

MODELO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
(RCM) BAJO ESTÁNDAR SAE PARA EL LABORATORIO DE MANUFACTURA DE LA  
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA.

LINA MARIA SÁNCHEZ ROMERO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
TUNJA  
2024

MODELO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
(RCM) BAJO ESTÁNDAR SAE PARA EL LABORATORIO DE MANUFACTURA DE LA  
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA.

LINA MARIA SÁNCHEZ ROMERO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Mecánica

Directores

Nelson Iván Villamizar Cruz

Luis Fernando Acosta Joya

Ingenieros Mecánicos

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
TUNJA  
2024

## CONTENIDO

pág.

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....                                                                       | 1  |
| 1. OBJETIVOS .....                                                                       | 3  |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL .....                                                              | 3  |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                         | 3  |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                                      | 4  |
| 3. MARCO REFERENCIAL Y TEÓRICO .....                                                     | 5  |
| 3.1. ANTECEDENTES .....                                                                  | 5  |
| 3.2. MARCO LEGAL .....                                                                   | 9  |
| 3.3. MARCO CONCEPTUAL .....                                                              | 13 |
| 3.3.1. Mantenimiento: .....                                                              | 13 |
| 3.3.2. Tipos de mantenimiento: .....                                                     | 13 |
| 3.3.3. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) .....                               | 15 |
| 3.3.4. Análisis de criticidad .....                                                      | 15 |
| 3.3.4.1. Método del flujograma de análisis de criticidad (cualitativo): .....            | 16 |
| 3.3.4.2. Modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” (criticidad total por riesgo) ..... | 17 |
| 3.3.4.3. Modelo de criticidad cuantitativo AHP (Analytic Hierarchy Process): .....       | 22 |
| 3.3.5. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) .....                                | 24 |
| 3.3.5.1. Tipos de AMEF: .....                                                            | 25 |
| 3.3.5.2. Aplicación de un AMEF .....                                                     | 26 |
| 3.4. MARCO HISTÓRICO .....                                                               | 34 |
| 3.4.1. Historia y evolución del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) .....      | 34 |
| 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS ACTIVOS .....                                       | 37 |
| 4.1. SELECCIÓN DE LOS ACTIVOS .....                                                      | 37 |
| 4.1.1. Fresadora MAPI .....                                                              | 37 |
| 4.1.2. Fresadora WINSTON .....                                                           | 38 |
| 4.1.3. Torno DMTG .....                                                                  | 39 |

|          |                                                                                                  |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.4.   | Centro de Mecanizado CNC NEWAY .....                                                             | 40 |
| 4.2.     | MODELO DE IDENTIFICACIÓN DE LOS ACTIVOS SEGÚN LOS NIVELES TAXONOMICOS DE LA NORMA ISO 14224..... | 41 |
| 4.2.1.1. | Descripción y ubicación de la institución .....                                                  | 43 |
| 4.2.1.2. | Laboratorios de la facultad de ingeniería mecánica de la USTA Tunja .....                        | 44 |
| 4.3.     | NIVELES JERÁRQUICOS DENTRO DE LA USTA TUNJA.....                                                 | 45 |
| 4.4.     | CODIFICACIÓN GENERAL DE LOS ACTIVOS .....                                                        | 48 |
| 5.       | ANÁLISIS DE CRITICIDAD .....                                                                     | 52 |
| 5.1.     | ESTRATEGIAS PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN LOS ACTIVOS DE LA USTA TUNJA.....                  | 52 |
| 5.1.1.   | Lineamientos generales .....                                                                     | 52 |
| 5.1.2.   | Acciones, recursos y equipo de trabajo .....                                                     | 53 |
| 5.2.     | PARAMETRIZACIÓN DE LOS CRITERIOS USADOS PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD:.....                     | 54 |
| 5.2.1.   | Fallas Frecuentes (FF).....                                                                      | 55 |
| 5.2.2.   | Disponibilidad o impacto del servicio (IS).....                                                  | 55 |
| 5.2.3.   | Impacto por Flexibilidad Operacional (FO).....                                                   | 56 |
| 5.2.4.   | Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA): .....                                            | 57 |
| 5.2.5.   | Impacto en Costes de Mantenimiento (CM).....                                                     | 58 |
| 5.3.     | RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD .....                                                      | 59 |
| 5.4.     | JUSTIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD ..                                    | 62 |
| 6.       | APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM .....                                                           | 67 |
| 6.1.     | TORNO PARALELO DMTG CdS 6250B .....                                                              | 68 |
| 6.2.     | SISTEMAS PRINCIPALES DEL TORNO DMTG CdS 6250B.....                                               | 69 |
| 6.3.     | DETERMINACIÓN DE FUNCIONES DEL TORNO DMTG CDS 6250B.....                                         | 70 |
| 6.4.     | ANÁLISIS DE FALLAS.....                                                                          | 73 |
| 6.5.     | ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMEF):.....                                            | 74 |
| 6.5.1.   | Consecuencias de las fallas.....                                                                 | 77 |
| 6.5.2.   | Análisis de riesgos .....                                                                        | 82 |
| 6.5.3.   | Hoja de decisión RCM: .....                                                                      | 92 |

|          |                                                   |     |
|----------|---------------------------------------------------|-----|
| 6.5.4.   | Diagrama de decisión RCM .....                    | 93  |
| 6.5.4.1. | Tareas propuestas .....                           | 94  |
| 6.5.4.2. | Factores que estudia el diagrama RCM. ....        | 95  |
| 6.5.4.3. | Preguntas base del diagrama de decisión RCM ..... | 95  |
| 7.       | RECOMENDACIONES .....                             | 104 |
| 8.       | CONCLUSIONES .....                                | 106 |
|          | BIBLIOGRAFÍA .....                                | 108 |
|          | ANEXOS .....                                      | 112 |

**LISTA DE CUADROS**

pág.

**Cuadro 1. Tablas de factores de severidad de riesgo.....83**  
*Cuadro 2: Diagrama de decisión RCM.....97*

## LISTA DE FIGURAS

pág.

|                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Figura 1: Clasificación de los tipos de mantenimiento.....</i>                                          | <i>13</i> |
| <i>Figura 2: Recomendaciones para la aplicación de un mantenimiento preventivo.....</i>                    | <i>14</i> |
| <i>Figura 3: Ejemplo de flujograma de análisis de criticidad.....</i>                                      | <i>17</i> |
| <i>Figura 4: Ejemplo de flujograma de análisis de criticidad.....</i>                                      | <i>22</i> |
| <i>Figura 5: Evolución de técnicas de mantenimiento .....</i>                                              | <i>36</i> |
| <i>Figura 6: Pirámide de jerarquización según la norma ISO 14224 .....</i>                                 | <i>41</i> |
| <i>Figura 7: Ubicación de la USTA en la ciudad de Tunja .....</i>                                          | <i>43</i> |
| <i>Figura 8: Laboratorio de materiales.....</i>                                                            | <i>44</i> |
| <i>Figura 9: Laboratorio de Procesos de manufactura .....</i>                                              | <i>45</i> |
| <i>Figura 10: Laboratorio de térmicas y Laboratorios .....</i>                                             | <i>45</i> |
| <i>Figura 11: Ejemplo de codificación para los activos de la USTA, Tunja.....</i>                          | <i>49</i> |
| <i>Figura 12: Resultado del análisis de criticidad por medio de la matriz CTR.....</i>                     | <i>61</i> |
| <i>Figura 13: Procesos de mecanizado de un trono paralelo .....</i>                                        | <i>68</i> |
| <i>Figura 14: Torno DMTG CdS 6250B .....</i>                                                               | <i>69</i> |
| <i>Figura 15: Correlación de referencias entre la hoja de información y la hoja de decisión.<br/>.....</i> | <i>92</i> |

## LISTA DE TABLAS

pág.

|                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 1: Cuestionario para realizar un análisis RCM .....</i>                                             | <i>11</i> |
| <i>Tabla 2: Atributos que se analizan en el flujograma de análisis de criticidad (cualitativo) .....</i>     | <i>17</i> |
| <i>Tabla 3: Criterio a evaluar de Fallas Frecuentes con relación a la institución educativa. ....</i>        | <i>19</i> |
| <i>Tabla 4: Criterio a evaluar de Impacto del servicio con relación a la institución educativa .....</i>     | <i>19</i> |
| <i>Tabla 5: Criterio a evaluar de Flexibilidad Operacional con relación a la institución educativa. ....</i> | <i>20</i> |
| <i>Tabla 6: Criterio a evaluar de SHA con relación a la institución educativa.....</i>                       | <i>20</i> |
| <i>Tabla 7: Criterio a evaluar de Costes de Mantenimiento con relación a la institución educativa. ....</i>  | <i>21</i> |
| <i>Tabla 8: Puntuación de los Juicios .....</i>                                                              | <i>23</i> |
| <i>Tabla 9: Valores de RI para matrices de diferentes órdenes .....</i>                                      | <i>24</i> |
| <i>Tabla 10: Tipos de AMEF.....</i>                                                                          | <i>25</i> |
| <i>Tabla 11: Valores de calificación de ocurrencia de fallas en un activo.....</i>                           | <i>29</i> |
| <i>Tabla 12: Valores de calificación de fallos ocultos en un activo. ....</i>                                | <i>29</i> |
| <i>Tabla 13: Valores de calificación de Medio Ambiente en un activo.....</i>                                 | <i>30</i> |
| <i>Tabla 14: Valores de calificación de Medio Ambiente en un activo.....</i>                                 | <i>31</i> |
| <i>Tabla 15: Valores de calificación de Costos de reparación en un activo.....</i>                           | <i>31</i> |
| <i>Tabla 16: Valores de calificación de Costos de reparación en un activo.....</i>                           | <i>32</i> |
| <i>Tabla 17: Valores de calificación de Costos de reparación en un activo.....</i>                           | <i>32</i> |
| <i>Tabla 18: Información del activo – Fresadora MAPI.....</i>                                                | <i>37</i> |
| <i>Tabla 19: Información del activo – Fresadora WINSTON .....</i>                                            | <i>38</i> |
| <i>Tabla 20: Información del activo – Torno DMTG.....</i>                                                    | <i>39</i> |
| <i>Tabla 21: Información del activo – CNC NEWAY.....</i>                                                     | <i>40</i> |
| <i>Tabla 22: Nivel III de jerarquización de la USTA.....</i>                                                 | <i>42</i> |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tabla 23: Nivel III de jerarquización de la USTA</i> .....                                                | 46 |
| <i>Tabla 24: Nivel IV de jerarquización de la USTA, Tunja</i> .....                                          | 47 |
| <i>Tabla 25: Nivel V de jerarquización de la USTA, Tunja</i> .....                                           | 47 |
| <i>Tabla 26: Nivel V de jerarquización de la USTA, Tunja</i> .....                                           | 48 |
| <i>Tabla 27: Codificación nivel III</i> .....                                                                | 49 |
| <i>Tabla 28: Codificación nivel IV</i> .....                                                                 | 50 |
| <i>Tabla 29: Codificación nivel V</i> .....                                                                  | 50 |
| <i>Tabla 30: Codificación nivel IV</i> .....                                                                 | 51 |
| <i>Tabla 31: Modelo de un Inventario y codificación de los activos seleccionados</i> .....                   | 51 |
| <i>Tabla 32: Acciones que se buscan implementar en el análisis de criticidad</i> .....                       | 53 |
| <i>Tabla 33: Criterios y factores ponderados para fallas frecuentes</i> .....                                | 55 |
| <i>Tabla 34: Criterios y factores ponderados para Impacto de servicio</i> .....                              | 56 |
| <i>Tabla 35: Criterios y factores ponderados para impacto de flexibilidad operacional</i> .....              | 57 |
| <i>Tabla 36: Criterios y factores ponderados para Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA):</i> .....  | 58 |
| <i>Tabla 37: Criterios y factores ponderados para Impacto manejo de costos</i> .....                         | 59 |
| <i>Tabla 38: Resultados de los criterios del análisis de criticidad de los activos</i> .....                 | 59 |
| <i>Tabla 39: Resultados final de la criticidad de los activos</i> .....                                      | 61 |
| <i>Tabla 40: Justificación de la criticidad del torno DMGT</i> .....                                         | 62 |
| <i>Tabla 41: Justificación de la criticidad de la fresadora WINSTON</i> .....                                | 64 |
| <i>Tabla 42: Justificación de la criticidad del centro de mecanizado</i> .....                               | 65 |
| <i>Tabla 43: Justificación de la criticidad de la fresadora MAPI</i> .....                                   | 66 |
| <i>Tabla 44: Determinación de las funciones y características del Torno DMTG</i> .....                       | 69 |
| <i>Tabla 45: Determinación de las funciones y características del Torno DMTG</i> .....                       | 71 |
| <i>Tabla 46: Determinación de las funciones y características del sistema eléctrico del torno DMTG</i> ..... | 72 |
| <i>Tabla 47: Función principal y fallas funcionales del sistema eléctrico del torno</i> .....                | 74 |
| <i>Tabla 48: Modos y efectos de fallas del sistema eléctrico del torno</i> .....                             | 75 |
| <i>Tabla 49: AMEF del sistema eléctrico del torno</i> .....                                                  | 76 |
| <i>Tabla 50: Consecuencia de fallas en el sistema eléctrico del torno</i> .....                              | 79 |

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Tabla 51: Primer modo de falla del sistema eléctrico del torno:</i>                                                     | 87  |
| <i>Tabla 52: Ejemplo de evaluación de la ocurrencia en un modo de falla del sistema eléctrico del torno.</i>               | 87  |
| <i>Tabla 53: Ejemplo de evaluación de la severidad en SF en un modo de falla del sistema eléctrico del torno.</i>          | 88  |
| <i>Tabla 54: Respuesta de la calificación de los factores en el modo de falla del sistema eléctrico del torno</i>          | 89  |
| <i>Tabla 55: Respuesta de riesgo total en el modo de falla del sistema eléctrico del torno.</i>                            | 89  |
| <i>Tabla 56: Respuesta de riesgo total en el modo de falla del sistema eléctrico del torno</i>                             | 90  |
| <i>Tabla 57: Respuesta de riesgo total en el modo de falla del sistema eléctrico del torno en una hoja de calculo</i>      | 91  |
| <i>Tabla 58: Preguntas base del diagrama de decisión RCM</i>                                                               | 96  |
| <i>Tabla 59: Hoja de decisión RCM aplicada en los activos del laboratorio de la USTA Tunja</i>                             | 98  |
| <i>Tabla 60: Explicación de las tareas propuestas para el mantenimiento y mejora del sistema eléctrico del torno DMTG.</i> | 101 |

## LISTA DE ANEXOS

pág.

