

**DISEÑO DE PROTOCOLO PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA
RCM EN LA INDUSTRIA**

**EDUARDO ANDRÉS LÓPEZ RINCÓN
CARLOS DAVID PRIETO CÁRDENAS**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA TUNJA
TUNJA 2022**

**DISEÑO DE PROTOCOLO PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA
RCM EN LA INDUSTRIA**

EDUARDO ANDRÉS LÓPEZ RINCÓN

CARLOS DAVID PRIETO CÁRDENAS

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
ingeniero mecánico.**

DIRECTOR

Ing. NELSON IVÁN VILLAMIZAR CRUZ

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA.**

TUNJA 2022

DEDICATORIA

A Dios, por habernos otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en nosotros siempre dándonos ejemplo de superación, humildad y sacrificio también por permitirnos ser perseverantes y lograr cumplir nuestros objetivos.

A cada persona que ha hecho parte de nuestra vida por ser un apoyo incondicional en todo lo que nos proponemos.

A todas las personas que hicieron posible este trabajo.

AGRADECIMIENTOS.

A la universidad que nos dio la bienvenida a este mundo de la ingeniería y las oportunidades que nos brindaron.

A los docentes, a la facultad de Ingeniería Mecánica y a la Universidad Santo Tomas por permitirnos cursar y aprobar los estudios de pregrado y por generar espacios de investigación para la realización del presente proyecto.

A nuestros compañeros de estudio, por todo lo anterior y por los conocimientos que nos otorgaron para ser parte de nuestra formación académica.

A nuestros padres, familia y amigos que nos dieron todo el apoyo para realizar esta investigación.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	9
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
3	JUSTIFICACIÓN	11
4	OBJETIVOS	12
4.1	OBJETIVO GENERAL	12
4.2	OBJETIVO ESPECIFICO	12
5	ALCANCE	13
6	MARCO TEÓRICO.....	14
6.1	MARCO DE REFERENCIA	14
6.2	MARCO HISTÓRICO.....	14
6.3	MARCO CONCEPTUAL	20
6.4	MARCO LEGAL	24
7	METODOLOGIA.....	26
7.1	ETAPA 1.....	36
7.1.1	Código.....	41
7.1.2	Equipo/sistema.....	41
7.1.3	Modelo	41
7.1.4	Número de serie.....	42
7.1.5	Fecha de ingreso.....	42
7.2	ETAPA 2	42
7.3	ETAPA 3.....	48
7.3.1	Listado de funciones	48
7.3.2	Fallas funcionales.....	48
7.3.3	Modos de falla.....	49
7.3.4	Efecto de los fallos	50
7.4	ETAPA 4.....	51
7.4.1	REFERENCIA DE INFORMACION.....	51
7.4.2	EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS	51
•	TAREAS PROACTIVAS	53
7.4.3	ACCION A REALIZAR - A FALTA DE.....	54

7.4.4	ACCION A REALIZAR	55
7.5	IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	56
7.5.1	Etapa 1 ingreso de inventario.....	56
7.5.2	Formulario funciones y parámetros.....	58
7.5.3	PLANTILLA ANALISIS DE MODO DE FALLA	61
7.5.4	Formulario y hoja de decision rcm.....	62
8	CONCLUSIONES.....	67
9	RECOMENDACIONES	68
10	REFERENCIAS.....	69
11	ANEXOS	71

RESUMEN

El siguiente trabajo investigativo presenta el desarrollo de un protocolo para la implementación de la metodología del mantenimiento centrado en Confiabilidad o Reliability Centered Maintenance (RCM) en la mediana industria.

Por tal motivo se analizó las diferentes alternativas para que este se pueda implementar en la mediana industria el general sin delimitar su campo de acción. Teniendo en cuenta lo anterior se elaboró diferentes tablas o instructivos que faciliten la comprensión, unificando la información que ya se tenga o dar la bases para poder realizar un mantenimiento y este su vez encaminar la implementación de la metodología RCM, se llevó a cabo el diseño de un protocolo mediante 7 etapas; dentro de las cuales, cada una de las etapas estará acompañada con una serie de preguntas, las cuales fueron formuladas tomando como punto de partida la información encontrada en bases de datos, catálogos comerciales, libros y la norma SAE JA1011 que establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para que pueda definirse como RCM. Además, se generaron múltiples formatos para la mejor comprensión del personal encargado, los cuales, se pueden manejar de manera digital o físicamente para llenar el área de trabajo.

ABSTRACT

The following thesis presents the development of a protocol for the implementation of the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology in the medium-sized industry.

Analyzing the different alternatives so that this can be implemented in the medium-sized industry in general, without delimiting its field of action. The elaboration of different tables or instructions that facilitate understanding is carried out, unifying the information that is already available or giving the bases to be able to carry out maintenance and this in turn directs the implementation of the RCM methodology, the design of a protocol through 7 stages, within which, each of the stages will be accompanied by a series of questions, which were formulated taking into account the information found in databases, commercial catalogs, books and the SAE JA1011 standard that establishes the minimum criteria that a methodology must meet in order for it to be defined as RCM. In addition, multiple formats were generated for the better understanding of the personnel in charge, which can be handled digitally or physically to fill the work area.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sector industrial es una de las grandes fuentes económicas no solo del departamento, sino del país; por tal motivo se hace primordial asegurar que la industria siga proporcionando estos ingresos económicos, se debe respaldar a la industria para que esta siga en aumento, y la mejor forma es garantizando que las empresas puedan obtener una productividad adecuada, empezando desde las pequeñas y medianas empresas, que en muchos de sus casos se han visto afectadas en su eficiencia, esto conllevando a que no obtengan las metas u objetivos planeados obligándose a desaparecer.

Lo descrito anteriormente nos obliga tomar medidas, puesto que el mantenimiento de las empresas ha cambiado tanto que se ha convertido en una disciplina gerencial y se les ha dado una mayor importancia a los aspectos de seguridad y del medio ambiente, dejando claro la relación que hay entre un buen mantenimiento con la calidad del producto y esto a su vez con la obtención de una alta disponibilidad a bajos costos.

Frente a estos grandes cambios que ha tenido el mantenimiento y el papel tan fundamental que este conlleva para la productividad y el cumplimiento de los estándares internacionales, los gerentes de todo el mundo buscan el acercamiento a un mantenimiento que pueda proporcionar los requerimientos anteriormente nombrados. Esto se podría llevar a cabo implementando un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Si el RCM es aplicado correctamente, se podrá mejorar la relación entre el personal involucrado, la operación y a su vez el mantenimiento de los activos críticos o no críticos de la compañía. Esto como resultado aumentará el funcionamiento de los activos que paralelamente incrementará la disponibilidad que irá encaminada a la obtención de una mejor productividad.

La aplicación de la metodología RCM en la pequeña y mediana industria es un gran paso a la construcción de un mantenimiento de clase mundial en la región, esto con el fin de poder cumplir los requerimientos de calidad y así poder afianzar a las pequeñas y medianas empresas, como compañías en crecimiento que puedan competir con los modelos de calidad, debido a que la implementación de la metodología RCM nos ayudará significativamente en la disponibilidad de los equipos, disminuyendo el tiempo muerto de los mismos y esto se verá reflejado en los resultados de las metas propuestas por los gerentes, no obstante con esta implementación se tendrá un incremento en las ganancias económicas de la compañía, lo cual ayudará a que la empresa no vaya a desaparecer sino todo lo contrario, se afianzara en la región.

Este trabajo investigativo se llevará a cabo en 4 etapas, las cuales van acompañadas de una serie de preguntas las cuales van encaminadas a buscar la comprensión y la comprensión de la metodología RCM esto con el fin de que se pueda asociar de una mejor manera dicha metodología.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el sector industrial es una de las grandes fuentes económicas no solo del departamento sino del país, se hace primordial asegurar que la industria siga proporcionando estos ingresos económicos, por ende se debe respaldar a la industria para que esta siga en aumento, y la mejor forma es garantizando que las empresas puedan obtener una productividad adecuada, empezando desde las pequeñas y medianas empresas, que en muchos de sus casos se han visto afectadas en su eficiencia, esto conllevando a que no obtengan las metas u objetivos planeados obligándose a desaparecer.

Con lo mencionado anteriormente nos surge la siguiente pregunta: ¿a qué se debe esto? En la mayoría de los casos las empresas solo se preocupan por la producción económica dejando a un lado los estándares de calidad mundial, lo que las convierte en empresas obsoletas, pero una de sus principales fallas ocurre porque no tiene un mantenimiento adecuado con llevándolas a que su producción se ve interrumpida por paradas o fallas no previstas.

Lo descrito anteriormente nos obliga tomar medidas, puesto que el mantenimiento ha cambiado tanto que se ha convertido en una disciplina gerencial y se les ha dado una mayor importancia a los aspectos de seguridad y del medio ambiente, dejando claro la relación que hay entre un buen mantenimiento con la calidad del producto y esto a su vez con la obtención de una alta disponibilidad a bajos costos.

Frente a estos grandes cambios que ha tenido el mantenimiento y el papel tan fundamental que este conlleva para la productividad y el cumplimiento de los estándares internacionales los gerentes de todo el mundo buscan el acercamiento a un mantenimiento que pueda proporcionar los requerimientos anteriormente nombrados. Esto se podría llevar a cabo implementando un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Si el RCM es aplicado correctamente, se podrá mejorar la relación entre el personal involucrado, la operación y a su vez el mantenimiento de los activos críticos o no críticos de la compañía. Esto como resultado aumentará el funcionamiento de los activos que paralelamente incrementará la disponibilidad que irá encaminada a la obtención de una mejor productividad.

Por lo tanto, se genera la pregunta problema: ¿Cómo construir un protocolo para la aplicación de la metodología RCM en la mediana industria?

3 JUSTIFICACIÓN

La aplicación de la metodología RCM en la pequeña y mediana industria es un gran paso a la construcción de un mantenimiento de clase mundial en la región, esto con el fin de poder cumplir los requerimientos de calidad y así poder afianzar a las pequeñas y medianas empresas, como compañías en crecimiento que puedan competir con los estándares de calidad, puesto que la implementación de la metodología RCM nos ayudará significativamente en la disponibilidad de los equipos, disminuyendo el tiempo muerto de los mismos y esto se verá reflejado en los resultados de las metas propuestas por los gerentes, no obstante con esta implementación se tendrá un incremento en las ganancias económicas de la compañía, lo cual ayudará a que la empresa no vaya a desaparecer sino todo lo contrario, se afianzara en la región.

Así pues, la empresa podrá ir evolucionado y podrá abrir nuevos portafolios, esto se verá reflejado en la obtención de nuevos empleos que no solamente representan fuentes de trabajo directas sino fuentes de empleo indirectas, puesto que el poder adquisitivo de la región se verá incrementado.

Por otra parte, se podrán afianzar los conocimientos en diferentes tipos de mantenimiento que por el nivel actual de la industria se han visto un poco afectados y en muchos de los casos las empresas pequeñas o medianas no los pueden adquirir y esto en parte se debe a que deben de destinar esfuerzos económicos en la reparación de equipos, que de llevar el mantenimiento adecuado se hubiera podido haber evitado.

Por consiguiente, la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) abre las puertas no solo a inmersión del mantenimiento moderno, sino a una inmersión en tecnologías nuevas, las cuales tiene como objetivo una gerencia que va de la mano con el mantenimiento

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un protocolo para la aplicación de la metodología RCM en la industria a través de una herramienta digital.

4.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar antecedentes con información confiable de diversas fuentes que permitan proponer un protocolo de etapas para la metodología RCM.
- Definir los parámetros que se tendrán en cuenta al realizar el protocolo por etapas de la metodología RCM.
- Aplicar el protocolo de mantenimiento de la metodología RCM a equipos rotativos.

5 ALCANCE

La trascendencia de este protocolo radica en poder brindarle a la mediana industria la oportunidad de implementar la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), esto con el fin de garantizar el avance significativo en cuanto a la disminución de costos por tiempos muertos y paradas no programadas.

Al mejorar un proceso con la ayuda de la metodología RCM puede aumentar la disponibilidad de equipos y su confiabilidad, además de disminuir costos de mantenimiento asociados, en dinero invertido en mantenimientos innecesarios o en algunos casos excesivos, como son los gastos repetitivos en fallas que no se resuelven desde su causa raíz.

Mejorar un mantenimiento a través de la metodología RCM permite que el personal técnico este mejor capacitado, llevándolo a conocer correctamente la funcionalidad del activo y se pueda obtener una herramienta de diagnóstico sencilla.

Para la implementación de este protocolo se necesita que la empresa cuente con un plan de mantenimiento ya establecido el cual nos sirva de base para poder identificar cuáles son los equipos críticos, por otra parte, se tendría que realizar primero un mantenimiento, para seguidamente implementar el protocolo.

6 MARCO TEÓRICO

En este apartado se presenta la teoría y definición de los términos que se emplean en el documento, se presenta los tipos de mantenimientos, las características, ventajas y desventajas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), además se presentan diferentes formatos de fácil comprensión y asociación para el personal encargado de los activos.

6.1 MARCO DE REFERENCIA

Se desarrolla una investigación aplicada, empleando metodologías cuantitativas y cualitativas, para resolver el cómo pueden implementar medianas empresas la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) , con el enfoque que se apliquen conocimientos básicos de la ingeniería mecánica en el área de mantenimiento y administración, poniendo en práctica la búsqueda, selección y desarrollo de esquemas o planes de mantenimiento, orientando todo hacia el ámbito general del mantenimiento e implementación de tecnologías del mismo

Con este diseño de investigación se propuso el problema a solucionar, con una búsqueda exhaustiva se procede con la recolección de información mediante las bases de datos, con el fin de obtener antecedentes del tema, seguido de una propuesta que dará apertura al desarrollo del problema planteado y por último se presentó la solución al protocolo de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

6.2 MARCO HISTÓRICO

En el mantenimiento mecánico es indispensable llevar un plan adecuado, esto con el fin de aumentar la vida útil de los activos, evitando paradas imprevistas o pérdidas irreparables, es por esto que el mantenimiento ha venido evolucionando drásticamente y la implementación de nuevos mantenimientos es un avance significativo para poder cumplir con las exigencias industriales, una de las maneras en las cuales podemos seguir a la vanguardia es con la implementación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), debido que es un mantenimiento de clase mundial, el cual si se es llevado de la manera adecuada nos permitirá mejorar la relación entre el personal involucrado, la operación y a su vez el mantenimiento de los activos críticos o no críticos de la compañía. Esto como resultado aumentará el funcionamiento de los activos que paralelamente incrementará la disponibilidad que irá encaminada a la obtención de una mejor productividad.

