conocimiento que recogieron los investigadores a través del tiempo; desde el significado de mantenimiento y sus categorías, hasta llegar al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), especificando sus características y Metodología, la cual es el objetivo primordial de la investigación.

1.1. Bases Teóricas

1.1.1. *Mantenimiento*

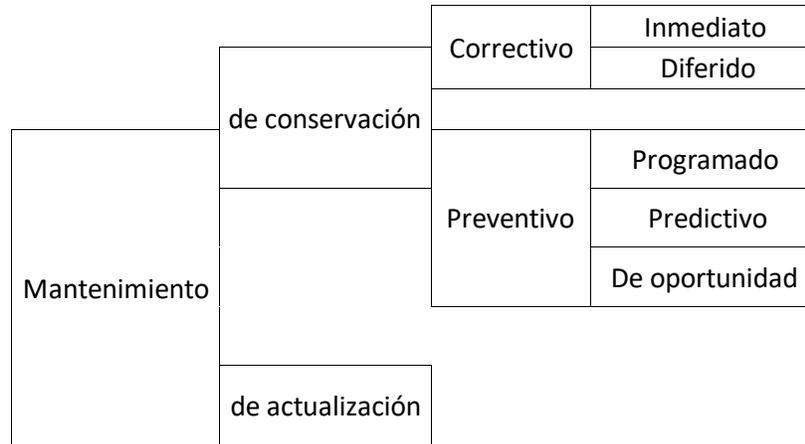
En pocas palabras, el mantenimiento es cómo conocimiento esencial de apoyo a los “*proceso que se lleva a cabo para que un elemento, o unidad de producción, pueda continuar funcionando a un rendimiento óptimo*” (Westreicher, 2022). Además de tener una profundidad y facilidad de poder ser implementado en las empresas.

1.1.2. *Tipos de Mantenimiento*

Es de saber que el sustantivo mantenimiento proviene del verbo mantener, donde la atención de fallas repentinas es un problema. Es por ello que se han desarrollado varios tipos de estos para ser aplicados, dependiendo la exigencia de su usuario; donde se emplean técnicas y metodologías asociadas a planes de mantenimiento y en esta acción, poder prever o predecir las fallas. Aquí la empresa adquiere el conocimiento y la destreza de comparación entre el “antes” y “después” de la

falla.

Figura 1 Tipos de Mantenimientos



Fuente 1 Elaboración Autor

Nota: Se muestra los tipos de mantenimiento, además dentro de los diferentes tipos de mantenimiento se tener en cuenta a la hora de escoger el tipo de equipo.

1.1.2.1. Mantenimiento Preventivo

Cabe resaltar que la misión de este tipo de mantenimiento es conservar el nivel servicial “*según corresponda, los equipos y/o instalaciones estén siempre disponibles para que el retorno de la inversión total sea óptimo. Se aplica sobre la base de una renovación rutinaria de las partes deterioradas*” (Westreicher, 2022). Asociada a las tareas con el objetivo de reducir los riesgos, cuando en este se prevean fallos o averías, relacionado a un buen plan de mantenimiento.

1.1.2.2. Mantenimiento Correctivo

Es conocido como el “*conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios*

de los mismos” (renovetec, 2018). La principal diferencia entre el Mantenimiento Correctivo y el Preventivo consiste en que el primero se desarrolla cuando se presentan fallos o averías, mientras que el segundo se asocia a planes programados de mantenimiento en el equipo.

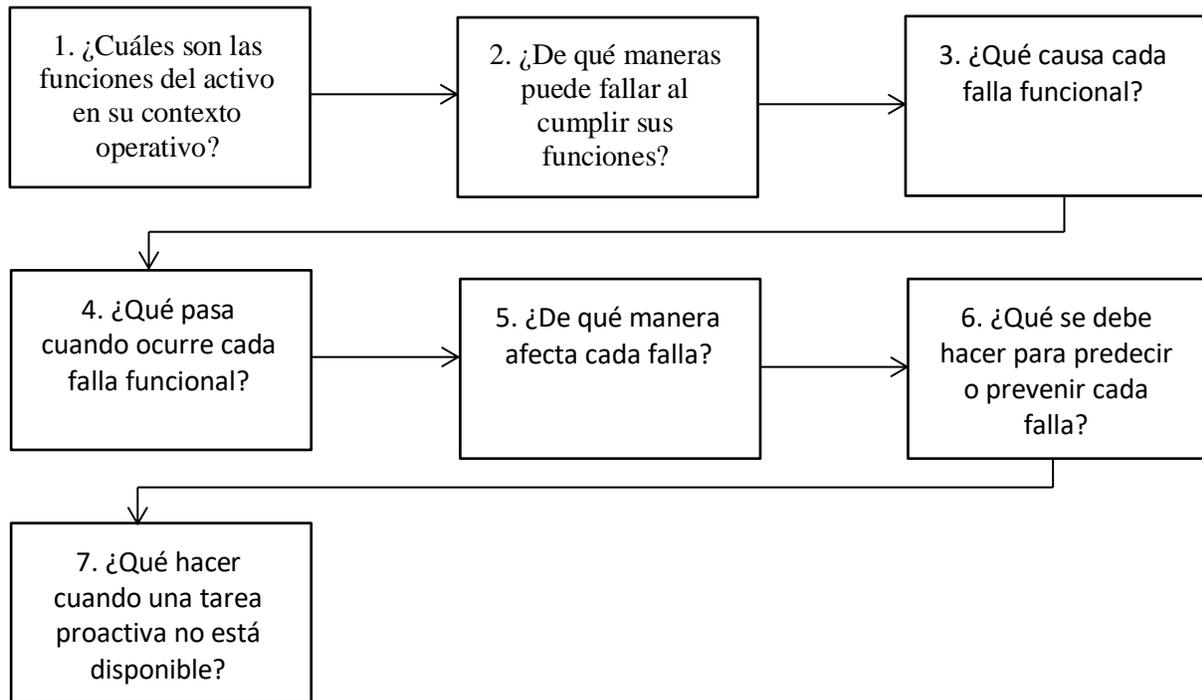
1.1.2.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Dentro de este contexto el *“RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos”* (Campos & Tolentino, 2019). Esta Metodología no solo identifica tareas, sino que también hace un análisis del riesgo de los equipos. Su prioridad es la clasificación por importancia de los componentes, detectando oportunidades de mejoras en todo proceso.

Esta metodología fue desarrollada, inicialmente, por *“la industria comercial de aviación de USA para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, definida por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978, utilizada para determinar estrategias de mantenimiento”* (Campos & Tolentino, 2019). En esta se desarrollan programas donde se asegure el contexto operacional. Actualmente, el RCM busca mejorar los resultados, combinándolos en el mantenimiento por condición.

La Metodología RCM presenta las características asociadas, donde se *“trabaja solo en el área de mantenimiento, tiene plena vigencia en plazos cortos y depende de la identificación del tipo de mantenimiento que corresponde a cada activo”* (comparasoftware, 2020). Todo esto, bajo un proceso basado en la Confiabilidad.

Figura 2 Proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad



Fuente (Campos & Tolentino, 2019)

Nota: Dicho proceso determina lo que debe hacerse para que el desempeño funcional del equipo continúe, definiendo así un tipo de mantenimiento apropiado para este.

1.1.2.4. Técnica de AMFEC Análisis del Modo de Falla, Efectos y Criticidad

El Análisis de Modo de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC) es la metodología que busca identificar los modos de falla que representan un riesgo, con el fin de sugerir las tareas de mantenimiento para mejorar la operatividad. El objetivo es tomar decisiones y gestionar e implementar acciones correctivas que permitan eliminar el modo de falla o en su defecto disminuir su porcentaje de afectación (Miño, 2015).

1.1.3. Análisis de Criticidad

Es una técnica donde se representan probabilidades y/o frecuencias de eventos, su objetivo *“es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable”* (Vilca, 2018).

1.1.4. Disponibilidad

Puede ser definida como una *“métrica que evalúa el rendimiento de los elementos que realizan una función determinada, en un momento determinado, durante un período determinado, en función de los criterios de confiabilidad, mantenibilidad y soporte para el mantenimiento de los equipos”* (Casachagua, 2017).

1.1.5. Indicadores

Son los resultados que miden la calidad en que el equipo queda ante la operatividad del mismo. Puede decirse que *“son un conjunto de información que evalúa el desempeño de las operaciones y permiten evaluar la evolución a lo largo del tiempo y definir el camino para la mejora continua”* (Valuekeep, 2022), con el fin de estar alineados con los objetivos establecidos por mantenimiento, enfocado hacia una mejora continua. Entre los más destacados se encuentran el Tiempo medio entre fallas (MTBF, por las siglas de *Mid Time Between Failure*) y Tiempo medio por reparar (MTTR, por *Mean Time To Repair*).

- a. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Este tipo de indicador nos dice que *“es el tiempo medio entre las averías de un activo, una métrica importante donde la tasa de no disponibilidad de los activos debe ser gestionada. En otras palabras, MTBF es el tiempo medio cuando el equipo funciona correctamente entre los fallos”*

(Vélez Betancouu & Rodríguez Pineda, 2018). Su ecuación (1) es la siguiente:

$$MTBF = \frac{HROP}{\Sigma NTFALLAS} \quad (1)$$

Dónde:

MTBF - tiempo medio entre fallos;

HROP - horas de operación;

NTFALLAS - número de fallas detectadas.

b. Tiempo medio por reparar (MTTR)

Este tipo de indicador representa el tiempo medio necesario *“para resolver fallos y reparar el activo que sufrió una avería, devolviéndole las condiciones normales de funcionamiento. El tiempo total de mantenimiento de un equipo comienza cuando ocurre el incidente y termina cuando el activo vuelve a su función normal”* (Romero Guarín & Soler Rodríguez, 2017). Su ecuación es:

$$MTTR = \frac{\text{No.Horas por Correctivos}}{\text{No. Correctivos}} \quad (2)$$

1.2. Contexto Operacional

1.2.1. Planta Eléctrica

Una planta eléctrica es una máquina que *“mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna. Se usa cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica; garantiza la continuidad del trabajo de las operaciones de producción”* (plantaselectricas-ltda, 2019).

Tipos de plantas generadoras de energía

Los avances de la tecnología han llevado a la evolución de los equipos, los cuales hasta la fecha han apoyado todos los procesos que se desarrollan desde la pequeña empresa hasta las grandes organizaciones. Se presentan los siguientes tipos de plantas generadoras de energía. *“Estos equipos permiten que el suministro de electricidad en oficinas, fábricas o bodegas no se corte, pues están diseñados para mantener de forma continua la energía y así asegurar el normal funcionamiento de los procesos y equipos que requieran electricidad”* (vatia.com.co, 2020).

Tabla 1 Tipos de Plantas

Tipo Planta	Observación
Gas	Usada en pymes, usa gas natural, protege el medio ambiente
Gasolina	Su combustible de uso es el tradicional
Diésel	Es tradicional y su rendimiento es optimo
Eléctrica solar	Transforma la luz solar en eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.
Portátil	Puede movilizarse hacia donde se necesite por su tamaño y porque tienen ruedas

Fuente 2 (vatia.com.co, 2020).

Nota: Distribución de los tipos de plantas de energía.

Ilustración 1 Planta de Emergencia: tipos



Fuente 3 (Haro, 2020)

Nota: Tipos de plantas de energía, clasificada por tamaño y voltaje generado.

Figura 3 JetEx6D Generator Set



Fuente 4 (aviationgroundequip, 2021)

Nota: "Está propulsado por un motor diésel Cummins Tier 3 acoplado a un generador Hobart. Los generadores Hobart son el punto de referencia de calidad y confiabilidad que brindan a los usuarios la mejor calidad de energía sin sacrificar la durabilidad" (aviationgroundequip, 2021)

Tabla 2 Características del JetEx6D Generador Set

Características	
Depósito de combustible libre de corrosión	Diseño de bajo ruido (menos de 80 dBA)
Tiempo de ejecución de 10 horas para cargas nominales	dirección de la quinta rueda
Advertencia de bajo nivel de combustible y apagado	MIL-STD-704 e ISO 6858
Parada retardada (para protección del turbo) y parada de emergencia	Directiva de maquinaria
El cableado numerado y codificado por colores permanece rastreable durante la vida útil de la unidad	Directiva de bajo voltaje
Sistema de frenado activado por barra de remolque	Directiva EMC
Limitación de corriente ajustable para un arranque seguro de cualquier avión de CC	

Fuente 5 (aviationgroundequip, 2021)

1.2.2. Plantas GPU

Las plantas eléctricas GPU, materia del análisis, se encuentran al servicio en los hangares del Grupo Aeronaval de Caribe de la Armada Nacional en la ciudad de Barranquilla, a una altitud de 4 MSNM y en clima tropical seco. Estos equipos tienen como función principal la de proveer la alimentación eléctrica necesaria para el inicio de los procedimientos de arranque de los helicópteros y aviones con que cuenta la ARC. Las plantas están en la capacidad de generar un voltaje de salida de 28.5 V DC y una potencia de 22.8 KW, cuentan con un sistema de protección con sensores de alta temperatura de refrigerante y baja presión de aceite. Para protección del medio ambiente, poseen un dispositivo detector de mezcla de aceite en los gases de escape y cabina para disminución de emisiones de ruido, los equipos son operados y mantenidos por personal técnico adscritos a la unidad militar.

Figura 4 Proceso del equipo

**ENTRADA**

Combustible Diesel (132.14
KJ/galón)

PROCESO

Conversión de la energía
térmica del combustible en
energía de cinética y esta,
en energía eléctrica.

SALIDA

Voltaje de salida 28 V DC
Frecuencia 60 Hz



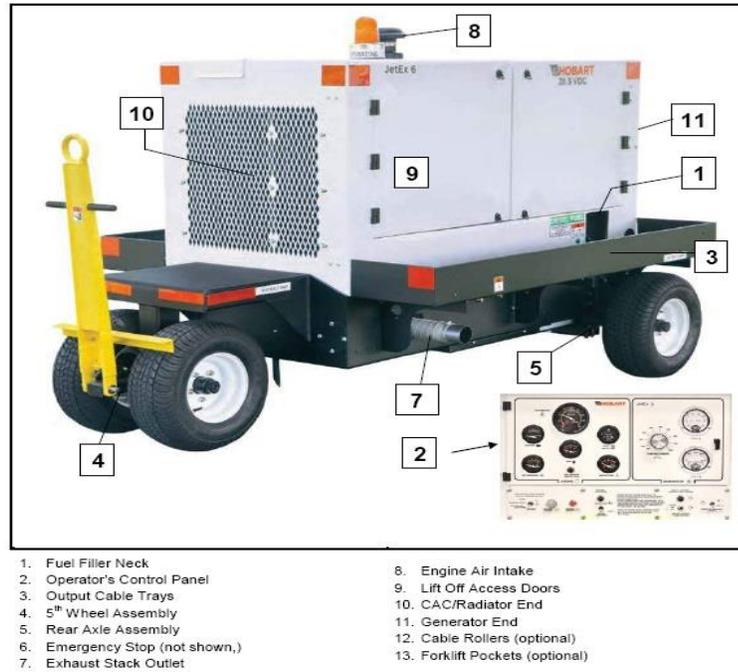
Fuente 6 Elaboración propia Foto suministrada por la Aviación Naval

1.2.2.1. Especificaciones y capacidades

Las especificaciones y capacidades del conjunto Generador JetEx6D, se dividen en Dimensiones física), Generador, Motor, Cable y Dispositivos de Protección. Presenta un diseño de bajo ruido

(menos de 80 dBA), a través de un gabinete de protección, el cual permite que el depósito de combustible se encuentre libre de corrosión, siendo esta una ventaja de equipo.

Figura 5 JetEx6D Conjunto Generador



Fuente 7 Manual Operación y Servicio Hobart JetEx6D

Tabla 3 Dimensiones Físicas Hobart JetEx6D

Dimensiones Físicas		
medida	Unidad Básica (montaje fijo)	Con remolque (con barra de remolque levantada)
Largo	74 in. (1880 mm)	101 in. (2570 mm)
Ancho	37 in. (940 mm) (no cable trays)	67 in. (1702 mm)
Alto	60 in. (1524 mm)	67 in. (1702 mm)
Peso	3700 lb. (1678 kg.)	4000 lb. (1814 kg.)

Fuente 8 Manual Operación y Servicio Hobart JetEx6D

Tabla 4 Generador Hobart JetEx6D

Generador	
Potencia de salida Nominal	22.8 kW
Salida de Voltaje	28.5 voltios DC
Capacidad de carga nominal	800 amperios continuos a 28.5 voltios DC
Capacidad de Corriente de arranque	2000 amperios máximo
Capacidad de limitación de corriente	300 a 2000 amperios, ajustables

Velocidad de Operación	1800 +/-50 RPM
------------------------	----------------

Fuente 9 Manual Operación y Servicio Hobart JetEx6D

Tabla 5 Motor Hobart JetEx6D

Motor	
Fabricante	Cummins Engine Company
Modelo No.	QSB4.5
Tipo	4 cilindros en línea, Diesel de 4 ciclos, control electrónico
Diámetro y carrera	4.21 in. x 4.88 in. (107 mm x 124 mm)
Desplazamiento	275 in ³ (4.5 L)
H.P.	110 hp (82 kW)
Velocidad en Ralentí	1000 ± 50 rpm
Capacidad Máxima de Sobrevelocidad	3700 ± 50 rpm
Velocidad Normal Gobernada	1800 rpm
Orden de explosión	1-3-4-2
Sistema Eléctrico	12 VDC
Tierra	Negativo
Capacidad de aceite lubricante (con filtro)	11.6 cuartos (11 litros)
Capacidad de líquido refrigerante	20 cuartos (18.9 litros)

Fuente 10 Manual Operación y Servicio Hobart JetEx6D

Tabla 6 Cable Hobart JetEx6D

Cable	
Cable de salida	600 AMP Continuos, 2000 AMP de arranque

Fuente 11 Manual Operación y Servicio Hobart JetEx6D

Tabla 7 Dispositivos de Protección Hobart JetEx6D

Dispositivos de Protección	
Generador	Módulo de control de voltaje, apertura entre 32 y 34 volts.
Motor	Interruptor de Temp. de refrigerante, apertura a 210° F (98. 8° C). Interruptor de baja presión de aceite, apertura a 20 PSI (138 kPa)

Fuente 12 Manual Operación y Servicio Hobart JetEx6D

1.3. Antecedentes sobre Mantenimiento

Se afirma en los conceptos que *“todas las fallas han generado pérdida de tiempo en reparaciones, costos innecesarios y quejas por parte de los clientes. A través del análisis de criticidad se determinó que el 79% de las unidades mantienen una criticidad media y alta”* (Barsallo Coico, 2020). Sin embargo, cuando se elabora un buen plan de mantenimiento y se enfoca a la disminución de las horas de detención y fallas, aumenta la eficiencia a nivel global en un 10%, dándole una rentabilidad a la organización.