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Anexo A.</b> Plantilla para la descripción de funciones de activos o sistemas.....               | 113 |
| <b>Anexo B.</b> Plantilla para el Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) .....                | 114 |
| <b>Anexo C:</b> Plantilla para análisis de las consecuencias de fallas en un sistema o activo ..... | 115 |
| <b>Anexo D:</b> Plantilla para análisis de las consecuencias de fallas en un sistema o activo ..... | 116 |
| <b>Anexo E:</b> Plantilla para análisis de las consecuencias de fallas en un sistema o activo ..... | 117 |
| <b>Anexo F:</b> Instructivo para la evaluación de análisis de criticidad en los activos. ....       | 118 |
| <b>Anexo G:</b> Funciones y descripción de los sistemas del torno DMTG .....                        | 125 |
| <b>Anexo H:</b> Hoja de información AMEF y Hoja de decisión RCM.....                                | 131 |

## GLOSARIO

**Activos:** maquinas, herramientas o insumos que se usan para producir servicios con el fin de generar ganancias dentro de una industria o empresa.

**Caja Norton:** Sistema para regular las velocidades de un torno del carro portaherramientas

**Confiabilidad:** capacidad de un activo de desempeñar una función o tarea sin fallos durante un tiempo en específico.

**Devanado:** degradación de devanados eléctricos de un motor y generadores.

**Disponibilidad:** capacidad de un activo para estar en condiciones óptimas al momento de requerir sus funciones

**Eficiencia:** es la relación de un análisis teórico y los resultados reales de las condiciones de un activo.

**Equipos:** máquina, herramienta o producción encargada de hacer un trabajo en específico.

**Fluctuaciones de voltaje:** Variaciones en el flujo de voltaje de una red eléctrica

**Husillo:** Tornillo que tiene como función accionar las mordazas que ajustan o aprietan la pieza.

**ISO:** Organización Internacional de Normalización

**Máquina:** conjunto de sistemas o piezas diseñadas que cumplen con una función en específico

**Mordazas:** Elementos de sujeción para asegurar una pieza en un proceso de mecanizado.

**SAE:** Sociedad de Ingenieros de Automoción.

**RCM:** mantenimiento centrado en confiabilidad.

**Rediseño:** mejorar o modificar el diseño original de un activo para el mejoramiento y rendimiento de este.

**Restaurar:** Devolver a condiciones óptimas o su estado original un activo.

**RETIE:** Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas

**Tarea proactiva:** Son tareas preventivas diseñadas para mitigar fallas.

**Tiempos muertos:** Periodo de tiempo en donde un activo no está en funcionamiento por mantenimientos o averías.

**Torno Paralelo:** máquina herramienta que se utiliza para el mecanizado de piezas por medio de la rotación de un sólido en el mismo eje de simetría.

**USTA:** Universidad Santo Tomas.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las grandes industrias manejan métodos y técnicas de mantenimiento para que se adecue de la mejor forma a la misión, objetivos y necesidades de la empresa o producción. Por ello, la aplicación de metodologías rigurosas para el mantenimiento y prevención de instalaciones y activos, refleja confiabilidad, eficiencia y compromiso con los objetivos organizacionales.

El mantenimiento centrado en confiabilidad RCM (por sus siglas en ingles), es una metodología que busca enfocarse en la mejora de la confiabilidad y la disponibilidad de una producción o un activo en específico. Este enfoque, ayuda a reducir costos y mitigar fallas o averías que afectan áreas de producción, seguridad ambiental y física de los trabajadores y/o clientes. La aplicación de una metodología RCM, en un proceso industrial, se debe basarse en normativas que cumplan con las indicaciones y aprobaciones de los estándares internacionales, garantizando su efectividad.

Dentro del proceso de aplicación, entran otras metodologías bases para el desarrollo de esta misma como análisis de criticidad y jerarquización de activos y sistemas, que se encargan de dar prioridad a sectores o equipos críticos que buscan mejorar sus funciones y objetivos. Además, interviene el análisis de fallas, que se encarga de estudiar los modos y efectos de las fallas en los activos y dar una posible solución a estas.

En la Universidad Santo Tomas, seccional Tunja, la facultad de ingeniería mecánica, posee activos que cumplen con la función de capacitar y desarrollar nuevas generaciones en el proceso de mecanizado de materiales y la industria metalmecánica, por lo que la presencia de equipos especializados es vital para el desarrollo de clase y aprendizaje de los estudiantes. Actualmente, la metodología enfocada al mantenimiento de los activos, se ven reflejadas en acciones preventivas y correctivas, lo que en cierta forma afecta la gestión de estos mismos, disminuyendo sus eficiencia, confiabilidad y disponibilidad.

Ahora, teniendo en cuenta la existencia de métodos y técnicas enfocadas en mantenimientos seguros y eficaces, se busca implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, como estrategia y modelo en los activos de mecanizado de materiales del laboratorio de procesos de manufactura de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, cumpliendo con las normativas y parámetros estipulados por las normas estandarizadas de la metodología RCM.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Proponer una metodología de mantenimiento centrada en confiabilidad (RCM) para la mejora del plan de mantenimiento establecido para los equipos de maquinado de materiales del laboratorio de procesos de manufactura de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la universidad Santo Tomas, seccional Tunja.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las funciones de los activos, así como la identificación de sistemas y subsistemas que compone los equipos para diagnosticar su criticidad, causas, modos y efectos de falla.
- Modelar una estrategia de mantenimiento centrada en confiabilidad (RCM) en el equipo con más alto nivel de criticidad, aplicando las normas internacionales ISO 14224, SAE JA1011 y SAE JA1012.
- Evaluar en el activo con mayor indicador de criticidad para los planes de mantenimiento según la metodología RCM para el mejoramiento del equipo a probar.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Santo Tomas, seccional Tunja, presenta instalaciones de aprendizaje para sus estudiantes dividida en tres laboratorios. Dentro de estos, se destaca el laboratorio de procesos de manufactura, que posee diferentes equipos de maquinado de materiales como lo son un torno, dos fresadoras y una maquina CNC. La universidad mantiene documentación actualizada de los equipos como su ficha técnica y hoja de vida, así mismo, la documentación en planeación de mantenimientos con la normativa estipulada.

Teniendo en cuenta que la utilidad de estos activos es con fines académicos, de aprendizaje y estando a la disposición de los estudiantes, conlleva a daños frecuentes por uso y abuso que presenta estos equipos por la inexperiencia de los operarios. Para tener un control y monitoreo de estos activos, se maneja un plan de mantenimiento basándose en procedimientos preventivos y correctivos. Estos equipos presentan averías o paradas intermitentes, intercediendo en el desarrollo de clases o proyectos de los mismos estudiantes, que a su vez genera gastos económicos indeseados y molestias en la comunidad educativa. Por otro lado, al no tener presente una posible falla, los estudiantes y operarios en general están expuestos a accidentes debido a la falla de un equipo en su operación y/o funcionamiento.

Para abordar la problemática actual se formula la siguiente pregunta: ¿Como se verá afectada la gestión y funcionamiento de los equipos del laboratorio de manufactura aplicando la metodología de manteamiento centrado en confiabilidad (RCM)?

### 3. MARCO REFERENCIAL Y TEÓRICO

#### 3.1. ANTECEDENTES

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una metodología impuesta en gran parte de empresas e industrias que manejan instalaciones con equipos o activos que requieren de un monitoreo constante para una mejor operación, control de mantenimiento y aprovechamiento de su vida útil. Siendo una metodología ya existente y con variaciones según el tipo de industria, se tomará como guía proyectos anteriormente propuestos y/o realizados que se enfoquen en laboratorios o instalaciones similares de la universidad. Los proyectos seleccionados son:

- **Aplicación de herramientas de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para homologar procesos del laboratorio de materiales de la EPIMMEM:**

El objetivo de este trabajo fue implementar el modelo de mantenimiento basado proceso de este proyecto, Valdivia<sup>1</sup> dividió el procedimiento en varias etapas:

1. Se aplicó un cuestionario de RCM enfocado a las necesidades de los usuarios que ayudó a evaluar el estado actual de la organización del laboratorio y de los equipos, así mismo, el conocimiento del funcionamiento de cada uno. Esto dio como resultado la definición de los objetivos y las funciones de trabajo

---

<sup>1</sup> JORGE LUIS CASTRO VALDIVIA, aplicación de herramientas de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para homologar procesos del laboratorio de materiales de la EPIMMEM, [en línea], tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María, Arequipa Perú, 2020, [Consultado el 10 de 2024], disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7ce32eb2-e1d0-4ceb-9d73-fd21f0c333e7/content>

2. Se identifico el equipo con mayor nivel de criticidad. Obtenido la información del equipo y su estructuración, se realizó un análisis taxonómico de sus sistemas, componentes y partes.
  3. Se realizó un análisis posibles fallas, comenzando con la taxonomía y la división de sistemas, y se determinó el impacto de las fallas en cada sistema. Estos resultados proporcionaron información suficiente para establecer un calendario de mantenimiento para el equipo, proponiendo un modelo de trabajo basado en Mantenimiento Preventivo y Predictivo, y verificando parámetros como las horas de mantenimiento, la disponibilidad y la confiabilidad.
  4. Por último, se analizaron los procedimientos de mantenimiento del equipo, clasificando documentos y seleccionando funciones de trabajo teniendo en cuenta las SO/IEC 17025 y las normas internas del laboratorio de la UCSM en la confiabilidad (RCM) según las Normas JA-1011, JA 10-12 y la ISO 14224, y analizar su impacto en las condiciones requeridas por la norma ISO/IEC 17025.
- **Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC:**

El trabajo se presentado por Hung, tiene como finalidad dar a conocer las experiencias adquiridas en la aplicación de los principios y conceptos fundamentales del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en las unidades de generación que conforman la Planta Oscar Augusto Machado (OAM) de C. A. La Electricidad de Caracas.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>HUNG, Alberto J. Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC [en línea]. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, 2008 [consultado el 14 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127741002>

- **Implementación de un plan de mantenimiento para los laboratorios de las áreas eléctricas y del laboratorio de mantenimiento predictivo de la facultad de mecánica mediante el software SisMAC:**

La Facultad de Mecánica presenta talleres y laboratorios para la formación práctica de los estudiantes. Estas instalaciones prestan áreas eléctricas y de mantenimiento predictivo que actualmente posee equipos que cumplen con las necesidades de los estudiantes, lo que resulta que su vida útil sea más corta y se presentan desgastes naturales. Conociendo las condiciones de los activos, Haro Capelo, desarrollo un proyecto para la creación e implementación de un plan de mantenimiento para cada área realizando evaluaciones de fichas técnicas, análisis de criticidad y análisis de fallas, para finalmente, implementar un mantenimiento centrado en confiabilidad en un plan de mantenimiento centrado en las necesidades de los activos y sus instalaciones<sup>3</sup>

- **Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos:**

Los autores de este Artículo, con base a las normativas estandarizadas SAE JA1011, SAE JA1012, SAE J1739 y la ISO 14224, desarrollan una metodología para un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). Usando la recopilación de datos, análisis y evaluaciones de fallas, se calcula el número de

---

<sup>3</sup> JOHANA NATALY HARO CAPELO, Implementación de un plan de mantenimiento para los laboratorios de las áreas eléctricas y del laboratorio de mantenimiento predictivo de la facultad de mecánica mediante el software SisMAC, [en línea], trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador, 2016, [Consultado el 09 de 2024], disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/5901/1/25T00281.pdf>

prioridad de riesgo (NPR) y la jerarquización de las fallas, para finalmente aplicar la metodología en un caso donde se pueda implementar la metodología propuesta<sup>4</sup>

- **Elaboración del inventario de los activos a mantener de la empresa CIAUTO CIA. LTDA. de la ciudad de Ambato en base a la norma ISO 14224”**

El proyecto propuesto por los autores, tiene como objetivo la elaboración del inventario y codificación de activos de la empresa CIAUTO CIA. LTDA y contribuir al mantenimiento con la identificación de cada sistema y activo. Para los objetivos propuestos, se plantea identificar los activos de la empresa recopilando información aportada por los empleados de la compañía para posteriormente, implementar la norma ISO 14224 en la jerarquización de los activos y sistemas de las áreas de la empresa. Finalmente se aplica un análisis de criticidad para la priorización de los activos y sectores de la compañía. Como resultado se diseña el inventario de los activos con base a los análisis de criticidad realizados y la organización de información archivada digital y físicamente de los activos. <sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> CAMPOS LÓPEZ, Omar; TOLENTINO ESLAVA, Guilibaldo; TOLEDO VELÁZQUEZ, Miguel; TOLENTINO ESLAVA, René. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos [en línea]. Instituto Politécnico Nacional, México, 2019 [consultado el 10 de 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/61458265006.pdf>