Algunas compañías de la mediana o de la gran industria se están acogiendo a la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), dentro de las implementaciones más recientes se encuentran:

- **Implementación de RCM a proceso de granallado en la planta de producción agrícola de la empresa Bonem:** Esta investigación plantea una metodología para mejorar un plan de mantenimiento a equipos involucrados en el proceso de granallado el cual produce pérdidas por paros de producción, al implementar esta metodología se buscan beneficios como reducción de tiempo, costos y pérdidas de producción en el proceso de granallado. Se implementó una estrategia de 6 pasos, diseño de indicadores de mantenimiento RCM, recopilación y estandarización de la información técnica, posibilidades de falla de un equipo, diseño de medidas preventivas, categorización de las medidas preventivas y posibilidades de mejora, de esta forma se aporta un plan de mantenimiento que genere confiabilidad y reducción por paros de producción. (ARBOLEDA, 2021) ¹
- **Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a bombas de carga en una refinería:** El objetivo de esta tesis es realizar una aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en bombas de carga de una refinería ubicada en (Perú), busca analizar los equipos activos con la finalidad de conocer modos de fallas de esta forma implementar un plan de mantenimiento que minimice costos y garantice la disponibilidad de los equipos. Como resultado se realiza una propuesta de plan de mantenimiento, un análisis de costo de ciclo de vida, finalmente se comprueba que la confiabilidad operacional depende considerablemente de la forma en la que se realizan las actividades preventivas durante la operación de los equipos. (VALLADARES, 2020) ²
- **Implementación del mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) en los motores de las lanchas de instrucción:** Este trabajo implementa (RCM) un mantenimiento centrado en confiabilidad aplicado a los motores de lanchas de instrucción de la escuela naval militar (ENM), este trabajo es dividido en dos partes, la primera parte consiste en investigar la filosofía RCM, y llevar a cabo una implementación práctica en el mantenimiento actual

¹ ARBOLEDA, Esteban. Ingeniero Electromecánico. Medellín, 2021, 95p. IMPLEMENTACIÓN DE RCM A PROCESO DE GRANALLADO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE LA EMPRESA BONEM. Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM Facultad de Ingenierías. Departamento de Electromecánica

² CRUZADO, Ricardo. Ingeniero Mecánico-Eléctrico. PIURA, 2020, 109p. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a bombas de carga en una refinería. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

de los equipos elegidos, la segunda parte del trabajo consiste en implementar un nuevo plan de mantenimiento basados en la información recolectada en RCM. Posteriormente, se implementan los planes de mantenimiento seleccionados y su justificación, el proyecto finaliza con la elaboración de un plan de mantenimiento basado en RCM donde se contrasta y se procesa todo el trabajo que se llevó a cabo. (ASENSIO VISERAS, 2019)³

- **Implementación de los resultados del análisis de vibración en la planeación del mantenimiento, para la categorización y clasificación de la severidad de la vibración de equipos rotativos en casa Luker s.a** Este proyecto está enfocado a una necesidad en el área de mantenimiento de la empresa casa luker S.A debido a que los recursos disponibles en la empresa se emplean a comodidad de cada área. Sin embargo, el uso de estrategias basadas en confiabilidad como el análisis de criticidad, permiten conocer el estado general de una instalación y atender fallas en los equipos, además de orientar los recursos de una manera adecuada, con el fin de garantizar el funcionamiento de las líneas de producción en planta. La solución generada y desarrollada consistió en la implementación de los resultados del análisis de vibración a las áreas de trabajo, las cuales están compuestas por equipos rotativos. (Rubiano Carlos, 2017)⁴
- **Optimización del plan de mantenimiento actual de la línea de plátano en la empresa pepsico alimentos colombia basado en la metodología RCM:** El presente trabajo de grado se enfoca en buscar el incremento de la disponibilidad técnica de los equipos críticos en la línea de chips de plátano de la empresa PepsiCo Alimentos, basados en la implementación de un programa de metodología RCM debido a la baja eficiencia que presenta el plan actual de mantenimiento. Soportados en esta metodología se crea un equipo multidisciplinario conformado por el gerente de mantenimiento, coordinador de mantenimiento, técnico líder de la línea, planeador, operario y el facilitador RCM para el desarrollo de las sesiones, se inicia definiendo la taxonomía de la línea, recomendada bajo la norma ISO 14224 para cargar en SAP que es el administrador de mantenimiento asistido por computadora, posteriormente se limita el alcance para los equipos de proceso y se redacta el contexto operacional de cada sistema donde se contemplan las variables

³ ASENSIO Francisco. Ingeniero Mecánico. VIGO, 2019, 112p. Implementación del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) en los motores de las lanchas de instrucción. Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar. Facultad de Ingeniería Mecánica

⁴ MATOMA, Carlos. Ingeniero Mecánico. BOGOTÁ D.C., 2017, 90p. implementación de los resultados del análisis de vibración en la planeación del mantenimiento, para la categorización y clasificación de la severidad de la vibración de equipos rotativos en casa luker s.a. UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS. Facultad de Ingeniería Mecánica. División de Ingenierías

operativas para que los equipos trabajen a su capacidad nominal y se identifican las funciones deseadas de estos. Tomando como base la información registrada en SAP de las actividades correctivas realizadas a los equipos, se inicia con el desarrollo del AMEF para identificar los modos de falla, sus efectos y su impacto representado con el número de prioridad de riesgo, de esta manera se define la criticidad (acorde con la metodología propia de la compañía) de cada falla para determinar la criticidad global de los equipos. Apoyados con el diagrama de decisión desarrollado por la propia compañía, se analiza en conjunto con el equipo multidisciplinario durante las reuniones programadas, las actividades costo – efectivas basadas en tres categorías (autónomo, monitoreo por condición y frecuencia de recambio) para ser implementadas. Estas actividades planificadas son plasmadas en una matriz de mantenimiento para facilitar su carga masiva al sistema. (TORRES & PEREZ, 2021) 5

- **Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad (rcm) en máquinas en el proceso de hilandería open end en la empresa Fabricato** El plan de mantenimiento preventivo para la industria manufacturera es primordial para garantizar la calidad durante los procesos de transformación de materias primas, el estado mecánico, eléctrico y electrónico de los equipos que intervienen en el proceso deben estar en las mejores condiciones garantizando la confiabilidad con el objetivo de maximizar la producción.

El presente informe presenta el estudio describe la propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad por horas de trabajo máquina en la línea de producción hilandería open end o hilandería por rotor partiendo de tres procesos de producción diferentes (hilos 100% algodón, hilos recuperados, hilos mezclados) garantizando la disminución de los paros mecánicos enfocándose en un plan de mantenimiento que permita mantener en las mejores condiciones las máquinas, interviniéndolas con un plan de trabajo estructurado según el tipo de intervención mejorando continuamente los tiempos de mantenimiento óptimos para disminuir los costos por daños mecánicos.

Para llevar a cabo esta propuesta se estudió el manual de servicio el cual contiene las diferentes actividades de mantenimiento y lubricación según la frecuencia y el tipo de máquina, por otro lado se estudió el manual eléctrico-mecánico el cual muestra las redes de conexión y las partes mecánicas, luego se observaron los diferentes mantenimientos para tomar el tiempo de

⁵ TORRES, Jackson. PEREZ, Juan. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá, 2021,106p. Optimización del plan de mantenimiento actual de la línea de plátano en la empresa Pepsico Alimentos Colombia basado en la metodología RCM. Universidad ECCI. Dirección de Posgrados.

duración de las actividades de mantenimiento, luego se llevó el plan de mantenimiento a la necesidad de los salones de hilandería para tener la necesidad de personal mecánico e instrumentación eléctrica para cumplir con las actividades de mantenimiento preventivo, se realizaron las listas de chequeo por máquina según el modelo basado en los manuales de servicio especificando las actividades mecánicas, eléctricas y de lubricación para garantizar el plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad de la máquina. (SOTO, 2022)⁶

- **Diseño de un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para una empresa manufacturera de látex** Se presenta un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para una empresa manufacturera de Látex, teniendo como base las normas SAE JA 1011 y JA 1012; partiendo de la determinación de los modos de falla del equipo. Posterior a esto se evalúa el proceso actual de mantenimiento a nivel técnico - administrativo y finalmente se plantean las modificaciones necesarias que prometen mejorar la disponibilidad y confiabilidad del equipo. Se realiza una descripción de la distribución de la planta y las funciones principales del activo objeto de estudio a través de un diagrama de bloques, se obtiene una guía que podrá ser replicada a los demás equipos de una planta industrial con el fin de implementar una filosofía completa de mantenimiento que permita solucionar de manera efectiva la causa raíz de los problemas, mantener la funcionalidad de los equipos y preservar la vida útil de la maquinaria o infraestructura en una planta de producción. (BUSTAMANTE & CAÑAVERAL, 2022)⁷
- **Diseño e implementación de un plan de mejoramiento basado en rcm para el mantenimiento de las bombas horizontales de inyección de agua de campo jaguar – masa stork** En el siglo donde la industrialización de las empresas y los grandes sistemas de producción avanzan de manera exponencial se producen todo tipo de inconvenientes técnicos que producen pérdidas económicas importantes, por lo tanto, la realización de una serie de tareas o acciones tendientes a garantizar un funcionamiento eficiente de las máquinas o activos constante en el tiempo, ha llevado a generar un término profesional llamado Mantenimiento. El presente trabajo despliega el diseño e implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM para

⁶ VÉLEZ, Elkin. Ingeniero Industrial. Medellín, 2022, 26p. Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la Confiabilidad (RCM) en máquinas en el proceso de hilandería open end en la empresa Fabricato. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Industrial.

⁷ BUSTAMANTE, Andrés. CAÑAVERAL, Luisa. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Medellín, 2022, 48p. Diseño de un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para una empresa manufacturera de látex. Universidad de Antioquia. Facultad de ingeniería.

bombas horizontales multietapa, generando una confiabilidad enfocada al equipo más crítico del proceso de inyección de agua de la empresa Masa – Stork , actual operadora del mantenimiento de la locación campo jaguar.

El reciente diseño elaborado, está encaminado a mantener unos parámetros de sostenibilidad denominados mantenibilidad y disponibilidad de activos del área de inyección de agua, en este caso las bombas de inyección, mejorando el sistema de obtención de crudo y mejorando las políticas de calidad de la empresa. En el desarrollo del proyecto se realizó la recopilación de información pertinente al proceso de inyección de agua de campo jaguar verificando la criticidad de los equipos presentes en el proceso y analizando los factores más importantes del mismo ya que solo se realizaba mantenimiento correctivo, dado esto, se determinaron las fases o procesos críticos, encontrando que en las bombas horizontales multietapa se presentaban las paradas más críticas y económicamente más costosas. Por consiguiente, nuestro diseño e implementación está enfocado a este activo.

En Masa Stork se inició el proceso de implementación del software Administrativo SAP, de donde se recopilaron algunos datos referentes a los tipos de falla y su cuantía en un tiempo determinado, basado en esto se realizaron algunas pruebas específicas a un solo equipo (Bomba de Inyección Horizontales Multietapa) debido a la baja inversión y a que existen 6 bombas de la marca Baker Hugues en su línea Centrillift, se determinó hacer las pruebas en la bomba más usada de estas. Finalmente, basados en estos datos, en las pruebas realizadas, con el apoyo del personal de mantenimiento de masa stork se configuro un Amef general para todos los equipos de inyección y se crearon los formatos y sugerencias de mantenimiento enfocadas a la confiabilidad y mantenibilidad de las bombas de inyección multietapa basados en la normatividad vigente.

Cabe mencionar que la implementación se ira realizando periódicamente, ya que es un proceso que requiere una inversión económica importante en compra de repuestos y en capacitación para el personal, por lo tanto, se ira incluyendo en el sistema Sap para permitir medir su eficiencia y final aplicación. (PEREZ, 2017)⁸

- **Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos:** El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología ampliamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento de equipos industriales basándose en

⁸ CEPEDA, Diego. Ingeniero Electromecánico.Duitama,2017,64p. Diseño e implementación de un plan de mejoramiento basado en rcm para el mantenimiento de las bombas horizontales de inyección de agua de campo jaguar – masa stork. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Escuela de ingeniería electromecánica.

asegurar las funciones del equipo para la satisfacción del usuario o propietario. Actualmente existen varias metodologías de RCM, sin embargo, la esencia de esta metodología está contenida en la norma SAE JA1011. En este trabajo se propone una metodología RCM aumentada, que además de incluir los pasos que señala la norma SAE JA1011, incluye algunos pasos adicionales que facilitan la aplicación. La metodología propuesta se obtuvo después de analizar las normas SAE JA1011 y SAE JA1012 para RCM, la metodología de análisis de modos de falla y efectos (FMEA por sus siglas en inglés) de la norma SAE J1739, la norma ISO 14224, la base de datos OREDA y algunos casos de estudio. Se obtuvo una metodología de RCM aumentada que incluye pasos adicionales tales como: recopilación de información, utilización de la norma ISO 14224 para uniformizar la información del equipo, utilización de bases de datos como OREDA para las causas de falla y la evaluación de efectos de falla para definir los números de prioridad de riesgo (NPR) y jerarquizar las fallas. Se presenta y analiza de forma breve un caso de aplicación de la metodología propuesta. (LOPEZ, TOLENTINO, & TOLEDO, 2018)⁹

6.3 MARCO CONCEPTUAL

En la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se convierte en una de las formas de ingresar al mantenimiento de clase mundial, es por eso que detrás de esta implementación tenemos una serie de conceptos que de no tener su significado claro se podría pasar por alto el nivel de importancia en cuanto al mantenimiento.

A continuación, se describen los fundamentos teóricos involucrados en la investigación con la intención de dar a conocer el contexto del protocolo de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM):

- **Empresa:** Este concepto forma parte de una racionalización del tamaño de la empresa, que, aun teniendo un tamaño moderado, el cual no se ubicaría en la categoría de pequeñas ni grandes empresas.
- **Protocolo:** El protocolo refiere a una serie de recomendaciones o instrucciones que deben llevar a cabo el personal a cargo de la herramienta.
- **Equipo rotativo:** Son equipos o máquinas que tienen como finalidad realizar un trabajo mecánico, bajo un principio de funcionamiento de un eje que transmite movimiento a un efector final (engranajes, impulsores, alabes).

⁹ (LOPEZ, TOLENTINO, & TOLEDO, 2018)

- **Activo:** Son los bienes materiales que una empresa o persona cuenta, unos ejemplos podrían ser (vehículo, bomba, motor etc.), también pueden ser las materias primas que se utilicen en un proceso.
- **Herramienta digital:** Consiste en programas informáticos que se encuentran en computadoras, celulares y tabletas, su finalidad es facilitar tareas cotidianas clasificándose según la necesidad del usuario.
- **Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM):** Reliability Centered Maintenance (RCM), traducido al español Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, es desarrollado como metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, el cual se puede aplicar a cualquier tipo de instalación industrial, siendo útil para generar y mejorar el plan eficiente de mantenimiento preventivo. La filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad establece, como criterio general, el mantenimiento prioritario de los componentes determinados como críticos para el adecuado funcionamiento de los equipos o máquinas, permitiendo operar hasta su fallo a los componentes no críticos, instante en el que se aplicaría el correspondiente mantenimiento correctivo. (LOPEZ, TOLENTINO, & TOLEDO, 2018)¹⁰
- **Antecedentes del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM):** El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad nace a fines de la década de los años 60, en un esfuerzo conjunto del gobierno americano y la industria aeronáutica, con el único objetivo de establecer mejores actividades de mantenimiento con frecuencias o (RCM) óptimas para dichas actividades, con la finalidad de poder atender a los nuevos diseños de aeronaves con un mayor tamaño, capacidad y complejidad. Los nuevos diseños son muchos más complejos que hacen que los mismos sean mantenidos con los antiguos conceptos y políticas de gobierno existente, por ello el objetivo del grupo de trabajo fue implementar procedimientos, instructivos adecuados con la finalidad de minimizar tiempos de parada por falta de mantenimiento, minimizando los costos de mantenimiento y aumentando la seguridad de los vuelos. (LOPEZ, TOLENTINO, & TOLEDO, 2018) ¹¹
- **Uso del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM):** El Mantenimiento Centrado en la confiabilidad es usado para determinar que debe realizarse, con la finalidad de asegurar que cualquier activo físico permanezca haciendo lo que sus usuarios quieren que desarrollen en las operaciones indicadas. Así mismo, también es el mantenimiento que debemos de hacer para que nuestras instalaciones cumplan con lo que

¹⁰ (LOPEZ, TOLENTINO, & TOLEDO, 2018)

¹¹ (LOPEZ, TOLENTINO, & TOLEDO, 2018)

esperamos que haga. (LOPEZ, TOLENTINO, & TOLEDO, 2018) 12

- **Mantenimiento reactivo:** Este es un proceso de reparación al que deben someterse aquellos activos empresariales que presenten una clara deficiencia en su desempeño funcional. Se realiza cuando el equipo requiere reparaciones de emergencia. (Compara Software, 2022) 13
- **Mantenimiento preventivo:** Se define como mantenimiento preventivo a la acción de revisar de manera sistemática y bajo ciertos criterios a los equipos o aparatos de cualquier tipo (mecánicos, eléctricos, informáticos, etc....) para evitar averías ocasionadas por uso, desgaste o paso del tiempo, El mantenimiento preventivo se adelanta a las averías antes de que ocurran o hace que sean menos graves, por lo que disminuye el gasto en reparaciones y el tiempo en el que los equipos dejan de estar operativos debido a las mismas. (INFRASPEAK, 2022)14
- **Mantenimiento predictivo:** El mantenimiento predictivo es una técnica que utiliza herramientas y técnicas de análisis de datos para detectar anomalías en el funcionamiento y posibles defectos en los equipos y procesos, de modo que puedan solucionarse antes de que sobrevenga el fallo. Al igual que el análisis predictivo permite anticipar, por ejemplo, los movimientos de los mercados o las fluctuaciones en la demanda de energía, el mantenimiento predictivo utiliza el análisis de datos para adelantarse a los fallos de los sistemas y es parte fundamental del Internet Industrial de las Cosas. (IBERDROLA, 2022)15
- **Mantenimiento proactivo:** Es una técnica que tiene como fundamento localizar la raíz de una falla operativa en un equipo o en todo un sistema de producción para controlarla o eliminarla, para llevar a cabo sus funciones utiliza los datos de diagnósticos arrojados desde el mantenimiento predictivo. El desarrollo de este tipo de mantenimiento busca aumentar la vida útil de todos los equipos, el mantenimiento proactivo puede ser aplicado en

¹² (LOPEZ, TOLENTINO, & TOLEDO, 2018)

¹³ SOFTWARE, Compara. Mantenimiento Reactivo {En línea} {22 de octubre 2022}. Disponible en: <https://blog.comparasoftware.com/mantenimiento-reactivo/>

¹⁴ INFRASPEAK. ¿Qué es el mantenimiento preventivo? {En línea} {10 septiembre 2022} Disponible en: <https://blog.infraspeak.com/es/mantenimiento-preventivo/#:~:text=El%20mantenimiento%20preventivo%20consiste%20en,equipo%20mantiene%20su%20capacidad%20operativa.>

¹⁵ IBERDROLA. ¿Qué es el mantenimiento predictivo? {En línea} {10. septiembre 2022}. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/mantenimiento-predictivo/#:~:text=QU%C3%89%20ES%20EL%20MANTENIMIENTO%20PREDICTIVO,de%20que%20sobrevenga%20el%20fallo.>

cualquier industria, sin embargo, ha tenido mayor incidencia que aquellas empresas que han implementado la tecnología 4.0 en sus procesos de producción, el mantenimiento proactivo es una de las prácticas emergentes en cuanto a mantenimiento industrial se refiere y se apoya en la inteligencia artificial. (GSL, 2022)¹⁶