Ciertamente *“en todo proceso industrial, una de las mayores preocupaciones siempre ha sido tratar de reducir los costos de producción, los cuales no sólo están en función de un buen análisis económico, sino, también en la determinación de fortalezas y debilidades de la empresa”* (Cotos Barreto & Mejia Benites, 2020). Para ello se debe tener en cuenta que se debe estar alineado con las metas de la empresa, cuyos activos son lo más importante. En la actualidad, cuando se habla de su tendencia, se debe involucrar la productividad, ya que sus consecuencias, cuando son negativas, pueden llevar a la quiebra de la empresa. Es por ello que la evolución que ha sufrido el mantenimiento por alcanzar altos niveles de confiabilidad y calidad va de la mano con su estructura, políticas y procesos internos y externos, lo cual le da un enfoque estandarizado con altos índices.

En cuanto al resultado de las actividades de mantenimiento, estas buscan *“tener constante y en perfectas condiciones los distintos equipos; este mantenimiento que se centra en la confiabilidad es un proceso de análisis completamente formado”* (Begazo Carreño, 2019). Gracias a esto, se puede mejorar en la programación de las actividades de mantenimiento, reducir sus costos, aumentar la disponibilidad de los equipos, el cuidado del medio ambiente y la seguridad en el trabajo. Sin embargo, para llegar a ese punto la Organización deberá aplicar una reestructuración

interna a partir de implementar las estrategias necesarias; teniendo en cuenta que las frecuencias deben estar asociadas a la cantidad de eventos, la revisión de fallas, el impacto operacional, los costos de reparación, el impacto ambiental y de seguridad.

Otro punto a tener presente es el *“proceso del plan de mantenimiento preventivo basado en la filosofía RCM, de ser implantado en la compañía puede mejorar la disponibilidad de los equipos y, por ende, la productividad de la planta”* (Castrillon Carmona & Gallego Lozano, 2019). El propio RCM no se incluye en la norma JA1011, lo cual les permite a las empresas complementar con otros métodos, donde se cuantifican y se le da prioridad a aquellos riesgos o modos de fallas. Sin embargo, al utilizar un método de evaluación de la criticidad, esta le permite, al usuario, establecer el nivel de jerarquización asociada a la instalación, los sistemas, equipos e incluso a nivel del componente.

Por otra parte, se sabe que este tipo de función podrá dar un impacto de forma global, es por ello que se debe optimizar, cuanto antes, dicho proceso; teniendo en cuenta cómo se deben asignar los recursos, para permitir que estos sean manejados controlada y auditablemente, de manera que la alta dirección pueda tomar decisiones en busca de mitigar el riesgo.

En la actualidad la *“metodología de gestión de mantenimiento es el principal factor preponderante para poder mantenerse en un mercado tan competitivo, frente a esto una de las alternativas de mejora para la gestión de mantenimiento se basa en la metodología RCM”* (Chura Marca, 2019). Esta nace por la necesidad que tienen las empresas de incrementar la disponibilidad de los equipos y poder encontrar esas fallas ocultas que aparecen de forma repentina, dicha Metodología RCM permite incrementar y mejorar la gestión del mantenimiento, siempre que se tenga de forma ordenada el historial del equipo.

Sin embargo, al determinar cuáles son las fallas más ocurrentes, su control no debe bajar la guardia, ya que, a medida que el equipo envejece, sus componentes necesitan más atención, presentando otros tipos de fallas de mayores incidencias si no son cuidadas.

No obstante, se debe tener en cuenta que *“para lograr que la operación de la unidad de generación sea la adecuada, es de vital importancia el aplicar un mantenimiento en todos los sistemas que forman parte de la unidad de generación”* (Cabrera Ramón & Tapia González, 2019). Eso significa que al aplicar un RCM en unidades que generen energía, no solo hay que tener en cuenta las recomendaciones de fábrica, sino al usuario que la maneja, por las variables que acompañan la situación, así esta podrá conservar su funcionamiento óptimo.

Ahora bien, todas las industrias que *“utilizan infraestructuras y maquinarias para su funcionamiento y producción, requieren que sus activos físicos perduren en el tiempo; por ello, las empresas requieren que sus activos físicos sigan funcionando y sean confiables a través de un buen mantenimiento”* (Campos Macedo, 2019). Además, es conocido que para el correcto funcionamiento de los equipos de la organización es necesario tener bien implantado un sistema de mantenimiento, cada uno de esos equipos con sus hojas de trabajo y listado de componentes, herramientas que sirven para su desarrollo a un nivel profundo, tratando de evitar una detención por un tiempo largo.

Teniendo en cuenta que, a partir *“de la gestión integral del mantenimiento, apoyada en metodologías como RCM, las relaciones que se dan entre cada elemento de sistema, aumentan su confiabilidad, mantenibilidad y entre las tres se relacionan por disponibilidad, que es el parámetro más relevante”* (Castrillon Carmona & Gallego Lozano, 2019). En esta se debe tener claridad en las estrategias, las cuales estarán encaminadas con la búsqueda del cumplimiento de la misión de la organización; siendo que su objetivo primordial es que la empresa sea más competitiva en el

mercado; teniendo en cuenta que el crecimiento y la sostenibilidad son factores clave, así como también lo es la seguridad, productividad, medio ambiente y confiabilidad.

Sin embargo, en otras investigaciones se *“propuso un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para los grupos electrógenos, de tal manera que se puedan disminuir las fallas que se presentan y poder aumentar la confiabilidad operacional para tener una buena relación con el cliente”* (Burga Saldarriaga, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, se puede analizar, con el modo de falla, todos los sistemas que hacen parte del componente principal. Además, para poder conseguir que ese plan se implemente, se debe cumplir con pasos como la identificación del elemento a ser analizado, sus funciones, fallos, causas de esos fallos y que efectos pueden tener.

En cambio, la investigación publicada por la Universidad Nacional de Colombia, su investigador *“propone el desarrollo del mantenimiento centrado en Confiabilidad (RCM), usando como estrategia el establecimiento de la metodología TPM en particular, la implementación de mantenimientos preventivos e integración de sistemas de gestión, relacionados con todos los aspectos de la producción”* (Maya, 2018). Se busca el diseño de un plan de mantenimiento basado en condición o MBC; se demuestra que en el mantenimiento no solo se puede usar una metodología a los equipos; sino que, dependiendo de las estrategias que usan las organizaciones, pueden adaptarse a las necesidades específicas de la organización.

En la publicación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, sus investigadores hacen referencia que *“se busca bajar los costos en reparaciones de equipos, pérdidas de producción, tiempos muertos, horas extra y mantenimientos correctivos; que pueden ser reducidos, debido a que estos amenazan la rentabilidad de la compañía”* (Rincon & Sanchez, 2017). Si se aplica la Metodología de RCM en el mantenimiento, esta podrá aumentar su rentabilidad, por lo tanto, podrá mejorar su competitividad dentro del mercado; ampliando sus opciones de negocio e

incrementando sus ingresos, haciéndola más rentable.

Ahora bien, algunos autores se han enfocado en hablar de lo crítico de las maquinas, como es el *“empleo del análisis de criticidad en los equipos que lograron incrementar los niveles de productividad en 18,45% y disminuir los costos de reparación en 61,35%; asimismo la utilización del análisis de modo y efecto de falla, logró incrementar la disponibilidad”* (Monge & Yrazabal, 2019). Esto ayudó a la organización a normalizar sus procesos y poder cumplir con sus pedidos, abriéndose campo en otras plazas, compitiendo contra nuevas organizaciones y, por ende, ganando clientes.

Por una parte, dentro de la programación de mantenimiento, utilizando la matriz de riesgo, se logra *“contemplar la frecuencia de fallas y los impactos de éstas en la producción, seguridad y mantenimiento, para poder determinar cuáles son los equipos críticos de la línea de producción”* (Lombaná & Zarante, 2018). Esto ayudará a que la productividad no se vea afectada y la operación pueda cumplir con sus actividades. Usando esta estrategia, se puede analizar el modo de fallas y sus efectos para definir el plan de mantenimiento.

Por su parte, en la investigación publicada por la Universidad Superior Politécnica de Chimborazo se expresa que *“los efectos de falla deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica, para anticipar, prevenir o detectar la falla”* (Villacres, 2017). Esto coloca al mantenimiento en un punto más alto, con el apoyo de la alta dirección, para programar dicho mantenimiento y buscar estrategias de mejora en los planes, bajo un sistema continuo.

A través de la publicación de la Universidad Católica de Santa María, su investigador afirma que, hoy en día *“las empresas se juegan su capacidad competitiva por la cantidad y calidad de los recursos que se comprometen en el área de mantenimiento; dado que, en la actualidad, el precio*

de los productos los fija el mercado” (Fernández Morales, 2018). Esto hace que ellas reduzcan el presupuesto, buscando economía en estos procesos; causando incrementos en los costos asociados a la mantenibilidad del área. Dentro de las ventajas que brinda, esta área ayuda al desempeño de las principales funciones; por ello es importante buscar la forma de disminuir dichos costos, implementando estrategias nuevas en el mantenimiento.

Cabe resaltar que *“con los modelos de mantenimiento podemos determinar que el mantenimiento centrado en RCM es el más adecuado y preciso para la empresa, pues su principal objetivo es el buen funcionamiento de los activos y mantenerlos en óptimas condiciones”* (Córdoba Álvarez & Montejo González, 2017). Este, al optimizar el proceso de mantenimiento, mostrará una disminución en los costos que afectan a la producción de la empresa; sin embargo, el analista de planeación debe buscar la forma de estar con todo en control para no crear fluctuaciones o afectaciones económicas al área.

Además, en la publicación realizada por la Universidad Técnica de Ambato, su autor comenta que *“al no contar con un plan de mantenimiento preventivo, han presentado varias fallas en los subsistemas de las diferentes máquinas y equipos; reflejándose en costos de mantenimiento y paradas de planta implicando reducción de la producción”* (Hugo Israel, 2018). Por ello, al recoger información de los incrementos de los costos de mantenimiento e investigar los diferentes métodos empleados, se llega a la conclusión de recomendar la implementación de nuevos métodos, como lo es el RCM.

Por otro lado, la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo manifiesta que *“la empresa viene aplicando solamente un mantenimiento correctivo, el cual se efectúa cuando los operarios, ante alguna falla de las máquinas, se ven forzados a detener la producción, teniendo la empresa que contratar servicios de mantenimiento para reparar la avería”* (Pacheco Bado, 2018). Esto

provoca a la organización incremento en su presupuesto del área y una subsiguiente pérdida en la producción, abriéndole campo a un análisis de costo-beneficio, sosteniendo la implementación de una gestión del mantenimiento que incremento la vida útil de los equipos, disminuyendo de forma gradual las averías con respecto al tiempo de la inoperatividad del equipo. En pocas palabras, un incremento de la disponibilidad de los equipos.

Sin embargo, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, un investigador comenta que al proponer *“un plan para el proceso de implementación del servicio de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a los equipos, con la finalidad de minimizar sus fallas; se logra reducir el costo del mantenimiento y la racionalización de los equipos en las operaciones”* (Medina Tuesta, 2018). Se puede llegar a la optimización del proceso de mantenimiento controlando las fallas, reduciendo incidentes y cuidando al medio ambiente; anticipándose a las averías que estas puedan tener, implementando el uso de herramientas especializadas, para evaluar el mantenimiento a desarrollar.

De igual manera, en una publicación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, sus investigadores hacen referencia en la importancia de realizar un *“análisis de causa raíz para identificar las principales causas que están generando el problema”* (Paredes Nateros & Tupez Mendoza, 2019). Se llega a la conclusión de poder implementar una nueva metodología que es la RCM, donde se desarrollaron todas sus fases, modelando el actual proceso y resaltando fallas en el mismo, cambiando por completo el plan y la programación de mantenimiento, optimizando los recursos considerados para el desarrollo de su implementación.

En el caso de la publicación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, su investigador expresa que *“el uso inadecuado del plan de Gestión de Mantenimiento, causa una baja disponibilidad de repuestos y personal, el porcentaje de materia prima reprocesada y el deterioro*

de las Máquinas de moldeo” (Rodríguez Caceres & Valenzuela Fuchs, 2020). Gracias a la implementación de un plan de mantenimiento se pudo reducir las paradas, aumentando la confiabilidad de los equipos, dejando una disponibilidad superior al 83%. Se debe tener en cuenta que esta aplicabilidad en el área de mantenimiento provocó un cambio en el área de planeación, destacando que con esta implementación técnica se abrieron puertas a nuevos procesos.

De igual manera, en la publicación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, sus investigadores expresan que en el momento de revisar *“los efectos del modelo, se desarrolla un sistema de simulación de la línea de producción, que incluye el porcentaje de producción perdida por fallas y los tiempos de parada de la máquina. Los resultados mostraron un aumento significativo en la disponibilidad”* (Hernández Novoa & Yacolca Loja, 2021). Cuando las organizaciones buscan la manera de implementar planes de mantenimiento y evolucionar, pueden lograr un mejor nivel dentro del área y la empresa, el cual se representa en términos económicos.

Otra forma de contribuir es por medio de un estudio presentado en otra publicación revisada, donde se afirma que *“dicha implementación requiere la recopilación y el análisis de datos históricos de fallas y mantenimientos para determinar la condición actual de los equipos. Finalmente, la implementación de RCM se justifica por los resultados que se obtuvieron en la simulación”* (Andrade Quiroz & Ramos Ramos, 2020). Dentro de esta aplicación de simulación se observó la disminución de los tiempos entre las reparaciones de los equipos. Para ello, el analista de planeación debe comprender todas las implicaciones de tomar una decisión, buscando evitar traumas en la operatividad de los equipos; es decir, posibles fallas o paradas en planta.

En la publicación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, sus investigadores nos muestran que *“al integrar al mantenimiento con la metodología Reliability Centered Maintenance (RCM), para proponer un plan de mantenimiento preventivo, se puede lograr el objetivo de*

aumentar la disponibilidad de una línea de producción y reducir los costos de mantenimiento” (Hernández Novoa & Yacolca Loja, 2021). Esto hace que las organizaciones estén más comprometidas; por ende, podrán abarcar un nicho de mercado más grande.

2. Metodología

Este capítulo se destina al tema metodológico. Se especifica el tipo de investigación desarrollada, el plan de acción que se utilizó para poder alcanzar los objetivos, sus fases y etapas.

2.1. Tipo de investigación

De acuerdo con la problemática presentada en esta investigación y basados en el desarrollo del proceso investigativo, donde la cantidad y calidad de la información que se encuentra en el momento es deficiente, se implementará una Metodología Mixta. Parte de la investigación se desarrolla de manera *“cualitativa, la cual estudia la realidad en su contexto natural y cómo sucede, sacando e interpretando fenómenos de acuerdo con las personas implicadas”* (Ruiz Medina, 2021), a través de inspección, encuestas, descripción y demás. Además, se emplea una manera cuantitativa, en cuanto a los cálculos específicos que llevan a hacer los análisis y obtener los resultados de la metodología implementada.

2.2. Plan de acción para alcanzar los objetivos específicos

Para poder llegar a la propuesta final del sistema RCM, se concibe una metodología que consta de tres fases, con el fin de garantizar la efectividad del resultado.

2.2.1. Fase previa a la aplicación del RCM

Antes de iniciar con el análisis, es de suma importancia la recolección, organización y análisis de la información, enfocada a los componentes de las plantas GPU.

a) Etapa de recopilación de la información:

Para aplicar la metodología de RCM es necesario crear mecanismos que permitan recopilar la

información necesaria de los componentes de la planta GPU. *“Esta información incluye planos, diagramas, manuales, bitácoras de operación/mantenimiento, documentos como el contexto operativo (si existe)”* (Ayauca Sierra, 2019). También es esencial que se realicen encuestas y entrevistas a los operadores y al personal de mantenimiento.

b) Etapa de clasificación:

En esta etapa se determina el número de equipos que tiene el GANCA; su categoría, clase o tipo, de acuerdo con la forma que la estación aeronaval los clasifique o identifique.

c) Etapa de análisis en el contexto operativo:

En esta etapa se definirán las condiciones reales donde operan los equipos, incluyendo criterios y parámetros que el usuario expondrá por medio de la solución de preguntas que serán analizadas tanto numéricamente como gráficamente (Achahuanco, 2020).

2.2.2. Fase de análisis

Toda la información recogida en la fase anterior permitirá combinar la información suministrada en los manuales del fabricante y las experiencias de los técnicos de mantenimiento. Se buscará determinar los modos, causas de fallas y categorización de cada uno de los efectos y su prioridad de riesgo.

a) Etapa de análisis de modos de causa y fallas

La información también permitirá definir el modo de falla, es decir, cuál sería el síntoma o evento de ocurrencia.

b) Etapa de categorización de efectos de falla:

Para proporcionar una visión completamente transparente y rápida de lo ocurrido en el RCM *“se propone incluir junto al enunciado del efecto de falla, la categorización del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) correspondiente”* (Anaguano Lamiña, 2018). Parámetros asociados a la función cualitativa con tres criterios: severidad, detectabilidad y ocurrencia.

2.2.3. Fase de retroalimentación y resultados

Después de haber obtenido dichos resultados con esta Metodología se debe continuar con el proceso de asignación en materia de responsabilidades de esta forma la ejecución del plan de mantenimiento sería correcto.

a) Etapa de puesta en marcha:

Con el fin de poner en práctica la metodología de mantenimiento propuesta, se presentará un procedimiento general, con sugerencias acerca de la forma como deberá integrarse a los procesos de gestión de mantenimiento a las plantas GPU del GANCA.