<sup>5</sup> ALDO RAÚL DAQUILEMA MARTÍNEZ, OSCAR FABRICIO LÓPEZ TAPIA, Elaboración del inventario de los activos a mantener de la empresa Ciauto cia. Ltda. de la ciudad de Ambato en base a la norma ISO 14224 [en línea], proyecto técnico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador, 2021, [Consultado el 09 de 2024], disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15992/1/25T00418.pdf>

- **Propuesta de metodología de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), basado en las normas ISO 14224, SAE JA1011 y SAE JA1012, en la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair–CELEC EP:**

Se propone la creación de una metodología de implementación de un sistema de gestión centrado en confiabilidad (MCC) basado en las normas ISO 14224, SAE JA1011 y SAE JA1012 en la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair - CELEC EP. Este proyecto se hace con el fin de mantener los estándares e indicadores de confiabilidades en un nivel adecuado. Además, esta herramienta ayuda a aumentar el desempeño de los operacional de equipos y sistemas, reduciendo fallas, así como disminuir paradas por mantenimientos, tiempos muertos de producción y la incrementación de la vida útil de los activos.<sup>6</sup>

### **3.2. MARCO LEGAL**

En la gestión de activos se tienen en cuenta diferentes normas que se hacen registrar dependiendo de los fines y objetivos dentro de un conjunto de activos, sistemas o industria. Siguiendo los objetivos del proyecto y la metodología existente para la aplicación de un mantenimiento RCM se tienen en cuenta las siguientes normas estandarizadas para la gestión de activos:

---

<sup>6</sup>CHRISTIAN IVAN PROAÑO CARDENAS, Propuesta de metodología de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), basado en las normas ISO 14224, SAE JA1011 y SAE JA1012, en la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair – CELEC E.P., [en línea], tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018, [Consultado el 08 de 2024], disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19787?locale=de>

- **Norma SAE J1739 - Análisis de efectos y modos de falla potencial (FMEA) que incluye FMEA de diseño, FMEA-MSR suplementario y FMEA de proceso:**

Este estándar FMEA describe el análisis de modos y efectos de fallas potenciales en el diseño (DFMEA), el FMEA-MSR complementario y el análisis de efectos y modos de fallas potenciales en los procesos de fabricación y ensamblaje (PFMEA). Ayuda a los usuarios a identificar y mitigar riesgos proporcionando términos, requisitos, cuadros de calificación y hojas de trabajo adecuados<sup>7</sup>. En un sentido más concreto, esta norma se encarga de dar a entender de una forma práctica las siguientes funciones:

- Reconocer y evaluar el fallo potencial de un producto/proceso y sus efectos
- Identificar acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que ocurra una falla potencial
- Documentar el proceso. Es complementario al proceso de diseño de definir positivamente lo que un diseño debe hacer para cumplir sus objetivos.

- **Norma internacional ISO 14224 - Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos:**

Esta norma internacional brinda una base para la recolección de datos para la recopilación de Confiabilidad y mantenimiento (RM por sus siglas en inglés, reliability and maintenance) en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural en oleoductos y

---

<sup>7</sup>SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Análisis de efectos y modos de falla potencial (FMEA) que incluye FMEA de diseño, FMEA-MSR suplementario y FMEA de proceso. SAE J1739. JAN2021. 105 p.

gaseoductos, respectivamente. Esta norma internacional presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos de RM que faciliten la recolección de datos sobre RM. La información permitirá al usuario cuantificar la confiabilidad del equipo y compararla con la confiabilidad de equipos de características similares.<sup>8</sup>

- **Norma SAE JA 1011 - Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad:**

La norma SAE JA1011 abarca conceptos y terminologías que se aplican en el mantenimiento centrado en confiabilidad como una introducción al uso de esta metodología que. A demás, esta norma SAE se caracteriza por plantear un conjunto de preguntas (Tabla 1) que se deben indagar antes de aplicar un RCM, para ver si un activo o sistema es apropiado para la aplicación de esta metodología.

*Tabla 1: Cuestionario para realizar un análisis RCM*

| No | Preguntas                                                                                                                                                          |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <b>Funciones y estándares de mantenimiento:</b> ¿Cuáles son las funciones y normas asociadas deseadas de desempeño del recurso en su contexto de operación actual? |
| 2  | <b>Fallas funcionales:</b> ¿En cuáles modos puede fallar el cumplimiento de sus funciones                                                                          |
| 3  | <b>Modo de falla:</b> ¿Qué causa cada falla funcional?                                                                                                             |
| 4  | <b>Efectos de la falla:</b> ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?                                                                                          |
| 5  | <b>Consecuencias de la falla:</b> ¿De qué manera afecta cada falla?                                                                                                |

---

<sup>8</sup> ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural— recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. ISO 14224. 3ed. Reino Unido. ISO 2016. 280 p.

|   |                                                                                                             |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 | <b>Tareas proactivas e intervalos:</b> ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?              |
| 7 | <b>Acciones predeterminadas:</b> ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible? |

*Fuente: Elaboración propia con base a la norma SAE JA1011*

“Para responder “satisfactoriamente” cada una de las preguntas previas se recogerá la siguiente información y realizadas las siguientes decisiones. Toda información y decisiones serán documentadas de modo que conforme la información y decisiones totalmente disponibles, aceptadas por el propietario o usuario del recurso.”<sup>9</sup>

- **Norma SAE JA 1012 - Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC):**

Como la norma SAE JA1011 trata conceptos que se manejan dentro de la metodología RCM, la SAE JA1012 amplifica y aclara estos criterios y terminologías para establecer estudios con más profundidad en los efectos de falla y las probabilidades e impactos que estas pueden llegar a afectar en un activo o una producción.<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. SAE JA1011.1999. 12 p.

<sup>10</sup> SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). SAE JA1012. 2002. 62 p.

### 3.3. MARCO CONCEPTUAL

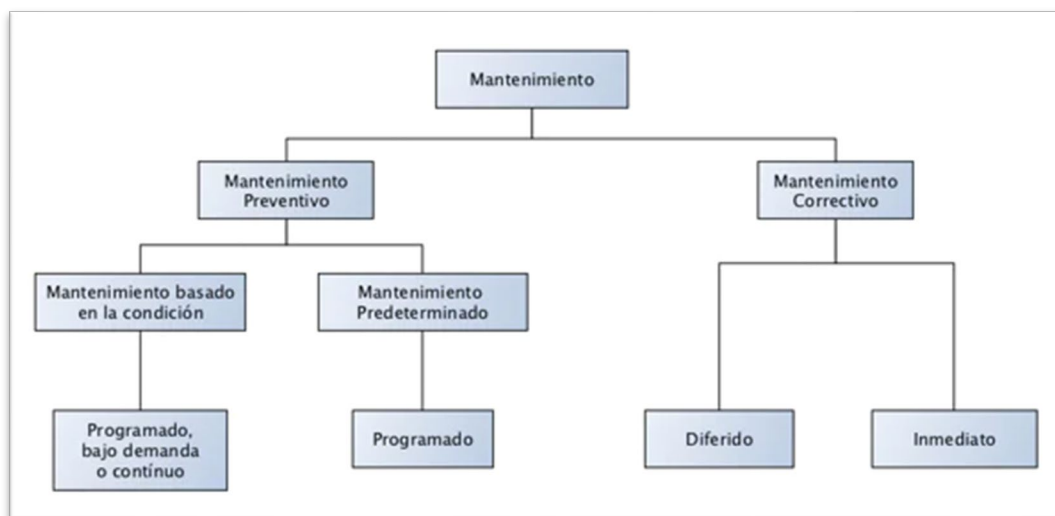
#### 3.3.1. Mantenimiento:

Hace referencia al conjunto de acciones y actividades técnicas y administrativas que se ejecutan para conservar o restaurar un activo, sistema o infraestructura. Esta toma de acciones se realiza con el fin de mantener el activo funcional, cumpliendo con trabajos o tareas específicas. El mantenimiento tiene como objetivo intervenir en factores como: disponibilidad, costos, seguridad, integridad y eficiencia de los activos para tener resultados positivos en su productividad.

#### 3.3.2. Tipos de mantenimiento:

Existen tres tipos de mantenimiento que su uso depende de factores como las condiciones en que se encuentre los activos y de los objetivos que esperan tras la aplicación de estas. Según la Figura 1, estos tipos de manteamientos se clasifican de la siguiente forma:

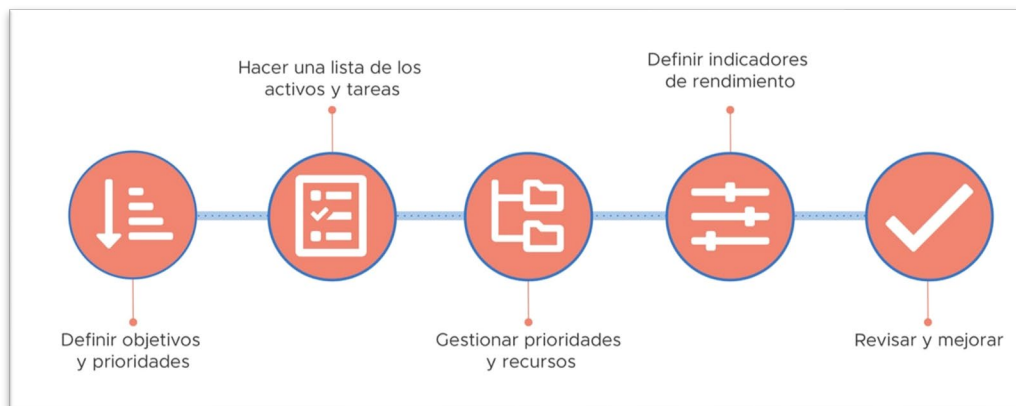
*Figura 1: Clasificación de los tipos de mantenimiento*



Fuente: <https://www.appvizer.es/revista/organizacion-planificacion/gestion-mantenimiento/tipos-de-mantenimiento>

- **Mantenimiento preventivo:** este tipo de mantenimiento se caracteriza por ser de bajo costo y eficaz cuando se monitorea y se toma control de sus acciones y se aplica en horarios donde la producción o uso de activos es de menor afectación. El mantenimiento preventivo toma acciones que ayudan a reducir desgastes prematuros, así como desajustes y prevención de daños, con procedimientos como, revisión de indicadores o testigos de funcionamiento, ajustes de piezas, lubricación o limpieza de los activos y sus instalaciones. La toma de tareas y decisiones es la base para la aplicación de un buen mantenimiento preventivo, por eso, en la figura 2 se muestran factores que son importantes para el desarrollo de este tipo de mantenimiento.

*Figura 2: Recomendaciones para la aplicación de un mantenimiento preventivo*



Fuente: <https://blog.infraspeak.com/es/plan-de-mantenimiento-preventivo/>

- **Mantenimiento predictivo:** se encarga de realizar actividades en un tiempo asignado para la detección de posibles fallos o desgastes. Este tipo de mantenimiento se realiza con la ayuda de herramientas y técnicas especiales que diagnostican de manera precisa las condiciones actuales de un activo.
- **Mantenimiento correctivo:** este tipo de mantenimiento se caracteriza por reparar fallas o averías de forma imprevista y de mayor gravedad, lo que

ocasiona paradas de los activos, así mismo la presencia de altos costos para su reparación.

### **3.3.3. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)**

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología que se basa en la planeación de mantenimientos y actividades con el fin de buscar confiabilidad en los activos. Esta metodología determina que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional<sup>11</sup>. El RCM se basa principalmente en la creación de planes de mantenimiento preventivos y predictivos con la búsqueda de fallas, análisis de riesgos y criticidad, clasificación jerárquica de sistemas, subsistemas y componentes del activo, asegurando el mejoramiento de estos planes y la toma de decisiones para el cumplimiento de su mantenimiento.

Para el desarrollo de esta metodología se usan las normas estandarizadas que se explicaron anteriormente en la sección 3.2 y la implementación de un análisis de criticidad.

### **3.3.4. Análisis de criticidad.**

Es un procedimiento que ayuda identificar y evaluar el nivel de fallas potenciales en un activo. Este ayuda a priorizar los equipos o sistemas en función de su gravedad y frecuencia de posibles fallas potenciales, garantizando nuevas metodologías y modelos en planes de mantenimientos más rigurosos y estratégicos. “El objetivo de un análisis de

---

<sup>11</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. 2 ed. Gran Bretaña: Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn, 2004. 446 p. ISBN: 09539603-2-3

criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de un proceso de producción complejo, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable” <sup>12</sup>.

Existen varias metodologías de análisis de criticidad que busca con sus metodologías la priorización por medio de resultados críticos basados en la totalidad de riesgo con la evaluación de factores de fiabilidad como, frecuencia de fallos y factor de severidad o consecuencias de fallas en la seguridad, medio ambiente, producción y calidad. A continuación, se explican los modelos de más comunes en la identificación de activos críticos dentro de una planta o proceso de producción y la jerarquización de equipos basados en la severidad de riesgo.