- **Mantenimiento correctivo:** El mantenimiento correctivo se define como cualquier operación u orden de trabajo (OT) realizada para restituir la maquinaria, las instalaciones o cualquier activo, a un estado de funcionamiento óptimo, de este modo, una vez concluidas las tareas de mantenimiento correctivo necesarias, el equipo vuelve a funcionar normalmente dentro de los límites y tolerancias establecidos para las operaciones en servicio. En resumen, la falla es identificada, separada y reparada, el objetivo de todo equipo de mantenimiento es ser rápido y eficaz, especialmente cuando se trata de averías inesperadas en equipos críticos. (INDUSTRIA, 2022) 17
- **Número de prioridad de riesgo o NPR:** Es un valor que establece una jerarquización de las fallas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, éste provee la prioridad con la que debe de atacarse cada modo de falla, identificando ítems críticos; lo que conlleva a dar prioridad a los NPR más altos. (MOUBRAY, 2004) 18
- **Análisis de criticidad:** Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. El análisis de criticidad permite así mismo identificar las áreas sobre las cuales se tendrá una mayor atención del mantenimiento en función del proceso que se realiza. (MOUBRAY, 2004)
- **Actividad de mantenimiento:** Expresada como el porcentaje dado por la relación entre horas-hombre de mantenimiento, divididas por el total de horas hombre en la producción. (MOUBRAY, 2004)
- **Disponibilidad:** La disponibilidad es una función de la confiabilidad y la mantenibilidad, entre otras palabras con qué frecuencia un equipo fallará y que tanto tiempo tomará regresar al equipo a sus condiciones normales de operación. La disponibilidad permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir

¹⁶ INDUSTRIAS GSL. Mantenimiento Proactivo. {En línea} {10 septiembre 2022}. Disponible en: (<https://industriassgsl.com/blogs/automatizacion/mantenimiento-proactivo>)

¹⁷ CENTRO DE FORMACIÓN TÉCNICA PARA LA INDUSTRIA. Mantenimiento Correctivo. {En línea} {10 septiembre 2022} Disponible en :(<https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-correctivo/>)

¹⁸ MOUBRAY John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Buenos Aires, 2004,446p

la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad. (MOUBRAY, 2004)

- **Historico de averias:** Es una fuente de información que nos muestra el estudio del comportamiento de un activo a través de los documentos en los que se registra las averías e incidencias que pudo haber tenido. (MOUBRAY, 2004)
- **Fallas funcionales:** Son las fallas que ocurren cuando el activo no puede cumplir con su función, dicha función está definida por el usuario, dentro de unos parámetros que a su consideración son aceptables. (MOUBRAY, 2004)
- **Modos de falla:** Son hechos que de manera razonablemente posible puede haber causado estado de falla. (MOUBRAY, 2004)
- **Falla oculta:** En el proceso nos podemos encontrar con fallas ocultas, son aquellas que son provocadas por sistemas de prevención de fallas, puede ser el caso de un fusible, siempre hay que realizar una trazabilidad hacia atrás para cubrir todas las posibilidades. (HOME, 2022) ¹⁹
- **Seguridad y medio ambiente:** Se trata de una forma de proteger ante las amenazas que puedan llegar a sufrir el medio ambiente y nos pone a los seres humanos como entes dependientes de todo su entorno para poder sobrevivir. La seguridad ambiental se ha convertido en un aspecto muy importante en el desarrollo de las ciudades, los países, las empresas y la sociedad en general. (VERDES, 2022) ²⁰

6.4 MARCO LEGAL

El marco legal por el cual estará dirigido este proyecto es el que rige la implementación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, podemos encontrar las siguientes normas:

- **ISO 14224:2016:** Proporciona una base sólida para la recopilación y estructuración de los datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos de instalaciones en industrias de petróleo, gas natural y petroquímica, estos datos sirven para la gestión de los activos durante su ciclo de vida. Debido a que aborda equipos comunes en las instalaciones industriales, esta norma puede ser fácilmente adaptada para su aplicación en cualquier industria que

¹⁹ (HOME, 2022)

²⁰ RENOVABLES VERDES. Seguridad ambiental. {En línea} {21 de nov. de 2022} Disponible en: (<https://www.renovablesverdes.com/seguridad-ambiental/>)

tenga activos físicos en los procesos, de esta forma se puede utilizar esta norma al recopilar la información del activo. (International Organization for Standardization, 2022) 21

- **SAE JA1012** (“A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard”) Amplifica y aclara cada uno de los criterios claves listados en SAE JA1011 resume problemas adicionales que deben ser tomados en cuenta para aplicar el mantenimiento centrado en la confiabilidad exitosamente. (SAE JA1012, 2022)²²
- **SAE JA 1011** Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. En la mayoría de su contenido habla de los criterios de selección y de evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad En la Sección 15 explica más detalladamente como se pueden combinar los elementos claves del proceso MCC para seleccionar políticas apropiadas de manejo individual de modos de falla y sus consecuencias. En la Sección 18 toma en cuenta la gerencia y los aspectos relacionados con recursos esenciales para el desarrollo exitoso de MCC (SAE JA 1011, 2022)²³

²¹ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 14224 {En línea} {20 septiembre de 2022} Disponible en: (<https://www.maintenance.org/fileSendAction/fcType/0/fcOid/399590942963881104/filePointer/399590942964804260/fodoid/399590942964804258/ISO14224.pdf>)

²² SAE JA 1012{En línea} {20 septiembre de 2022} Disponible en: (https://www.sae.org/standards/content/ja1012_201108/)

²³ SAE JA 1011{En línea} {20 septiembre de 2022} Disponible en: (https://www.sae.org/standards/content/ja1011_199908/)

7 METODOLOGIA

Moubray (2014) Define el mantenimiento RCM “como un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operativo, en otras palabras, busca garantizar el funcionamiento operativo, lo que permite disminuir pérdidas operacionales.

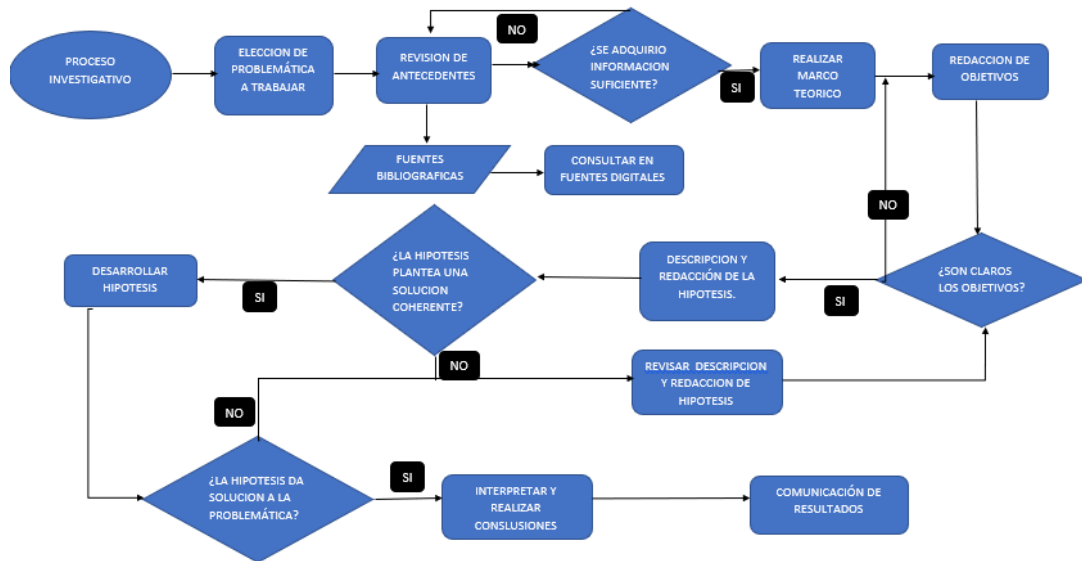
Dado que el objetivo del estudio será realizar un protocolo para la implementación de la metodología RCM a través de una herramienta digital, se recurre a un diseño experimental que se aplica de manera descriptiva, considerando que el tema tiene un sustento teórico suficiente, se procedió a realizar una investigación de tipo experimental para conocer a detalle el cómo aplicar la metodología de mantenimiento RCM en una herramienta digital.

De acuerdo con (Hernández, Fernández y baptista (2003)) la investigación descriptiva “busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis”, los mismos autores señalan que los diseños experimentales “se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables y por qué lo hacen”.

El presente trabajo se diseñará bajo la metodología de un enfoque cuantitativo, ya que se adapta a la necesidad de la investigación. El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para contestar a preguntas de investigación y probar hipótesis y teorías previamente establecidas, y se fía de “la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población” (Hernández, Fernández, & baptista, 2003, p.5).

Del enfoque cuantitativo se tomará la técnica de revisión de documentos para realizar un protocolo de mantenimiento RCM, así como encontrar documentos públicos que permitan la recolección correcta de datos.

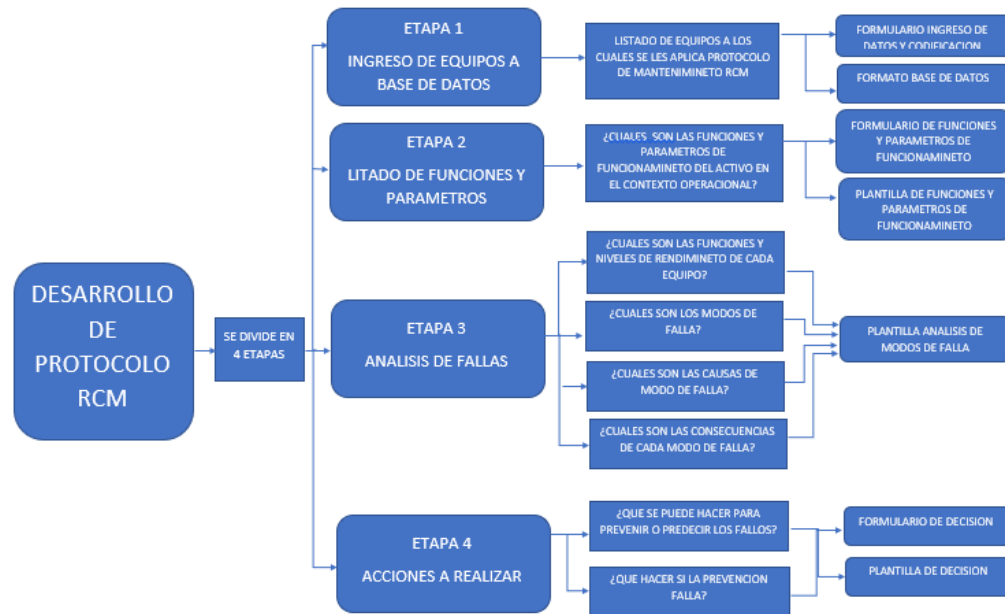
FIGURA 1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO



Fuente: Autor

Para realizar el protocolo de mantenimiento rcm se desarrollará una herramienta en Excel adaptada a la metodología rcm (MOUBRAY, 2004) el protocolo contiene 4 etapas que responden a 7 preguntas que plantea el mismo.

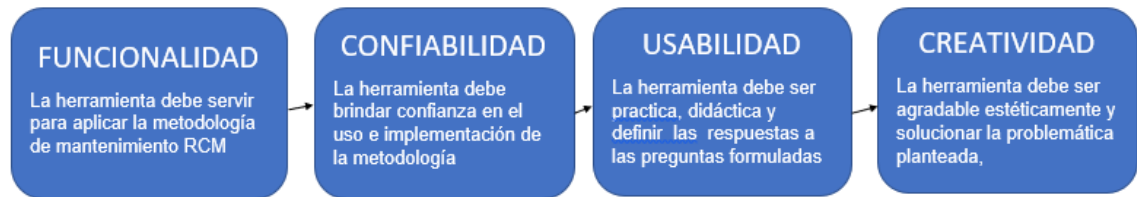
FIGURA 2 DESARROLLO DE PROTOCOLO RCM



Fuente: Autor

los criterios que se tendrán en cuenta para el desarrollo del protocolo se explican en la

FIGURA 3 CRITERIOS DE DESARROLLO



Fuente: Autor

El desarrollo de la herramienta se plantea para facilitar la implementación de la metodología RCM a partir de un protocolo que responde a 7 preguntas que traza la misma:

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento del activo físico en su contexto operacional actual?

¿De qué forma puede fallar para satisfacer las funciones?

¿Cuáles son los modos de falla?

¿Cuáles son las causas de modo de falla?

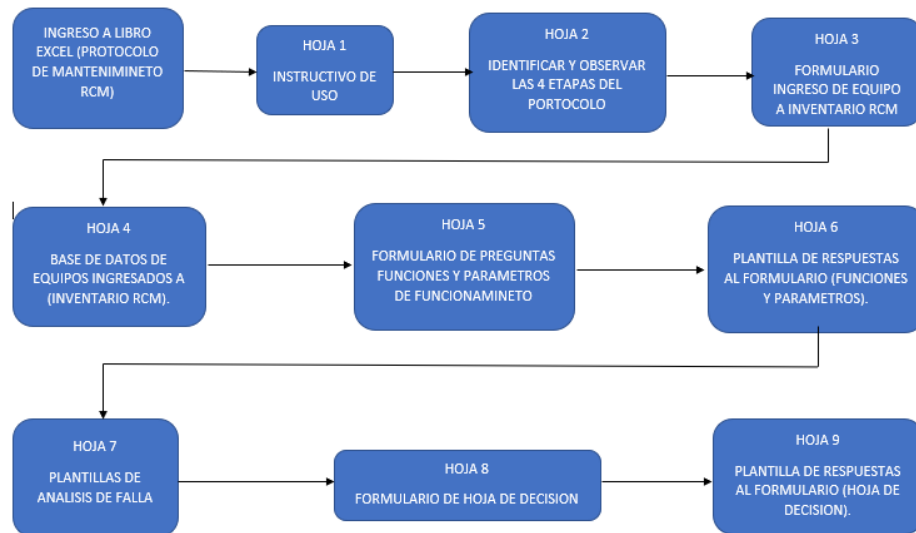
¿Cuáles son las consecuencias de cada modo de falla?

¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir fallos?

¿Qué hacer si no se establece una tarea proactiva adecuada?

Para el desarrollo de la herramienta se elabora un libro en Excel (protocolo de mantenimiento RCM) que cuenta con 9 hojas las cuales están distribuidas de la siguiente manera

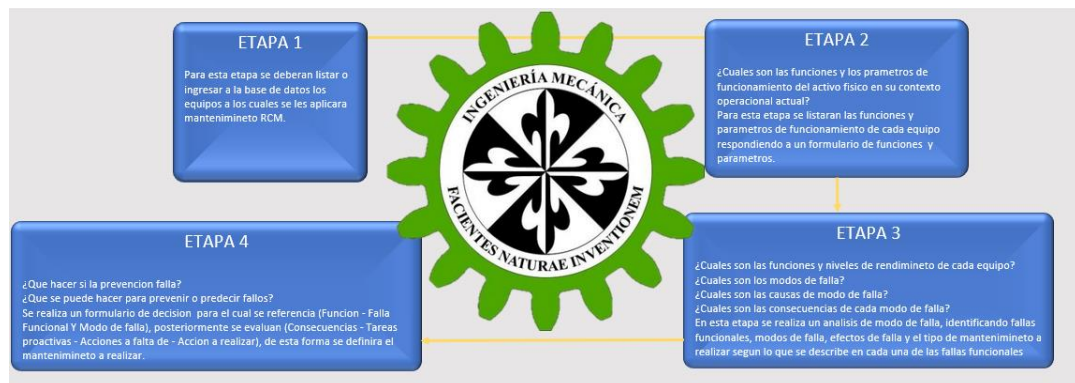
FIGURA 4 DESCRIPCIÓN DE HERRAMIENTA



Fuente: Autor

- **Hoja 1 instructivo:** En esta hoja se encuentra un instructivo básico que describe el uso de la herramienta.
- **Hoja 2 inicio (rcm):** Esta hoja presenta la distribución de las 4 etapas que incluye la descripción de cada una y la metodología al desarrollo de las 7 preguntas del mantenimiento RCM. (figura. 2). Cada etapa cuenta con un hipervínculo que redireccionara a los formularios de las etapas correspondientes por ejemplo a dar clic sobre la etapa 1 la herramienta lo redireccionara a la hoja 3 (formulario de inventario), de la misma forma con cada una de las etapas y sus formularios correspondientes.

FIGURA 5 HOJA 2



Fuente: Autor

- **Hoja 3 formulario de inventario y codificación:** Este formulario se crea bajo la necesidad de llevar una base de datos de los activos o equipos que ingresan al protocolo de mantenimiento RCM, para el cual se piden datos de identificación básicos del activo como (código, equipo/sistema, modelo, número de serie, fecha de ingreso). Figura 3.