3. Resultados

A continuación, se detalla cómo se concretaron las acciones previstas y cuáles fueron los resultados, parciales y finales, al cumplir las tareas emanadas de las etapas de la metodología prevista.

3.1. Recopilación de información sobre activos, clasificación y contextualización de funciones operacionales

En la actualidad, la Aviación Naval Colombiana cuenta con diez plantas Eléctricas tipo GPU a nivel nacional. De ellas, tres plantas pertenecen a la División de Equipo Terrestre de Apoyo Aéreo (ETAA) del Grupo Aeronaval del Caribe (GANCA), unidad militar donde se realizó la propuesta de mantenimiento. Teniendo en cuenta la confidencialidad de las unidades militares, se tomó como base el historial disponible de las plantas eléctricas tipo GPU entregado por el GANCA.

A partir del Plan de mantenimiento que se realiza actualmente en las plantas tipo GPU, se analizó y efectuó la revisión correspondiente, para encontrar las oportunidades de mejora y fallas de mantenimiento de los equipos. Se tomaron como referencia los registros históricos de las plantas tipo GPU y se inició el proceso de agrupación de los componentes del sistema propuesto, teniendo en cuenta las funciones de estos.

Para lograr la recopilación de la información se utilizó el historial de equipos, formatos de inspección y avería. Por ende, se utilizó la gráfica de Pareto para demostrar por qué es de suma importancia realizar mantenimiento en las plantas eléctricas del grupo Aéreo Naval del Caribe en la ciudad de Barranquilla. Dicho análisis se realizó al equipo, hasta nivel de ensamble del sistema.

Tabla 8 Número de Incidencias en las plantas de la Aviación Naval

CÓDIGO	AEROPUERTO	# DE INCIDENCIAS	% TOTAL	% ACUMULADO
1	BARRANQUILLA	45	80,36	80,36
2	BOGOTÁ	6	10,71	91,07
3	JUANCHACO	5	8,93	100,00

	TOTAL	56	100,00	
--	--------------	-----------	---------------	--

Fuente 13 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Figura 6 Fallas presentadas en las plantas de la Aviación Naval a Nivel Nacional



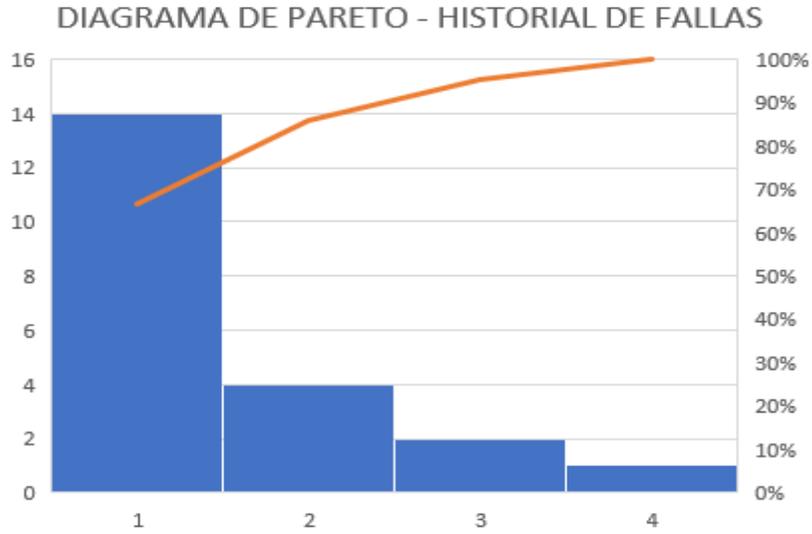
Fuente 14 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Figura 7 Número de Incidencias en las plantas de la Aviación Naval por Sistemas

Código	SISTEMA	# DE INCIDENCIAS	% TOTAL	% ACUMULADO
1	Mecánico - motor	14	66,7	66,7
2	Control e indicación	4	19,0	85,7
3	Estructural	2	9,5	95,2
4	Eléctrico-generador	1	4,8	100,0
	total	21	100	

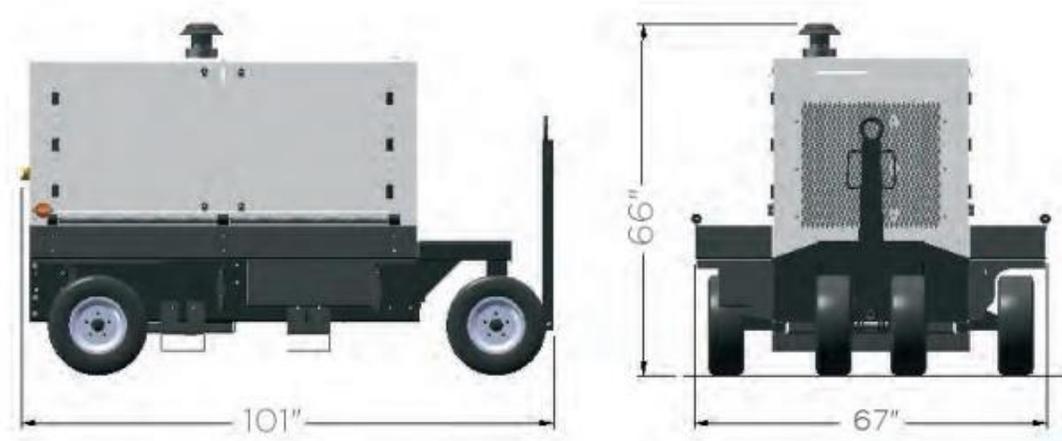
Fuente 15 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Figura 8 Diagrama de Pareto - Historial de Fallas



Fuente 16 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Figura 9 Categorización de equipos de la Planta Eléctrica Hobart JetEx 6D



Fuente 17 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Tabla 9 Clasificación de Activos

ACTIVO FIJO	DENOMINACIÓN	# INVENTARIO
164500000002	HOBART GPU1 MOD JET-EX 6D S/N 313PS190	8004040000000000000469765
164500000003	HOBART GPU2 MOD JET-EX 6D S/N 313PS191	8004040000000000000469766
165500009588	HOBART GPU3 MOD JET-EX 6D S/N 313PS192	8004040000000000000469767

Fuente 18 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Tabla 10 Subsistema - Grupo GPU Generador Hobart JetEx6D

Subsistema	Grupo	
Eléctrico – Generador	1	Conjunto Generador
	2	Conjunto Rectificador
Mecánico – Motor	3	Motor de combustión interna
	4	Sistema eléctrico del motor
	5	Sistema de abastecimiento de combustible
	6	Sistema de enfriamiento, refrigeración
	7	Sistema de Admisión de aire
	8	Sistema de lubricación
	9	Sistema de extracción de gases
Indicación y Control	10	Sistema de indicación y control Generador
	11	Conjunto Sistema de indicación y control motor
	12	Caja de Control interna
Complementarios	13	Estructura, chasis y remolcador

Fuente 19 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Tabla 11 Grupos - Equipos

Grupo		Componente		Grupo		Componente	
1	Conjunto Generador	1.1	generador	10	Sistema de indicación y control Generador	10.1	Voltímetro CC (M406)
		1.2	escobillas			10.2	Amperímetro CC (M407)
		1.3	embobinado			10.3	Iluminación Tablero (S405)
		1.4	Eje principal			10.4	Potenciómetro Limitador de corriente
		1.5	Rodamientos			10.5	Interruptor de luces de Panel (S405)
2	Conjunto Rectificador	2.1	rectificador	11	Conjunto Sistema de indicación y control motor	10.6	Interruptor de Control del contactor (S408)
		2.2	condensador (C401)			10.7	Luz de indicación de Contactor cerrado (DS408)
		2.3	Resistencias de precarga (R403 – R405)			11.1	Interruptor resortado de arranque (S401)
		2.7	Diodos negativos (CR405 – R410)			11.2	Interruptor de apagado de motor (S404)
		2.8	Shunt (R407)			11.3	Interruptor de apagado por emergencia
		2.9	bloque de terminales (TB3)			11.4	Sistema de apagado por alta temperatura del refrigerante
3	Motor de combustión interna	3.1	Polea de ventilador	11	Conjunto Sistema de indicación y control motor	11.5	Sistema de apagado por presión de aceite
		3.2	Amortiguador de vibraciones			11.6	Luz de indicación motor encendido (DS407)
		3.3	Módulo de control eléctrico preprogramado (ECM)			11.7	Interruptor de control de aumento de potencia de motor (S406)

		3.4	Tensor de la correa			11.8	Luz de indicación de calentador del motor (DS426)
4	Sistema eléctrico del motor	4.1	Alternador 12 VDC	12	Caja de Control interna	11.9	Indicador de temperatura de agua (M404)
		4.2	arrancador(B401) and solenoide (L401) 12VDC			11.10	Luz de indicación de filtro de aire obstruido (DS412)
		4.3	Batería			11.11	Indicador de presión de aceite (M405)
		4.4	Correa de distribución			11.12	Indicador de cantidad de Combustible (M408)
		4.5	Cableado			11.13	Tacómetro (M403)
5	Sistema de abastecimiento de combustible	5.1	Cuello y tapa de llenado de combustible.			11.14	Horómetro (M402)
		5.2	Tanque de almacenamiento			11.15	Voltímetro (batería) (M401)
		5.3	Mangueras de combustible			11.16	Interruptor de desconexión de batería
		5.4	Bomba de inyección de combustible			12.1	Relé de sobrevoltaje (K403)
		5.5	Filtro de combustible			12.2	Regulador de voltaje (VR402)
6	Sistema de enfriamiento, refrigeración	6.1	Radiador y Enfriador de aire de carga			12.3	Rectificadores de excitación (CR417 and CR418)
		6.2	Ventilador de refrigeración del motor			12.4	Fusible del regulador de voltaje (10 A) (F403)
		6.3	Sensor de bajo nivel de refrigerante			12.5	Conector de arnés del rectificador (J43)
		6.4	Termostato			12.6	Conector de arnés del motor (J46–Power)
		6.5	Bomba de circulación de agua			12.7	Rectificador de bloqueo (CR401)
		6.6	Ventilador			12.10	Indicador de pruebas de motor (DS68)
		6.7	Tanque de expansión			12.12	Interruptor de código de falla del motor (S82)
7	Sistema de Admisión de aire	7.1	Múltiple de admisión	12.13	Interruptor de diagnóstico de motor (S80)		
		7.2	Filtro de aire	12.14	Cortacircuitos		
		7.3	Turbocargador	12.15	Relés		
		7.4	Mangueras	12.16	fusibles		
8	Sistema de lubricación	8.1	Carter			12.17	fusible de Interruptor de enclavamiento (5 A) (F413)

9	Sistema de extracción de gases	8.2	Bomba de aceite	13	Estructura, chasis y remolcador	13.1	Chasis
		8.3	Filtro de aceite			13.2	Estructura base
		8.4	Mangueras			13.3	Conjunto barra remolcadora, dirección y freno
		9.1	Múltiple de escape			13.4	Conjunto de eje trasero y ruedas
		9.2	Tubería de escape			13.5	Conjunto de eje delantero y ruedas
		9.3	Exhosto			13.6	Caseta acústica y compuertas
						13.7	Bandejas porta cables

Fuente 20 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Tabla 12 Función principal de los Equipos

GPU Generador Hobart JetEx6D					
Subsistema	Grupo		Componente		Función principal
Electro – Generador	1	Conjunto Generador	1.1	Generador	produce y suministra energía de 28,5 V CC, 600 A a una aeronave estacionada u otras cargas.
	2	Conjunto Rectificador	2.1	Rectificador	convierte la salida de Corriente Alterna del generador a 28,5 Voltios de Corriente Continua.
Mecánico – Motor	3	Motor de combustión interna	3.1	Polea de ventilador	Aloja la correa por medio de la cual se transmite el movimiento desde la volante del motor
	4	Sistema eléctrico del motor	4.1	Alternador 12 VDC	cargar las baterías y alimentar el sistema eléctrico interno
	5	Sistema de abastecimiento de combustible	5.1	Cuello y tapa de llenado de combustible.	permite el reabastecimiento de combustible desde el exterior
	6	Sistema de enfriamiento, refrigeración	6.1	Radiador y Enfriador de aire de carga	Disminuye la temperatura del aire de admisión
	7	Sistema de Admisión de aire	7.1	Múltiple de admisión	Permite la entrada de aire desde el filtro de aire hasta la cámara de combustión
	8	Sistema de lubricación	8.1	Carter	Contiene el aceite del motor
	9	Sistema de extracción de gases	9.1	Múltiple de escape	Permite la salida de los gases de escape de cada cilindro y los conecta con el turbocargador
Indicación y Control	10	Sistema de indicación y control Generador	10.1	Voltímetro CC (M406)	muestra la salida de voltaje del rectificador.
	11	Conjunto Sistema de indicación y control motor	11.1	Interruptor resortado de arranque (S401)	cierra el solenoide de arranque circuito y arranca el motor.
	12	Caja de Control interna	12.1	Relé de sobrevoltaje (K403)	Interrumpe el suministro de energía en caso de sobrevoltaje.
Complementarios	13	Estructura, chasis y remolcador	13.1	Chasis	conecta todos los conjuntos de la planta, soporta las cargas estructurales de diseño

Fuente 21 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

3.2. Análisis de los modos, causas y efectos del fallo y cómo afecta al funcionamiento general del grupo

Ciertamente al desarrollar un análisis profundo de las causas y efectos de fallas con el método de RCM, mediante este se determinan las actividades para que este siga en operatividad de forma eficiente; para que esto funcione debemos conocer la secuencia del proceso del RCM, inicialmente con el fin de poder determinar una decisión y encontrar patrones en las fallas que sean identificables. Dichas características permitirán resolver problemas encontrados, la Metodología aplicada busca reducir las fallas producidas por el equipo.

Tabla 13 Análisis Grupo – Evento

	Grupo	N°	EVENTO
1	Conjunto Generador	1.1	Equipo no entrega corriente de salida
		1.2	Salida del generador nula (o baja) Tensión en todas las fases.
2	Conjunto Rectificador	2.1	Salida del generador nula (o baja)
3	Sistema de arranque eléctrico	3.1	Equipo no arranca
4	Motor Diésel	4.1	Equipo no arranca
		4.2	Batería descargada
5	Sistema de combustible	5.1	Fluctuación de voltaje
		5.2	Parada durante la operación
6	Sistema de enfriamiento,	6.1	Alta Temperatura De Refrigerante
7	Sistema de Admisión de aire	7.1	Restricción de aire de admisión
8	Sistema de lubricación	8.1	Escape de lubricante
		8.2	Equipo no arranca
9	Sistema de escape	9.1	Ruido excesivo
		9.2	Humo negro
10	Sistema de indicación y control Generador	10.1	Tablero de control aislado
		10.2	Señal de voltaje inexistente
11	Sistema de monitoreo y control del Motor	11.1	Display no enciende
		11.2	Valores de los parámetros no coinciden
12	Estructura, chasis y remolcador	12.1	Equipo corroído
		12.2	Llantas bloqueadas

Fuente 22 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Nota: La tabla completa se encuentra en el archivo anexo

Sin embargo, la NTP 679 define el análisis de los modos (síntomas), *“como la forma en la que una pieza o conjunto pudiera fallar potencialmente a la hora de satisfacer el propósito de diseño/proceso, los requisitos de rendimiento y/o las expectativas del cliente”* (AMFE, 2021). El análisis de causa raíz o RCA pone a pensar en el problema como si fuera uno común, se asume la prevención y la solución, bajo la unión de técnicas asociadas a unas tendencias que son realizadas por los procesos, los cuales son actualizados de manera continua para el mejoramiento de este.

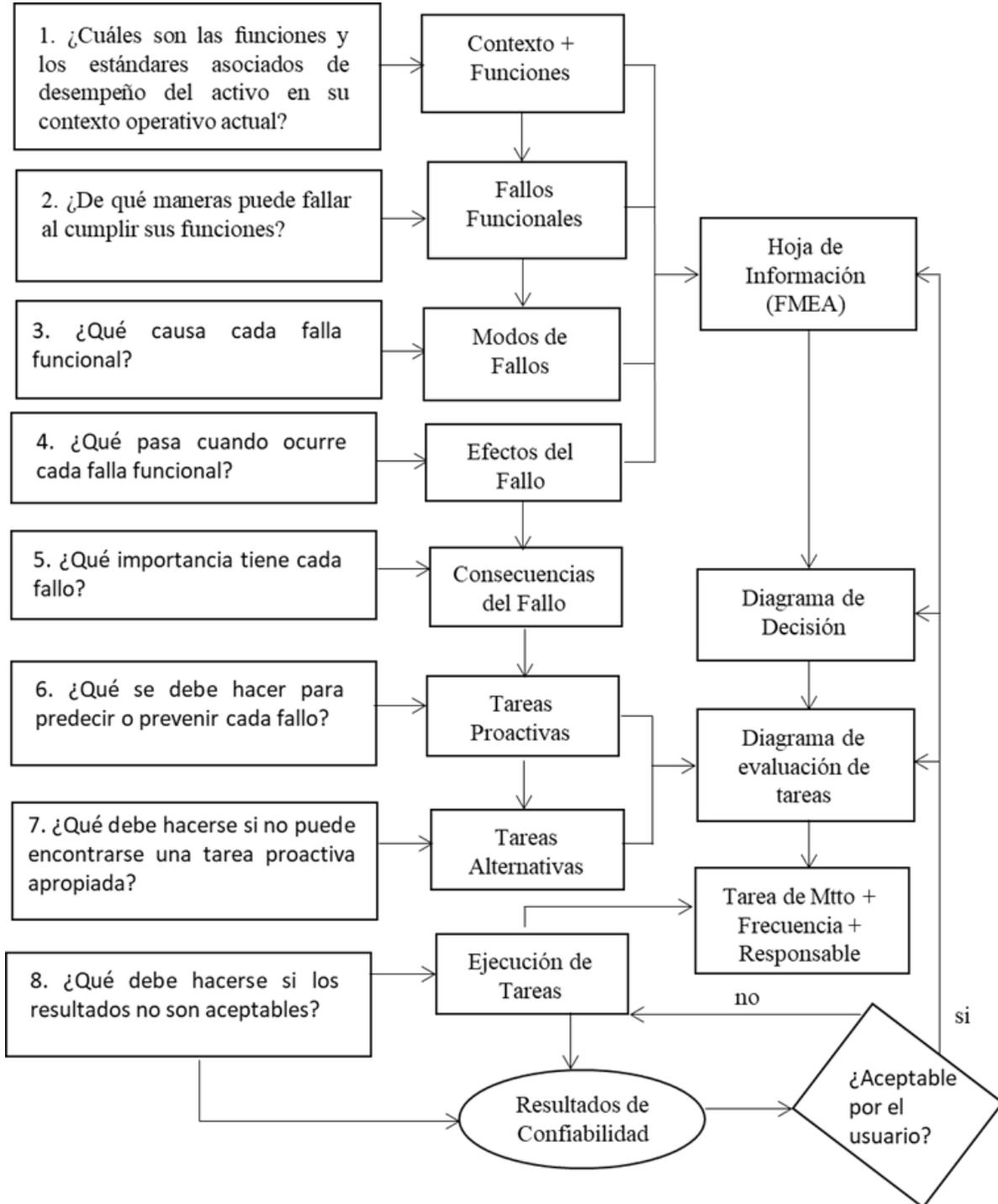
Todo esto indica que los equipos cuando revelan sus efectos de causas de fallos, algunas de ellas están asociadas al mal uso o abuso por parte del operador, errores de fabricación, errores de instalación, a veces un mal mantenimiento o uno inadecuado. Tales factores pueden provocar averías, causando pérdidas e incrementos de los costos de la empresa. Debe recordarse siempre que *“el análisis de fallas de un sistema conlleva aplicar destrezas de tipo cognitivas tanto para las mecánicas como las humanas y una estrategia de avanzada es la metacognición”* (Villarrol, 2020).