#### **3.3.4.1. Método del flujograma de análisis de criticidad (cualitativo):**

Es un análisis cualitativo en la jerarquía de activos dentro una producción, clasificando los equipos en tres categorías e identificándolas con las letras A, B, y C, por medio de un flujograma, donde A es considerado el activo más crítico o con mayor prioridad como se muestra en la figura 3. Para la aplicación de esta metodología se realiza una serie de preguntas al equipo de trabajo, marcando una secuencia que refleja la importancia que aporta un activo en la gestión de atributos a la hora de establecer la priorización del mismo. Estos atributos hacen referencia a:

---

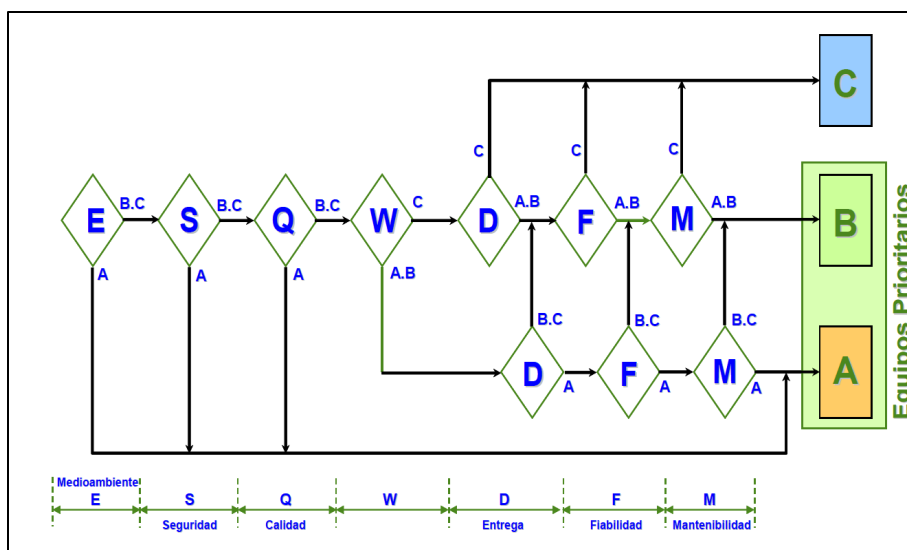
<sup>12</sup> PARRA MÁRQUEZ, C, & CRESPO MARQUEZ, A. Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [en línea]. Segunda edición. Sevilla-España: Editorial Ingeman, 2019. [Consulta: 2024-11-26]. Disponible en: [\(PDF\) Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos](#)

Tabla 2: Atributos que se analizan en el flujograma de análisis de criticidad (cualitativo)

| Identificación | Atributo             |
|----------------|----------------------|
| E              | Medio ambiente       |
| S              | Seguridad            |
| Q              | Calidad              |
| W              | Trabajo de un activo |
| D              | Entrega o servicio   |
| F              | Fiabilidad           |
| M              | Mantenibilidad       |

Fuente: Elaboración propia con base a Parra y Crespo, 2019

Figura 3: Ejemplo de flujograma de análisis de criticidad



Fuente: Elaboración propia con base a Parra y Crespo, 2019

### 3.3.4.2. Modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” (criticidad total por riesgo)

Es un modelo semicuantitativo, que en la gran mayoría de industrias es implementado, por estar centrado en el concepto de riesgo estudiando la severidad y frecuencia de fallas.

Para la aplicación de este modelo, se usa terminologías o expresiones para la jerarquización de los sistemas o activos. Ya definidos los términos, se implementan una serie de ecuaciones donde se valora la criticidad, que dará su resultado multiplicando la frecuencia de fallo por la severidad del mismo. A continuación, se muestran dichas ecuaciones y terminologías para la jerarquización de los activos con la metodología CTR.

$$\text{CTR} = \text{FF} * \text{C} \quad (1)$$

Donde:

CTR= Criticidad total por riesgo

FF= Frecuencia de fallas en un tiempo determinado.

C= Consecuencia eventos de fallas

Para hallar el valor de la consecuencia de falla (C), se usa la ecuación (2):

$$\text{C} = (\text{IS} * \text{FO}) + \text{CM} + \text{SHA} \quad (2)$$

Donde:

IS = Factor de disponibilidad o impacto del servicio

FO = Factor de impacto por Flexibilidad Operacional

CM = Factor de impacto en Costes de Mantenimiento

SHA = Factor de impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente

Finalmente calcular el modelo de priorización de CTR con la expresión (1).

Las expresiones de la ecuación (2) hacen referencia a factores ponderados de cada uno de los riesgos y estos tienen como significado y valorización:

- **Factor de frecuencia de fallas (FF):** Es el número de fallas en un tiempo determinado que presenta un activo. La valorización de su factor ponderado se observa en la tabla 3:

*Tabla 3: Criterio a evaluar de Fallas Frecuentes con relación a la institución educativa.*

| Criterio a evaluar                  |        |
|-------------------------------------|--------|
| Fallas Frecuentes                   | Factor |
| Pobre: mayor de 2 fallas/ año       | 4      |
| Promedio: 2 fallas/ año             | 3      |
| Buena: 1 falla/año                  | 2      |
| Excelente: Menos de 0.5 fallas /año | 1      |

*Fuente: Elaboración propia con base a Parra y Crespo, 2019*

- **Factor de disponibilidad o impacto del servicio (IS):** Es la accesibilidad que posee un activo para la realización o necesidad del desarrollo de una tarea. Los parámetros para este criterio se observan en la tabla 4:

*Tabla 4: Criterio a evaluar de Impacto del servicio con relación a la institución educativa*

| Criterio a evaluar                     |        |
|----------------------------------------|--------|
| disponibilidad o impacto del servicio  | Factor |
| Disponibilidad de activo menor al 10 % | 10     |
| Disponibilidad del activo en un 25%    | 7      |
| Disponibilidad del activo en un 50%    | 4      |
| Disponibilidad de activo mayor al 75 % | 1      |

*Fuente: Elaboración propia con base a Parra y Crespo, 2019*

- **Factor de Impacto por Flexibilidad Operacional (FO):** Alternativa o reemplazo de un activo cuando este presenta una parada por una falla. La valorización de su factor ponderado se observa en la tabla 5:

*Tabla 5: Criterio a evaluar de Flexibilidad Operacional con relación a la institución educativa.*

| Criterios a evaluar                                                                                                           |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Flexibilidad Operacional                                                                                                      | Factor |
| No se cuenta con un equipo de reserva que cumpla con las necesidades y tareas en tiempos de reparación.                       | 4      |
| Se cuenta equipos de reserva que funcionan de forma parcial que cumpla con las necesidades y tareas en tiempos de reparación. | 2      |
| Se cuenta con un equipo de reserva que cumpla con las necesidades y tareas en tiempos de reparación.                          | 1      |

*Fuente: Elaboración propia con base a Parra y Crespo, 2019*

- **Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA):** Característica de un activo de mantener un entorno de trabajo seguro, limpio y saludable. La valorización de su factor ponderado se observa en la tabla 6:

*Tabla 6: Criterio a evaluar de SHA con relación a la institución educativa*

| Criterios a evaluar                                                                                               |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Seguridad, Higiene y Ambiente                                                                                     | Factor |
| Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere notificación a entes externos a la organización. | 8      |
| Afecta el ambiente /instalaciones.                                                                                | 7      |
| Afecta las instalaciones causando daños severos                                                                   | 5      |
| Provoca daños menores (ambiente/seguridad)                                                                        | 3      |
| No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o el ambiente                                           | 1      |

*Fuente: Elaboración propia con base a Parra y Crespo, 2019*

- **Impacto en Costes de Mantenimiento (CM):** Se enfoca en los recursos que fue invertido para el mantenimiento de los activos. La valorización de su factor ponderado se observa en la tabla 7:

*Tabla 7: Criterio a evaluar de Costes de Mantenimiento con relación a la institución educativa.*

| Criterios a evaluar                                 |        |
|-----------------------------------------------------|--------|
| Impacto en Costes de Mantenimiento                  | Factor |
| Mayor o igual a (Costo invertido en mantenimientos) | 2      |
| Menor a (Costo invertido en mantenimientos)         | 1      |

*Fuente: Elaboración propia con base a Parra y Crespo, 2019*

**NOTA:** Debido a la practicidad de esta metodología, se escogerá este modelo para el análisis de criticidad de los activos a estudiar. Los valores ponderados de cada factor se relacionan con las afectaciones o impactos que la presencia de fallas puede generar. Aunque los factores de la metodología CTR está diseñada para la industria relacionada con la producción de cualquier materia, se plantea un nuevo modelo de parametrización de estos factores ponderados enfocados a la industria educativa. Este modelo de parametrización en la ponderación de los factores se explicará con más detalle en la sección 5 de este documento.

La calificación de estos valores ponderados se realiza con la planeación de reuniones de trabajo con encargados y personal de las áreas que se relacionen con los factores y criterios anteriormente mencionados. Posteriormente, se seleccionan los activos o sistemas a estudiar y se aplica el análisis para asignar el valor correspondiente de cada expresión del CTR (ecuación 2). Por último, usando la matriz CTR (figura 4) se calcula la criticidad total del equipo o sistema usando la frecuencia de fallas (FF) y la consecuencia de estas (C)<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> Ibid., p 5 - 6

Figura 4: Ejemplo de flujograma de análisis de criticidad

|              |   |    |    |    |    |        |
|--------------|---|----|----|----|----|--------|
| FRECUENCIA   | 4 | MC | MC | C  | C  | C      |
|              | 3 | NC | MC | MC | C  | C      |
|              | 2 | NC | NC | MC | C  | C      |
|              | 1 | NC | NC | NC | MC | C      |
|              |   | 10 | 20 | 30 | 40 | 50-200 |
| Consecuencia |   |    |    |    |    |        |

Fuente: formato de la asignatura de gestión de mantenimiento.

### 3.3.4.3. Modelo de criticidad cuantitativo AHP (Analytic Hierarchy Process):

Es una herramienta que ayuda a la toma de decisiones multicriterio para la evaluación de aspectos tanto cualitativos como cuantitativos. “Este modelo ayuda a los analistas a organizar los aspectos críticos de un problema en una estructura jerárquica similar a la estructura de un árbol familiar, reduciendo las decisiones complejas a una serie de comparaciones que permiten la jerarquización de los diferentes aspectos (criterios) evaluados.” <sup>14</sup>

Como lo sugiere Parra & Crespo, 2019: Para la aplicación de este proceso se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Definir los criterios de decisión en objetivos jerárquicos en sus tres niveles:
  - Nivel I: Definición del objetivo principal de la jerarquización
  - Nivel II: Definición de niveles intermedios (criterios y subcriterios)
  - Nivel III: Descripción de alternativas.

<sup>14</sup> Ibid., p 10

2. Evaluar los criterios, subcriterios y alternativas en función de su importancia en cada nivel. Estos son comparados utilizando juicios (Tabla 8) para establecer un puntaje de valor realizando simple comparaciones.

*Tabla 8: Puntuación de los Juicios*

| Juicios    | Puntuación |
|------------|------------|
| Igual      | 1          |
|            | 2          |
| Moderado   | 3          |
|            | 4          |
| Fuerte     | 5          |
|            | 6          |
| Muy Fuerte | 7          |
|            | 8          |
| Extremo    | 9          |

*Fuente: Elaboración propia con base a Parra y Crespo, 2019*

3. Este modelo de análisis evalúa la congruencia con el radio de inconsistencia (IR). Antes de la determinación de IR, se debe estimar el índice de consistencia (CI) de una matriz  $n \times m$ , donde se expresa de la siguiente manera:

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Dónde  $\lambda_{\text{máx}}$  es el máximo valor de la matriz, de esta forma IR es definido por:

$$IR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Dónde RI es un número aleatorio promedio de CI para una matriz  $n \times m$ . Los valores del RI se muestran en la tabla 9.

*Tabla 9: Valores de RI para matrices de diferentes órdenes*

| N  | 1 | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|----|---|---|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0.52 | 0.89 | 1.11 | 1.25 | 1.35 |

*Fuente: Elaboración propia con base a Parra y Crespo, 2019.*

4. Finalmente, se jerarquiza y se toma las decisiones correspondientes. Para cada alternativa se calcula el nivel de preferencia obteniendo alternativas jerarquizadas en función de criterios de decisión evaluados.

### **3.3.5. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)**

El AMEF es una metodología que ayuda a detectar y evaluar las posibles fallas en un activo o sistema que al mismo tiempo busca mitigar o prevenir problemas o efectos negativos que generan las fallas con la identificación de fallas potenciales, estudios de severidad y ocurrencia de los efectos, y, sobre todo, ayuda a la toma de decisiones para aplicar medidas y mantenimientos preventivos, predictivos o correctivos.

Para la aplicación de un AMEF, se debe tener conocimiento de terminologías y sus definiciones. La norma SAE JA1011 y SAE J1739 y tipo de aplicación explica todas las terminologías necesarias para entender y aplicar la norma completa, y tipo de AMEF para ser aplicado. A continuación, se dará definición a los términos básicos y necesarios para la implementar un AMEF y características que influyen en su aplicación según Moubray<sup>15</sup>:

- **Funciones:** Una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.

---

<sup>15</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. 2 ed. Gran Bretaña: Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn, 2004. 446 p. ISBN: 09539603-2-3

- **Falla:** es la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga.
- **Falla funcional:** es la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.
- **Modo de falla:** Hace referencia a cualquier evento que causa una falla funcional.
- **Efectos de falla:** Describe que pasa cuando ocurre un modo de falla.

#### 3.3.5.1. Tipos de AMEF:

El análisis de modos y efectos de falla funciona según el tipo de objetivo y área al que se va aplicar. Como se muestra en la tabla el AMEF se puede clasificar en:

*Tabla 10: Tipos de AMEF*

| Tipos de análisis de modos y efectos de fallas |                                                                                                     |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de AMEF                                   | Definición                                                                                          |
| AMEF de Diseño (DFMEA)                         | Busca identificar fallas potenciales en diseños de un activo, sistema o proceso                     |
| AMEF de Proceso (PFMEA)                        | Se basa en identificar fallas en producciones de fabricación o ensamblaje de un proceso industrial. |
| AMEF de Sistema (SFMEA)                        | Identifica fallas potenciales en sistemas, subsistemas y componentes de un activo.                  |

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.3.5.2. Aplicación de un AMEF**

La metodología aplicada para el AMEF se centra en el cumplimiento de pasos o lineamiento necesarios para la determinación de las fallas funcionales y la apropiada aplicación del AMEF siguiendo la normativa anteriormente mencionada (SAE J1739):

#### **1. Identificación del objeto a estudiar:**

Se analiza la finalidad del estudio y a que área va dirigida el AMEF: diseño, producción o sistemas.