FIGURA 6 HOJA 3 INVENTARIO

**CONTROL DE INVENTARIO
Y CODIFICACION**

CODIGO

EQUIPO/SISTEMA

MODELO

NUMERO DE SERIE

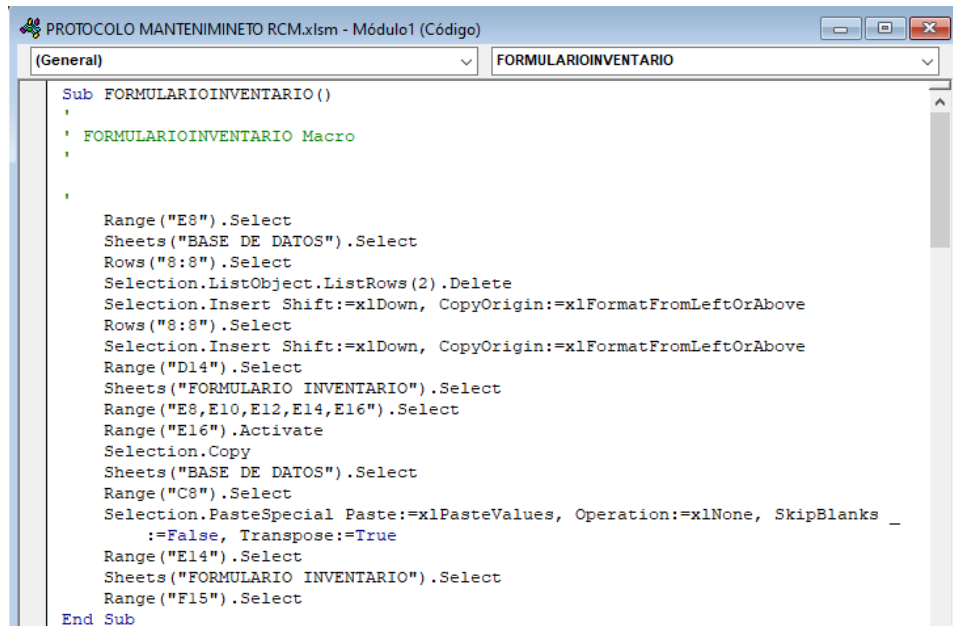
FECHA DE INGRESO

LIMPIAR GUARDAR

Fuente: Autor

El formulario cuenta con 2 teclas funcionales (LIMPIAR – GUARDAR) las cuales se desarrollan con la función programador grabar macros, que a través de una programación (figura 4) y (figura 5) permiten guardar la información en una nueva hoja y limpiar el formulario para ingresar un nuevo activo.

FIGURA 7 CÓDIGO DE TECLA GUARDAR

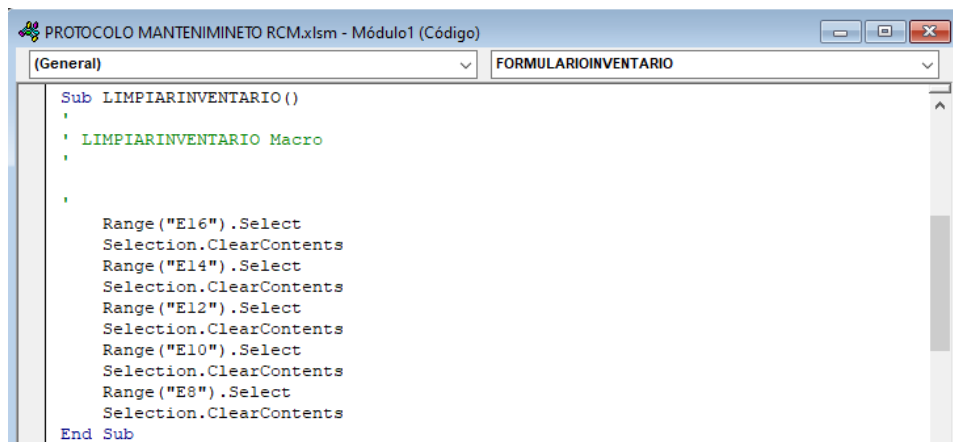


```
PROCOLO MANTENIMINETO RCM.xlsm - Módulo1 (Código)
(Formulario) FORMULARIOINVENTARIO

Sub FORMULARIOINVENTARIO ()
'
' FORMULARIOINVENTARIO Macro
'
'
    Range("E8").Select
    Sheets("BASE DE DATOS").Select
    Rows("8:8").Select
    Selection.ListObject.ListRows(2).Delete
    Selection.Insert Shift:=xlDown, CopyOrigin:=xlFormatFromLeftOrAbove
    Rows("8:8").Select
    Selection.Insert Shift:=xlDown, CopyOrigin:=xlFormatFromLeftOrAbove
    Range("D14").Select
    Sheets("FORMULARIO INVENTARIO").Select
    Range("E8,E10,E12,E14,E16").Select
    Range("E16").Activate
    Selection.Copy
    Sheets("BASE DE DATOS").Select
    Range("C8").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=True
    Range("E14").Select
    Sheets("FORMULARIO INVENTARIO").Select
    Range("F15").Select
End Sub
```

Fuente: Autor

FIGURA 8 CÓDIGO DE TECLA LIMPIAR



```
PROCOLO MANTENIMINETO RCM.xlsm - Módulo1 (Código)
(Formulario) FORMULARIOINVENTARIO

Sub LIMPIARINVENTARIO ()
'
' LIMPIARINVENTARIO Macro
'
'
    Range("E16").Select
    Selection.ClearContents
    Range("E14").Select
    Selection.ClearContents
    Range("E12").Select
    Selection.ClearContents
    Range("E10").Select
    Selection.ClearContents
    Range("E8").Select
    Selection.ClearContents
End Sub
```

Fuente: Autor

- **Hoja 4 base de datos:** Esta hoja consolida la información de la hoja 3 formulario de inventario y codificación en una plantilla, la cual permite obtener de forma organizada los activos ingresados al mantenimiento RCM. Figura 6.

FIGURA 9 BASE DE DATOS

 BASE DE DATOS 				
CODIGO	EQUIPO/SISTEMA	MODELO	NUMERO DE SERIE	FECHA DE INGRESO

Fuente: Autor

- **Hoja 5 formulario de funciones y parametros:** Este formulario presenta 12 preguntas las cuales tienen como finalidad definir el contexto operacional (funciones y parámetros) donde se entiende con claridad lo que se quiere con el activo y de esta forma cambiar la perspectiva de los operarios figura 7

FIGURA 10 FORMULARIO DE FUNCIONES Y PARÁMETROS

FORMULARIO FUNCIONES Y PARÁMETROS		
1	¿PARA QUE ADQUIERE EL ACTIVO?	
2	¿QUE DESEA QUE REALICE EL ACTIVO?	
3	FUNCION PRINCIPAL DEL ACTIVO	
4	FUNCION SECUNDARIA DEL ACTIVO	
5	¿CUMPLEN CON LOS ESTANDARES ECOLOGICOS AMBIENTALES?	
6	¿EL ACTIVO PUEDE CAUSAR ALGUN DAÑO A LOS OPERARIOS?	
7	¿EL OPERARIO PUEDE TENER UN MANEJO AUTONOMO DEL ACTIVO?	
8	¿EL ACTIVO CAUSA ALGUNA MOLESTIA O INCOMODIDAD?	
9	¿CUMPLE UNA FUNCION PRINCIPAL O SECUNDARIA LA APARIENCIA DEL ACTIVO?	
10	¿LOS SENSORES, ALARMAS, LUCES Y OTROS DISPOSITIVOS AUTOMATICOS DE PROTECCION SE ENCUENTRAN EN PERFECTO ESTADO?	
11	¿CON QUE PRESUPUESTO ECONOMICO SE CUENTA PARA EL MANTENIMIENTO DEL ACTIVO?	
12	¿EL ACTIVO ESTA UBCADO EN UNA CORRECTA ZONA DE OPERACIÓN?	
LIMPIAR		GUARDAR

Fuente: Autor

- **Hoja 6 F&P (plantilla de funciones y parametros):** Esta plantilla cuenta con un formato, el cual permite identificar el activo al que se le implementa el mantenimiento RCM y relaciona las preguntas contestadas en el formulario de funciones y parámetros de forma organizada (figura 11 y figura 12).

FIGURA 11 PLANTILLA DE FUNCIONES Y PARÁMETROS

FUNCIONES Y PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO			
	SISTEMA	SUSBSISTEMA	
	NUMERO DE SERIE	REALIZADO POR	
	CODIGO	REVISADO POR	
	FECHA DE INGRESO		
FUNCIONES PRINCIPALES			
¿PARA QUE SE ADQUIERE EL ACTIVO?		¿QUE DESEA QUE REALICE EL ACTIVO?	
¿DE QUE QUIERE QUE SEA CAPAZ EL SISTEMA?		¿RAZON PRINCIPAL POR LA QUE EXISTE EL SISTEMA?	
FUNCIONES SECUNDARIAS			
ECOLOGIA INTEGRIDAD AMBIENTAL		SEGURIDAD INTEGRIDAD ESTRUCTURAL	
¿CUMPLEN CON LOS ESTANDARES ECOLOGICOS AMBIENTALES?		¿EL ACTIVO PUEDE CAUSAR ALGUN DAÑO A LOS OPERARIOS?	

Fuente: Autor

FIGURA 12 PLANTILLA DE FUNCIONES Y PARÁMETROS HOJA 2

FUNCIONES Y PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO	
HOJA 2-2	
FUNCIONES SECUNDARIAS	
CONTROL	CONFORT
¿El operario puede tener un manejo autónomo del activo?	¿El activo causa alguna molestia o incomodidad?
APARIENCIA	EFICIENCIA/ECONOMIA
¿Cumple una función principal o secundaria la apariencia del activo?	¿El activo cumple con los presupuestos de mantenimiento y de operación?
PROTECCION	
¿Los sensores, alarmas, luces y otros dispositivos automáticos de protección se encuentran en perfecto estado?	¿EL ACTIVO ESTÁ UBICADO EN UNA ZONA CORRECTA DE OPERACION?

Fuente: Autor

- Hoja 7 análisis de modo de falla:** La plantilla cuenta con un formato de identificación del activo que facilita el diligenciamiento de los criterios que hacen parte de la metodología de mantenimiento RCM como son (función, falla funcional, modo de falla, efecto de falla y mantenimiento a realizar). (figura 13).

El desarrollo del protocolo de la metodología se plantea en 4 etapas que responden a las 7 preguntas de mantenimiento rcm.

7.1 ETAPA 1

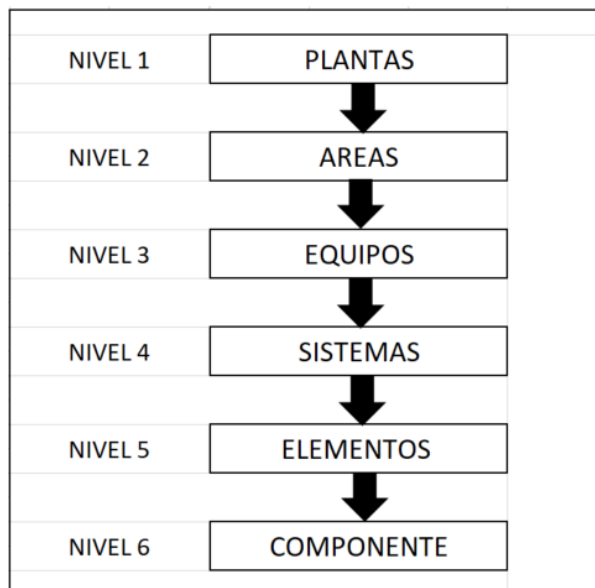
Esta etapa permite la identificación del activo mediante un formulario básico de preguntas relacionadas con el activo.

Los primeros problemas que surgen en la implementación de la metodología RCM, es que en la mayoría de los casos no se cuenta con una codificación adecuada, en algunos casos ni siquiera se cuenta con una, cabe resaltar que, para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se debe de contar con un plan de mantenimiento solido el cual nos permita saber qué número de equipos se cuenta en la empresa, equipos principales, entre otros apartados.

Con lo mencionado anteriormente, las empresas que no cuenten con un listado de equipos, deben de realizarlo, de una manera ordenada, estableciendo los alcances de cada uno de ellos; esta no debe de ser una simple lista, debe de ser una lista estructurada en la cual se deben de establecer las relaciones de dependencia de cada uno.

En una planta industrial se pueden evidenciar algunos niveles en el momento de elaborar la estructura de la maquinaria y de los equipos, como se ve en la 20.

FIGURA 15 ESTRUCTURA DEL PROCESO Y LISTADO DE CODIFICACIÓN DE EQUIPOS



Fuente: (MOUBRAY, 2004)²⁴

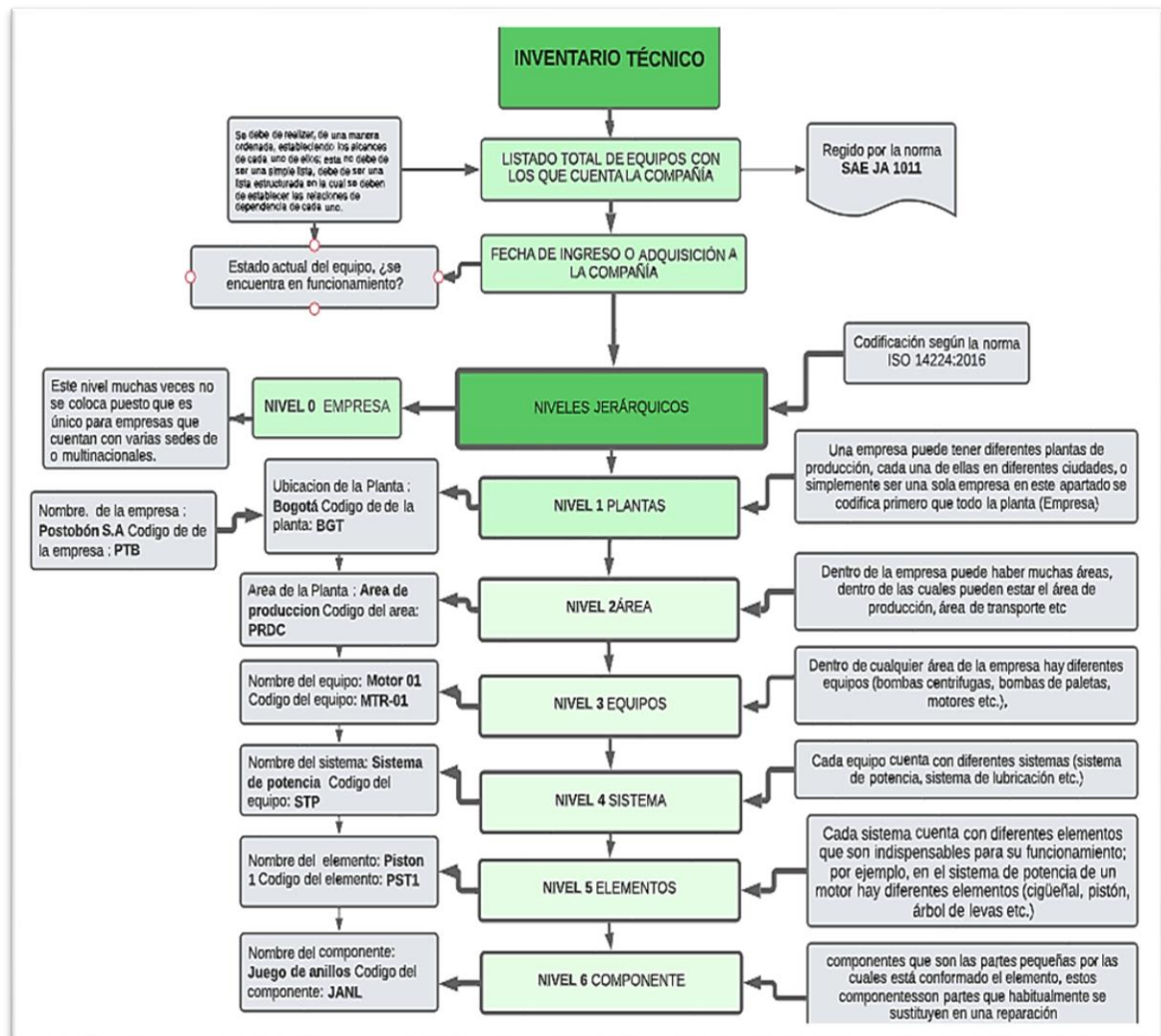
Una empresa puede tener diferentes plantas de producción, cada una de ellas se divide en áreas y dentro de las cuales puedes tener en común varios equipos para una línea de producción, cada uno de esos equipos está dividido en una serie de sistemas funcionales, estos sistemas su vez se descomponen en elementos y los componentes son las partes más pequeñas de los elementos y son partes que habitualmente se sustituyen en una reparación; con esto podemos comprender la importancia de la codificación.