Tabla 14 Evento – Falla

EVENTO	COD.	FALLA	EVENTO	COD.	FALLA
Equipo no entrega corriente de salida	1.1.1	Ruptura cable de entrega	Restricción de aire de admisión	7.1.1	Sensor de presión diferencial defectuoso
Salida del generador nula (o baja)	2.1.1	Diodo en cortocircuito en el rectificador del excitador	Escape de lubricante	8.1.1	Empaque de cárter averiado
Equipo no arranca	3.1.2	Batería descargada	Equipo no arranca	8.2.1	Sensor de bajo nivel de aceite activado
Equipo No Arranca	4.1.1	Tanque de combustible vacío	Baja presión de aceite	8.3.1	Aceite degradado o contaminado
Batería descargada	4.2.1	Bajo nivel de electrolito	Ruido excesivo	9.1.1	Silenciador roto
Fluctuación de voltaje	5.1.1	Filtro de combustible sucio	Humo negro en escape	9.2.1	Válvulas descalibradas
Parada durante la operación	5.2.1	Nivel bajo de combustible	Señal de voltaje inexistente	10.2.1	Conectores del arnés sueltos
Consumo de combustible excesivo	5.3.1	Filtro de aire obstruido	Motor no arranca	11.3.1	Conexiones y elementos sueltos
Alta Temperatura De Refrigerante	6.1.1	Bajo nivel de refrigerante	Chasis corroído	12.3.1	Equipo expuesto a la intemperie

Fuente 23 Información suministrada por la Aviación Naval

Figura 10 Secuencia del RCM



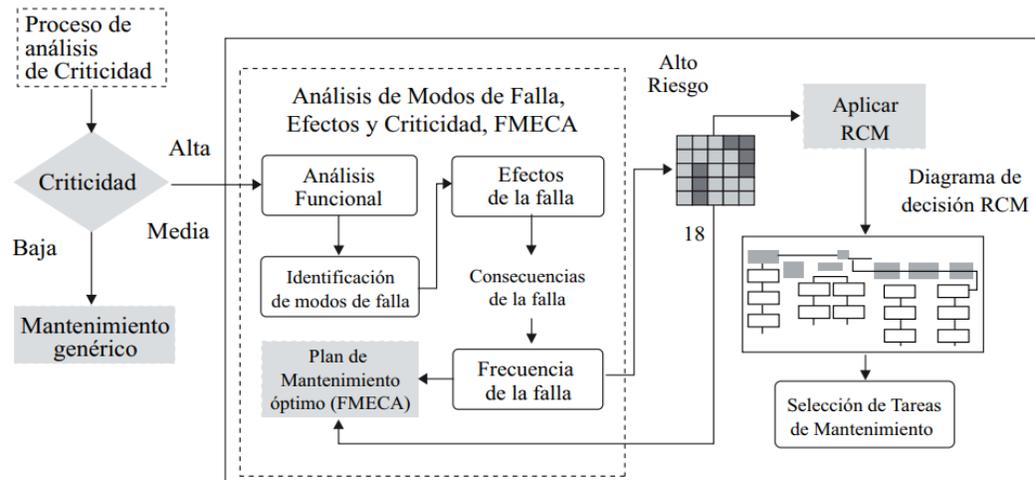
Fuente 24 (Cabrera Ramón & Tapia González, 2019)

3.3. Determinación de los modos de Fallo Funcional

Debe tenerse presente que los modos de fallo *“es una causa de falla, cuando un sistema tiene muchas maneras posibles de fallar, tiene múltiples modos de falla o riesgos que compiten. Mientras más complejo es un sistema, más modos de falla tendrá”* (Montoya Escobar, 2017). Cabe resaltar que en el momento en que se ejecute el levantamiento de una falla, se debe plantar a detalle la lógica de cada estado de falla que se pueda detectar en equipos similares.

Por otro lado, al identificar esos modos de fallas se deberían identificar a su vez los efectos de las fallas, donde dentro del procedimiento de mantenibilidad de los equipos, se debe indicar qué se debería realizar si una falla se presenta, se debe tener en cuenta que antes de realizar una clasificación del modo de falla, se deben solucionar interrogantes asociados a los síntomas que presenta, como por ejemplo: si muestra algún indicador luminoso durante la falla, su velocidad es afectada, cuál es, puede presentar explosión el equipo, dicha falla afectaría el prestigio empresarial, tiene afectaciones al medio ambiente y dicha falla es fácil de detectar.

Figura 11 Proceso de Gestión del Mantenimiento aplicando el análisis de modos de fla y sus efectos y criticidad, AMFEC



Fuente 25 <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>

Tabla 15 Efectos de las fallas

Cod.	Modo de falla	Efectos de la falla	Consecuencias de Falla
1.1.1	Equipo no enciende	Daño Motor de combustión interna	Pérdida de producción y/o Operaciones, aumento de gases
1.1.2	Equipo no genera	Daño Motor de combustión interna	Pérdida de producción y/o Operaciones, aumento de gases
1.1.3	Regulador de voltaje	Perdida de Potencia	Pérdida de producción y/o Operaciones, aumento de gases
1.2.1	Avería Válvula de escape	Válvula EGR defectuosa	Gases de escape. Problemas de arranque y potencia limitada del motor
1.2.2	Daño Silenciador	Bajo rendimiento del motor	Pérdida de producción y/o Operaciones, perdida de potencia
1.2.3	Avería en el catalizador	Pérdida de potencia	Mayor consumo de combustible y olor a combustible no quemado
1.3.1	Daño estructural	Grietas que forman por pérdida de recubrimiento	Daño de conexiones entre columnas y vigas
2.1.1	Daño en el Depósito de combustible	Daños en la antecámara	Temperaturas elevadas
2.1.2	Perdida de la velocidad de rotación de la máquina	Daño en la Excitatriz	
2.1.3	No genera una frecuencia estable	Daño del embolo de gobernación	
2.2.1	Daño Bomba de inyección	Pérdida de presión	Pérdida de producción y/o Operaciones, Problemas de arranque

2.2.2	Avería Filtros de combustible	Ruido del motor	Provoca un ralenti irregular
2.2.3	Daño Inyectores	Problemas con la conducción	Ralenti áspero e irregular
2.3.1	Avería en el Carter	Consumo excesivo de aceite	Pérdida de producción, fugas o contaminación
2.3.2	Avería Bomba de aceite	Exceso de fricción y temperatura	Pérdida de producción y/o Operaciones, grietas
2.3.3	Daño Filtro de aceite	Taponamiento del filtro	Aumento del consumo de aceite por ruptura del filtro
3.1.1	Avería en el Depósito de combustible	Sobrecalentamiento	Pérdida de producción y/o Operaciones, perdida de potencia

Fuente 26 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Nota: Muestra el Efecto de falla de la planta GPU.

3.4. Establecimiento de las consecuencias de falla

Cabe resaltar que dentro del proceso del RCM como siguiente paso a la determinación de funciones, fallas funcionales, modos de falla y sus efectos, se deben realizar las preguntas: ¿cómo y cuánto afecta dicha falla?, ¿cómo se debe prevenir? Cuando se cuenta con esta metodología de RCM dicho análisis es profundo, dando como consecuencias varias categorías. La primera está asociada a las fallas ocultas o evidentes, su impacto es alto y afecta directamente a la productividad; la segunda asociada a la seguridad y el medio ambiente, su impacto es medio o afecta al medio ambiente o solo en su entorno; la tercera tiene que ver con la consecuencia operacional, esta afecta los costos de la empresa aumentándolos; y por último la consecuencia No operar, que solo afecta el costo de reparación del activo.

Tabla 16 Falla - Afectación al Funcionamiento General del Grupo al que Pertenece

FALLA		AFECCIÓN AL GRUPO AL QUE PERTENECE	FALLA		AFECCIÓN DEL GRUPO AL QUE PERTENECE
1.1.1	Ruptura cable de entrega	Imposibilidad de generación de voltaje y alimentación a las aeronaves	8.1.1	Empaque de cárter averiado	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, rupturas de O-ring,
1.1.2	Conector defectuoso en el regulador de voltaje o cableado defectuoso desde el regulador al campo		8.1.2	Empaque tapa de culata averiado	
			8.2.1	Sensor de bajo nivel de aceite activado	

	excitador				trabajos de reparación y/o reconstrucción
1.1.3	embobinado abierto o en cortocircuito en el estator del generador (G1)		8.2.2	Obstrucción en la entrada al sensor de presión de aceite	
3.1.2	Batería descargada	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	9.1.1	Silenciador roto	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia
3.1.3	Bornes de la batería sulfatados		9.2.1	Válvulas descalibradas	
4.1.1	Tanque de combustible vacío	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	9.2.2	Daño Bomba inyección	
4.1.2	Entrada de combustible obstruida		9.2.3	Dañado Inyector combustible	

Fuente 27 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Nota: La tabla completa se encuentra en el archivo anexo.

3.5. Propuesta de acciones a realizar al activo para predecir o prevenir la ocurrencia de falla y garantizar los recursos para su ejecución

Luego de haber realizado el análisis del árbol de problemas surgen como solución las siguientes tareas de mantenimiento con el fin de poder predecir o prevenir la ocurrencia de la falla y poder garantizar la optimización de los recursos utilizados en este, para el equipo debemos tener en cuenta lo siguiente:

Tabla 17 Categorías de consecuencia

Categoría	Menor C1	Moderado C2	Grave C3	Catastrófico C4
A las personas				
Seguridad y salud del operador	Primeros auxilios	Lesiones menores sin incapacidad	Hospitalización incapacidad parcial o total temporal	Una o más fatalidades; Lesionados graves con daños irreversibles
Al Ambiente				
Descargas y derrames	Contingencia controlable.	Derrame significativo en tierra hacia ríos o cuerpos de agua.	Contaminación de un gran Volumen de agua	Efecto sobre la flora y fauna
Producción				

Pérdida de producción, daños a las instalaciones	Daños a las instalaciones y pérdida de la producción, menor a 5 millones de pesos	Daños a las instalaciones y pérdida de la producción, hasta 10 millones de pesos	Daños a las instalaciones y pérdida de la producción de hasta 20 millones de pesos	Daños a propiedades o a las instalaciones; pérdida mayor a 20 millones de pesos
--	---	--	--	---

Fuente 28 Elaboración propia Foto suministrada por la Aviación Naval

Nota: Muestra la Consecuencias de falla.

Tabla 18 Falla – categoría de Consecuencia

FALLA		CATEGORÍA DE LAS CONSECUENCIAS	CONSECUENCIAS
1.1.1	Ruptura cable de entrega	C2	Operacional
1.2.1	Conector defectuoso en el regulador de voltaje o cableado defectuoso desde el regulador al campo excitador	C1	Operacional

Fuente 29 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Nota: La tabla completa se encuentra en el archivo anexo.

Tabla 19 Consecuencias - Efecto ¿Qué Sucede Cuando Se Produce La Falla? - Afectación

Código falla	Consecuencias	Efecto ¿Qué sucede cuando se produce la falla?	Afectación al funcionamiento general del grupo al que Pertenece
1.1.1	Operacional	No hay suministro eléctrico eficiente para los componentes del conjunto Transformador - rectificador	Imposibilidad de generación de voltaje y alimentación a las aeronaves
1.2.1	Operacional		
2.1.1	Operacional	No hay estabilidad de suministro eléctrico para suministrar voltaje y corriente a equipos y sistemas externos	Imposibilidad de arranque del motor Diesel
3.1.2	operacional	La alimentación eléctrica de la planta es insuficiente para el inicio parcial o total de la operación del equipo	
3.1.3	operacional		
4.1.1	operacional	Funcionamiento anormal, con indicaciones por fuera de los parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diesel
4.1.2	operacional		
4.1.3	operacional		
4.2.1	operacional	La alimentación eléctrica de la planta es insuficiente para mantener la operación correcta de otros componentes lo que lleva a una serie de errores y el apagado de la planta	Imposibilidad de arranque del motor Diesel
4.2.2	operacional		
4.2.3	operacional		
5.1.1	No operacional	El motor funciona de manera irregular, con fluctuaciones de potencia.	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves
5.1.2	operacional		
5.2.1	operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves
5.2.2	No operacional		
5.2.3	No operacional		

Fuente 30 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Nota: La tabla completa se encuentra en el archivo anexo.

Tabla 20 Afectación - Estrategia de Mantenimiento

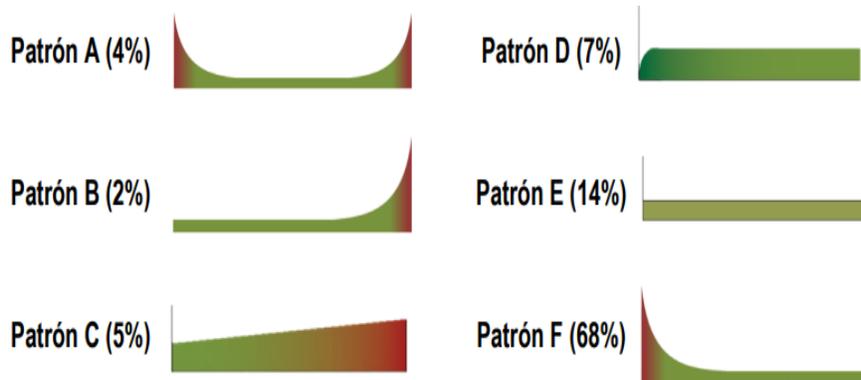
Afectación Al Funcionamiento General Del Grupo Al Que Pertenecer	Cod. falla	Estrategia De Mantenimiento
Imposibilidad de generación de voltaje y alimentación a las aeronaves	1.1.1	Mantenimiento preventivo, tarea TD
	1.2.1	Mantenimiento preventivo, tarea TD
	2.1.1	Mantenimiento preventivo, tarea RTF
Imposibilidad de arranque del motor Diesel	3.1.2	Mantenimiento preventivo, tarea TD
	3.1.3	Mantenimiento preventivo, tarea TD
	3.1.4	Mantenimiento preventivo, tarea CD
Imposibilidad de arranque del motor Diesel	4.1.1	Mantenimiento preventivo, tarea TD
	4.1.2	Mantenimiento preventivo, tarea TD
	4.1.3	Mantenimiento preventivo, tarea TD
	4.1.4	Mantenimiento preventivo, tarea TD
	4.1.5	Mantenimiento preventivo, tarea CD

Fuente 31 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Nota: La tabla completa se encuentra en el archivo anexo.

Es bien conocido que “en 1978 se cambiaron todas las creencias que se tenían sobre el mantenimiento, en cuanto al desgaste por la relación desempeño y el tiempo de operación; gracias a una publicación sobre el estudio de los patrones de falla de los aviones, realizada a través de United Airlines” (Pérez Jaramillo & Córdoba Uribe, 2021).

Figura 12 Patrones de Falla (Industria Aeronáutica)



Fuente 32 (Pérez Jaramillo & Córdoba Uribe, 2021).

La Figura 12 muestra que en realidad hay distintas formas de ocurrencia de fallos a través del tiempo, generalizadas en seis tipos de patrones, resumidos en sus respectivos gráficos.

Patrón A “curva de la bañera”. Una alta ocurrencia de fallas al inicio, luego una disminución de la frecuencia de fallas y, posterior un incremento potencial de la probabilidad de falla.

El patrón B inicia con un número pequeño de fallas que concluye con un incremento potencial de probabilidad de falla.

El patrón C tiene un incremento constante desde el inicio hasta el final.

El patrón D tiene una probabilidad de falla baja con un aumento de fallos acelerados que se mantienen en cantidad a través del tiempo.

El patrón E muestra una cantidad constante de probabilidad de falla a través del tiempo.

El patrón F comienza con una frecuencia de fallos muy alta, que desciende abruptamente hasta lograr una cantidad baja de fallos a través del tiempo.

Estos estudios realizados en la aviación civil mostraron que el 4% de las causas de falla coincide con el patrón A; el 2% con el B; el 5% con el C; el 7% con el D; el 14% con el E; y un 68% con el patrón F” (Pérez Jaramillo & Córdoba Uribe, 2021).