#### **2. Descripción de Funciones:**

La descripción de las funciones se clasifica en principales y secundarias. Además, entra la descripción de cualidades operativas, técnicas y ambientales que ayudan a definir de una forma más específica las funciones y capacidades del activo o sistema. Dentro de la descripción de las cualidades y capacidades para de definición de las funciones se encuentran:

##### **2.1. Fronteras:**

Las fronteras de un activo o de un sistema definen los límites de estudio con su entorno de operación y funcionabilidad.

##### **2.2. Objeto de estudio:**

el objeto de estudio, hace referencia al activo y/o sistema que busca ser estudiado para el análisis de sus funciones, cualidades operativas, técnicas y condiciones ambientales

##### **2.3. Interfases:**

son las salidas y entradas de del activo o sistema cuando inicia su funcionamiento y comienza a trabajar de forma constante y regulada.

**2.4. Características técnicas:**

son aquellas cualidades operacionales, físicas, de mantenimiento, seguridad y de identificación de un activo o sistema.

**2.5. Características operativas:**

son aquellas capacidades de funcionamiento como velocidades de operación, capacidad de producción, consumo de energía, rango operacional, entre otras características.

**2.6. Condiciones ambientales:**

son las características que el activo adquiere en su funcionamiento por su entorno de trabajo como temperatura, humedad relativa, presión, caudal, entre otras.

**2.7. Funciones principales y secundarias:** la función principal es la razón primordial por la que un activo es adquirido en una industria, mientras que la función secundaria se refiere al cumplimiento de una o más funciones adicionales a la función principal.<sup>16</sup>

Esta información se documenta una tabla propuesta para la organización de la información funciones y cualidades. Esta plantilla se puede observar en el anexo A

**3. Determinar Modos de fallas:**

La determinación de modos de fallas, es identificar las formas posibles en la que un sistema o un activo puede fallar para el cumplimiento de una o varias funciones.

---

<sup>16</sup> Ibid., p 37 – 39.

#### 4. Identificación de los efectos y consecuencias de fallas:

Definir el impacto los modos de fallas en el activo o sistema y como estas pueden afectar factores como producción, seguridad, medio ambiente.

La descripción de las funciones, modos y efectos de fallas se documentarán en una hoja de información siguiendo la norma SAE propuesta en el anexo B. De igual forma, los efectos de fallas poseen una plantilla (Anexo C) para la explicación de la consecuencia en factores fundamentales para el funcionamiento del activo o sistema.

#### 5. Análisis de riesgos:

Por medio de criterios, se evalúa principalmente la severidad, ocurrencia y detectabilidad de fallas, con el fin de dar una priorización a los sistemas más críticos. Para la aplicación de este punto, se usa una hoja de cálculo junto a las ecuaciones (5) y (6), que representa las medidas de decisión tomadas para la calificación de factores valorados (Anexo D).

$$R = O * S \quad (5)$$

Donde:

R= Riesgo total

O= Ocurrencia

S=Severidad

$$S = (Kfo * FO) + (Ksf * SF) + (Kma * MA) + (Kor * OR) + (Kic * IC) + (Koc * OC) \quad (6)$$

Donde:

Kfo, ksf, Kma, Kor, Kic, Koc = Coeficientes de peso en severidad.

FO, SF, MA, OR, IC, OC = Factores de severidad de riesgo.

Este análisis usa factores y coeficientes de peso en severidad (expresiones de la ecuación (6)), que se evalúan para hallar el riesgo total del sistema o activo. Estos factores son:

#### 5.1. Ocurrencia (O):

Se refiere a la frecuencia de fallas que hay en un periodo determinado de tiempo. Este se califica con valores que dependiendo del factor se califica como lo muestra la tabla 11:

*Tabla 11: Valores de calificación de ocurrencia de fallas en un activo.*

| Tabla de probabilidad de ocurrencia |                    |              |
|-------------------------------------|--------------------|--------------|
| Ocurrencia                          |                    | Calificación |
| Frecuente                           | 1 falla en 1 mes   | 4            |
| Ocasional                           | 1 falla en 1 año   | 3            |
| Remota                              | 1 falla en 5 años  | 2            |
| Poco Probable                       | 1 falla en 20 años | 1            |

*Fuente: Elaboración propia con base a la norma SAE*

#### 5.2. Fallos ocultos (FO):

Hace referencia a fallas que no son evidentes o fáciles de detectar al momento de entrar en funcionamiento un sistema o activo. Para la detección de estos fallos, se usan mecanismo de mantenimiento especializado en detección de fallas o a la espera de la existencia de una falla de mayor gravedad. Este criterio de califica con los valores que se muestran en la tabla 12:

*Tabla 12: Valores de calificación de fallos ocultos en un activo.*

| Tabla de fallos ocultos                                                    |              |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| FO- Fallos Ocultos                                                         | Calificación |
| No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores. | 0            |

|                                                                                                       |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Existe una baja posibilidad de que la falla NO sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores. | 1 |
| En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteriores.         | 2 |
| Existe una baja posibilidad de que la falla SI sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores. | 3 |
| La falla siempre es oculta y ocasionara fallas múltiples graves en el sistema.                        | 4 |

*Fuente: Elaboración propia con base a la norma SAE*

### 5.3. Medio ambiente (MA):

El impacto de fallas al medio ambiente, por ley deben cumplir ciertos requisitos y normas que eviten la contaminación de ambientes y biodiversidad. Al verse afectada, también existe la posibilidad de generar gastos para la solución de la problemática, por eso, en la tabla 13, se observa la valoración cuando se presentan estos casos en un activo o sistema.

*Tabla 13: Valores de calificación de Medio Ambiente en un activo.*

| Tabla de Medio Ambiente                                                                                                                                       |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| MA- Medio Ambiente                                                                                                                                            | Calificación |
| No afecta al medio ambiente                                                                                                                                   | 0            |
| Afecta el MA, pero se puede controlar. No daña el Ecosistema                                                                                                  | 1            |
| Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de seis meses con un valor inferior a 2000000 COP                       | 2            |
| Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de tres años con un valor inferior a 6000000 COP                        | 3            |
| Afecta los de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en más de tres años o es irreversible. Su impacto social y ecológico es superior a 6000000 COP | 4            |

*Fuente: Elaboración propia con base a la norma SAE*

#### 5.4. Seguridad física (SF):

La presencia de fallas, puede estar afectado la salud e integridad de los operarios, por eso, se evalúa este factor dependiendo del tipo de falla y de la gravedad que este puede generar en sus usuarios. A continuación, la tabla 14 muestra la valoración del riesgo generado al que está expuesto el operario por la presencia de fallas en el activo o sistema:

*Tabla 14: Valores de calificación de Medio Ambiente en un activo.*

| Tabla de seguridad física                                                                |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| FS - Seguridad Física                                                                    | Calificación |
| No afecta personas ni equipos                                                            | 0            |
| Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal                | 1            |
| Afecta de dos a cinco personas y puede generar incapacidad de tipo temporal              | 2            |
| Afecta a más de cinco personas y puede generar incapacidad de tipo temporal o permanente | 3            |
| Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o más personas                          | 4            |

*Fuente: Elaboración propia con base a la norma SAE*

#### 5.5. Costos de reparación (OR)

Es la inversión de costos en reparaciones y mantenimientos de las fallas que presenta el equipo. La calificación varía según el nivel de inversión como se observa en la tabla 15:

*Tabla 15: Valores de calificación de Costos de reparación en un activo.*

| Tabla de Costos de reparación |              |
|-------------------------------|--------------|
| OR - Costos de Reparación     | Calificación |
| Entre 10000 y 500000 COP      | 0            |
| Entre 500001 y 1000000 COP    | 1            |
| Entre 1000001 y 5000000 COP   | 2            |
| Entre 5000001 y 10000000 COP  | 3            |

|                      |   |
|----------------------|---|
| Mayor a 10000001 COP | 4 |
|----------------------|---|

Fuente: Elaboración propia con base a la norma SAE

#### 5.6. **Imagen Corporativa (IC):**

Es la imagen que adquiere la institución ante el manejo y mantenimiento de sus activos, así como la calidad de sus resultados y eficiencia operativa. Para el caso de la industria educativa, se relacionó la imagen corporativa en función del porcentaje de clase desarrollado. A continuación, en la tabla 16 se observa la calificación del nivel de impacto en la imagen de la institución por la presencia de fallas en sus activos:

*Tabla 16: Valores de calificación de Costos de reparación en un activo.*

| Tabla de Efectos en Clientes     |              |
|----------------------------------|--------------|
| OC - Efectos en Clientes         | Calificación |
| Desarrollo de clase completa     | 0            |
| Perdida de clase en el 5% y 20%  | 1            |
| Perdida de clase en el 31% y 50% | 2            |
| Perdida de clase en el 51% y 70% | 3            |
| Perdida de clase de más del 70%  | 4            |

Fuente: Elaboración propia con base a la norma SAE

#### 5.7. **Coeficientes de peso en severidad:**

Como su nombre lo indica, es el valor de peso en severidad de los factores mencionados anteriormente. En la tabla 17, se observan los valores en porcentajes de los coeficientes:

*Tabla 17: Valores de calificación de Costos de reparación en un activo.*

| Factores de peso en severidad |            |
|-------------------------------|------------|
| Kfo = Fallas ocultas          | 0,05 o 5%  |
| Ksf = Seguridad Física        | 0,20 o 20% |
| Kma = Medio Ambiente          | 0,10 o 10% |
| Kor = Costos de Reparación    | 0,30 o 30% |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| Kic = Imagen Corporativa  | 0,30 o 30% |
| Koc = Efectos en clientes | 0,05 o 5%  |

*Fuente: Elaboración propia con base a la norma SAE*

## 6. Número de prioridad de riesgo NPR:

El NPR es un cálculo sencillo que prioriza los modos de fallos y sus causas en productividad y servicio. Este número se calcula multiplicando el valor de severidad, detectabilidad y su ocurrencia de fallas expresión (7).

$$NPR = S * D * O \quad (7)$$

Donde

S = Severidad

D = Detectabilidad

O = Ocurrencia

Para la calificación de los criterios expresados en la ecuación (7), se usan los mismos valores y parámetros usados para la realización del paso 5 del análisis de riesgo.

## 7. Matriz de decisión RCM:

Ya cumpliendo con los anteriores pasos, por último, se aplica una hoja de decisión (Anexo E) para establecer acciones o mantenimientos conformes a las necesidades de activo o sistema con base al diagrama de decisión RCM que en secciones más adelante se explicaran detalladamente.

### 3.4. MARCO HISTÓRICO

#### 3.4.1. Historia y evolución del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

A lo largo de la evolución humana, el desarrollo y progreso a nivel industrial ha cambiado significativamente desde la revolución industrial. El mantenimiento ha sido uno de los factores evolutivos más importantes dentro del ámbito industrial, pues de estas acciones y toma de decisiones, depende la calidad, confiabilidad y eficiencia de los activos, así mismo la seguridad a sus trabajadores y protección del medio ambiente en los procesos existentes dentro de cualquier tipo de industria.

La historia del mantenimiento se caracteriza por tener una serie de generaciones evolutivas que han marcado su diferencia una tras otra con el paso del tiempo. Estas generaciones se caracterizan por tener cambios en la gestión y el mantenimiento en grandes producciones ocurridos en acontecimientos históricos para la humanidad (Figura.

Según Carlos Mario Pérez<sup>17</sup> en el sitio web enfocado en “*Soluciones efectivas para la confiabilidad de los activos*” y con base al libro de John Moubray, divide las generaciones de la evolución del mantenimiento RCM en:

- **Primera generación:**

Esta generación tiene su periodo hasta la segunda guerra mundial. Para esta época, la industria no le daba importancia a la presencia de paradas, por lo que los activos no eran muy mecanizados, es decir, el trabajo dentro de las industrias se centraba principalmente en la mano de obra. La maquinaria era sencilla y

---

<sup>17</sup> SOPORTE Y COMPAÑÍA. [sitio web]. Medellín: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). [Consulta: 15 diciembre 2024]. Disponible en: <https://soporteycia.com>

diseñada para cumplir un trabajo determinado, por lo que no era necesario la creación de mantenimientos complejos y el uso de personal capacitado para dichos mantenimientos, no eran muy necesarios.

- **Segunda generación**

Con la llegada de la segunda guerra mundial, se aumentó la necesidad de productos de toda clase, lo que creó la mecanización total de las industrias, haciendo que la demanda de mano de obra baje abruptamente. Con este nuevo cambio, se creó maquinaria más compleja, a tal punto que las empresas empezaron a depender de ellas. Al depender de estos activos, las paradas o tiempos improductivos de un equipo se hacían más evidentes e impactaban negativamente a la producción y progreso de las empresas, por lo que se empezó a crear estrategias para la prevención de fallas creando así, el mantenimiento programado. En los años 60 esto se basaba primordialmente en la revisión completa del material a intervalos fijos.