Inventario técnico: Para realizar un inventario de los activos o bienes de una compañía, primero se debe de conocer la cantidad bienes con los que cuenta la empresa, por otra parte, saber si los activos se encuentran disponibles o no, ya sea por alguna falla o por inactividad, por otra parte, se debe de identificar la fecha en la cual el activo fue adquirido por la compañía, esto con el fin de saber el tiempo que lleva el activo en la compañía.

Niveles jerárquicos: Este apartado comprende el orden que se debe de seguir para una codificación según la norma ISO 14224:2016, cuanto a la definición de activo y las formas jerárquicas que deben de existir en una codificación, no obstante, se toma como base lo mencionado en el libro de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de John Moubray, véase(**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para entenderse mejor. Figura 21 Diagrama inventario

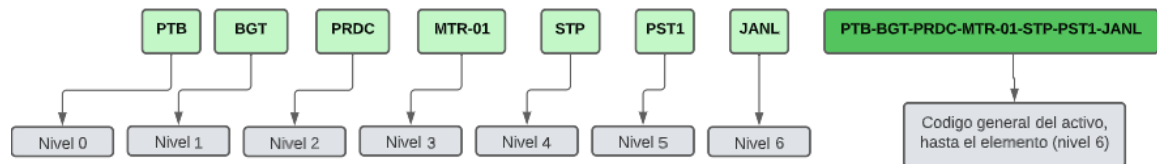
²⁴ MOUBRAY John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Buenos Aires, 2004,446p

FIGURA 16 DIAGRAMA DE INVENTARIO



Fuente: Autor

FIGURA 17 CODIFICACIÓN GENERAL DESDE EL NIVEL 0 HASTA NIVEL 6



Fuente: Autor

- **Nivel 0 empresa:** Este nivel muchas veces no se coloca puesto que es único para empresas que cuentan con varias sedes de o multinacionales, pero no

se puede pasar por alto, en muchos de los casos se coloca directamente en la etapa del nivel 1; por ejemplo, la Universidad Santo Tomas puede en este caso actuar como empresa, hay varias sedes en Colombia (Bucaramanga, Tunja, Bogotá, Villavicencio), las cuales todas pertenecen a Universidad Santo Tomas, una codificación para empresa podría ser:

Nombre de la empresa	Código de la empresa
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS	USTA

- **Nivel 1 planta:** Una empresa puede tener diferentes plantas de producción, cada una de ellas en diferentes ciudades, o simplemente ser una sola empresa. En este apartado se definen los códigos que representaran a la dicha planta (Empresa); Por ejemplo, Una empresa puede tener diferentes plantas de producción, cada una de ellas en diferentes ciudades, o simplemente ser una sola empresa en este apartado se codifica primero que todo la planta (Empresa); seguimos con la empresa Universidad Santo Tomas y hablaremos de la planta de Tunja, una codificación para planta podría ser:

Ubicación de la planta	Código de la planta
TUNJA	TNJ

- **Nivel 2 area:** Dentro de la empresa puede haber muchas áreas, dentro de las cuales pueden estar el área de producción, área de servicios generales, área de transporte etc. Hablando de nivel industrial, pero ahora hablando de la universidad también podríamos hablar de departamentos; un ejemplo para la codificación del área puede ser:

Área de la planta	Código el área
TALLER DE MECANIZADO	TDM

- **Nivel 3 equipos:** Dentro de cualquier área de la empresa hay diferentes equipos (bombas centrifugas, bombas de paletas, motores etc.), muchas veces se pueden tener equipos repetidos, que cumplen funciones parecidas o iguales, por ende, se debe de identificar cada uno de ellos, empezando por definir el nombre del equipo acompañado del número si es el caso; un ejemplo para la codificación de equipos puede ser:

Nombre del equipo.	Código del equipo
TORNO PARALELO	TRNP

- **Nivel4 sistema:** Cada equipo cuenta con diferentes sistemas (sistema de potencia, sistema de lubricación etc.) un ejemplo para la codificación de un sistema puede ser el siguiente:

Nombre del sistema.	Código del sistema
Sistema de potencia	STP

- **Nivel 5 elementos:** Cada sistema cuenta con diferentes elementos que son indispensables para su funcionamiento; por ejemplo, en el sistema de potencia de un motor hay diferentes elementos (cigüeñal, pistón, árbol de levas etc.). Una codificación para los elementos de un sistema puede ser la que se muestra a continuación.

Nombre del elemento.	Código del elemento
MOTOR ELECTRICO	MTRE

- **Nivel 6 componente:** en este apartado se habla de cada uno de los componentes que son las partes pequeñas por las cuales está conformado el elemento, estos componentes son partes que habitualmente se sustituyen en una reparación; un ejemplo de la codificación del componente puede ser el siguiente:

Nombre del componente.	Código del componente
INDUCIDO	INDC

Con lo descrito anteriormente nos centramos en el la base fundamental de esta etapa.

En esta etapa se definen los apartados principales para el ingreso de equipo a una base de datos RCM, se crea un formulario, donde se ingresarán datos como, código, equipo/sistema, modelo, número de serie y fecha de ingreso (FIGURA 23)

FIGURA 18 CONTROL DE INVENTARIO Y CODIFICACIÓN



The image shows a software window titled "CONTROL DE INVENTARIO Y CODIFICACION" with a logo in the top right corner. The window contains five input fields arranged vertically, each with a label on the left and an empty text box on the right. The labels are "CODIGO", "EQUIPO/SISTEMA", "MODELO", "NUMERO DE SERIE", and "FECHA DE INGRESO". At the bottom of the window, there are two blue buttons: "LIMPIAR" (left) and "GUARDAR" (right).

Fuente: Autor

7.1.1 Código

En este apartado el usuario deberá de digitar el código del activo a analizar, este código nos habla de un equipo único, por ejemplo, en una empresa pueden contar con varias bombas, pero cada una es diferente a la otra, ya sea que esta cumple una tarea específica o bien sus características físicas la hace diferente; es por esto que el código debe de ser único e irrepetible para cada activo.

7.1.2 Equipo/sistema

En este campo el usuario deberá de digitar el nombre del activo o del sistema del código anteriormente registrado (bomba, motor, sistema de ventilación etc.) esto con el fin de otorgarle mayor claridad al personal que no esté tan familiarizado con la codificación del activo.

7.1.3 Modelo

En este espacio se debe de digitar el modelo del activo esto con el fin de tener claro que vida útil a podido tener este activo, por otra parte, en caso de llegar a necesitar alguna adquisición de algún repuesto u otro tipo de mantenimiento

7.1.4 Número de serie

En este campo se debe de digitar el número de serie el activo número característico único del activo, con este número al igual que el modelo nos da mayor información del activo, con el podemos facilitar la adquisición de repuesto o manuales en caso de una solicitud de mantenimiento.

7.1.5 Fecha de ingreso

Se debe de digitar la fecha de ingreso del activo a la herramienta, esta fecha es muy importante porque con ella se sabrá cuánto tiempo lleva el activo en análisis, también nos sirve para poder evidenciar si está funcionando el protocolo.

Luego de ingresados los datos y dar clic en la tecla guardar, los datos ingresados serán enviados a una base de datos figura 24.

FIGURA 19 BASE DE DATOS

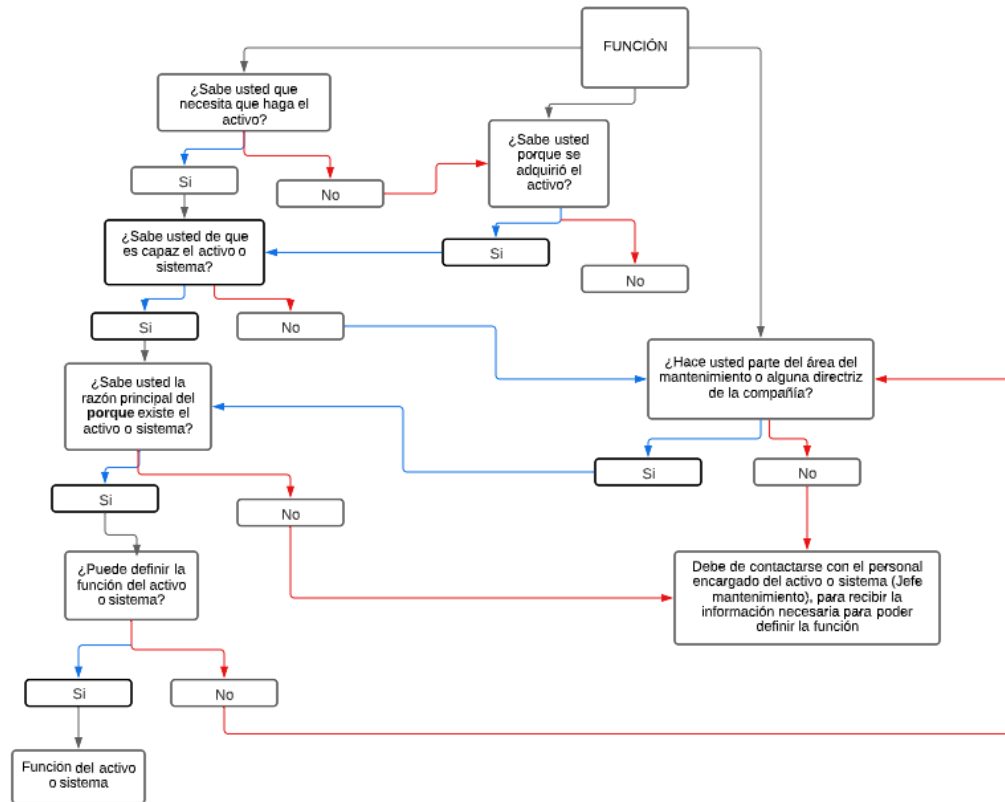
 BASE DE DATOS 				
CODIGO	EQUIPO/SISTEMA	MODELO	NUMERO DE SERIE	FECHA DE INGRESO

Fuente autor

7.2 ETAPA 2

Para esta etapa se define el contexto operacional, funciones y parámetros requeridos bajo el activo o sistema, donde se entiende claramente lo que se quiere del activo, esto representa un cambio de perspectiva a los mantenedores, que usualmente no están involucrados en la determinación del por qué el activo está allí, ya que si se desea mantener un rendimiento en funciones específicas, es indispensable tener claridad de las funciones y parámetros operativos que definen los niveles de rendimiento para satisfacer la demanda operativa.

FIGURA 20 DIAGRAMA DE FUNCIÓN REGIDO POR NORMA SAE JA1012



Fuente: Autor

Las condiciones en las que se prevé que funcionará un activo físico o un sistema deben estar definidas, registradas y estar disponibles. Deben ser identificadas todas las funciones primarias y secundarias del activo / sistema.

Todas las declaraciones de funciones deben contener un verbo, un objeto y un estándar de desempeño cuantitativo (siempre que sea posible). Los estándares de desempeño utilizados en la declaración de funciones, serán el nivel de desempeño deseado por el usuario del activo en su contexto operacional actual. La capacidad de diseño no debe ser utilizada en la declaración de función.

Se desarrolla un formulario (figura 25) con 12 preguntas divididas en 7 categorías básicas acerca del equipo, las cuales buscan definir correctamente las condiciones operacionales en las que se encuentra el activo.

FIGURA 21 FORMULARIO DE FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA



FORMULARIO FUNCIONES Y
PARAMETROS

1	¿PARA QUE ADQUIERE EL ACTIVO?	
2	¿QUE DESEA QUE REALICE EL ACTIVO?	
3	FUNCION PRINCIPAL DEL ACTIVO	
4	FUNCION SECUNDARIA DEL ACTIVO	
5	¿CUMPLEN CON LOS ESTANDARES ECOLOGICOS AMBIENTALES?	
6	¿EL ACTIVO PUEDE CAUSAR ALGUN DAÑO A LOS OPERARIOS?	
7	¿EL OPERARIO PUEDE TENER UN MANEJO AUTONOMO DEL ACTIVO?	
8	¿EL ACTIVO CAUSA ALGUNA MOLESTIA O INCOMODIDAD?	
9	¿CUMPLE UNA FUNCION PRINCIPAL O SECUNDARIA LA APARIENCIA DEL ACTIVO?	
10	¿LOS SENSORES, ALARMAS, LUCES Y OTROS DISPOSITIVOS AUTOMATICOS DE PROTECCION SE ENCUENTRAN EN PERFECTO	
11	¿CON QUE PRESUPUESTO ECONOMICO SE CUENTA PARA EL MANTENIMIENTO DEL ACTIVO?	
12	¿EL ACTIVO ESTA UBCADO EN UNA CORRECTA ZONA DE OPERACIÓN?	

LIMPIAR

GUARDAR

Fuente: Autor

Al dar respuesta a las preguntas del formulario y dar clic en la tecla guardar las respuestas serán enviadas a una plantilla de funciones y parámetros de funcionamiento (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.22**) y (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.23**), con la finalidad de almacenar la

información en una plantilla que identifique por separado los equipos que se les realiza mantenimiento RCM

FIGURA 22 PLANTILLA DE FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

FUNCIONES Y PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO			
	SISTEMA	SUBSISTEMA	
	NUMERO DE SERIE	REALIZADO POR	
	CODIGO	REVISADO POR	
	FECHA DE INGRESO		
FUNCIONES PRINCIPALES			
¿PARA QUE SE ADQUIERE EL ACTIVO?		¿QUE DESEA QUE REALICE EL ACTIVO?	
¿DE QUE QUIERE QUE SEA CAPAZ EL SISTEMA?		¿RAZON PRINCIPAL POR LA QUE EXISTE EL SISTEMA?	
FUNCIONES SECUNDARIAS			
ECOLOGIA INTEGRIDAD AMBIENTAL ¿CUMPLEN CON LOS ESTANDARES ECOLOGICOS AMBIENTALES?		SEGURIDAD INTEGRIDAD ESTRUCTURAL ¿EL ACTIVO PUEDE CAUSAR ALGUN DAÑO A LOS OPERARIOS?	

Fuente: Autor

FIGURA 23 PLANTILLA DE FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

FUNCIONES Y PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO	
HOJA 2-2	
FUNCIONES SECUNDARIAS	
CONTROL ¿El operador puede tener un manejo autónomo del activo?	CONFORT ¿El activo causa alguna molestia o incomodidad?
APARIENCIA ¿Cumple una función principal o secundaria la apariencia del activo?	EFICIENCIA/ECONOMIA ¿El activo cumple con las proporciones de mantenimiento y de operación?
PROTECCION	
¿Las normas, normas, leyes y otras disposiciones ambientales de protección se encuentran en perfecta orden?	¿EL ACTIVO ESTA UBICADO EN UNA ZONA CORRECTA DE OPERACION?

Fuente: Autor

A continuación, se realiza una descripción detallada de cada pregunta del formulario de funciones y parámetros de funcionamiento. TABLA 1

N.º	PREGUNTA	DESCRIPCION DE PREGUNTA
1	¿Para qué se adquiere el activo?	Se desea obtener información de la capacidad funcional y operativa específica por la cual se adquiere el activo.
2	¿Que desea que realice el activo?	Que beneficios o rendimientos operacionales espera obtener del activo.
3	¿Cuál es la función principal del activo?	Esta es la razón por la cual existe el activo, por lo que se deberá definir lo más exhaustivamente en lo que sea posible, ejemplo una trituradora, su función principal es triturar.
4	¿Cuál es la función secundaria del activo?	Usualmente los activos cumplen una o más funciones adicionales, comúnmente conocidas como funciones secundarias.
5	¿El activo cumple con los estándares ecológicos ambientales?	Que función secundaria presenta el activo bajo estándares ecológicos y ambientales, ejemplo, una de las funciones del escape de un auto o de la chimenea de una fábrica podría ser "Contener menos de X miligramos de una sustancia química determinada por metro cúbico"
6	¿El activo puede causar algún daño a los operarios?	La seguridad del operario es un factor muy importante, se desea tener seguridad con las máquinas y saber que no causaran ningún daño al operario, más adelante al aplicar la metodología RCM surgirán más riesgos de falla, no obstante, es necesario listar funciones que traten de riesgos específicos de la integridad del operario.
7	¿El operario tiene manejo autónomo sobre el equipo?	En algunos casos los propietarios no solo quieren que el activo cumpla con una función estándar determinada, también desean

		regular ciertas funciones (velocidad, volumen, carga), es por eso que se desea saber que funciones regula el operario en el activo y de esta manera poder registrar la información para realizar un análisis posterior.
8	¿El active causa alguna molestia o incomodidad?	El poco confort afecta la parte motivacional por lo que se busca un ambiente ergonómico, es importante saber qué tipo de molestias causa este activo en su lugar de operación.
9	¿Cumple una función principal o secundaria la apariencia del activo?	Para algunos activos la apariencia señala una función secundaria específica, como lo es el cartel de un negocio su función principal es mostrar el nombre de la empresa, pero su función secundaria (apariencia) es reflejar la imagen de la empresa.
10	¿Los sensores, alarmas, luces y otros dispositivos automáticos de protección se encuentran en perfecto estado?	El propósito de estos dispositivos es la prevención de accidentes operacionales y evitar fallas en el activo, es importante que estos dispositivos estén funcionando de forma correcta, ya que los requerimientos de mantenimiento de la función protegida serán más estrictos de no estar protegidos.
11	¿Con que presupuesto económico se cuenta para el mantenimiento del activo?	Con que presupuesto económico se cuenta para realizar los diferentes tipos de mantenimientos que lleguen a surgir.
12	¿El activo está ubicado en una zona correcta de operación?	Es importante tener una buena distribución del espacio en el que se encuentran los activos, esto puede prevenir accidentes y fallos operacionales.