Figura 13 Asignación de tareas de mantenimiento

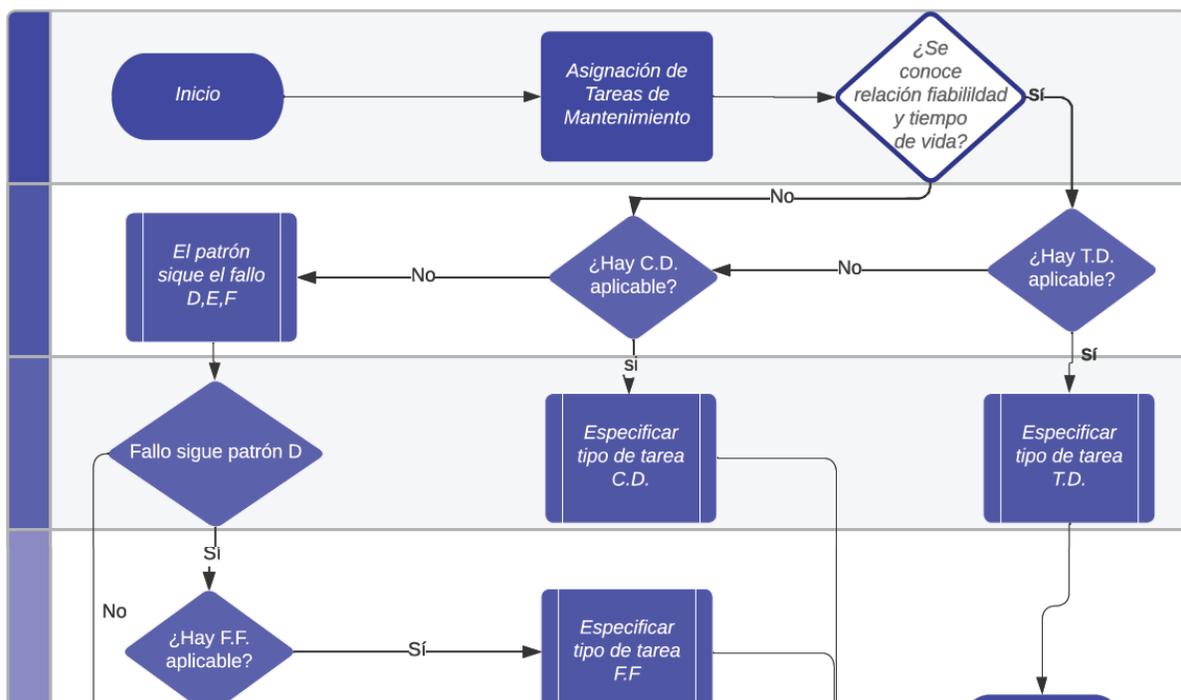


Tabla 21 Estrategia De Mantenimiento - Acciones Para Predecir O Prevenir La Ocurrencia De La Falla

Código falla	Estrategia de Mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla
1.1.1	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificar que el cable de salida se encuentre en buen estado. De igual manera verificar la conexión de alimentación a aeronaves por corrosión y estado general.
1.2.1	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificando que éstas no tengan partes sulfatadas, en mal estado verificando especialmente el estado de los terminales y conectores.
1.3.1	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección por parte del especialista eléctrico, las partes eléctricas internas que hacen parte integral de cada componente, por limpieza y sulfatación
1.4.1	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspeccionar las conexiones eléctricas, verificando que éstas no tengan partes sulfatadas, en mal estado verificando y retoque los terminales y conectores.
2.1.1	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla
3.1.2	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario e implementación de tarea de inspección mensual de las baterías por parte del personal de mantenimiento
3.1.3	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario e implementación de tarea de inspección mensual de las baterías por parte del personal de mantenimiento
3.1.4	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar prueba semanal a los dispositivos de parada y arranque por parte del operador
3.1.5	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario
3.1.6	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla

4.1.1	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario
4.1.2	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación de la apertura de la válvula de salida de combustible del tanque por parte del operario
5.1.1	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Drenaje de filtros durante el chequeo preoperacional por parte del operario, cambio de filtros primario y secundario de combustible acuerdo recomendación del fabricante por parte del personal de mantenimiento
5.1.2	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Establecer protocolos de verificación del tipo y calidad de combustible que llega a los tanques de almacenamiento del aeropuerto
5.2.1	Mantenimiento preventivo, tareas TD / CD	Realizar inspecciones durante la operación / instalación de un sensor de bajo nivel de combustible en el tanque

Fuente 34 Elaboración propia suministrada por la Aviación Naval

Nota: La tabla completa se encuentra en el archivo anexo.

3.6. Análisis integral de los Resultados

A través del análisis de RCM de las plantas Generadoras GPU HOBART pudieron ser detectadas oportunidades de mejora en el plan de mantenimiento para los Equipos de Tierra de Apoyo Aéreo del GANCA.

Por medio del desglose del equipo, la determinación de las funciones, los eventos, fallos y consecuencias de cada componente, se pudo especificar los puntos críticos para enfocar nuestro análisis. Esto sirvió de punto de partida para diseñar una propuesta de mantenimiento aplicable a estas GPU, que servirá de recurso y herramienta para aumentar la disponibilidad, realizando acciones preventivas y/o predictivas, optimizando los tiempos de actividades de mantenimiento y evitando los sobrecostos operativos y de falta de disponibilidad que ocasionan las paradas de los equipos.

Se debe entender que el RCM no busca realizar un rediseño del equipo, sino mantenerlo y optimizar su funcionamiento, con la evaluación de resultados que benefician el proceso y el aumento de la operatividad.

Es por esto, que se sugiere a corto plazo, establecer un plan de capacitación a cerca de la metodología RCM, dirigido el personal encargado de los equipos en tierra. Esta capacitación debe ir enfocada a adquirir las habilidades necesarias para analizar y diseñar estrategias de mantenimiento que puedan prevenir o anticipar la ocurrencia de las fallas en los equipos, tal como se realizó en la presente investigación y a mediano plazo crear un grupo de confiabilidad que se integre al departamento de mantenimiento. Se considera que el siguiente grupo de equipos a los que se le debe aplicar la metodología son los tractores livianos de remolque, ello redundaría en el aumento de la capacidad operativa de la instalación militar.

Conclusiones y Recomendaciones

Basados en la información recolectada al inicio de la investigación, se trabajó en el logro del cumplimiento del objetivo general establecido inicialmente, esto a través de una secuencia de acciones lógicas.

En primer lugar, se realizó la clasificación y contextualización de las funciones operacionales de cada componente, se recopiló la información suministrada por el departamento de mantenimiento del GANCA, la cual estaba consignada en registros de mantenimiento, historial de cada planta, reportes de novedades y copia de los contratos de reparación y mantenimientos efectuados.

Para el desarrollo del segundo objetivo específico, se identificaron los fallos que ocasionaban imprevistos, encarecimiento de los costos de mantenimientos y generando aumento de la indisponibilidad de las plantas GPU dentro de la operación; para esto se catalogaron los componentes en cuatro grupos, se analizó la clase y número de fallas en cada uno de ellos. Ya teniendo esta información, se utilizaron tablas estadísticas para identificar los componentes que tenían mayor recurrencia de fallas, lo que permitió definir a qué grupo de componentes debía ir

enfocado el análisis.

Finalmente, se siguió la secuencia del árbol de decisiones lógicas, para aplicar los criterios de un proceso de RCM de acuerdo a la norma SAE JA 1101; a partir de esta información se construyó una matriz que contiene la información de los modos de fallos, consecuencias, tipo de consecuencias, estrategias de mantenimiento, acciones para prevenir la ocurrencia de las fallas y asignación de tareas de mantenimiento.

Durante el desarrollo de la investigación se encontró que existen diferentes modelos de aplicación de la metodología de RCM, unos más complicados que otros, lo que puede generar confusión en el grupo de analistas de mantenimiento, dando como resultado que se extiendan los tiempos de implementación de las estrategias y peor aún que estas sean erróneas.

Se recomienda al GANCA aplicar el árbol de decisiones para la asignación de tareas de mantenimiento utilizado en esta investigación, ya que es bastante intuitivo y de fácil desarrollo, sobre todo teniendo en cuenta que el departamento responsable de las GPU carece de personal asignado para tareas de confiabilidad, de igual forma se considera que esta metodología puede ser replicada en otras máquinas, equipos o herramientas de la Armada de Colombia.

Anexos

Anexo 1

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II – GPU GENERATOR HOBART JETEX6D		INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista		Universidad Antonio Nariño Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22		
Subsistema	Grupo	Equipo		Función principal		
Electro – Generador	1	Conjunto Generador	1.1	generador	GPU-EGD-CG-GEN	produce y suministra energía de 28,5 V CC, 600 Amp, a una aeronave estacionada u otras cargas.
			1.2	escobillas	GPU-EGD-CG-ESC	permite el contacto eléctrico entre la parte fija y la giratoria dentro del generador
			1.3	embobinado	GPU-EGD-CG-EMB	une los lados activos, como los hilos de conexión que unen las bobinas entre sí, con el colector
			1.4	Eje principal	GPU-EGD-CG-EJP	transmite la energía mecánica del motor hacia el generador
			1.5	Rodamientos	GPU-EGD-CG-ROD	reduce la fricción en la conexión entre el eje y el generador
	2	Conjunto Rectificador	2.1	rectificador	GPU-EGD-CR-ROD	convierte la salida de Corriente Alterna del generador a 28,5 Voltios de Corriente Continua.
			2.2	condensador (C401)	GPU-EGD-CR-CND	proporciona retroalimentación de corriente al regulador con el fin de compensar la caída de línea y la corriente.
			2.3	Resistencias de precarga (R403 – R405)	GPU-EGD-CR-RPC	Suaviza el voltaje de salida de CC por un filtro R-C formado por el capacitor y la precarga
			2.7	Diodos negativos (CR405 – R410)	GPU-EGD-CR-DNE	Forma un rectificador de onda completa de 6 fases.
			2.8	Shunt (R407)	GPU-EGD-CR-SHU	proporciona retroalimentación de corriente al regulador con el fin de compensar la caída de línea y la corriente.
Mecánico – Motor	3	Motor de combustión interna	2.9	bloque de terminales (TB3)	GPU-EGD-CR-BTM	proporciona un punto de conexión para los cables de campo y los cables del excitador.
			3.1	Polea de ventilador	GPU-MMO-MC-PVE	Aloja la correa por medio de la cual se transmite el movimiento desde la volanta del motor
			3.2	Amortiguador de vibraciones	GPU-MMO-MC-AVI	Absorbe las vibraciones armónicas generadas en el cigüeñal
			3.3	Módulo de control eléctrico preprogramado (ECM)	GPU-MMO-MC-ECM	monitorea, registra y controla el rendimiento de motor.
	4	Sistema eléctrico del motor	3.4	Tensor de la correa	GPU-MMO-MC-TCR	Permite realizar el ajuste de tensión de la correa
			4.1	Alternador 12 VDC	GPU-MMO-SE-ALT	cargar las baterías y alimentar el sistema eléctrico interno
			4.2	arrancador(B401) and solenoide (L401) 12VDC	GPU-MMO-SE-STA	Transforma energía eléctrica de la batería en movimiento mecánico en su eje, para que el motor de arranque haga girar la volanta del motor Diesel
			4.3	Batería	GPU-MMO-SE-BAT	alimentar la planta GPU a través de la energía eléctrica almacenada
			4.4	Correa de distribución	GPU-MMO-SE-DIS	Sincronizar de los ejes principales del motor
	5	Sistema de abastecimiento de combustible	4.5	Cableado	GPU-MMO-SE-WIR	transportar energía eléctrica a subsistemas
			5.1	Cuello y tapa de llenado de combustible.	GPU-MMO-SC-CAP	permite el reabastecimiento de combustible desde el exterior
			5.2	Tanque de almacenamiento	GPU-MMO-SC-TAN	almacena el combustible para operación de la planta
			5.3	Mangueras de combustible	GPU-MMO-SC-PIP	A través de estas fluye el combustible desde el tanque de expansión hasta la bomba de inyección
			5.4	Bomba de inyección de combustible	GPU-MMO-SC-BIN	Elevar la presión de combustible de entrega a los inyectores
	6	Sistema de enfriamiento, refrigeración	5.5	Filtro de combustible	GPU-MMO-SC-FIL	separar partículas, suciedad y agua del combustible
			6.1	Radiador y Enfriador de aire de carga	GPU-MMO-SR-RAD	Disminuye la temperatura del aire de admisión
			6.2	Ventilador de refrigeración del motor	GPU-MMO-SR-VEN	Provee el flujo de aire necesario para que se realice el intercambio de calor aire - refrigerante
			6.3	Sensor de bajo nivel de refrigerante	GPU-MMO-SR-SEN	Genera indicación de bajo nivel de refrigerante en el tanque de expansión
			6.4	Termostato	GPU-MMO-SR-TER	Dependiendo la temperatura del refrigerante permite o no el paso de refrigerante hacia el radiador
			6.5	Bomba de circulación de agua	GPU-MMO-SR-BAG	Genera el flujo del refrigerante en el circuito cerrado del motor
			6.6	Ventilador	GPU-MMO-SR-VEM	Provee el flujo de aire necesario para que se realice el intercambio de calor aire - refrigerante
	7	Sistema de Admisión de aire	6.7	Tanque de expansión	GPU-MMO-SR-TAN	Contiene el líquido refrigerante y mantiene la presurización del sistema
			7.1	Múltiple de admisión	GPU-MMO-SA-MAD	Permite la entrada de aire desde el filtro de aire hasta la cámara de combustión
			7.2	Filtro de aire	GPU-MMO-SA-FIL	separar partículas y suciedad del aire de admisión
			7.3	Turbocargador	GPU-MMO-SA-TCG	Aumenta la presión y temperatura del aire de admisión
	8	Sistema de lubricación	7.4	Mangueras	GPU-MMO-SA-PIP	Permite el acople entre la salida del turbocargador y el múltiple de admisión
			8.1	Carter	GPU-MMO-SL-CAR	Contiene el aceite del motor
			8.2	Bomba de aceite	GPU-MMO-SL-BAC	Genera el flujo de aceite a través de las galerías y partes móviles del motor
			8.3	Filtro de aceite	GPU-MMO-SL-FIL	separar partículas y suciedad del aceite
9	Sistema de extracción de gases	8.4	Mangueras	GPU-MMO-SL-PIP	A través de estas fluye el aceite hacia el filtro	
		9.1	Múltiple de escape	GPU-MMO-SG-MES	Permite la salida de los gases de escape de cada cilindro y los conecta con el turbocargador	
		9.2	Tubería de escape	GPU-MMO-SG-TES	expulsa los gases de combustión hacia el múltiple de escape	
			9.3	Exosto	GPU-MMO-SG-EXH	Permite la salida de los gases de escape que salen del turbocargador

Anexo 1

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II – GPU GENERATOR HOBART JETEX6D		INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista		Universidad Antonio Nariño Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22		
Subsistema	Grupo	Equipo		Función principal		
Indicación y Control	10	Sistema de indicación y control Generador	10.1	Voltímetro CC (M406)	GPU-CGN-SC-VOL	muestra la salida de voltaje del rectificador.
			10.2	Amperímetro CC (M407)	GPU-CGN-SC-AMP	muestra la salida de corriente del generador.
			10.3	Iluminación Tablero (S405)	GPU-CGN-SC-TIL	Ilumina el panel de indicación y control
			10.4	Potenciómetro Limitador de corriente	GPU-CGN-SC-LIM	selecciona la corriente de arranque recomendada para la necesidad de cada aeronave
			10.5	Interruptor de luces de Panel (S405)	GPU-CGN-SC-SWI	enciende las luces del panel de indicación y control
			10.6	Interruptor de Control del contactor (S408)	GPU-CGN-SC-INT	cierra y abre el contactor de carga de salida.
			10.7	Luz de indicación de Contactor cerrado (DS408)	GPU-CGN-SC-IND	ilumina en verde cuando el contactor de carga de salida está cerrado.
	11	Conjunto Sistema de indicación y control motor	11.1	Interruptor resortado de arranque (S401)	GPU-CMO-SI-SON	cierra el solenoide de arranque circuito y arranca el motor.
			11.2	Interruptor de apagado de motor (S404)	GPU-CON-SI-SOF	activa el retraso modo de apagado y el motor se detendrá en aproximadamente 4 minutos
			11.3	Interruptor de apagado por emergencia	GPU-CON-SI-EMR	apaga el motor instantáneamente
			11.4	Sistema de apagado por alta temperatura del refrigerante	GPU-CON-SI-STR	apaga el motor en caso de alta temperatura de refrigerante
			11.5	Sistema de apagado por presión de aceite	GPU-CON-SI-SPA	apaga el motor en caso de alta temperatura de aceite
			11.6	Luz de indicación motor encendido (DS407)	GPU-CON-SI-IME	ilumina en verde cuando el motor está encendido
			11.7	Interruptor de control de aumento de potencia de motor (S406)	GPU-CON-SI-CPM	ordena subir o bajar la velocidad del motor en RPM
			11.8	Luz de indicación de calentador del motor (DS426)	GPU-CON-SI-ITM	enciende cuando el calentador del motor está funcionando
			11.9	Indicador de temperatura de agua (M404)	GPU-CON-SI-ITW	indica la temperatura del refrigerante del motor
			11.10	Luz de indicación de filtro de aire obstruido (DS412)	GPU-CON-SI-IFA	se enciende cuando es necesario cambiar el filtro de aire.
			11.11	Indicador de presión de aceite (M405)	GPU-CON-SI-IPA	muestra la presión en el sistema de lubricación del motor
			11.12	Indicador de cantidad de Combustible (M408)	GPU-CON-SI-ICF	indica la cantidad de combustible que queda en el tanque
			12	Caja de Control interna	11.13	Tacómetro (M403)
	11.14	Horómetro (M402)			GPU-CON-SI-HOR	registra el total de horas de funcionamiento del motor para programar el mantenimiento
	11.15	Voltímetro (batería) (M401)			GPU-CON-SI-VBA	indica el voltaje del sistema eléctrico de CC de 12 voltios del motor.
	11.16	Interruptor de desconexión de batería			GPU-CON-SI-SBF	permite la desconexión de batería para el mantenimiento
	12.1	Relé de sobrevoltaje (K403)			GPU-CON-BX-RSV	Interrumpe el suministro de energía en caso de sobrevoltaje.
	12.2	Regulador de voltaje (VR402)			GPU-CON-BX-RVO	regula el voltaje de salida del generador de 28,5 V CC.
	12.3	Rectificadores de excitación (CR417 and CR418)			GPU-CON-BX-RVO	convierten un voltaje de CA del inducido del generador en voltaje de CC
	12.4	Fusible del regulador de voltaje (10 A) (F403)			GPU-CON-BX-FRV	Filtra los voltios de excitación de CC producidos por los rectificadores
	12.5	Conector de arnés del rectificador	GPU-CON-BX-ARN	proporciona conexiones entre la caja de control y el conjunto del rectificador.		