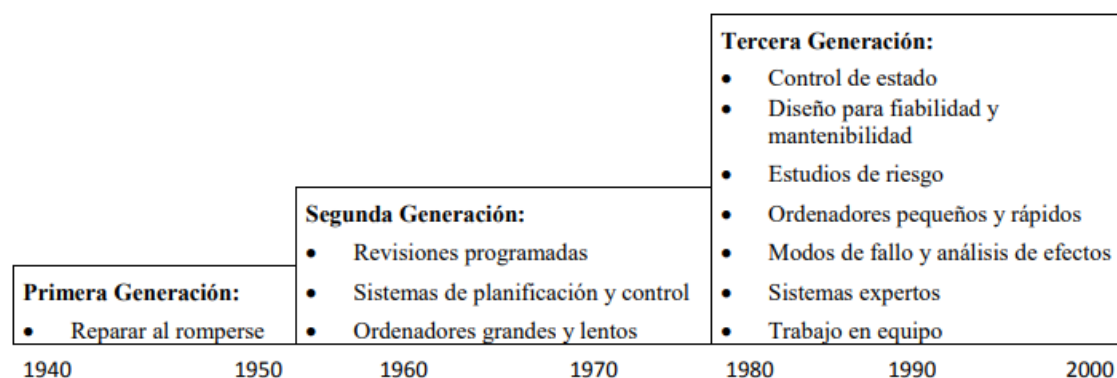
Junto al mantenimiento programado, los costos de mantenimiento también se elevaron significativamente, dando como resultado la implementación de sistemas de control y planeación del mantenimiento. Estos han ayudado a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo.

- **Tercera generación**

A mediados de los años 70, las industrias comienzan a implementar cambios por la creación de nuevas expectativas, investigaciones y técnicas. Junto a esta generación, llegó la automatización de la mayoría de procesos industriales que hoy en día aún se mantienen. La llegada de este avance implica nuevas técnicas

de mantenimiento donde Iván Álvarez <sup>18</sup> afirma que, por la enorme automatización, que hoy en día se tiene en las empresas, existe un mayor índice de fallos susceptibles y afecta a la capacidad de mantener satisfactoriamente los estándares de calidad, tanto de servicio como de producto, que para ello, se incluye técnicas actualizadas como herramientas de ayuda para la toma de decisiones, nuevas técnicas de mantenimiento, diseño de equipos y cambios en la forma de pensar.

*Figura 5: Evolución de técnicas de mantenimiento*



*Fuente: Iván Patricio Álvarez Zeas, 2017*

<sup>18</sup> IVAN PATRICIO ALVAREZ ZEAS. Implementación de la metodología RCM para los vehículos de emergencia del Benemérito cuerpo de bomberos voluntarios de Cuesca [en línea]. Proyecto técnico. Universidad Politécnica Salesiana, 2017. [Consultado el 15 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14200/1/UPS-CT006981.pdf>

## 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS ACTIVOS

### 4.1. SELECCIÓN DE LOS ACTIVOS

El desarrollo del proyecto se lleva a cabo con los activos que se usa para el mecanizado de piezas y que su uso priorice el desarrollo de clase y de aprendizaje de los estudiantes del laboratorio de procesos de manufactura. Estos activos son:

#### 4.1.1. Fresadora MAPI

*Tabla 18: Información del activo – Fresadora MAPI*

| Características                                                                     |          |                                                                                                                                                                                                       |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Modelo                                                                              | CX6350ZB | Tecnología predominante                                                                                                                                                                               | Eléctrico, electrónico, mecánico |
| Marca                                                                               | MAPI     | Peso (kg)                                                                                                                                                                                             | 1300                             |
| No. de serial                                                                       | 1608027  | Velocidad (RPM)                                                                                                                                                                                       | 2100                             |
| Manual de Mantenimiento                                                             | Si       | Fuente de alimentación                                                                                                                                                                                | Electricidad                     |
| Manual de Operaciones                                                               | Si       | Voltaje (v)                                                                                                                                                                                           | 220                              |
|                                                                                     |          | Corriente (AC)                                                                                                                                                                                        | 30                               |
| Información técnica                                                                 |          |                                                                                                                                                                                                       |                                  |
|  |          | Equipo ideado para maquinado por arranque de viruta. Su principal característica es que la herramienta de corte está en el eje vertical, perpendicular a la mesa de trabajo donde se coloca la pieza. |                                  |

*Fuente: Elaboración propia con base a la hoja de vida actual del equipo*

#### 4.1.2. Fresadora WINSTON

Tabla 19: Información del activo – Fresadora WINSTON

| Características                                                                    |          |                                                                                                                                                                                                         |                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Modelo                                                                             | -        | Tecnología predominante                                                                                                                                                                                 | Eléctrico, mecánico |
| Marca                                                                              | -        | Peso (kg)                                                                                                                                                                                               | NR                  |
| No. de serial                                                                      | ZX7550CW | Velocidad (RPM)                                                                                                                                                                                         | 2100                |
| Manual de Mantenimiento                                                            | -        | Fuente de alimentación                                                                                                                                                                                  | Electricidad        |
| Manual de Operaciones                                                              | -        | Voltaje (v)                                                                                                                                                                                             | 220                 |
|                                                                                    |          | Corriente (AC)                                                                                                                                                                                          | 30                  |
| Información técnica                                                                |          |                                                                                                                                                                                                         |                     |
|  |          | Equipo ideado para maquinado por arranque de material. Su principal característica es que la herramienta de corte está en el eje vertical, perpendicular a la mesa de trabajo donde se coloca la pieza. |                     |
|                                                                                    |          | <b>Ubicación:</b> Laboratorios de procesos de manufactura                                                                                                                                               |                     |

Fuente: Elaboración propia con base a la hoja de vida actual del equipo.

#### 4.1.3. Torno DMTG

Tabla 20: Información del activo – Torno DMTG

| Características                                                                     |            |                                                    |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------|----------------------------------|
| Modelo                                                                              | CdS 6250 B | Tecnología predominante                            | Eléctrico, electrónico, mecánico |
| Marca                                                                               | MAPI       | Peso (kg)                                          | NR                               |
| No. de serial                                                                       | OW0108     | Velocidad (RPM)                                    | 2000                             |
| Manual de Mantenimiento                                                             | Si         | Fuente de alimentación                             | Electricidad                     |
| Manual de Operaciones                                                               | Si         | Voltaje (v)                                        | 220                              |
|                                                                                     |            | Corriente (AC)                                     | 24                               |
| Información técnica                                                                 |            |                                                    |                                  |
|  |            | Ubicación: Laboratorios de procesos de manufactura |                                  |

Fuente: Elaboración propia con base a la hoja de vida actual del equipo

#### 4.1.4. Centro de Mecanizado CNC NEWAY

Tabla 21: Información del activo – CNC NEWAY

| Características                                                                     |            |                                                                                                                                                                                                         |                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Modelo                                                                              | VM950H     | Tecnología predominante                                                                                                                                                                                 | Eléctrico<br>Mecánico<br>Electrónico<br>Hidráulico<br>Neumático |
| Marca                                                                               | NEWAY      | Peso (kg)                                                                                                                                                                                               | 6000                                                            |
| No. de serial                                                                       | 3482701001 | Velocidad (RPM)                                                                                                                                                                                         | 8000                                                            |
| Manual de Mantenimiento                                                             | Si         | Fuente de alimentación                                                                                                                                                                                  | Electricidad                                                    |
| Manual de Operaciones                                                               | Si         | Voltaje (v)                                                                                                                                                                                             | 220                                                             |
|                                                                                     |            | Corriente (AC)                                                                                                                                                                                          | 40                                                              |
| Información técnica                                                                 |            |                                                                                                                                                                                                         |                                                                 |
|  |            | Equipo ideado para maquinado por arranque de material. Su principal característica es que la herramienta de corte está en el eje vertical, perpendicular a la mesa de trabajo donde se coloca la pieza. |                                                                 |
|                                                                                     |            | <b>Ubicación:</b> Laboratorios de procesos de manufactura                                                                                                                                               |                                                                 |

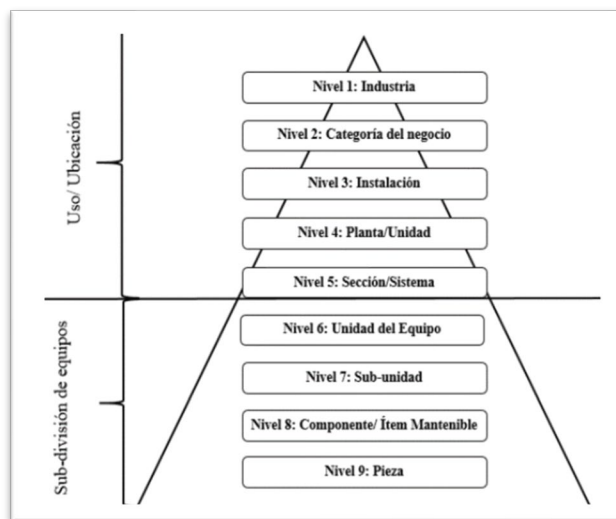
Fuente: Elaboración propia con base a la hoja de vida actual del equipo

## 4.2. MODELO DE IDENTIFICACIÓN DE LOS ACTIVOS SEGÚN LOS NIVELES TAXONOMICOS DE LA NORMA ISO 14224

La norma ISO 14224 busca brindar información sobre procesos recolección y verificación de datos confiables, identificando la taxonomía y estructura de datos<sup>19</sup>. Para ello, se clasifica dicha información por medio de inventarios para una fácil identificación, ubicación y verificación actual de los activos.

Esta norma clasifica jerárquicamente los equipos por niveles, subniveles o grupos en características y valores como su ubicación, clasificación, sistemas y/o subsistemas y se representa en una pirámide (Figura 6) que muestra su estructuración y orden por niveles que facilita la categorización e información del activo.

*Figura 6: Pirámide de jerarquización según la norma ISO 14224*



*Fuente: Normas ISO 14224, 2016*

<sup>19</sup> ALDO RAÚL DAQUILEMA MARTÍNEZ, OSCAR FABRICIO LÓPEZ TAPIA, Elaboración del inventario de los activos a mantener de la empresa ciauto cia. Ltda. de la ciudad de ambato en base a la norma iso 14224 [en línea], proyecto técnico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador, 2021, [Consultado en octubre de 2024], disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15992/1/25T00418.pdf> .

“Según la norma ISO 14224 existen 9 niveles jerárquicos mismos que están divididos en 2 categorías, la primera comprende desde el nivel 1-5 que son los datos de uso y localización, la segunda categoría comprende desde el nivel 6-9 que es la subdivisión de equipos”<sup>20</sup>

- **Aplicación de los niveles taxonómicos en el laboratorio de manufactura de la Universidad Santo Tomas, seccional Tunja:**

Siguiendo los parámetros establecidos por la norma ISO 14224, se tendrán en cuenta las características y categorizaciones de los activos e instalaciones de la institución para la codificación y jerarquización según lo implanta la norma. Para tener un mejor entendimiento de cómo funciona esta taxonomía jerárquica se plantea en la tabla 22 una forma explícita y detallada de cómo se estaría aplicando esta norma en la USTA, seccional Tunja.

*Tabla 22: Nivel III de jerarquización de la USTA*

| <b>Categoría Principal</b> | <b>Nivel Taxonómico</b> | <b>Taxonomía jerárquica</b> | <b>Descripción</b>                                 |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|
| Uso/Ubicación<br>Datos     | 1                       | Industria                   | Educación                                          |
|                            | 2                       | Categoría de negocio        | Prestadora de servicios de laboratorios            |
|                            | 3                       | Instalación                 | Universidad Santo Tomas                            |
|                            | 4                       | Planta / Unidad             | Laboratorios: facultad de ingeniería mecánica      |
|                            | 5                       | Sección / Sistema           | Tipo de proceso que se hace dentro del laboratorio |
| Subdivisión de equipos     | 6                       | Unidad del equipo           | Activos seleccionados dentro de los laboratorios   |

<sup>20</sup> Ibid., p. 15.

|  |   |                              |                                                |
|--|---|------------------------------|------------------------------------------------|
|  | 7 | Subunidad                    | sistema principal del activo                   |
|  | 8 | Componente / ítem mantenible | Partes individuales de la subunidad del activo |
|  | 9 | Pieza                        | Pieza reemplazable cuando cumple su vida útil  |

*Fuente: Elaboración propia con base a la norma ISO 14224, 2016*

- **Datos a tener en cuenta para la determinación de los niveles taxonómicos**

Para la clasificación de los niveles taxonómicos se toma información general de la institución y las instalaciones que posee, por este motivo, es de suma importancia tener en cuenta la siguiente información:

#### **4.2.1.1. Descripción y ubicación de la institución**

La universidad Santo Tomas es una institución educativa con un alto recorrido histórico en el país. Esta posee 4 sedes principales dentro del territorio colombiano: Bogotá, Medellín, Bucaramanga y Tunja. La Seccional Tunja (Figura 7), se caracteriza por su campus Universitario ubicada sobre una de las avenidas más importantes de la ciudad (Av. Universitaria).

*Figura 7: Ubicación de la USTA en la ciudad de Tunja*



*Fuente: Google Maps, septiembre 2022*

#### 4.2.1.2. Laboratorios de la facultad de ingeniería mecánica de la USTA Tunja

La Universidad Santo Tomas, seccional Tunja brinda tres laboratorios para la facultad de ingeniería mecánica. Estos laboratorios presentan equipos e instalaciones para el desarrollo académico de diferentes materias y asignaturas, donde se destaca procesos de manufactura, soldadura, análisis de materiales, motores de combustión, entre otros procesos. Estos laboratorios son:

- **Laboratorio de materiales:** este laboratorio se usa principalmente para las asignaturas enfocadas en ciencia e ingeniería de los materiales y espacios para trabajos de semilleros de investigación. También comparte procesos de mecanizado como soldadura, corte y perforado de materiales y piezas (Figura 8).

*Figura 8: Laboratorio de materiales*



*Fuente: Autor*

- **Laboratorio de procesos de manufactura:** este laboratorio se considera el más importante por su constante uso y por la presencia de las máquinas de maquinado de piezas, bancos de pruebas, impresoras 3D y una zona para el desarrollo de clase. (Figura 9).