Fuente: Autor

Con este formulario se definen las funciones y parámetros de funcionamiento de los activos que estarán sometidos al programa de mantenimiento RCM, lo que llevara a un entendimiento claro del activo y las condiciones en las que se encuentra.

7.3 ETAPA 3

Para esta etapa se crea una plantilla que ayuda a la recolección de datos de función, falla funcional, modos de falla, efectos de falla y mantenimiento a realizar, el encabezado del formato de “información de falla” presenta información pertinente al sistema, número de serie, código entre otros, de esta forma se puede ubicar la maquina o herramienta en el inventario RCM

Después de realizar las preguntas de la etapa anterior, se procede a definir la función del activo para poder entender mejor el concepto de función

7.3.1 Listado de funciones

Para el listado de funciones se debe hacer una definición funcional descrita de manera adecuada, se define con exactitud los objetivos, con esto se asegura que todos los agentes que estén involucrados sepan exactamente que se va a realizar, esto lo que busca es asegurar que las actividades de mantenimiento sigan la línea de enfoque de las necesidades de los usuarios.

Ya con este concepto definido, podemos centrarnos en la base fundamental de esta etapa que tiene como finalidad poder definir fallas, fallas funcionales, modos de fallos y efectos de falla.

7.3.2 Fallas funcionales

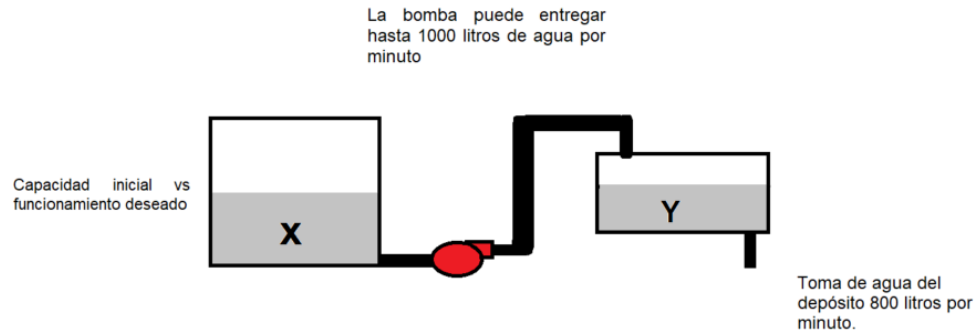
En primer lugar, se definir a una “falla” como la incapacidad de cualquier activo de cumplir con la función establecida por el usuario

Por otra parte, se define una falla en términos de perdida de una función específica, puesto que un activo puede tener varias funciones, por ende, se cuenta con una falla diferente para cada tipo de función, a esto lo podemos denominar “falla funcional”. Un ejemplo de falla funciona es:

La bomba en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** tiene al menos dos funciones, una es la de bombear agua a no menos de 800 litros por minuto y la otra es contener el agua. Es perfectamente posible que dicha bomba sea capaz de bombear la cantidad requerida (no hay falla de la función primaria) a la vez que pierda una cantidad excesiva de líquido (falla en la función secundaria) por otra parte es posible que la bomba se deteriore hasta el punto de no poder bombear la

cantidad requerida (falla de la función primaria) mientras que contiene el líquido (no hay falla de la función secundaria)

FIGURA 24 EJEMPLO MOUBRAY



FUENTE (MOUBRAY, 2004)

Ahora ya que se tiene claro que es una falla funcional se procede a organizar la forma en la cuales se debe de registrar las fallas funcionales, en este caso se organizan primeros las funciones del activo, a la derecha sus respectivas fallas, se organizan alfabéticamente.

Esto con el fin de organizar también su nivel de importancia siendo A el nivel más alto en cuanto a criticidad o nivel de riesgo de que puede llegar a fallar la función.

Ya definido los términos de funciones, fallas funcionales, lo que se hace es definir que es el modo de falla; véase formato de Análisis de falla completo en

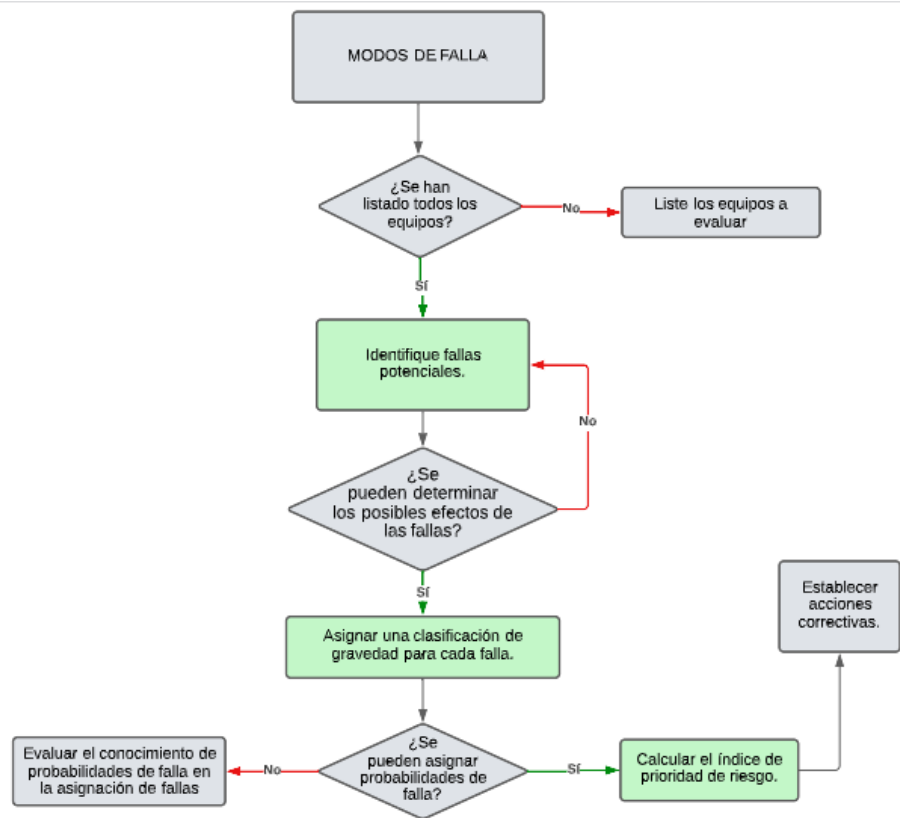
ANEXO 1

7.3.3 Modos de falla

Se define como cualquier evento que cause una falla funcional (causas de la falla). Para describir el modo de falla se debe de utilizar un sustantivo y un verbo en el cual se defina de manera detalla, esto con el fin de que se seleccione la estrategia de manejo adecuada, estos verbos se deben de elegir cuidadosamente ya que forman parte fundamental de las decisiones que se van a tomar en el manejo a la falla (“mal funcionamiento de” “rotura”, “falla”).

Es importante analizar los modos de falla ya que el mantenimiento es una tarea con recurrencias diarias que pueden evitar accidentes o costos operativos, por ejemplo: Las ordenes de trabajo surgen para cubrir modos de falla específicos

FIGURA 25 DIAGRAMA DE FLUJO MODOS DE FALLA REGIDO POR LA NORMA SAE JA 1011



FUENTE AUTOR

7.3.4 Efecto de los fallos

Los efectos de la falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla. (MOUBRAY, 2004)

En este paso se define la secuencia de lo que pasaría si se llega a producir un modo de falla, también se detalla cualquier evento que lleve a eso, el objetivo principal es captar información, para ayudar a la evaluación de las consecuencias

En la columna se deben de digitar las consecuencias de los fallos, los efectos donde básicamente se puede indicar:

Por qué se produjo la falla (si se tiene un porque)

Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.

Las fallas en las que pueda afectar la producción o la operación.

Los daños físicos al personal que pudiese haber causan esta falla.

7.4 ETAPA 4

Para esta etapa se aplica un formulario de decisión que se lleva a cabo con 5 encabezados que refieren a las preguntas del diagrama de decisión RCM (ANEXO 2) donde se referencia la información del activo, se evalúan las consecuencias, se observan las tareas proactivas, acción a falta de y acción a realizar, las cuales se organizaran en un formato de hoja de decisión.

7.4.1 REFERENCIA DE INFORMACION

Este encabezado refiere a la identificación del modo de falla por medio de la función (F), falla funcional (FF) y modo de falla (FM) que se está analizando **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** De esta forma se puede correlacionar la hoja de análisis de fallas con la hoja de decisión. FIGURA 31

FIGURA 26 REFERENCIA DE INFORMACIÓN

REFERENCIA DE INFORMACION		
☐ F	FUNCION	☐
☐ FF	FALLA FUNCIONAL	☐
☐ FM	MODO DE FALLA	☐

Fuente: Autor

7.4.2 EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS

La evaluación de consecuencias responde a las preguntas (H, S, E, O, N) concernientes a cada modo de falla, se responde (SI) (NO) a la pregunta según las condiciones del activo, de la siguiente forma

FIGURA 27 EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS

EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS		
H	Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falta actuando por sí solo en circunstancias normales?	
S	Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien?	
E	Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier norma o reglamento del medio ambiente?	
O	Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos además de los de la reparación?	

Fuente: Autor

- **Falla oculta (h)**

¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falla actuando por sí solo en circunstancias normales?

Cualquier tarea preventiva que reduzca el riesgo de falla en una medida tolerable, valdrá la pena para ser realizada.

- **Consecuencia en seguridad (s)**

¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien?

Cualquier tarea preventiva que reduzca el riesgo de falla en una medida tolerable, valdrá la pena para ser realizada.

- **Consecuencias para el medio ambiente (e)**

¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier norma o reglamento del medio ambiente?

Cualquier tarea preventiva que reduzca el riesgo de falla en una medida tolerable, valdrá la pena para ser realizada.

- **Consecuencias operacionales (o)**

¿Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional producción, calidad, servicio o costos operativos además de los de la reparación?

Cualquier tarea preventiva debe costar menos que el costo total de las consecuencias a través de un periodo de tiempo para que valga la pena realizarse.

- **Consecuencias no-operacionales (n)**

¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea a condición?

Cualquier tarea preventiva debe costar menos que el costo de la reparación de las fallas que pretende prevenir para que sea merecido realizar la tarea.

- **Tareas proactivas**

Las tareas proactivas responden a las preguntas (H1-S1-01-N1 / H2-S2-02-N2 / H3-S3-03-N3) para registrar si se ha seleccionado una tarea proactiva, de la siguiente forma

FIGURA 28 TAREAS PROACTIVAS

TAREAS PROACTIVAS		
H1 S1 O1 N1	¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea a condición?	
H2 S2 O2 N2	¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar, una tarea de reacondicionamiento cíclico?	
H3 S3 O3 N3	¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de sustitución cíclica?	

Fuente: Autor

- **¿Es técnicamente factible realizar una tarea para detectar si está ocurriendo una falla o está a punto de ocurrir? H1-S1-01-N1**

Se registra si se encontró o no una tarea a condición que anticipe el modo de falla de una manera apropiada para evitar posibles consecuencias.

- **¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar, una tarea de reacondicionamiento cíclico? H2 S2 O2 N2**

Se registra si se encontró o no una tarea de reacondicionamiento programado que prevenga las fallas.

- **¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de sustitución cíclica? H3-S3-O3-N3**

Se registra si se encontró o no una tarea de sustitución cíclica que prevenga las fallas

7.4.3 ACCION A REALIZAR - A FALTA DE

La acción a falta de registra la respuesta a las tres preguntas (H4-H5-S4), es de resaltar que estas preguntas se responden solo si las respuestas a las tres preguntas previas fueron todas “No”.

FIGURA 29 ACCIÓN A FALTA DE

ACCION A FALTA DE		
H4	¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de búsqueda de fallas?	
H5	Podría la falla múltiple afectar a la seguridad o al medio ambiente?	
S4	Es técnicamente factible y vale la pena realizar una combinación de tareas?	

Fuente: Autor

- **¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla? (H4)**

Se registra “si”, cuando es posible realizar una tarea y resulta practica la frecuencia que requiere y reduce los riesgos de falla múltiple a un nivel tolerable.

- **¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente? (H5)**

Solamente se da respuesta a esta pregunta cuando la respuesta a (H4) es no, si la respuesta a esta pregunta es si, el rediseño será obligatorio. Si la respuesta es no, la acción a falta de será no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.

- **¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas? (S4)**

Se registra “si” cuando una combinación de dos o más tareas proactivas cualquiera reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable sucede rara vez. Si registra “no” el rediseño será obligatorio.

En caso de no registrar ninguna acción “a falta de” las consecuencias de la falla son económicas y no se puede encontrar una tarea proactiva apropiada. Como resultado la decisión “a falta de” será no realizar mantenimiento programado. El rediseño se puede considerar.

7.4.4 ACCION A REALIZAR

Se establece el tipo de mantenimiento que se va a realizar, la frecuencia, y el personal que realizara el mantenimiento del activo.

FIGURA 30 ACCIÓN A REALIZAR

ACCION A REALIZAR		
T	Tarea propuesta	
FI	Frecuencia inicial	
AR	A realizar por	

Fuente: Autor

- **TAREA PROPUESTA**

Si en el transcurso del proceso de toma de decisiones se selecciona una tarea proactiva o una tarea de búsqueda de falla, esta se registra la descripción de la tarea, lo ideal es describir la tarea con el mayor detalle y precisión posible.

- **INTERVALO INICIAL**

Se debe registrar el intervalo de tiempo con el que se realizara la tarea propuesta.

- **A REALIZAR POR**

Finalmente se registra y asigna el personal encargado a realizar el mantenimiento del activo

7.5 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Con base en la metodología, se plantea aplicar el programa de mantenimiento RCM a la problemática de fallas esmeril de banco, (FIGURA 32) ubicado en el laboratorio de procesos de manufactura de la universidad Santo Tomas Tunja, utilizado en prácticas y proyectos por los estudiantes de Ingeniería mecánica.

FIGURA 31 ESMERIL DE BANCO UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA



Fuente: Autor

- **ESMERIL DE BANCO:** El esmeril de banco es una herramienta pequeña, funciona con electricidad y tiene como funciones dar acabado, corte, afilado, cinces brocos además de otros elementos con distintos tamaños, tiene un peso aproximado de 5kg a 8kg y esta ubicado sobre un banco de trabajo.

7.5.1 Etapa 1 ingreso de inventario

Para esta etapa se ingresan los datos del equipo sometido al programa de mantenimiento RCM (Código, Equipo/Herramienta, Modelo, Numero de serie y Fecha de ingreso) al formulario de control y codificación. (figura 33)

FIGURA 32 FORMULARIO DE CONTROL Y CODIFICACIÓN DILIGENCIADO



CONTROL DE INVENTARIO Y CODIFICACION

CODIGO

11686-mec-02-1A-R

EQUIPO/SISTEMA

ESMERIL DE BANCO

MODELO

2016

NUMERO DE SERIE

304000345

FECHA DE INGRESO

8/12/2022

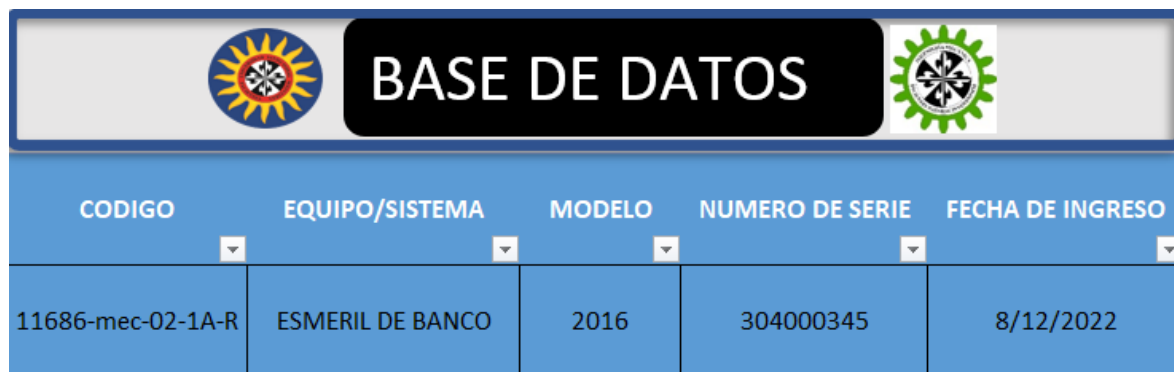
LIMPIAR

GUARDAR

Fuente: Autor

Luego de ingresar los datos se da clic a la casilla guardar, el programa guardara los datos ingresados en una plantilla “base de datos” (figura 34), Seguidamente se da clic a la casilla “siguiente”, para ir a la etapa 2.