Anexo 1

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II – GPU GENERATOR HOBART JETEX6D		INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista		Universidad Antonio Nariño Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22	
Subsistema	Grupo	Equipo	Función principal		
		(J43)			
		12.6 Conector de amés del motor (J46– Power)	GPU-CON-BX-CAR	proporciona conexiones entre la caja de control y los componentes del motor.	
		12.7 Rectificador de bloqueo (CR401)	GPU-CON-BX-TRB	acumulación automática de voltaje del generador.	
		12.1 Indicador de pruebas de motor (DS68) 0	GPU-CON-BX-TES	permitir al usuario encender el control circuitos para diagnóstico y solución de problemas.	
		12.1 Interruptor de código de falla del motor (S82) 2	GPU-CON-BX-FEN	muestran la condición de falla del motor	
		12.1 Interruptor de diagnóstico de motor (S80) 3	GPU-CON-BX-TMO	desplazarse por los códigos de falla del motor,	
		12.1 Cortacircuitos 4	GPU-CON-BX-CBS	conecta o desconecta los circuitos de forma mecánica	
		12.1 Relés 5	GPU-CON-BX-REL	permite e interrumpe el paso de la corriente eléctrica dentro de los diferentes circuitos	
		12.1 fusibles 6	GPU-CON-BX-FUS	protege ante eventuales fallas que se pueden registrar en los circuitos eléctricos	
		12.1 fusible de Interruptor de enclavamiento (5 A) (F413) 7	GPU-CON-BX-FEC	apagará el motor después de un período de enfriamiento del turbo adecuado de aproximadamente 4 minutos.	
Complementarios	13	Estructura, chasis y remolcador	13.1 Chasis	GPU-EST-ET-CHA	conecta todos los conjuntos de la planta, soporta las cargas estructurales de diseño
			13.2 Estructura base	GPU-EST-ET-EBA	protege el motor, generador y controles de la planta
			13.3 Conjunto barra remolcadora, dirección y freno	GPU-EST-ET-BAR	permite la conexión para el arrastre y dirección de la planta. En posición arriba frena las ruedas delanteras
			13.4 Conjunto de eje trasero y ruedas	GPU-EST-ET-EFW	permite el fácil desplazamiento de la planta.
			13.5 Conjunto de eje delantero y ruedas	GPU-EST-ET-ERE	permite el movimiento de la planta, direccionada a través de la barra de arrastre
			13.6 Caseta acústica y compuertas	GPU-EST-ET-ACU	reduce el nivel de ruido operacional en el área inmediata de la planta
			13.7 Bandejas portables	GPU-EST-ET-BAN	permite ubicar los cables de salida de corriente de la planta

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D													
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Universidad Antonio Nariño		Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22	
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla		
Electro-Generador	Conjunto	1.1	Equipo no entrega corriente de salida	1.1.1	Ruptura cable de entrega	C2	Operacional	No hay suministro eléctrico eficiente para los componentes del conjunto Transformador-rectificador	Imposibilidad de generación de voltaje y alimentación a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificar que el cable de salida se encuentre en buen estado. De igual manera verificar la conexión de alimentación a aeronaves por		

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D												
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Universidad Antonio Nariño		Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla	
											corrosión y estado general.	
		1.2	Salida del generador nula (o baja) Tensión en todas las fases. Generador operando a 400 Hz (continuación).	1.2.1	Conector defectuoso en el regulador de voltaje o cableado defectuoso desde el regulador al campo excitador	C1	Operacional	No hay suministro eléctrico eficiente para los componentes del conjunto Transformador-rectificador	Imposibilidad de generación de voltaje y alimentación a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificando que éstas no tengan partes sulfatadas, en mal estado verificando especialmente el estado de los terminales y conectores.	
		1.3	El generador opera en una sola fase	1.3.1	embobinado abierto o en cortocircuito en el estator del generador (G1)	C1	Operacional	No hay suministro eléctrico eficiente para los componentes del conjunto Transformador-rectificador	Imposibilidad de generación de voltaje y alimentación a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección por parte del especialista eléctrico, las partes eléctricas internas que hacen parte integral de cada componente, por limpieza y sulfatación	
		1.4	El generador se sobrecalienta	1.4.1	Conexión floja causando alta resistencia.	C2	No operacional	No hay suministro eléctrico eficiente para los componentes del conjunto Transformador-rectificador	Imposibilidad de generación de voltaje y alimentación a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspeccionar las conexiones eléctricas, verificando que éstas no tengan partes sulfatadas, en mal estado verificando y retorqueando los terminales y conectores.	
	TR	2.1	Salida del generador nula (o baja)	2.1.1	Diodo en cortocircuito en el rectificador del excitador (CR2).	C1	Operacional	No hay estabilidad de suministro eléctrico para suministrar voltaje y corriente a equipos y sistemas externos	Imposibilidad de generación de voltaje y alimentación a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	
		3.1	Equipo no arranca	3.1.2	Batería descargada	C1	operacional	La alimentación eléctrica de la planta es insuficiente para el inicio parcial o total de la operación del equipo	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario e implementación de tarea de inspección mensual de las baterías por parte del personal de mantenimiento	
				3.1.3	Bornes de la batería sulfatados	C1	operacional	La alimentación eléctrica de la planta es insuficiente para el inicio parcial o total de la operación del equipo	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario e implementación de tarea de inspección mensual de las baterías por parte del personal de mantenimiento	
				3.1.4	Pulsador de arranque aislado	C1	operacional	La alimentación eléctrica de la planta es insuficiente para el inicio parcial o total de la operación del equipo	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar prueba semanal a los dispositivos de parada y arranque por parte del operador	
				3.1.5	Parada de emergencia activada	C1	operacional	La alimentación eléctrica de la planta es insuficiente para el inicio parcial o total de la operación del equipo	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario	
				3.1.6	Motor de arranque averiado	C1	operacional	La alimentación eléctrica de la planta es insuficiente para el inicio parcial o total de la operación del equipo	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	
	Motor	4.1	Equipo no arranca	4.1.1	Tanque de combustible vacío	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario	

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D											
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22	
Universidad Antonio Nariño											
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla
								sistemas de la planta GPU			
			4.1.2		Entrada de combustible obstruida	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación de la apertura de la válvula de salida de combustible del tanque por parte del operario
			4.1.3		Filtro de combustible obstruido	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Drenaje de filtros durante el chequeo preoperacional por parte del operario, cambio de filtros primario y secundario de combustible acuerdo recomendación del fabricante por parte del personal de mantenimiento
			4.1.4		Aire en el sistema de combustible	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación del nivel de combustible en el tanque por parte del operario, desaire del sistema luego de las tareas de cambio de filtros por parte del personal de mantenimiento
			4.1.5		Bomba de inyección del combustible defectuosa	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diesel	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de la bomba y verificación de la presión de entrega
			4.1.6		Inyectores del combustible defectuosos o del tipo incorrecto	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de inyectores por parte del personal de mantenimiento y verificación de la temperatura de salida de gases de escape en cada cilindro por parte del operario
			4.1.7		Uso incorrecto del equipo de arranque en frío	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación por parte del operario de la temperatura de refrigerante con el motor diésel apagado a fin de observar la funcionabilidad de la resistencia de precalentamiento
			4.1.8		Transmisión de la bomba de inyección de combustible averiada	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla
			4.1.9		Sincronización incorrecta de la bomba de combustible	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Verificación de especificaciones en el manual de reparaciones una vez se haya intervenido este componente
			4.1.10		Válvulas de admisión y escape desincronizadas	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Calibración de tiempo de apertura de las válvulas de admisión y escape acuerdo intervalo recomendado por el fabricante
			4.1.11		Compresión de aire deficiente	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar pruebas periódicas de compresión de aire en los cilindros

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D													
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Universidad Antonio Nariño		Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22	
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla		
Sistema de combustible			4.1.12	Diámetros interiores de cilindro gastados	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla			
			4.1.13	Asiento de válvulas desgastadas	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de válvulas y prueba de compresión			
			4.1.14	Anillos del pistón averiados, gastados o salientes	C1	operacional	Funcionamiento anormal, indicaciones por fuera de parámetros afectando otros sistemas de la planta GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar pruebas periódicas de compresión de aire en los cilindros			
	4.2	Batería descargada		4.2.1	Bajo nivel de electrolito	C1	operacional	Alimentación eléctrica insuficiente para mantener la operación correcta de otros componentes que lleva a una serie de errores y apagado de GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario e implementación de tarea de inspección mensual de las baterías por parte del personal de mantenimiento		
				4.2.2	Tensión incorrecta de la correa del alternador	C1	operacional	Alimentación eléctrica insuficiente para mantener la operación correcta de otros componentes que lleva a una serie de errores y apagado de GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario		
				4.2.3	Falla en el alternador	C1	operacional	Alimentación eléctrica insuficiente para mantener la operación correcta de otros componentes que lleva a una serie de errores y apagado de GPU	Imposibilidad de arranque del motor Diésel	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Chequeo del voltaje de salida del alternador y estado de la polea		
	5.1	Fluctuación de voltaje		5.1.1	Filtro de combustible sucio	C1	No operacional	El motor funciona de manera irregular, con fluctuaciones de potencia.	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Drenaje de filtros durante el chequeo preoperacional por parte del operario, cambio de filtros primario y secundario de combustible acuerdo recomendación del fabricante por parte del personal de mantenimiento		
				5.1.2	Combustible contaminado	C2	operacional	El motor funciona de manera irregular, con fluctuaciones de potencia.	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Establecer protocolos de verificación del tipo y calidad de combustible que llega a los tanques de almacenamiento del aeropuerto		
				5.2	Parada durante la operación	5.2.1	Nivel bajo de combustible	C1	operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tareas TD / CD	Realizar inspecciones durante la operación / instalación de un sensor de bajo nivel de combustible en el tanque
						5.2.2	Filtro de aire obstruido	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección visual al equipo durante la operación

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D												
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista									Universidad Antonio Nariño		Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22	
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla	
			5.2.3		Bomba de inyección de combustible defectuosa	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de la bomba y verificación de la presión de entrega	
			5.2.4		Inyectores del combustible defectuosos o del tipo incorrecto	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de inyectores por parte del personal de mantenimiento y verificación de la temperatura de salida de gases de escape en cada cilindro por parte del operario	
			5.2.5		Equipo de arranque en frío defectuoso	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación por parte del operario de la temperatura de refrigerante con el motor diesel apagado a fin de observar la funcionalidad de la resistencia de precalentamiento	
			5.2.6		Sincronización incorrecta de la bomba de combustible	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Verificación de especificaciones en el manual de reparaciones una vez se haya intervenido este componente	
			5.2.7		Sincronización incorrecta de las válvulas	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Calibración de tiempo de apertura de las válvulas de admisión y escape acuerdo intervalo recomendado por el fabricante	
			5.2.8		Compresión deficiente	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar pruebas periódicas de compresión de aire en los cilindros	
			5.2.9		Tipo de combustible incorrecto	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Establecer protocolos de verificación del tipo y calidad de combustible que llega a los tanques de almacenamiento del aeropuerto	
			5.2.10		Acelerador bloqueado o movimiento restringido	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificar el nivel de aceite del gobernador antes de arranque y el libre movimiento del mecanismo de accionamiento	
			5.2.11		Obstrucción del tubo de escape	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección visual al equipo durante la operación	
			5.2.12		Pérdidas en la junta de la cabeza del cilindro.	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Inspección visual al equipo durante la operación	

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D											
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista									Universidad Antonio Nariño		Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla
Sistema de enfriamiento, refrigeración	6.1	ALTA TEMPERATURA DE REFRIGERANTE	5.2.13	Funcionamiento a baja temperatura	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inicio de entrega de carga una vez el equipo haya alcanzado la temperatura de trabajo	
			5.2.14	Ajuste incorrecto del balancín	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de inyectores por parte del personal de mantenimiento	
			5.2.15	Diámetros interiores de cilindro gastados	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	
			5.2.16	Válvulas y asientos erosionados	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de válvulas y prueba de compresión	
			0	Anillos del pistón averiados, gastados o salientes	C1	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar pruebas periódicas de compresión de aire en los cilindros	
			5.2.18	Fugas en el sistema	C2	No operacional	El motor se apaga totalmente sin indicaciones previas de falla	Oscilación del voltaje de salida, aumento de costos operacionales y paradas inesperadas durante la tarea de atención a las aeronaves	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección de mangueras y abrazaderas	
			6.1.1	Bajo nivel de refrigerante	C1	No operacional	Altas temperaturas en el motor, que conlleva a la parada de motor automática por protección	Daños mayores que conllevan a parada del equipo por trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tareas TD / CD	Realizar inspecciones durante la operación / instalación de un sensor de bajo nivel de refrigerante en el tanque de expansión	
			6.1.2	Tapa del tanque de expansión si sello hermético	C1	No operacional	Altas temperaturas en el motor, que conlleva a la parada de motor automática por protección	Daños mayores que conllevan a parada del equipo por trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Revisar empaque de la tapa y comprobar sello hermético	
			6.1.3	Equipo de arranque en frío defectuoso	C1	No operacional	Altas temperaturas en el motor, que conlleva a la parada de motor automática por protección	Daños mayores que conllevan a parada del equipo por trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación por parte del operario de la temperatura de refrigerante con el motor diesel apagado a fin de observar la funcionabilidad de la resistencia de precalentamiento	
			6.1.4	Obstrucción del tubo de escape	C1	No operacional	Altas temperaturas en el motor, que conlleva a la parada de motor automática por protección	Daños mayores que conllevan a parada del equipo por trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección visual al equipo durante la operación	
6.1.5	Termostato defectuoso	C1	No operacional	Altas temperaturas en el motor, que conlleva a la parada de motor automática por protección	Daños mayores que conllevan a parada del equipo por trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Desmonte del termostato, sumergirlo en agua y somerlo a un aumento de temperatura controlada para verificar el mecanismo de apertura y cierre				

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D													
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Universidad Antonio Nariño		Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22	
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla		
				6.1.6	Restricción en las galerías de las camisas	C1	No operacional	Altas temperaturas en el motor, que conlleva a la parada de motor automática por protección	Daños mayores que conllevan a parada del equipo por trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Programar flushin del sistema de refrigeración con líquido desincrustante, y realizar el cambio anual del refrigerante		
				6.1.7	Correa del ventilador floja	C1	No operacional	Altas temperaturas en el motor, que conlleva a la parada de motor automática por protección	Daños mayores que conllevan a parada del equipo por trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario		
				6.1.8	Radiador obstruido	C1	No operacional	Altas temperaturas en el motor, que conlleva a la parada de motor automática por protección	Daños mayores que conllevan a parada del equipo por trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realizar trabajo de lavado con agua a presión y líquido desincrustante de las láminas del intercambiador de calor del radiador		
				6.1.9	Bomba de agua defectuosa	C1	No operacional	Altas temperaturas en el motor, que conlleva a la parada de motor automática por protección	Daños mayores que conllevan a parada del equipo por trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar seguimiento a los valores de la presión de descarga, en caso necesario inspeccionar el estado del impeler		
Sistema de Admisión de aire	7.1	Restricción de aire de admisión		7.1.1	Sensor de presión diferencial defectuoso	C1	No operacional	Funcionamiento anormal que afectando otros sistemas y equipos de la GPU	Disminución de la capacidad de generación y potencia del equipo	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Limpieza del conector electrónico		
				7.1.2	Filtro de aire obstruido	C1	No operacional	Funcionamiento anormal que afectando otros sistemas y equipos de la GPU	Disminución de la capacidad de generación y potencia del equipo	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección, desmonte y soplado por condición		
				7.1.3	Múltiple de admisión sucio	C1	No operacional	Funcionamiento anormal que afectando otros sistemas y equipos de la GPU	Disminución de la capacidad de generación y potencia del equipo	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Cumplir con el cambio de filtro de aire de admisión		
Sistema de lubricación	8.1	Escape de lubricante		8.1.1	Empaque de cárter averiado	C2	medio ambiente	Incremento de ruido por fricción entre piezas metálicas	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	No exceder el nivel máximo de llenado de la sonda de lubricante		
				8.1.2	Empaque tapa de culata averiado	C1	medio ambiente	Incremento de ruido por fricción entre piezas metálicas	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	No exceder el nivel máximo de llenado de la sonda de lubricante		
Sistema de lubricación	8.2	Equipo no arranca		8.2.1	Sensor de bajo nivel de aceite activado	C1	No operacional	Circulación de aceite insuficiente por los circuitos de lubricación	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificar que el nivel de aceite del cárter sea el adecuado		
				8.2.2	Obstrucción en la entrada al sensor de presión de aceite	C1	No operacional	Circulación de aceite insuficiente por los circuitos de lubricación	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificar la válvula de corte de entrada de aceite al sensor		