*Figura 9: Laboratorio de Procesos de manufactura*



*Fuente: Autor*

- **Laboratorio de térmicas y motores:** Este laboratorio posee diferentes motores de combustión interna, bancos eléctricos y neumáticos. Aquí los estudiantes tienen clases basadas en electrónica e instrumentación (figura 10).

*Figura 10: Laboratorio de térmicas y Laboratorios*



*Fuente: Autor*

#### **4.3. NIVELES JERÁRQUICOS DENTRO DE LA USTA TUNJA**

Teniendo en cuenta la pirámide taxonómica de la norma ISO 14224 (Figura 6), se definen y clasifican los diferentes niveles jerárquicos con base en el tipo de empresa, de negocio, instalaciones y los activos que hacen parte del alcance de este proyecto y por ende de la

Universidad Santo Tomás Seccional Tunja; para posteriormente realizar la codificación correspondiente.

- **Nivel I: Tipo de Industria**

La Universidad Santo Tomas es una institución educativa centrada en el desarrollo y progreso profesional de futuras generaciones, ofreciendo múltiples disciplinas en pregrados y posgrados, por lo tanto, la Universidad es considerada como una industria oficial en educación.

- **Nivel II: Categoría de negocio**

La Universidad como prestadora de servicio en educación, usa como metodología de aprendizaje el uso de laboratorios enfocados en distintas ramas de la carrera de ingeniería mecánica.

- **Nivel III: Instalaciones**

La Universidad Santo Tomas es una institución reconocida a nivel nacional por sus sedes en ciudades reconocidas del País, siendo así, clasificada de la siguiente manera:

*Tabla 23: Nivel III de jerarquización de la USTA*

| Instalación             | Sede          |
|-------------------------|---------------|
| Universidad Santo Tomas | Bogotá D.c    |
|                         | Medellín      |
|                         | Bucaramanga   |
|                         | Tunja         |
|                         | Villavicencio |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Nivel IV: Planta**

La planta identifica los laboratorios presentes en las instalaciones de la Universidad para el pregrado de ingeniería mecánica. En el caso de la Seccional Tunja estos son los laboratorios presentes para el uso de los estudiantes de la facultad:

*Tabla 24: Nivel IV de jerarquización de la USTA, Tunja*

| Planta                                     | Laboratorios            |
|--------------------------------------------|-------------------------|
| Universidad Santo Tomas Seccional<br>Tunja | Materiales              |
|                                            | Procesos de Manufactura |
|                                            | Térmicas y Motores      |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Nivel V: Sección /sistema**

Se enfoca en las especialidades que puede tener el laboratorio, en el caso del laboratorio de procesos de manufactura se enfoca en las siguientes ramas:

*Tabla 25: Nivel V de jerarquización de la USTA, Tunja*

| Laboratorio             | Especialidades           |
|-------------------------|--------------------------|
| Procesos de manufactura | Mecanizado de materiales |
|                         | Diseño e impresión 3D    |
|                         | Bancos de prueba         |
|                         | Desarrollo de clase      |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Nivel VI: Unidad del equipo**

Este nivel clasifica los activos presentes dentro de las plantas. Como el proyecto se centra en el laboratorio de procesos de manufactura y a los activos de mecanizado de materiales, se clasificará los activos principales presentes en el laboratorio:

Tabla 26: Nivel V de jerarquización de la USTA, Tunja

| Instalación             | Activos                        |
|-------------------------|--------------------------------|
| Universidad Santo Tomas | Fresadora MAPI CX6350ZB        |
|                         | Fresadora WINSTON DMC 3052     |
|                         | Torno DMTG                     |
|                         | Centro de mecanizado CNC Neway |

Fuente: Elaboración propia con

- **Nivel VII: Subunidad del equipo**

Hace referencia a sistemas secundarios dentro de los sistemas principales que componen el activo.

- **Nivel VIII: Componente / ítem mantenible**

Hace referencia a entidades o piezas de un sistema que deseamos mantener un monitoreo o reportes del estado actual de estas, para realizarle mantenimientos programados.

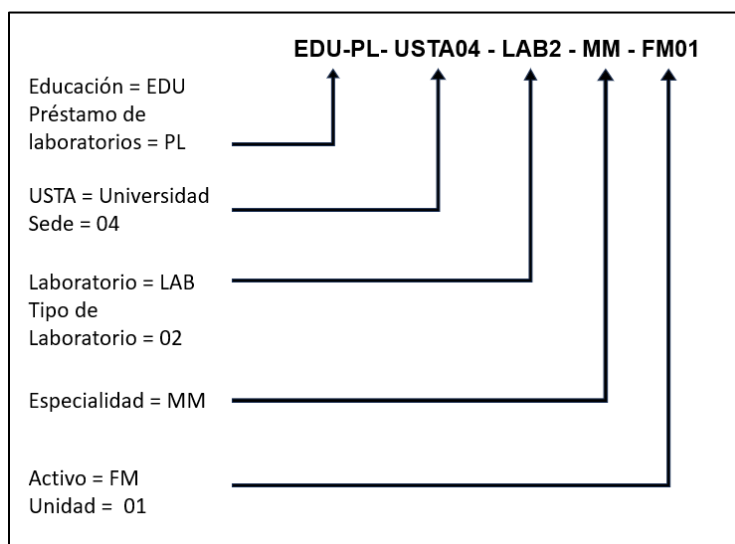
- **Nivel IX: Pieza**

Este nivel se caracteriza por que sus piezas o partes son cambiables, es decir, una vez cumplida su vida útil, tiene que ser cambiada por un repuesto nuevo.

#### 4.4. CODIFICACIÓN GENERAL DE LOS ACTIVOS

Según la definición de los niveles de jerarquización, se propone la codificación para la identificación y representación de los activos y de las instalaciones. Para ello, se toma como ejemplo la figura 11:

*Figura 11: Ejemplo de codificación para los activos de la USTA, Tunja*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Codificación Nivel I:**

Como este nivel hace referencia al tipo de industria de educación, esta se representará de con las tres primeras letras de educación (EDU).

- **Codificación Nivel II:**

Este nivel se representará con las letras PL, que hace referencia al préstamo de laboratorios para el desarrollo académicos de los estudiantes.

- **Codificación Nivel III:**

Este nivel será codificado por las siglas de la Universidad Santo Tomas, USTA, seguido por un número que identifica la sede al que hace referencia (Tabla 27).

*Tabla 27: Codificación nivel III*

| Sedes de la USTA | Código |
|------------------|--------|
| Bogotá D.c       | USTA01 |
| Medellín         | USTA02 |

|               |        |
|---------------|--------|
| Bucaramanga   | USTA03 |
| Tunja         | USTA04 |
| Villavicencio | USTA05 |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Codificación Nivel IV**

Se usa LAB como idea principal para la identificación de laboratorios seguido de un número del orden de las instalaciones de los laboratorios (Tabla 28)

*Tabla 28: Codificación nivel IV*

| Laboratorios            | Código |
|-------------------------|--------|
| Materiales              | LAB1   |
| Procesos de Manufactura | LAB2   |
| Térmicas y Motores      | LAB3   |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Codificación Nivel V**

Estas se representan con dos dígitos alfabéticos que hacen referencia a las iniciales de cada especialidad (tabla 29).

*Tabla 29: Codificación nivel V*

| Especialidades           | Código |
|--------------------------|--------|
| Mecanizado de materiales | MM     |
| Diseño e impresión 3D    | DI     |
| Bancos de prueba         | BP     |
| Desarrollo de clase      | DC     |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Codificación Nivel VI**

Se usa dos dígitos alfabéticos que hacen referencia a las iniciales de cada activo junto a la de su respectivo modelo, seguido de un número que representa la cantidad de activos del mismo tipo como se muestra en la tabla 30.

*Tabla 30: Codificación nivel IV*

| Activos                        | Código |
|--------------------------------|--------|
| Fresadora MAPI CX6350ZB        | FM01   |
| Fresadora WINSTON DMC 3052     | FW02   |
| Torno DMTG                     | TD01   |
| Centro de mecanizado CNC Neway | CNC01  |

*Fuente: Elaboración propia*

Para la realización final de la codificación, se combinan los códigos de los seis niveles anteriormente mencionados. De esta forma se diseña un inventario que muestra la organización e identificación de los activos seleccionados (tabla 31). Esto se hace con el fin de implantar una forma más técnica y precisa de identificación de los activos, principalmente para los sistemas, subsistemas, componentes y elementos que posee cada activo para procedimientos como análisis, estudios y mantenimientos.

*Tabla 31: Modelo de un Inventario y codificación de los activos seleccionados*

|  <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA</b> |         | Inventario y codificación de los activos de laboratorio de procesos de manufactura |         |         |         |         |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre del activo                                                                                                        | Nivel 1 | Nivel 2                                                                            | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 | Nivel 6 | Código del activo                                                                     |
| Fresadora MAPI                                                                                                           | EDU     | PL                                                                                 | USTA04  | LAB2    | MM      | FM01    | EDU-PL-USTA04 - LAB2 - MM – FM01                                                      |
| Fresadora WINSTON                                                                                                        | EDU     | PL                                                                                 | USTA04  | LAB2    | MM      | FW02    | EDU-PL-USTA04 - LAB2 - MM – FW02                                                      |

|                      |     |    |        |      |    |        |                                   |
|----------------------|-----|----|--------|------|----|--------|-----------------------------------|
| Torno Paralelo DMTG  | EDU | PL | USTA04 | LAB2 | MM | TD01   | EDU-PL-USTA04 - LAB2 - MM – TD01  |
| Centro de mecanizado | EDU | PL | USTA04 | LAB2 | MM | CNC 01 | EDU-PL-USTA04 - LAB2 - MM – CNC01 |

*Fuente: Elaboración propia*

## 5. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Usando una metodología de análisis de criticidad, se busca jerarquizar los activos e identificar cuáles son los más críticos del laboratorio y así darles prioridad para la elaboración de un plan de mantenimiento que se adecue a las necesidades del activo para su eficiencia y funcionamiento en su vida útil. Para el caso de los activos seleccionados presentes en las instalaciones de la USTA Tunja, se utilizó la metodología conocida como: “modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” (Criticidad total por riesgo)”, que se explica con más detalle en la sección 3 de este documento. Posteriormente, para cada activo seleccionado se realizó su evaluación y análisis con base en datos y monitoreos que la universidad presta para el mantenimiento y la prestación de servicio de los equipos. A continuación, se describe la forma en que se implementó el análisis de criticidad en los activos:

### 5.1. ESTRATEGIAS PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN LOS ACTIVOS DE LA USTA TUNJA

#### 5.1.1. Lineamientos generales

- El análisis de criticidad se hará en el tiempo transcurrido de un año, es decir los dos últimos semestres (periodo 2023-2 y 2024-1).
- Junto con el personal encargado del manejo de diferentes ramas administrativas en la institución y que están relacionados con el manejo y mantenimiento de los

activos, se recopilará información necesaria para el desarrollo del análisis de criticidad. Para este procedimiento se diseñó un instructivo para que los funcionarios tengan una familiarización con la metodología de evaluación de los activos (Anexo F).

### 5.1.2. Acciones, recursos y equipo de trabajo

Para realizar el análisis de criticidad, se busca la información con base al personal calificado de manejar dicha información. Así mismo, se busca la implementación de estrategias que identifiquen el impacto de las fallas, en la disponibilidad de servicio, seguridad y medio ambiente, inversión financiera en los activos y sus instalaciones. En la tabla 32, detalla las acciones, recursos y equipo de trabajo para la implementación del análisis de criticidad.

*Tabla 32: Acciones que se buscan implementar en el análisis de criticidad*

| Acciones                                                                                                         | Recursos                                                                                                            | Equipo de trabajo                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Jerarquizar los equipos según su criticidad actual para priorizar acciones de mejoramiento de su funcionamiento. | Fichas técnicas de los equipos, manuales de operación e historiales de mantenimiento, historiales de mantenimiento. | Personal encargado del manejo de los laboratorios.                       |
| Definir los criterios para la evaluación de la criticidad y complejidad de los activos.                          | Hojas de vida de los activos.                                                                                       | Ingenieros docentes de la facultad de ingeniería mecánica.               |
| Incorporar un plan de mantenimiento acorde a los                                                                 | Documentación y registro de cualidades y funcionalidades de los                                                     | Administrativos encargados del bienestar y medio ambiente en el trabajo. |

|                                        |                                                     |  |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|--|
| resultados del análisis de criticidad. | equipos en los ámbitos requeridos para el análisis. |  |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|--|

*Fuente: Autor*

## **5.2. PARAMETRIZACIÓN DE LOS CRITERIOS USADOS PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD:**

Como se menciona en la sección 3, esta metodología utiliza criterios que califican de forma puntual los equipos, para ello, se tienen en cuenta criterios según la funcionalidad principal de los activos y de la institución. Los criterios que se manejan para el análisis de criticidad (CTR) se centran en la identificación de factores esenciales para el rendimiento y funcionamiento de los activos. Dentro de estos factores o criterios intervienen las fallas frecuentes, disponibilidad de servicio, su flexibilidad, costos en mantenimiento e impacto SAH. A continuación, se definen los subcriterios de cada factor principal del análisis de criticidad y sus correspondientes valores ponderados para la evaluación de criticidad de cada equipo para finalmente ser evaluados y calculados con la matriz CTR.