FIGURA 33 BASE DE DATOS DILIGENCIADA



BASE DE DATOS				
CODIGO	EQUIPO/SISTEMA	MODELO	NUMERO DE SERIE	FECHA DE INGRESO
11686-mec-02-1A-R	ESMERIL DE BANCO	2016	304000345	8/12/2022

Fuente: Autor

7.5.2 Formulario funciones y parámetros.

Luego de ingresado el equipo a la base de datos se contesta al formulario de funciones y parámetros (figura 35) y (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.36) en función al equipo trabajado (esmeril de banco), con ayuda del operario y jefe de mantenimiento.

Figura 35 Formulario funciones y parámetros

FIGURA 34 FORMULARIO DE FUNCIONES Y PARÁMETROS DILIGENCIADO

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA T U N Z A			FORMULARIO FUNCIONES Y PARAMETROS
1	¿PARA QUE ADQUIERE EL ACTIVO?	este activo se adquiere para suplir las necesidades practicas de estudio en la universidad santo tomas	
2	¿QUE DESEA QUE REALICE EL ACTIVO?	Se espera que cumpla con la potencia electrica y la velocidad angular que indica el fabricante	
3	FUNCION PRINCIPAL DEL ACTIVO	Desbastar	
4	FUNCION SECUNDARIA DEL ACTIVO	Pulir	
5	¿CUMPLEN CON LOS ESTANDARES ECOLOGICOS AMBIENTALES?	Si cumple, Ya que no presenta fallos.	
6	¿EL ACTIVO PUEDE CAUSAR ALGUN DAÑO A LOS OPERARIOS?	Si puede causar daño a los operarios por lo que se recomineda el uso de elementos de proteccion personal	

Fuente: Autor

FIGURA 35 FORMULARIO DE FUNCIONES Y PARÁMETROS DILIGENCIADO
B

7	¿EL OPERARIO PUEDE TENER UN MANEJO AUTONOMO DEL ACTIVO?	El operario si tiene autonomia en el manejo del equipo, el operario puede regular la velocidad, el material que se va a trabajar, los modos de trabajo entre otros.
8	¿EL ACTIVO CAUSA ALGUNA MOLESTIA O INCOMODIDAD?	No causa ninguna molestia ni incomodidad
9	¿CUMPLE UNA FUNCION PRINCIPAL O SECUNDARIA LA APARIENCIA DEL ACTIVO?	La apariencia fisica del activo no cumple ninguna funcion, pero si se exige el cumplimineto de las 5s.
10	¿LOS SENSORES, ALARMAS, LUCES Y OTROS DISPOSITIVOS AUTOMATICOS DE PROTECCION SE ENCUENTRAN EN PERFECTO	Si, todos los dispositivos de seguridad se encuentran en perfecto estado.
11	¿CON QUE PRESUPUESTO ECONOMICO SE CUENTA PARA EL MANTENIMIENTO DEL ACTIVO?	Se cuenta con un presupuesto economico suficienete para los manteniminetos del esmeril.
12	¿EL ACTIVO ESTA UBCADO EN UNA CORRECTA ZONA DE OPERACIÓN?	Si, el activo esta ubicado en una correcta zona de operación!

LIMPIAR
GUARDAR

Fuente: Autor

Al completar el formulario de funciones y parámetros se da clic en guardar, estos datos ingresados serán enviados a una plantilla de funciones y parámetros (figura 37), donde se ingresan los datos del equipo.

FIGURA 36 PLANTILLA DE FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DILIGENCIADA 1

FUNCIONES Y PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO			
	SISTEMA	ESMERIL	SUSBSISTEMA
	NUMERO DE SERIE	304000345	REALIZADO POR
	CODIGO	11686-mec-02-1A-R	REVISADO POR
	FECHA DE INGRESO	8/12/2022	
FUNCIONES PRINCIPALES			
¿PARA QUE SE ADQUIERE EL ACTIVO? este activo se adquiere para suplir las necesidades practicas de estudio en la universidad santo tomas		¿QUE DESEA QUE REALICE EL ACTIVO? Se espera que cumpla con la potencia electrica y la velocidad angular que indica el fabricante	
¿DE QUE QUIERE QUE SEA CAPAZ EL SISTEMA? Desbastar		¿RAZON PRINCIPAL POR LA QUE EXISTE EL SISTEMA? Pulir	
FUNCIONES SECUNDARIAS			
ECOLOGIA INTEGRIDAD AMBIENTAL ¿CUMPLEN CON LOS ESTANDARES ECOLOGICOS AMBIENTALES? Si cumple, Ya que no presenta fallos.		SEGURIDAD INTEGRIDAD ESTRUCTURAL ¿EL ACTIVO PUEDE CAUSAR ALGUN DAÑO A LOS OPERARIOS? Si puede causar daño a los operarios por lo que se recominada el uso de elementos de proteccion personal	

Fuente: Autor

FIGURA 37 PLANTILLA DE FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DILIGENCIADA 2

FUNCIONES Y PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO							
HOJA 2-2							
FUNCIONES SECUNDARIAS							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">CONTROL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">¿El operario puede tener un manejo autónomo del activo?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">El operario si tiene autonomia en el manejo del equipo, el operario puede regular la velocidad, el material que se va a trabajar, los modos de trabajo entre otros.</td> </tr> </tbody> </table>	CONTROL	¿El operario puede tener un manejo autónomo del activo?	El operario si tiene autonomia en el manejo del equipo, el operario puede regular la velocidad, el material que se va a trabajar, los modos de trabajo entre otros.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">CONFORT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">¿El activo causa alguna molestia o incomodidad?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">No causa ninguna molestia ni incomodidad</td> </tr> </tbody> </table>	CONFORT	¿El activo causa alguna molestia o incomodidad?	No causa ninguna molestia ni incomodidad
CONTROL							
¿El operario puede tener un manejo autónomo del activo?							
El operario si tiene autonomia en el manejo del equipo, el operario puede regular la velocidad, el material que se va a trabajar, los modos de trabajo entre otros.							
CONFORT							
¿El activo causa alguna molestia o incomodidad?							
No causa ninguna molestia ni incomodidad							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">APARIENCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">¿Cumple una función principal o secundaria la apariencia del activo?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">La apariencia fisica del activo no cumple ninguna funcion, pero si se exige el cumplimineto de las 5s.</td> </tr> </tbody> </table>	APARIENCIA	¿Cumple una función principal o secundaria la apariencia del activo?	La apariencia fisica del activo no cumple ninguna funcion, pero si se exige el cumplimineto de las 5s.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">EFICIENCIA/ECONOMIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">¿El activo cumple con los presupuestos de mantenimiento y de operación?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Se cuenta con un presupuesto economico suficienete para los manteniminetos del esmeril.</td> </tr> </tbody> </table>	EFICIENCIA/ECONOMIA	¿El activo cumple con los presupuestos de mantenimiento y de operación?	Se cuenta con un presupuesto economico suficienete para los manteniminetos del esmeril.
APARIENCIA							
¿Cumple una función principal o secundaria la apariencia del activo?							
La apariencia fisica del activo no cumple ninguna funcion, pero si se exige el cumplimineto de las 5s.							
EFICIENCIA/ECONOMIA							
¿El activo cumple con los presupuestos de mantenimiento y de operación?							
Se cuenta con un presupuesto economico suficienete para los manteniminetos del esmeril.							
PROTECCION							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">¿Los sensores, alarmas, luces y otros dispositivos automáticos de protección se encuentran en perfecto estado?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Si, todos los dispositivos de seguridad se encuentran en perfecto estado.</td> </tr> </tbody> </table>	¿Los sensores, alarmas, luces y otros dispositivos automáticos de protección se encuentran en perfecto estado?	Si, todos los dispositivos de seguridad se encuentran en perfecto estado.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">¿EL ACTIVO ESTA UBICADO EN UNA ZONA CORRECTA DE OPERACION?</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Si, el activo esta ubicado en una correcta zona de operación!</td> </tr> </tbody> </table>	¿EL ACTIVO ESTA UBICADO EN UNA ZONA CORRECTA DE OPERACION?	Si, el activo esta ubicado en una correcta zona de operación!		
¿Los sensores, alarmas, luces y otros dispositivos automáticos de protección se encuentran en perfecto estado?							
Si, todos los dispositivos de seguridad se encuentran en perfecto estado.							
¿EL ACTIVO ESTA UBICADO EN UNA ZONA CORRECTA DE OPERACION?							
Si, el activo esta ubicado en una correcta zona de operación!							

Fuente: Autor

Al ingresar los datos del equipo se da clic en siguiente y se procede a la realizar la etapa 3

7.5.3 PLANTILLA ANALISIS DE MODO DE FALLA

Para esta etapa se llenan los espacios (funciones, falla funcional, modo de falla, efecto de falla, mantenimiento) en la plantilla de análisis de falla, con la ayuda del operario y jefe de mantenimiento del equipo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.38**).

En este caso en específico se toma el esmeril y sus respectivos subsistemas, esto con el fin de poder apreciar mejor el funcionamiento de la planilla de modo de falla.

FIGURA 38 PLANTILLA MODO DE FALLA ESMERIL DILIGENCIADA

ANÁLISIS DE MODO DE FALLA										
			SISTEMA			ESMERIL		SUBSISTEMA		
			NUMERO DE SERIE			304000345		REALIZADO POR		
			CODIGO					REVISADO POR		
			FECHA			28/11/2022		HOJA 1-1		
FUNCION			FALLA FUNCIONAL			MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA		
Sistema de Transmisión de Potencia Motor			El rotor es el componente que gira (rota) en una máquina eléctrica, sea ésta un motor o un generador eléctrico. Junto con su contraparte fija, el estátor, forma el conjunto fundamental para la transmisión de potencia en motores y máquinas eléctricas en general.			A	Desbalance Dinámico entre componentes rotor-estator	1	Ruido	Daño oídos
						B	Alto Torque al ajustar	2	Rosca de Tuerca deteriorada. (Izquierda o Derecha).	MotorAtascamiento de Tuerca(izquierda o Derecha)
						C	Mal sentido de ajuste de Tuercas			
						D	Sobrecarga en la operación. Daño rele termico	3	Sobrecalentamiento	Motor se Quema
			Es un elemento que sirve como apoyo a un eje y sobre el cual éste gira.			A	Desgaste Adhesivo fricción metal-metal	1	Vibración	Soltura Mecánica
			Destinada a alojar a los restantes órganos de las mismas y que puede desempeñar otras funciones.			A	Desgaste en cavidades y alojamientos por desgastes a fatiga, Agrietamiento en soldadura.	2	Vibración	Soltura Mecánica
			Se emplea para tensar dos piezas. También llamado tensor de tornillo, torniquete.			A	Exceso de Torque a la hora de ajustar.	1	Rosca no aprieta	Soltura tapas de Motor
						B	Golpes en el montaje del Tornillo			
			Protege al operario en caso de accidente.			A	Bujes desajustados por perdida de material en montajes y desmontajes mal efectuados.	1	Vibración	Soltura Mecánica
MANTENIMINETO PREVENTIVO (P) - PREDICTIVO (PR) - CORRECTIVO (C) (C.)Cambio de rodamientos. Rectificar rosca Impulsor. (P) Capacitar personal en montajes y desmontajes. Realizar actividades de Analisis de vibraciones. Verificar dimensiones de alojamientos en carcasa. Verificar Alineación y Balanceo rotor-estatorSERVICIO										

Fuente: Autor

FIGURA 39 PLANTILLA MODO DE FALLA ESMERIL DILIGENCIADA

ANÁLISIS DE MODO DE FALLA											
				SISTEMA		ESMERIL		SUBSISTEMA		Sistema de Apoyos/Sistema Eléctrico	
				NUMERO DE SERIE		304000345		REALIZADO POR		Andres Lopez-Carlos Prieto.	
				CODIGO				REVISADO POR		Ing. Ivan Villamizar	
				FECHA				28/11/2022		HOJA 1-1	
FUNCION				FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA		MANTENIMIENTO PREVENTIVO (P) - PREDICTIVO (PR) - CORRECTIVO (C)	
Sistema de Apoyos	Pedestal	Estructura	Soportar motor y accesorios.	A	Discontinuidad en soldaduras. Corrosión Bajo recubrimiento	1	Vibración	Soltura mecánica	C.)Cambio de Tanque de almacenamiento, Reconstruir soldaduras(P) Capacitar personal en mezcla de refrigerante, Ajustar semanalmente soporte con el torque adecuado		
		Tanque	Almacenar Refrigerante	A	Corrosion bajo recubrimiento. Mala mezcla en refrigerante	1	Fuga en Tanque	Perdida de Contención			
		Soporte	Posicionar y apoyar Herramientas de corte	A	Ajuste Holgados Por desgastes Metal. Metal	1	El soporte no es estatico	Soltura Mecánica			
	B			Roscas Averiadadas							
	Sistema Eléctrico	Protección	Termomagnético	Es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos.	A	Soltura mecánica por vibracion en componentes mecánicos	1	NO energiza esmeril			No enciende motor
				B	Mala selección de Amperaje del termomagnético y no se salta	1	Sobrecalentamiento	No enciende motor			

Fuente: Autor

7.5.4 Formulario y hoja de decision rcm

Ya finalizada la plantilla de análisis de modo de falla y con las conclusiones allí encontradas se realiza el formulario de hoja de decisión RCM, donde se evalúan las consecuencias de cada falla funcional, se observa si es necesaria una “tarea proactiva” o se realizara una “acción a falta de”.

Se diligencia formulario hoja de decisión (referencia de información) / se realiza uno por cada función, falla funcional y modo de falla que se tenga.

FIGURA 40 REFERENCIA DE INFORMACIÓN DILIGENCIADO

REFERENCIA DE INFORMACION		
F	FUNCION	1
FF	FALLA FUNCIONAL	A
FM	MODO DE FALLA	1

FUENTE AUTOR

Se diligencia formulario hoja de decisión (evaluación de las consecuencias) se realiza la evaluación de cada consecuencia de acuerdo a la referencia de información

FIGURA 41 EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS DILIGENCIADO

EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS		
H	Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falta actuando por sí solo en circunstancias normales?	Si
S	Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien?	Si
E	Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier norma o reglamento del medio ambiente?	Si
O	Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos además de los de la reparación?	Si

Fuente: Autor

Se completa el formulario hoja de decisión (Acción a Realizar) / Se elije la tarea a realizar de acuerdo

FIGURA 42 ACCIÓN A REALIZAR DILIGENCIADA

ACCION A REALIZAR		
T	Tarea propuesta	Inspeccionar velocidad angular, ruidos y temperatura.
FI	Frecuencia inicial	Semanal
AR	A realizar por	Técnico mecánico

Fuente: Autor

Al finalizar el formulario de decisión, las decisiones quedan en una plantilla que facilita la observación y la asignación de tarea al operario.