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D											
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Universidad Antonio Nariño	
										Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22	
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla
		8.3	Baja presión de aceite	8.3.1	Aceite degradado o contaminado	C2	No operacional	lubricación insuficiente de piezas del motor	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento predictivo, tarea CD	Realizar toma y análisis de muestra de lubricante
				8.3.2	Aceite insuficiente en cárter	C2	No operacional	lubricación insuficiente de piezas del motor	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspeccionar nivel durante el chequeo preoperacional
				8.3.3	Indicador inexacto	C1	oculto	lubricación insuficiente de piezas del motor	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Implementar procedimiento de prueba de indicadores y sensores
				8.3.4	Filtro de aceite obstruido	C2	No operacional	lubricación insuficiente de piezas del motor	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento predictivo, tarea CD	Realizar el cambio del elemento en los intervalos indicados por el fabricante
				8.3.5	Tamiz del cárter obstruido	C2	No operacional	lubricación insuficiente de piezas del motor	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realizar el cambio de lubricante en los intervalos especificados por el fabricante
				8.3.6	Válvula de alivio de presión bloqueada en posición abierta	C2	No operacional	lubricación insuficiente de piezas del motor	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla
				8.3.7	Resorte de la válvula de alivio averiado	C2	No operacional	lubricación insuficiente de piezas del motor	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla
				8.3.8	Desgaste de interiores bomba de lubricante	C2	No operacional	lubricación insuficiente de piezas del motor	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D												
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Universidad Antonio Nariño		Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla	
Sistema de escape	8.4	Alta presión de aceite	8.3.9	8.3.9	Casquetes de biela y cigüeñal gastados o averiados	C3	No operacional	lubricación insuficiente de piezas del motor	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Realizar toma y análisis de muestra de lubricante, analizar resultados y de ser necesario desmontar los casquetes para medición	
			8.4.1	8.4.1	Grado incorrecto de aceite lubricante	C2	No operacional	Malfuncionamiento de componentes de motor de la GPU	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación de la carta de lubricación del equipo antes de realizar el cambio, colocar en la tapa de llenado la etiqueta con el grado del lubricante requerido	
			8.4.2	8.4.2	Indicador inexacto	C1	No operacional	Malfuncionamiento de componentes de motor de la GPU	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Implementar procedimiento de prueba de indicadores y sensores	
			8.4.3	8.4.3	Válvula de alivio de presión bloqueada en posición cerrada	C2	Operacional	Malfuncionamiento de componentes de motor de la GPU	Aumento de costos operacionales, disminución de la disponibilidad, ruptura de sellos, empaques y O-rings, trabajos de reparación y/o reconstrucción	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	
	9.1	Ruido excesivo	9.1.1	9.1.1	Silenciador roto	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Esparcimiento de residuos de combustión	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realizar inspección visual al componente durante la operación	
	9.2	Humo negro proveniente del escape	9.2.1	9.2.1	Válvulas descalibradas	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Calibración de tiempo de apertura de las válvulas de admisión y escape acuerdo intervalo recomendado por el fabricante	
			9.2.2	9.2.2	Bomba de inyección de combustible defectuosa	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de la bomba y verificación de la presión de entrega	
			9.2.3	9.2.3	Inyectores del combustible descalibrados	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de inyectores por parte del personal de mantenimiento	
			9.2.4	9.2.4	Trabajo prolongado a bajas revoluciones	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Coordinar con el departamento de operaciones la hora requerida del servicio	
	9.3	Humo blanco/azul proveniente del escape	9.3.1	9.3.1	Compresión deficiente	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar pruebas periódicas de compresión de aire en los cilindros	
			9.3.2	9.3.2	Pérdidas en la junta de la cabeza del cilindro.	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Inspección visual al equipo durante la operación	
			9.3.3	9.3.3	Funcionamiento frío	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inicio de entrega de carga una vez el equipo haya alcanzado la temperatura de trabajo	

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D													
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Universidad Antonio Nariño		Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22	
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla		
Indicación y Control				9.3.4	Diámetros interiores de cilindro gastados	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla		
				9.3.5	Anillos del pistón averiados, gastados o salientes	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar pruebas periódicas de compresión de aire en los cilindros		
				9.3.6	Vástagos y guías de válvula gastados	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla		
				9.3.7	Filtro de aire obstruido	C1	No operacional	Afectación al medio ambiente	Aumento de consumo de combustible, lubricante y pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección, desmonte y soplado por condición		
		Sistema de indicación y control Generador	10.1	Tablero de control aislado	10.1.1	Conexiones sulfatadas	C2	No operacional	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	
			10.2	Señal de voltaje inexistente	10.2.1	Conectores del arnés sueltos	C1	Operacional	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	
					10.2.2	Protección eléctrica fuera de servicio	C2	No operacional	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	
					10.2.3	Indicador análogo mal conectado	C1	No operacional	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	
			10.3	Señal de amperaje inexistente	10.3.1	Conectores del arnés sueltos	C1	Operacional	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	
					10.3.2	Protección eléctrica fuera de servicio	C2	No operacional	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	
					10.3.3	Indicador análogo mal conectado	C1	No operacional	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D														
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22				
Universidad Antonio Nariño														
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla			
Sistema de monitoreo y control del		10.4	El contactor de carga (K1) no se cerrará cuando el interruptor de botón pulsador de salida No. 1 se mantiene en la posición CERRADO. Generador funcionando a voltaje normal. Disyuntor rectificador CB2 cerrado. No hay luces de falla encendidas.	10.4.1	circuit breaker CB2 defectuoso	C2	Oculto	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos			
				10.4.2	Pulsador de salida nº 1 defectuoso interruptor de botón (S75)	C2	Oculto	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos			
				10.5	El contactor de carga se abre durante la entrega de energía. Luces indicadoras de falla NO encendidas.	10.5.1	Relé contactor de carga nº 1 (K72) en la placa de PC de control del generador, o la propia placa de PC, podría estar defectuosa	C1	Oculto	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	
					10.5.2	Se ha desarrollado una falla en el circuito de retención del contactor de carga	C1	Oculto	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos		
					10.6	El contactor de carga se abre durante la entrega de energía. Luz indicadora de sobretensión ENCENDIDA.	10.6.1	La condición de sobrevoltaje puede haber sido el resultado de una caída repentina en la carga, o una posible manipulación de los potenciómetros reguladores de voltaje, y puede haber sido una acción normal.	C2	Oculto	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, suspensión de la capacidad de generación	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos
					11.1	Display no enciende	11.1.1	No hay alimentación de voltaje	C1	Oculto	Equipo no arranca	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, condición que lo deja expuesto a daños mayores	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos
							11.1.2	Conexiones y elementos sueltos	C1	Oculto	Equipo no arranca	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, condición que lo deja expuesto a daños mayores	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos
							11.1.3	Display dañado	C1	No operacional	Equipo no arranca	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, condición que lo deja expuesto a daños mayores	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D												
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Universidad Antonio Nariño		Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla	
	11.2	Valores de los parámetros no coinciden	11.2.1	Módulo de control desconectado	C1	Oculto	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, condición que lo deja expuesto a daños mayores	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos		
			11.2.2	Cable del módulo de control averiado	C1	No operacional	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, condición que lo deja expuesto a daños mayores	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos		
			11.2.3	Sensores fuera de servicio	C2	No operacional	El equipo opera de manera insegura	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, condición que lo deja expuesto a daños mayores	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos		
	11.3	Motor no arranca	11.3.1	Conexiones y elementos sueltos	C1	Operacional	Equipo no arranca	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, condición que lo deja expuesto a daños mayores	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Mantenimiento preventivo, tarea TD		
			11.3.2	Selector de arranque fuera de posición	C1	Oculto	Equipo no arranca	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, condición que lo deja expuesto a daños mayores	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación durante el chequeo preoperacional		
	11.4	Motor no para	11.4.1	Pulsador de parada aislado	C2	No operacional	Equipo expuesto a daños mayores	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, condición que lo deja expuesto a daños mayores	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos		
			11.4.2	Solenoides de corte de entrada de aire obstruida o dañada	C2	No operacional	Equipo expuesto a daños mayores	Equipo trabaja sin protecciones que puedan detectar posibles fallas, condición que lo deja expuesto a daños mayores	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos		
	Complementarios	Estructura, chasis y remolcador	12.1	Equipo corroido	12.1.1	Cerradura de los gabinetes dañadas	C1	No operacional	Deterioro prematuro de los componentes	Disminución e imposibilidad de la capacidad de transporte	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar un programa periódico de limpieza, rutina manual mecánica y aplicación de esquema de pintura
					12.1.2	Falta de aseo al equipo	C1	No operacional	Deterioro prematuro de los componentes	Disminución e imposibilidad de la capacidad de transporte	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar un programa periódico de limpieza, rutina manual mecánica y aplicación de esquema de pintura
12.1.3					Falta de lubricación a los mecanismos de cierre	C1	No operacional	Deterioro prematuro de los componentes	Disminución e imposibilidad de la capacidad de transporte	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementación de un plan de lubricación	
12.2		Llantas bloqueadas	12.2.1	Llantas pinchadas	C1	No operacional	Deterioro prematuro de los componentes	Disminución e imposibilidad de la capacidad de transporte	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección durante el chequeo preoperacional		

Anexo 2

HOJA DE DECISIÓN GPU RCM GENERADOR HOBART JetEx6D											
INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista										Universidad Antonio Nariño	
										Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22	
Sub sistema	Componente	Cod. evento	EVENTO	Cod. Falla	FALLA	Categoría	Consecuencia	Efecto	Afectación al Grupo	Estrategia de mantenimiento	Acciones para predecir o prevenir la ocurrencia de la falla
				12.2.2	Rodamientos dañados	C1	oculto	Deterioro prematuro de los componentes	Disminución e imposibilidad de la capacidad de transporte	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementación de un plan de lubricación
	12.3	Chasis corroído	12.3.1	Equipo expuesto a la intemperie	C1	No operacional	Deterioro prematuro de los componentes	Disminución e imposibilidad de la capacidad de transporte	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Definir área adecuada de almacenamiento	
			12.3.2	Forro protector roto o averiado	C1	No operacional	Deterioro prematuro de los componentes	Disminución e imposibilidad de la capacidad de transporte	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Definir área adecuada de almacenamiento	
	12.4	Imposibilidad de traslado	12.4.1	Soporte de las ruedas presenta ruptura	C1	No operacional	Deterioro prematuro de los componentes	Disminución e imposibilidad de la capacidad de transporte	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección estructural al equipo	
			12.4.2	Barra de dirección bloqueada	C1	No operacional	Deterioro prematuro de los componentes	Disminución e imposibilidad de la capacidad de transporte	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementación de un plan de lubricación	
			12.4.3	Llantas fisuradas	C1	No operacional	Deterioro prematuro de los componentes	Disminución e imposibilidad de la capacidad de transporte	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección durante el chequeo preoperacional	

Anexo 3

GPU Generator Hobart JetEx6D PLAN DE MANTENIMIENTO - HOJA DE INFORMACIÓN RCM			INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista			Universidad Antonio Nariño Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22			
SUBSIST GRUPO	COMPONENTE	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	ACCIONES PARA PREDECIR O PREVENIR LA OCURRENCIA DE LA FALLA	TIEMPO EJECUCIÓN (HORAS)	RESPONSABLE	No DE HOMBRES	TIPO	FRECUENCIA	
									Eléctrico – Generador
Conjunto Generador	generador	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realizar la inspección correspondiente a las conexiones eléctricas, verificando que éstas no tengan partes sulfatadas, en mal estado verificando especialmente el estado de los terminales y conectores.	3	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	2 años / 2000 horas	
Conjunto Rectificador	escobillas	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección por parte del especialista eléctrico, las partes eléctricas internas que hacen parte integral de cada componente, por limpieza y sulfatación	3	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	2 años / 2000 horas	
Conjunto Rectificador	embobinado	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspeccionar las conexiones eléctricas, verificando que éstas no tengan partes sulfatadas, en mal estado verificando y retorquendo los terminales y conectores.	3	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
Conjunto Rectificador	rectificador	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Inspector	1	por condición	como sea requerido	
Mecánico – Motor	Sistema de arranque eléctrico	Alternador 12 VDC	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario e implementación de tarea de inspección mensual de las baterías por parte del personal de mantenimiento	2	Operario	1	operacional	1 mes
		Batería	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario e implementación de tarea de inspección mensual de las baterías por parte del personal de mantenimiento	2	Operario	1	operacional	1 mes
		arrancador(B401) and solenoide (L401) 12VDC	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar prueba semanal a los dispositivos de parada y arranque por parte del operador	1	Operario	1	Calendario	1 semana
		Correa de distribución	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario	1	Operario	1	operacional	diario
		Cableado	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Técnico de Electricista	1	por condición	como sea requerido
Motor diésel	Motor diésel	Polea de ventilador	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario	1	Operario	1	operacional	diario
		Indicador de temperatura de motor	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación por parte del operario de la temperatura de refrigerante con el motor diésel apagado a fin de observar la funcionalidad de la resistencia de precalentamiento	1	Operario	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas
		Empaques	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Inspector	1	por condición	como sea requerido
		Árbol de levas	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Calibración de tiempo de apertura de las válvulas de admisión y escape acuerdo intervalo recomendado por el fabricante	4	Técnico mecánico	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas
		Cilindros	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar pruebas periódicas de compresión de aire en los cilindros	4	Técnico mecánico	1	Horaria calendaria	2 años / 2000 horas
		Empaque tapa de cilindros	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Inspector	1	por condición	como sea requerido
		válvulas	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de válvulas y prueba de compresión	4	Técnico mecánico	1	Horaria calendaria	2 años / 2000 horas

Anexo 3

GPU Generator Hobart JetEx6D PLAN DE MANTENIMIENTO - HOJA DE INFORMACIÓN RCM			INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista			Universidad Antonio Nariño Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22		
SUBSIST GRUPO	COMPONENTE	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	ACCIONES PARA PREDECIR O PREVENIR LA OCURRENCIA DE LA FALLA	TIEMPO EJECUCIÓN (HORAS)	RESPONSABLE	No DE HOMBRES	TIPO	FRECUENCIA
Sistema de combustible	válvulas	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar pruebas periódicas de compresión de aire en los cilindros	1	Técnico mecánico	1	Horaria calendaria	2 años / 2000 horas
	Módulo de control eléctrico preprogramado (ECM)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario e implementación de tarea de inspección mensual de las baterías por parte del personal de mantenimiento	1	Técnico mecánico	1	Calendario	1 mes
	Correa de transmisión	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario	1	Operario	1	operacional	diario
	Correa de transmisión	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Chequeo del voltaje de salida del alternador y estado de la polea	1	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas
	Filtro de combustible	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Drenaje de filtros durante el chequeo preoperacional por parte del operario, cambio de filtros primario y secundario de combustible acuerdo recomendación del fabricante por parte del personal de mantenimiento	3	Técnico mecánico	1	Calendario	1 mes
	Tanque de almacenamiento	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Establecer protocolos de verificación del tipo y calidad de combustible que llega a los tanques de almacenamiento del aeropuerto	4	Técnico mecánico	1	Calendario	Antes y durante la recepción de combustible
	Bomba de inyección de combustible	Mantenimiento preventivo, tareas TD / CD	Realizar inspecciones durante la operación / instalación de un sensor de bajo nivel de combustible en el tanque	3	Técnico de Electricista	1	Calendario	diario
	Bomba de inyección de combustible	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección visual al equipo durante la operación	1	Técnico mecánico	1	Calendario	diario
	Bomba de inyección de combustible	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de la bomba y verificación de la presión de entrega	4	Técnico mecánico	1	Horaria calendaria	2 años / 2000 horas
	Inyectores de combustible	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de inyectores por parte del personal de mantenimiento y verificación de la temperatura de salida de gases de escape en cada cilindro por parte del operario	4	Operario	1	Horaria calendaria	1 año / 1000 horas
	Precalentador de combustible	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación por parte del operario de la temperatura de refrigerante con el motor Diesel apagado a fin de observar la funcionabilidad de la resistencia de precalentamiento	1	Técnico mecánico	1	Horarias	diario
	Precalentador de combustible	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Verificación de especificaciones en el manual de reparaciones una vez se haya intervenido este componente	1	Técnico mecánico	1	Horarias	Durante la reparación
	Múltiple de admisión	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Calibración de tiempo de apertura de las válvulas de admisión y escape acuerdo intervalo recomendado por el fabricante	4	Técnico mecánico	1	Horaria calendaria	1 año / 1000 horas
	Tapa de llenado	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Establecer protocolos de verificación del tipo y calidad de combustible que llega a los tanques de almacenamiento del aeropuerto	1	Técnico mecánico	1	Horarias	Antes y durante la recepción de combustible
	inyectores	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de inyectores por parte del personal de mantenimiento	4	Técnico mecánico	1	Horarias	1 año / 1000 horas
	inyectores	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Técnico mecánico	1	por condición	como sea requerido
Mangueras de combustible	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección de mangueras y abrazaderas	1	Técnico mecánico	1	Horarias	3 meses / 250 horas	

Anexo 3

GPU Generator Hobart JetEx6D PLAN DE MANTENIMIENTO - HOJA DE INFORMACIÓN RCM			INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista			Universidad Antonio Nariño Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22			
SUBSIST GRUPO	COMPONENTE	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	ACCIONES PARA PREDECIR O PREVENIR LA OCURRENCIA DE LA FALLA	TIEMPO EJECUCIÓN (HORAS)	RESPONSABLE	No DE HOMBRES	TIPO	FRECUENCIA	
									Sistema de enfriamiento, refrigeración
Radiador y Enfriador de aire de carga	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Revisar empaque de la tapa y comprobar sello hermético	1	Técnico mecánico	1	operacional	diario		
Radiador y Enfriador de aire de carga	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación por parte del operario de la temperatura de refrigerante con el motor diésel apagado a fin de observar la funcionalidad de la resistencia de precalentamiento	1	Operario	1	operacional	diario		
Radiador y Enfriador de aire de carga	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección visual al equipo durante la operación	1	Técnico mecánico	1	Calendario	diario		
Radiador y Enfriador de aire de carga	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Desmote del termostato, sumergirlo en agua y someterlo a un aumento de temperatura controlada para verificar el mecanismo de apertura y cierre	6	Técnico mecánico	1	Horaria calendaria	2 años / 2000 horas		
Radiador y Enfriador de aire de carga	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Programar flushing del sistema de refrigeración con líquido desincrustante, y realizar el cambio anual del refrigerante	6	Inspector	1	Horaria calendaria	2 años / 2000 horas		
Radiador y Enfriador de aire de carga	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realización del chequeo preoperacional por parte del operario	1	Operario	1	preoperacional	diario		
Radiador y Enfriador de aire de carga	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realizar trabajo de lavado con agua a presión y líquido desincrustante de las láminas del intercambiador de calor del radiador	4	Técnico mecánico	1	Horarias	2 años / 2000 horas		
Bomba de circulación de agua	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar seguimiento a los valores de la presión de descarga, en caso necesario inspeccionar el estado del impeler	1	Inspector	1	Horarias	diario		
Sistema de Admisión de aire	Turbocargador	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Limpieza del conector electrónico	2	Técnico de Electricista	1	Horario / Calendario	diario	
	Filtro de aire	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección, desmote y soplado por condición	2	Técnico mecánico	1	por condición	Por condición	
	Múltiple de admisión	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Cumplir con el cambio de filtro de aire de admisión	2	Técnico mecánico	1	por condición	Por condición	
Sistema de lubricación	Carter	Mantenimiento preventivo, tarea TD	No exceder el nivel máximo de llenado de la sonda de lubricante	1	Técnico mecánico	1	Horarias	diario	
	Carter	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificar que el nivel de aceite del cárter sea el adecuado	1	Técnico mecánico	1	Calendario	diario	
	Carter	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificar la válvula de corte de entrada de aceite al sensor	1	Técnico mecánico	1	Calendario	diario	
	Carter	Mantenimiento predictivo, tarea CD	Realizar toma y análisis de muestra de lubricante	2	Técnico mecánico	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
	Carter	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspeccionar nivel durante el chequeo preoperacional	1	Operario	1	preoperacional	diario	

Anexo 3

GPU Generator Hobart JetEx6D PLAN DE MANTENIMIENTO - HOJA DE INFORMACIÓN RCM			INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista			Universidad Antonio Nariño Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22		
SUBSIST GRUPO	COMPONENTE	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	ACCIONES PARA PREDECIR O PREVENIR LA OCURRENCIA DE LA FALLA	TIEMPO EJECUCIÓN (HORAS)	RESPONSABLE	No DE HOMBRES	TIPO	FRECUENCIA
Sistema de escape	Bomba de aceite	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Implementar procedimiento de prueba de indicadores y sensores	4	Técnico de Electricista	1	Calendario	3 meses / 250 horas
	Filtro de aceite	Mantenimiento predictivo, tarea CD	Realizar el cambio del elemento en los intervalos indicados por el fabricante	2	Técnico mecánico	1	Calendario	3 meses / 250 horas
	Filtro de aceite	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realizar el cambio de lubricante en los intervalos especificados por el fabricante	2	Técnico mecánico	1	Calendario	3 meses / 250 horas
	Filtro de aceite	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Inspector	1	por condición	como sea requerido
	Mangueras	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Inspector	1	por condición	como sea requerido
	Bomba de aceite	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Inspector	1	por condición	como sea requerido
	Filtro de aceite	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Realizar toma y análisis de muestra de lubricante, analizar resultados y de ser necesario desmontar los casquetes para medición	3	Inspector	1	Horarias	3 meses / 250 horas
	Filtro de aceite	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación de la carta de lubricación del equipo antes de realizar el cambio, colocar en la tapa de llenado la etiqueta con el grado del lubricante requerido	1	Inspector	1	Horarias	diario
	Filtro de aceite	Mantenimiento preventivo, tarea FF	Implementar procedimiento de prueba de indicadores y sensores	4	Inspector	1	Calendario	3 meses / 250 horas
	Múltiple de escape	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Realizar inspección visual al componente durante la operación	1	Operario	1	preoperacional	diario
	Múltiple de escape	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Calibración de tiempo de apertura de las válvulas de admisión y escape acuerdo intervalo recomendado por el fabricante	4	Técnico mecánico	1	Horarias	1 año / 1000 horas
	Tubería de escape	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de la bomba y verificación de la presión de entrega	4	Técnico mecánico	1	Horarias	2 años / 2000 horas
	Tubería de escape	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Calibración de inyectores por parte del personal de mantenimiento	4	Técnico mecánico	1	Horarias	1 año / 1000 horas
	Tubería de escape	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Coordinar con el departamento de operaciones la hora requerida del servicio	2	Inspector	1	Horarias	diario
	Tubería de escape	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar pruebas periódicas de compresión de aire en los cilindros	2	Técnico mecánico	1	Calendario	1 año / 1000 horas
	Tubería de escape	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Inspección visual al equipo durante la operación	1	Técnico mecánico	1	Calendario	diario
	Tubería de escape	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inicio de entrega de carga una vez el equipo haya alcanzado la temperatura de trabajo	1	Técnico mecánico	1	operacional	diario
	Tubería de escape	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Inspector	1	por condición	como sea requerido
	Tubería de escape	Mantenimiento preventivo, tarea CD	Realizar pruebas periódicas de compresión de aire en los cilindros	2	Técnico mecánico	1	Calendario	1 año / 1000 horas
Exosto	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Inspector	1	por condición	como sea requerido	

Anexo 3

GPU Generator Hobart JetEx6D PLAN DE MANTENIMIENTO - HOJA DE INFORMACIÓN RCM			INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista			Universidad Antonio Nariño Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22			
SUBSIST GRUPO	COMPONENTE	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	ACCIONES PARA PREDECIR O PREVENIR LA OCURRENCIA DE LA FALLA	TIEMPO EJECUCIÓN (HORAS)	RESPONSABLE	No DE HOMBRES	TIPO	FRECUENCIA	
Sistema de indicación y control Generator	Voltímetro CC (M406)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
	Amperímetro CC (M407)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
	Iluminación Tablero (S405)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
	Potenciómetro Limitador de corriente	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
	Interruptor de luces de Panel (S405)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
	Interruptor de Control del contactor (S408)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
	Luz de indicación de Contactor cerrado (DS408)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
Indicación y Control Sistema de monitoreo y control del Motor	Interruptor resortado de arranque (S401)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
	Interruptor de apagado de motor (S404)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	3 meses / 250 horas	
	Interruptor de apagado por emergencia	Mantenimiento preventivo, tarea RTF	Se debe tener el componente disponible en el stock de repuestos para realizar el cambio una vez se presente la falla	1	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas	
	Sistema de apagado por alta temperatura del refrigerante	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas	
	Sistema de apagado por presión de aceite	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas	
	Luz de indicación motor encendido (DS407)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas	
	Interruptor de control de aumento de potencia de motor (S406)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Mantenimiento preventivo, tarea TD		1	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas
	Luz de indicación de calentador del motor (DS426)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Verificación durante el chequeo preoperacional		1	Técnico de Electricista	1	Horarias	diario

Anexo 3

GPU Generator Hobart JetEx6D PLAN DE MANTENIMIENTO - HOJA DE INFORMACIÓN RCM		INGENIERÍA MECÁNICA Elaborado por: Alfonso Fren, Víctor Howard Revisado por: Doctor Carlos Batista			Universidad Antonio Nariño Fecha elaboración: 25/04/22 Fecha revisión: 01/05/22			
SUBSIST GRUPO	COMPONENTE	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	ACCIONES PARA PREDECIR O PREVENIR LA OCURRENCIA DE LA FALLA	TIEMPO EJECUCIÓN (HORAS)	RESPONSABLE	No DE HOMBRES	TIPO	FRECUENCIA
	Luz de indicación de filtro de aire obstruido (DS412)	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar procedimiento de prueba de indicadores, sensores y reapriete de contactos	2	Técnico de Electricista	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas
Complementarios Estructura, chasis y remolcador	Chasis	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar un programa periódico de limpieza, rutina manual mecánica y aplicación de esquema de pintura	2	Inspector	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas
	Estructura base	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementar un programa periódico de limpieza, rutina manual mecánica y aplicación de esquema de pintura	2	Inspector	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas
	Conjunto barra remolcadora, dirección y freno	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementación de un plan de lubricación	2	Inspector	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas
	Conjunto de eje trasero y ruedas	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección durante el chequeo preoperacional	2	Operario	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas
	Conjunto de eje delantero y ruedas	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementación de un plan de lubricación	2	Inspector	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas
	Caseta acústica y compuertas	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección estructural al equipo	4	Técnico mecánico	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas
	Caseta acústica y compuertas	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Implementación de un plan de lubricación	2	Inspector	1	Horaria calendaria	6 meses / 500 horas
	Bandejas portacables	Mantenimiento preventivo, tarea TD	Inspección durante el chequeo preoperacional	1	Operario	1	Horarias	diario

Referencias Bibliográficas

- Achahuanco, A. (2020). Retrieved from <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/9925/L1.2045.MG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- AMFE. (2021). NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. AMFE.
- Anaguano Lamiña, R. (2018). *Modelo de un plan de mantenimiento basado en procesos para el área de Preparación Hilatura Caso Empresa Vicunha Ecuador*. Quito: Universidad Andiina Simón Bolívar. Retrieved from <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6344/1/T2690-MBA-Anaguano-Modelo.pdf>
- Andrade Quiroz, R., & Ramos Ramos, M. (2020). *Propuesta de la metodología RCM en la gestión de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de la Línea de Chancado Primario en una empresa minera*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Retrieved from https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655036/AndradeQ_R.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- aviationgroundequip. (2021). JetEx 6D 28.5 VDC Tier 3. aviationgroundequip. Retrieved from <https://www.aviationgroundequip.com/commercial/hobart-jetex-6d/>
- Ayauca Sierra, N. (2019). *Plan de mantenimiento basado en RCM para caldero de 50 BHP, Caso: Hospital Ciudad del Cusco*. Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11900/UPalsinr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barsallo Coico, M. (2020). *Gestión del mantenimiento utilizando la Herramienta RCM para Aumentar la Eficiencia de los Vehículos de la Empresa Induamerica servicios Logísticos S.A. - Lambayeque*. Pimentel: Universidad Señor de Sipán. Retrieved from <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/8251/Barsallo%20Coico%2C%20Milka%20Lisset.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Begazo Carreño, V. (2019). *Investigación para la Mejora del Mantenimiento Preventivo Utilizando la Herramienta Rcm para optimizar el Servicio de mantenimiento a viviendas*. Arequipa: Universidad Católica San Pablo. Retrieved from http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15966/1/BEGAZO_CARRE%C3%91O_VAL_RCM.pdf
- Burga Saldarriaga, C. (2019). *Propuesta de un Plan de Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM) para grupos Electrónicos diesel Volvo Penta de 500 Kw de la empresa RD Rental S.A.C. Lambayeque*: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Retrieved from <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/3928/BC-TES-TMP-2711.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cabrera Ramón, E., & Tapia González, J. (2019). *Propuesta de Implementación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en la unidad de generación 2 de la Central SAYMIRIN*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17861/1/UPS-CT008458.pdf>
- Campos Macedo, E. (2019). *Análisis de Experiencias de Implementación de Planes de Mantenimiento basados en la Metodología RCM en la Industria en los Últimos 14 años*. Lima: Universidad Privada del Norte. Retrieved from <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23352/Campos%20Macedo%2C%20Emerson%20Luis.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Campos, O., & Tolentino, G. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

- considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 51-59.
Retrieved from
<https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/#:~:text=El%20RCM%20es%20una%20t%C3%A9cnica,equipo%20se%20mantenga%20%5B3%5D>.
- Casachagua, C. (2017). *propuesta de un Plan de Mantenimiento preventivo Basado en el RCm para mejorar la disponibilidad Mecánica de la Excavadora CAT 336 de la Empresa EcoSem SMelter S.A.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro de Perú. Retrieved from
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1652/TESIS%20MECANICA%202017%20%20CESAR%20CASACHAGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castrillon Carmona, D., & Gallego Lozano, R. (2019). *Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Filosofía RRCM (Mantenimiento Centrado en la confiabilidad) para los Equipos de la Empresa de Confecciones JONLEY S.A.S.* Medellín: Universidad de Antioquia. Retrieved from
http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/13758/1/GallegoRicardo_2019_MantenimientoEquiposConfecciones.pdf
- Chura Marca, A. (2019). *Diseño de un Plan de Mantenimiento para el Molino Comesa 8'x10' usando la Metodología RCM.* Arequipa: Universidad Continental. Retrieved from
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/6912/2/IV_FIN_111_TI_Chura_Marca_2019.pdf
- comparasoftware. (2020). TPM y RCM: ¿Qué Significan en Mantenimiento? comparasoftware. Retrieved from <https://blog.comparasoftware.com/tpm-y-rcm/>
- Córdoba Álvarez, J., & Montejo González, C. (2017). *Elaboración de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para la empresa Citriexipinal S.A.S.* Bogotá: Universidad Santo Tomas. Retrieved from
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10686/2018Cordobajuan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cotos Barreto, J., & Mejia Benites, L. (2020). *Plan de mantenimiento basado en RCM, para aumentar la disponibilidad de la línea 1 de peletizado en una planta de alimento balanceado en La Libertad Trujillo.* Trujillo: Universidad César Vallejo. Retrieved from
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64166/Cotos_BJG-Mejia_BLC-SD.pdf?sequence=1
- Fernández Morales, M. (2018). *Implementación de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para el área de chancado terciario en una planta concentradora.* Arequipa: Universidad Católica de Santa María. Retrieved from
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/8525/L1.1806.MG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guaitarilla Soto, J. (2019). *Plan de Mantenimiento Preventivo para la Maquina industrial de la Empresa Fluoplasticos S.A.S.* Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Retrieved from
<https://red.uaoc.edu.co/bitstream/handle/10614/10883/T08482.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Guevara Gamarra, C. (2019). *Propuesta de Gestión de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en la empresa CGW Plastic S.A. para la Reducción de costos por Parada de Maquina.* Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Retrieved from
https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2169/1/TL_GuevaraGamarraCesar.pdf
- Haro, F. (2020). *Planta de Emergencia: tipos y características de estos generadores.* Generac.
- Hernández Novoa, R., & Yacolca Loja, R. (2021). *Mejora de la disponibilidad de un horno espiral en una empresa panificadora basada en la integración de metodologías RCM y TPM.* Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Retrieved from
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655666/HernandezN_R.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Hernández Novoa, R., & Yacolca Loja, R. (2021). *Mejora de la disponibilidad de un horno espiral en*

- una empresa panificadora basada en la integración de metodologías RCM y TPM.* Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Retrieved from https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655666/HernandezN_R.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Hugo Israel, E. (2018). *El RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) de los equipos del área húmeda y de acabados del cuero de la empresa Tenería Díaz Cía. Ltda.* Ambato: Universidad Técnica de Ambato Ecuador. Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28584>
- Lepe Milián, F. (2018). *Diseño de Investigación del mantenimiento Centrado e Confiabilidad (RCM) para una Subestación Eléctrica en nivel de Tensión Prrimario de 230 Kv, aislada en Gas (GIS) y configuración de doble Barra.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Retrieved from http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0984_EA.pdf
- Lombaná, M., & Zarante, B. (2018). *Mejora del plann de Mantenimiento Preventivo de los equipos criticos de la linea de producción 1 de la empresas COTECMAR mediante la metoologia RCM.* . Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Maya, J. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Medina Tuesta, M. (2018). *Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en Schlumberger Wireline.* Peru: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Retrieved from <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/7531>
- Monge, R., & Yrazabal, M. (2019). *Estrategias del RCM y su influencia en la cofiabilidad de los equipos para la tintoreria de la empresa sur color STAR S.A.* Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Montoya Escobar, C. (2017). *Aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el Ssttema de Excitación de un Generador Sincrónico utilizando el Software IRCMS.* Medellin: Universidad EAFIT.
- Mora Gutierréz, A. (2009). *Mantenimiento Planeación, Ejecución y Control.* México: Alfaomega.
- Pacheco Bado, L. (2018). *Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria de la Empresa Hydro Pátapo S.A.C.* Mogrovejo - Peru: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Retrieved from <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1353>
- Paredes Nateros, J., & Tupez Mendoza, J. (2019). *Incremento de la producción de cuadernos a partir de la implementación del RCM en la Gestión de Mantenimiento.* Lima: Universidaad Peruuana de Ciencias Aplicadas. Retrieved from Incremento de la producción de cuadernos a partir de la implementación del RCM en la Gestión de Mantenimiento
- Pérez Jaramillo, C., & Córdoba Uribe, L. (2021). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).* Reino Unido: soporteycia.com.
- plantaselectricas-ltda. (2019). *¿Qué es una planta eléctrica y para qué sirve?* plantaselectricas-ltda. Retrieved from <https://plantaselectricas-ltda.com/blog/5-que-es-una-planta-electrica-y-para-que-sirve>
- Reaño Ramos, L. (2019). *“Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad en una empresa reprocesadora de subproductos de arroz para minimizarz el número de averías.* Chiclayo: Uniiiversidad Tecnológica del Perú. Retrieved from https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2058/Leonardo%20Rea%C3%B1o_Tesis_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- renovetec. (2018). *Manual del Jefe de Mantenimiento.* renovetec. Retrieved from <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>
- Rincon, J., & Sanchez, J. (2017). *Implementación de RCM para los activos criticos de materias primas de una fabrica de vidrio .* Bogotá: Universidad Distriital Francisco Jose de Caldas.
- Rodriguez Caceres, A., & Valenzuela Fuchs, M. (2020). *Propuesta de mejora del plan de gestión de*

- mantenimiento basado en RCM y Lean Office en el proceso de inyección de polímeros*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Retrieved from https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655147/RodriguezC_A.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Romero Guarín, A., & Soler Rodríguez, L. (2017). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Predictivo parra los Generadores Eléctricos de una Central Hidroeléctrica*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Retrieved from <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14689/1/DISE%20C3%91O%20DE%20UN%20PLAN%20DE%20MANTENIMIENTO%20PREDICTIVO%20PARA%20LOS%20GENERADORES%20EL%20C3%89CTRICOS%20DE%20UNA%20CENTRAL%20HIDR.pdf>
- Ruiz Medina, M. (2021). Enfoque cualitativo. eumed. Retrieved from https://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/mirm/enfoque_cualitativo.html
- Valuekeep. (2022). ¿Qué son los Indicadores de Mantenimiento? Valuekeep. Retrieved from <https://valuekeep.com/es/recursos/e-books/indicadores-de-mantenimiento-kpis/>
- vatia.com.co. (2020). Planta de emergencia eléctrica: una solución a tus necesidades. Vatia.
- Vélez Betancou, J., & Rodríguez Pineda, S. (2018). *Estado del arte de la programación del Mantenimiento de la Generación entre los años 2008 y 2017*. Pereira: Universidad Técológica de Pereira. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/9403/T621.3121%20V436.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vilca, P. (2018). Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para la mejora de disponibilidad de los equipos del sistema de carga y transporte en una empresa minera. Universidad Privada del Norte. Retrieved from <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/15227>
- Villacres, S. (2017). *Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (Rcm); Confiabilidad; Plan De Mantenimiento; Vehículo Hidrocleaner; Tasa De Fallas; Análisis De Criticidad*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chhiborazo.
- Villarroel, H. (2020). Estrategias metacognitivas para el análisis de falla en la unidad curricular optimización del mantenimiento del Proyecto Ingeniería de Mantenimiento Mecánico de la UNERMB. predictiva21.com.
- Westreicher, G. (2022). Mantenimiento. [economipedia](https://economipedia.com/definiciones/mantenimiento.html). Retrieved from <https://economipedia.com/definiciones/mantenimiento.html>