FIGURA 43 HOJA DE DECISIÓN RCM ESMERIL-MOTOR

HOJA DE DECISION RCMII																						
			SISTEMA					Motor					SUBSISTEMA			Rotor - Estator						
			NUMERO DE SERIE					304000345					A REALIZAR POR			Andres Lopez-Carlos Prieto.						
			CODIGO										REVISADO POR			Ing. Ivan Villamizar						
			FECHA					28/11/2022								HOJA 1-1						
REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCION A FALTA DE				TAREA PROPUESTA			FRECUENCIA INICIAL			A REALIZAR POR		
							S1	S2	S3													
							O1	O2	O3													
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4										
1	A	1	Si	Si	Si	Si	Si						Inspeccionar velocidad angular, ruidos y temperatura.			Semanal			Técnico mecánico			
1	B	2	Si	Si	Si	Si	Si						Verificar dimensiones de alojamiento de rodamiento, Inspeccionar excentricidad de piedra y accesorios.			Trimestral			Técnico mecánico			
1	C	2	Si	Si	Si	Si	Si						Verificar dimensiones de alojamiento de rodamiento, Inspeccionar excentricidad de piedra y accesorios.			Mensualmente			Técnico mecánico			
1	D	3	Si	Si	Si	Si	Si						Inspeccionar temperatura, verificar conexiones del motor, continuidad y voltajes entre fases.			Mensualmente			Técnico Eléctrico			

Fuente: Autor

FIGURA 44 HOJA DE DECISIÓN FUNCIÓN DE MOTOR (COJINETE ANTIFRICCIÓN (RODAMIENTO))

HOJA DE DECISION RCMII																				
			SISTEMA					Motor					SUBSISTEMA		Cojinete Antifricción (Rodamiento)					
			NUMERO DE SERIE					304000345					A REALIZAR POR		Andres Lopez-Carlos Prieto.					
			CODIGO										REVISADO POR		Ing. Ivan Villamizar					
			FECHA					28/11/2022							HOJA 1-1					
REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCION A FALTA DE				TAREA PROPUESTA		FRECUENCIA INICIAL		A REALIZAR POR		
							S1	S2	S3											
							O1	O2	O3											
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4								
1	A	1	Si	Si	Si	Si	Si						Inspeccionar velocidad angular, ruidos y temperatura.					Semestral	Técnico mecánico	

Fuente: Autor

HOJA DE DECISION RCMII																				
	SISTEMA						Motor						SUBSISTEMA		Carcaza					
	NUMERO DE SERIE						304000345						A REALIZAR POR		Andres Lopez-Carlos Prieto.					
	CODIGO												REVISADO POR		Ing. Ivan Villamizar					
	FECHA						28/11/2022								HOJA 1-1					
REFERENCIA DE INFORMACION		EVALUACION DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCION A FALTA DE				TAREA PROPUESTA				FRECUENCIA INICIAL		A REALIZAR POR	
						S1	S2	S3												
						O1	O2	O3												
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4								
1	A	1	Si	Si	Si	Si	Si						Inspeccionar estado de carcaza y soldadura				Semestral		Técnico mecánico / Soldador	

Fuente: Autor

Hoja de decisión Función de motor (Tornillos de tensión)

HOJA DE DECISION RCMII																			
		SISTEMA				Motor				SUBSISTEMA				Tornillos de Tensión					
		NUMERO DE SERIE				304000345				A REALIZAR POR				Andres Lopez-Carlos Prieto.					
		CODIGO								REVISADO POR				Ing. Ivan Villamizar					
		FECHA				28/11/2022								HOJA 1-1					
REFERENCIA DE INFORMACION		EVALUACION DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCION A FALTA DE	TAREA PROPUESTA				FRECUENCIA INICIAL				A REALIZAR POR	
						S1	S2	S3											
						O1	O2	O3											
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
1	A	1	Si	Si	Si	Si							Inspeccionar estado de la rosca, verificar el torque adecuado de acuerdo a manual.				Trimestral		Técnico mecánico / Soldador

Fuente: Autor

Hoja de decisión Función de motor (Tornillos de tensión (Falla Funcional B))

HOJA DE DECISION RCMII																			
		SISTEMA				Motor				SUBSISTEMA				Tornillos de Tensión					
		NUMERO DE SERIE				304000345				A REALIZAR POR				Andres Lopez-Carlos Prieto.					
		CODIGO								REVISADO POR				Ing. Ivan Villamizar					
		FECHA				28/11/2022								HOJA 1-1					
REFERENCIA DE INFORMACION		EVALUACION DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCION A FALTA DE	TAREA PROPUESTA				FRECUENCIA INICIAL				A REALIZAR POR	
						S1	S2	S3											
						O1	O2	O3											
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
1	B	1	Si	Si	Si	Si	Si						Inspeccionar estado del tornillo, medir paso con galga de cosca				Trimestral		Técnico mecánico / Soldador

Fuente: Autor

Figura Analisis de Sistema de Apoyos/Sistema Eléctrico

Hoja de decisión Función de sistemas de apoyos (Pedestal)

HOJA DE DECISION RCMII																			
		SISTEMA				Sistema de Apoyos				SUBSISTEMA				Pedestal					
		NUMERO DE SERIE								A REALIZAR POR				Andres Lopez-Carlos Prieto.					
		CODIGO								REVISADO POR				Ing. Ivan Villamizar					
		FECHA												HOJA 1-1					
REFERENCIA DE INFORMACION		EVALUACION DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCION A FALTA DE	TAREA PROPUESTA				FRECUENCIA INICIAL				A REALIZAR POR	
						S1	S2	S3											
						O1	O2	O3											
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
1	A	1	Si	Si	Si	Si	Si						Inspeccionar soldaduras en estructura, verificar ajuste de pernos				Semestral		Técnico mecánico
2	A	1	Si	Si	Si	Si	Si						Inspeccionar soldaduras en estructura, inspeccionar sistema en carga y sin carga				Semestral		Técnico mecánico
3	A	1	Si	Si	Si	Si	Si						Inspeccionar anclaje de la estructura.				Semestral		Técnico mecánico
3	B	1	Si	Si	Si	Si	Si						Inspeccionar rosas con galgas, verificar ajuste de pernos				Semestral		Técnico mecánico

FUENTE AUTOR

Hoja de decisión Función de sistema Eléctrico (Protección)

HOJA DE DECISION RCMII																					
	SISTEMA							Sistema Eléctrico							SUBSISTEMA		Protección				
	NUMERO DE SERIE														A REALIZAR POR		Andres Lopez-Carlos Prieto.				
	CODIGO														REVISADO POR		Ing. Ivan Villamizar				
	FECHA							28/11/2022									HOJA 1-1				
REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCION A FALTA DE				TAREA PROPUESTA				FRECUENCIA INICIAL		A REALIZAR POR	
							S1	S2	S3												
							O1	O2	O3												
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4									
1	A	1	Si	Si	Si	Si	Si						Solicitar plano de control y potencia Medir continuidad entre terminales. Inspeccionar ajuste de terminales.				Semestral		Técnico Eléctrico		
1	B	1	Si	Si	Si	Si	Si						Análisis de Termografía				Semestral		Ingeniero mecánico		

Fuente: Autor

Mediante la implementación de protocolo RCM en el Esmeril, se pudo evidenciar que son equipos presentan fallas en los cojinetes de antifricción, (rodamientos rígidos de bolas) en gran porcentaje sus daños son ocasionadas por malos montajes, el operario golpea el rodamiento y no se fija en la concentricidad de los elementos, estas operaciones generan aumento de temperatura, ruido, desviación y desbalanceo que ocasionan desajustes mecánicos y aumento de la potencia del motor, esto quedó demostrado mediante el diligenciamiento del formato de análisis de modo de fallas .

Por otra parte, con la hoja de decisión se pueden realizar actividades previamente ejecutadas y otras que se están empezando a implementar, el objetivo es crear procedimientos estandarizados, dentro de los cuales se disminuyan los modos de fallas. En la ejecución de estas actividades se debe de contar con personal capacitados y con herramientas e insumos pertinentes para su ejecución técnica.

8 CONCLUSIONES

El uso de esta herramienta facilita la implementación de metodología RCM, ya que cuenta con criterios predeterminados para la evaluación del activo (formularios y plantillas).

A través de la implementación del protocolo de metodología RCM y una correcta aplicación se obtienen resultados como:

- Un funcionamiento de operación correcto, ya que desde el formulario de funciones y parámetros de funcionamiento se tiene información de las funciones del activo, y desde el mantenimiento ver las formas más efectivas de cumplir con dichas funciones para mantener el activo.
- Mayor seguridad e integridad ambiental ya que se puede observar si el activo presenta un patrón de falla antes de ocurrir, por lo que se podrá implementar un plan de mantenimiento que disminuya la probabilidad de ocurrencia.

9 RECOMENDACIONES

Para lograr un mayor impacto en la implementación de la metodología RCM se recomienda tener un plan de mantenimiento establecido, en el cual se cuente con una buena codificación, por otra parte, tener un análisis detallado de cada modo de falla, de esta forma poder tomar decisiones orientadas a mejorar el mantenimiento de los activos.

De igual forma se recomienda realizar el protocolo RCM, con la ayuda del jefe de mantenimiento, el operario del activo y el técnico capacitado en mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Se recomienda realizar capacitaciones al personal, brindarle las herramientas necesarias para que la cultura del mantenimiento centrado en la confiabilidad sea acogida y que el personal tenga la información necesaria para la correcta ejecución de las actividades programadas, esto con formación técnica en mecánica, electricidad y electrónica.

Se recomienda evaluar el protocolo para poder observar el funcionamiento del mismo en comparación a otro.

10 REFERENCIAS

ARBOLEDA, Esteban. Ingeniero Electromecánico. Medellín, 2021, 95p. IMPLEMENTACIÓN DE RCM A PROCESO DE GRANALLADO EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE LA EMPRESA BONEM. Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM Facultad de Ingenierías. Departamento de Electromecánica

ASENSIO Francisco. Ingeniero Mecánico. VIGO, 2019, 112p. Implementación del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) en los motores de las lanchas de instrucción. Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar. Facultad de Ingeniería Mecánica.

BUSTAMANTE, Andrés. CAÑAVERAL, Luisa. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Medellín, 2022, 48p. Diseño de un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para una empresa manufacturera de látex. Universidad de Antioquia. Facultad de ingeniería.

CENTRO DE FORMACIÓN TÉCNICA PARA LA INDUSTRIA. Mantenimiento Correctivo. {En línea} {10 septiembre 2022} Disponible en :(<https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-correctivo/>)

CEPEDA, Diego. Ingeniero Electromecánico. Duitama, 2017, 64p. Diseño e implementación de un plan de mejoramiento basado en rcm para el mantenimiento de las bombas horizontales de inyección de agua de campo jaguar – masa stock. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Escuela de ingeniería electromecánica.

CRUZADO, Ricardo. Ingeniero Mecánico-Eléctrico. PIURA, 2020, 109p. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a bombas de carga en una refinería. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

IBERDROLA. ¿Qué es el mantenimiento predictivo? {En línea} {10. septiembre 2022}. Disponible en: (<https://www.iberdrola.com/innovacion/mantenimiento-predictivo#:~:text=QU%C3%89%20ES%20EL%20MANTENIMIENTO%20PREDICTIVO,de%20que%20sobrevenga%20el%20fallo.>)

INDUSTRIAS GSL. Mantenimiento Proactivo. {En línea} {10 septiembre 2022}. Disponible en: (<https://industriassgl.com/blogs/automatizacion/mantenimiento-proactivo>)

INFRASPEAK. ¿Qué es el mantenimiento preventivo? {En línea} {10 septiembre 2022} Disponible en: <https://blog.infraspeak.com/es/mantenimiento-preventivo/#:~:text=El%20mantenimiento%20preventivo%20consiste%20en,equip o%20mantiene%20su%20capacidad%20operativa>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 14224 {En línea} {20 septiembre de 2022} Disponible en:

(<https://www.maintenance.org/fileSendAction/fcType/0/fcOid/399590942963881104/filePointer/399590942964804260/fodoid/399590942964804258/ISO14224.pdf>)

LOPEZ, TOLENTINO, & TOLEDO, 2018

MATOMA, Carlos. Ingeniero Mecánico. BOGOTÁ D.C.,2017,90p. implementación de los resultados del análisis de vibración en la planeación del mantenimiento, para la categorización y clasificación de la severidad de la vibración de equipos rotativos en casa luker s.a. UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS. Facultad de Ingeniería Mecánica. División de Ingenierías.

MOUBRAY John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Buenos Aires, 2004,446p

RENOVABLES VERDES. Seguridad ambiental. {En línea} {21 de nov. de 2022} Disponible en: (<https://www.renovablesverdes.com/seguridad-ambiental/>)

SAE JA 1011{En línea} {20 septiembre de 2022} Disponible en: (https://www.sae.org/standards/content/ja1011_199908/)

SAE JA 1012{En línea} {20 septiembre de 2022} Disponible en: (https://www.sae.org/standards/content/ja1012_201108/)

SOFTWARE, Compara. Mantenimiento Reactivo {En línea} {22 de octubre 2022}. Disponible en: <https://blog.comparasoftware.com/mantenimiento-reactivo/>

TORRES, Jackson. PEREZ, Juan. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá, 2021,106p. Optimización del plan de mantenimiento actual de la línea de plátano en la empresa PepsiCo Alimentos Colombia basado en la metodología RCM. Universidad ECCI. Dirección de Posgrados.

VÉLEZ, Elkin. Ingeniero Industrial. Medellín,2022,26p. Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la Confiabilidad (RCM) en máquinas en el proceso de hilandería open end en la empresa Fabricato. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Industrial.

11 ANEXOS

ANEXO 1 INSTRUCTIVO DE USO

INSTRUCTIVO DE USO

1. En Hoja INICIO RCM se identifica y describe cada etapa, cada etapa esta hipervinculada al formulario de desarrollo de cada etapa.
2. En hoja FORMULARIO INVENTARIO se digita los datos de identificación del activo, en cada criterio encontrara celdas comentadas con una guia basica de diligenciamiento.
3. En hoja BASE DE DATOS se consolida la informacion automaticamente guardada en el FORMULARIO DE
4. En hoja FORMULARIO DE FUNCIONES se digitan las respuestas a las preguntas realizadas, en cada pregunta se encuentran celdas comentadas on una guia basica de diligenciamiento.
5. En hoja F&P se consolida automaticamente la informacion guardada en el FORMULARIO DE FUNCIONES.
6. En hoja ANALISIS DE FALLA se desarrollan cada uno de los parametros pedidos, cada parametro se encuentran celdas comentadas on una guia basica de diligenciamiento.
7. En hoja de FORMULARIO DE HOJA DE DECISIÓN se digitan las respuestas a las preguntas realizadas, en cada pregunta se encuentran celdas comentadas on una guia basica de diligenciamiento.
8. En hoja HOJA DE DECISION se correlacionan los datos pedidos en FORMULARIO DE HOJA DE DECISIÓN en una plantilla de decision.
9. Cada hoja de calculo cuenta con una tecla funcional "anterior" que permite ir a la etapa anterior de la presente.
10. Cada hoja de calculo cuenta con una tecla funcional "siguiente" que permite ir a la etapa posterior de la presente.
11. Cada hoja de calculo cuenta con una tecla funcional "volver" que permite ir a la hoja de INICIO(RCM).



El diagrama de flujo se divide en cuatro columnas principales basadas en las consecuencias de la falla:

- CONSECUENCIAS DE LA FALLA OCULTA (H):**
 - Si la falla es evidente a los operarios, se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (H1). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (H2). Si es factible, se realiza la tarea de acondicionamiento (Tarea a acondición).
 - Si la falla no es evidente, se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (H2). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (H3). Si es factible, se realiza la tarea de reacondicionamiento cíclico (Tarea de reacondicionamiento cíclico).
 - Si la falla no es evidente y no merece la pena, se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (H3). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (H4). Si es factible, se realiza la tarea de sustitución cíclica (Tarea de sustitución cíclica).
 - Si la falla no es evidente y no merece la pena, se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (H4). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (H5). Si es factible, se realiza la tarea de búsqueda de fallas (Tarea de búsqueda de fallas).
 - Si la falla no es evidente y no merece la pena, se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (H5). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (H6). Si es factible, se realiza la tarea de búsqueda de fallas (Tarea de búsqueda de fallas).
- CONSECUENCIAS PARA LA SEGURIDAD O MEDIO AMBIENTE (E):**
 - Si la falla produce un modo de falla que causa una pérdida de función o otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien, se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (S1). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (S2). Si es factible, se realiza la tarea de acondicionamiento (Tarea a acondición).
 - Si la falla no produce un modo de falla que causa una pérdida de función o otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien, se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (S2). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (S3). Si es factible, se realiza la tarea de reacondicionamiento cíclico (Tarea de reacondicionamiento cíclico).
 - Si la falla no produce un modo de falla que causa una pérdida de función o otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien, se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (S3). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (S4). Si es factible, se realiza la tarea de sustitución cíclica (Tarea de sustitución cíclica).
 - Si la falla no produce un modo de falla que causa una pérdida de función o otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien, se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (S4). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (S5). Si es factible, se realiza la tarea de búsqueda de fallas (Tarea de búsqueda de fallas).
- CONSECUENCIAS OPERACIONALES (O):**
 - Si la falla ejerce un modo de falla que causa un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos), se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (O1). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (O2). Si es factible, se realiza la tarea de acondicionamiento (Tarea a acondición).
 - Si la falla no ejerce un modo de falla que causa un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos), se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (O2). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (O3). Si es factible, se realiza la tarea de reacondicionamiento cíclico (Tarea de reacondicionamiento cíclico).
 - Si la falla no ejerce un modo de falla que causa un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos), se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (O3). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (O4). Si es factible, se realiza la tarea de sustitución cíclica (Tarea de sustitución cíclica).
 - Si la falla no ejerce un modo de falla que causa un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos), se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (O4). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (O5). Si es factible, se realiza la tarea de búsqueda de fallas (Tarea de búsqueda de fallas).
- CONSECUENCIAS NO OPERACIONALES (N):**
 - Si la falla ejerce un modo de falla que causa un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos), se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (N1). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (N2). Si es factible, se realiza la tarea de acondicionamiento (Tarea a acondición).
 - Si la falla no ejerce un modo de falla que causa un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos), se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (N2). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (N3). Si es factible, se realiza la tarea de reacondicionamiento cíclico (Tarea de reacondicionamiento cíclico).
 - Si la falla no ejerce un modo de falla que causa un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos), se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (N3). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (N4). Si es factible, se realiza la tarea de sustitución cíclica (Tarea de sustitución cíclica).
 - Si la falla no ejerce un modo de falla que causa un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos), se evalúa si es técnicamente factible y merece la pena realizarla (N4). Si no, se pasa a la siguiente pregunta (N5). Si es factible, se realiza la tarea de búsqueda de fallas (Tarea de búsqueda de fallas).

Anexo 3 Formato análisis de modo de falla

		ANÁLISIS DE MODO DE FALLA			
		SISTEMA		SUBSISTEMA	
		NÚMERO DE SERIE		REALIZADO POR	
		CÓDIGO		REVISADO POR	
		FECHA			
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	HOJA 2-5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PI) - PREDICTIVO (PR) - CORRECTIVO (CI)

[illegible]