### 5.2.1. Fallas Frecuentes (FF)

Para los activos seleccionados del laboratorio, se usan los siguientes criterios y sus factores ponderados (Tabla 33):

*Tabla 33: Criterios y factores ponderados para fallas frecuentes*

| Factor de fallas frecuentes                                                                                                    |                                                                                                                     |                                     |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------|
| Consideraciones                                                                                                                | Equipo de trabajo                                                                                                   | Puntos a evaluar                    |         |
| Se tendrán en cuenta el número de fallas funcionales y/o averías donde se tengan que intervenir la parada completa del activo. | Laboratoristas, jefes o encargados del mantenimiento de los activos, personal técnico que realiza el mantenimiento. | Criterio                            | Puntaje |
|                                                                                                                                |                                                                                                                     | Pobre: mayor de 2 fallas/ año       | 4       |
|                                                                                                                                | Recursos                                                                                                            | Promedio: 2 fallas/ año             | 3       |
|                                                                                                                                | Hojas de vida de los activos, Fichas técnicas, Historiales de mantenimiento                                         | Buena: 1 falla/año                  | 2       |
|                                                                                                                                |                                                                                                                     | Excelente: Menos de 0.5 fallas /año | 1       |

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.2. Disponibilidad o impacto del servicio (IS)

Se hace referencia al desarrollo de clase y la disponibilidad que los activos tiene para las actividades académicas, así mismo, para el desarrollo de proyectos de los estudiantes. Para la evaluación de este criterio, se analizó en porcentajes la disponibilidad de los equipos durante los dos semestres ya transcurridos, definiéndolo de la siguiente manera:

Tabla 34: Criterios y factores ponderados para Impacto de servicio

| Impacto en el servicio o Disponibilidad                                                                                                                                                                     |                                                                                                                   |                                        |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------|
| Consideraciones                                                                                                                                                                                             | Equipo de trabajo                                                                                                 | Puntos a evaluar                       |         |
| Como los activos se usan con fines académicos y de aprendizaje operacional, se busca calificar los impactos de la presencia de fallas en los equipos para el desarrollo de clase y desarrollo de proyectos. | Docentes encargados de las materias que requieran del uso frecuente de los activos del laboratorio de manufactura | Criterio                               | Puntaje |
|                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                   | Disponibilidad de activo menor al 10 % | 10      |
|                                                                                                                                                                                                             | Recursos                                                                                                          | Disponibilidad del activo en un 25%    | 7       |
|                                                                                                                                                                                                             | Historial de préstamos de laboratorio para el desarrollo de clase                                                 | Disponibilidad del activo en un 50%    | 4       |
|                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                   | Disponibilidad de activo mayor al 75 % | 1       |

Fuente: Autor

### 5.2.3. Impacto por Flexibilidad Operacional (FO)

Para los activos de la universidad se usan los siguientes parámetros con el estudio de un posible reemplazo y/o accesibilidad a otros activos que cumplan con funciones similares, para que cuando el equipo principal falle, se encuentre un reemplazo de sus funciones sin que los estudiantes y docentes pierdan clase por ausencia del activo principal. En la tabla 3, se observa la parametrización que se aplicaría para este criterio:

*Tabla 35: Criterios y factores ponderados para impacto de flexibilidad operacional*

| Impacto por Flexibilidad Operacional (FO)                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                   |                                                                                                                               |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Criterios                                                                                                                                                                                                                                     | Equipo de trabajo                                                                                                 | Puntos a evaluar                                                                                                              |         |
| Durante la parada de un equipo por una falla o avería, ¿existe otro activo que reemplace las funciones del equipo parado y pueda mantener el uso, demanda y necesidades de la comunidad educativa, mientras en activo principal es arreglado? | Docentes encargados de las materias que requieran del uso frecuente de los activos del laboratorio de manufactura | Criterio                                                                                                                      | Puntaje |
|                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                   | No se cuenta con un equipo de reserva que cumpla con las necesidades y tareas en tiempos de reparación.                       | 4       |
|                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                   | Se cuenta equipos de reserva que funcionan de forma parcial que cumpla con las necesidades y tareas en tiempos de reparación. | 2       |
|                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                   | Se cuenta con un equipo de reserva que cumpla con las necesidades y tareas en tiempos de reparación.                          | 1       |

*Fuente: Autor*

#### **5.2.4. Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA):**

La Universidad cuenta con una sección administrativa encargada del manejo de seguridad y medio ambiente que se encarga de verificar y documentar que las normativas de este ámbito en las instalaciones de la Universidad se cumplan y se mantenga un ambiente seguro y limpio para los usuarios de las instalaciones y operadores de las máquinas. Para este criterio, destacan los siguientes valores de ponderación e indicaciones que se aplicaron en la evaluación de los equipos (tabla 36):

*Tabla 36: Criterios y factores ponderados para Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA):*

| Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA)                                                                                                                                                       |                                                                               |                                                                                                                   |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Consideraciones                                                                                                                                                                                      | Equipo de trabajo                                                             | Puntos a evaluar                                                                                                  |         |
| Se tiene en cuenta el manejo de residuos tóxicos que genere impactos negativos al medio ambiente y/o la salud de los operadores, número de accidentes o riesgos a que los operarios están expuestos. | Administrativos y/o supervisores encargados del cuidado ambiental y seguridad | Criterio                                                                                                          | Puntaje |
|                                                                                                                                                                                                      |                                                                               | Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere notificación a entes externos a la organización. | 8       |
|                                                                                                                                                                                                      |                                                                               | Afecta el ambiente /instalaciones.                                                                                | 7       |
|                                                                                                                                                                                                      |                                                                               | Afecta las instalaciones causando daños severos                                                                   | 5       |
|                                                                                                                                                                                                      |                                                                               | Provoca daños menores (ambiente/seguridad)                                                                        | 3       |
|                                                                                                                                                                                                      |                                                                               | No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o el ambiente                                           | 1       |

*Fuente: Autor*

#### **5.2.5. Impacto en Costes de Mantenimiento (CM)**

La Universidad destina un valor financiero por parte del departamento de contabilidad para mantener los activos en buenas condiciones. Se promedió los costos facturados por la universidad en contratación para mantenimientos y lo laborado por los laboratoristas para los mismos fines. Se evalúan los activos si lo invertido en mantenimiento supera o no ese promedio como se muestra en la tabla 37:

Tabla 37: Criterios y factores ponderados para Impacto manejo de costos

| Impacto en Manejo de Costos en Mantenimiento                                                                                                                                                                                                       |                                       |                             |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------|
| Consideraciones                                                                                                                                                                                                                                    | Equipo de trabajo                     | Puntos a evaluar            |         |
| Teniendo en cuenta el valor estipulado por la universidad para en mantenimiento general del laboratorio o de los activos por separado, se calificará el activo si sobrepasa el valor destinado para su mantenimiento o no llega a su rango limite. | Director de laboratorios, sindicatura | Criterio                    | Puntaje |
|                                                                                                                                                                                                                                                    |                                       | Mayor o igual a (3'205.500) | 2       |
|                                                                                                                                                                                                                                                    |                                       | Menor a (3'205.500)         | 1       |

Fuente: Elaboración propia

### 5.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Por medio de los factores ponderados ya evaluados (Tabla 38), se hace un cálculo usando la matriz CTR que define la criticidad del activo.

Tabla 38: Resultados de los criterios del análisis de criticidad de los activos

| Activo                     | Código del activo          | Resultados de los Criterios |    |    |     |    |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----|----|-----|----|
|                            |                            | FF                          | IS | FO | SHA | CM |
| Fresadora MAPI             | USTA04 - LAB2 - MM – FM01  | 1                           | 1  | 1  | 1   | 1  |
| Fresadora WINSTON DMC      | USTA04 - LAB2 - MM – FW02  | 3                           | 1  | 1  | 3   | 1  |
| Torno DMTG                 | USTA04 - LAB2 - MM – TD01  | 3                           | 4  | 2  | 1   | 2  |
| Centro de mecanizado Neway | USTA04 - LAB2 - MM – CNC01 | 1                           | 4  | 4  | 3   | 2  |

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el cálculo, se usan las ecuaciones (1) y (2) mencionadas en la sección 3.3.4.2. De esta forma se obtiene un resultado más detallado del puntaje del análisis de criticidad y conocer cómo funciona la matriz CTR.

$$CTR = FF * C \quad (1)$$

$$C = (IS * FO) + CM + SHA \quad (2)$$

Donde:

FF = Fallas frecuentes

IS = Disponibilidad o impacto del servicio

FO = Impacto por Flexibilidad Operacional

CM = Impacto en Costes de Mantenimiento

SHA = Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente

Como ejemplo, se usa los resultados del análisis del torno DMTG (USTA04 - LAB2 - MM – TD) que se muestran en la tabla 38 para luego remplazarlos en la ecuación como se muestra a continuación:

Resultados del análisis del torno DMTG

| FF | IS | FO | SHA | CM |
|----|----|----|-----|----|
| 3  | 4  | 2  | 1   | 2  |

Reemplazamos los valores en la ecuación (1)

$$C = (IS * FO) + CM + SHA$$

$$C = (4 * 2) + 2 + 1$$

$$C = 11$$

Para finalmente obtener la criticidad del activo con la ecuación (2)

$$CTR = FF * C$$

$$CTR = 3 \times ((4 \times 2) + 2 + 1)$$

$$CTR = 33$$

A continuación, con la matriz CTR se ubica los resultados del análisis de criticidad. Se hace de tal forma que el valor de las fallas frecuentes (FF) se ubique en el eje vertical y el valor de las consecuencias © en el eje horizontal de la matriz como se observa en la figura 11:

*Figura 12: Resultado del análisis de criticidad por medio de la matriz CTR*

|            |   |              |    |    |    |        |
|------------|---|--------------|----|----|----|--------|
| FRECUENCIA | 4 | MC           | MC | C  | C  | C      |
|            | 3 | NC           | MC | MC | C  | C      |
|            | 2 | NC           | NC | MC | C  | C      |
|            | 1 | NC           | NC | NC | MC | C      |
|            |   | 10           | 20 | 30 | 40 | 50-200 |
|            |   | Consecuencia |    |    |    |        |

*Fuente: formato de la asignatura de gestión de mantenimiento (ISO 31000)*

Por último, se hace este mismo procedimiento para hallar la criticidad de los otros activos. Estos dieron como resultado los siguientes valores:

*Tabla 39: Resultados final de la criticidad de los activos*

| Activo                | Resultados de los Criterios |    |    |     |    | Criticidad | Estado actual      |
|-----------------------|-----------------------------|----|----|-----|----|------------|--------------------|
|                       | FF                          | IS | FO | SHA | CM |            |                    |
| Fresadora MAPI        | 1                           | 1  | 1  | 1   | 1  | 3          | No critico         |
| Fresadora WINSTON DMC | 3                           | 1  | 1  | 3   | 1  | 15         | Mediana criticidad |
| Torno DMTG            | 3                           | 4  | 2  | 1   | 2  | 33         | Critico            |
| CNC Neway             | 1                           | 4  | 4  | 3   | 2  | 21         | No critico         |

*Fuente: Elaboración propia con base a la norma ISO 31000*

#### 5.4. JUSTIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para la evaluación del análisis de criticidad, y como se mencionó anteriormente, la adquisición de información crucial para el análisis de los activos se basó principalmente con funcionarios y trabajadores de la universidad que se relacionan con el funcionamiento y mantenimiento de los activos. Debido a esto, la calificación de los activos se llevó a cabo con la experiencia que han tenido con el manejo de los activos y los registros documentados de la vida útil de estos mismos. Posteriormente se evalúa individualmente los activos y se verifica la calificación dada por los trabajadores, con la información documentada y el estado actual de los equipos, así como la relación con los factores evaluados.

- **Torno DMTG**

*Tabla 40: Justificación de la criticidad del torno DMGT*

| Resultado Criticidad | 33         | Estado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Critico |
|----------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Factor               | Valoración | Justificación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |         |
| Fallas Frecuentes    | 3          | En el periodo de evaluación, este activo presento varias fallas con frecuencia en el mecanismo automático, dejando este sistema inactivo para diferentes tareas de mecanizado. También presento problemas con ajustes en el sistema de lubricación y liquido refrigerante, problemas con sistemas de transmisión por contaminación de viruta por trabajos en mecanizado de piezas, cambio de piezas y desmonte de partes y sistemas del activo. |         |

|                          |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Impacto de Servicio      | 4 | Debido a la frecuencia de fallas, el torno DMTG ha tenido paradas y tiempos muertos que generan problemas para el desarrollo de clase y proyectos por falta de su funcionamiento o limitaciones en varias de sus funciones.                                                                                                                                                   |
| Flexibilidad operacional | 2 | El Torno DMTG, en el periodo de evaluación contaba temporalmente con otro torno (WINSTON DMC) que reemplazaba sus funciones y tareas cuando este se encontraba en mantenimiento o en parada. Cabe destacar que este activo no podía cumplir con todas las tareas y/o funciones debido a que era un equipo más antiguo y de igual forma presentaba fallas de manera frecuente. |
| Costo de mantenimiento   | 2 | Siendo un activo con fallas y con paradas frecuentes, se ha invertido en mantenimiento un valor por encima del promedio de inversión establecido por la universidad en contratación para mantenimientos, repuestos e insumos como aceites lubricantes y refrigerantes.                                                                                                        |
| Impacto en SAH           | 1 | El departamento de seguridad y medio ambiente, documentó que el Trono DMTG no presenta algún tipo de riesgo para los estudiantes y operadores ya que el activo posee medidas de seguridad                                                                                                                                                                                     |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | como protectores en la copa para evitar contacto directo con los operadores, así como tres paradas de emergencia al anclarse del usuario y restricciones en el funcionamiento de con el aseguramiento de usos de EPPs. Por el otro lado, el impacto al medio ambiente, es nulo debido a que no presenta algún tipo de fuga y se presenta un manejo de residuos riguroso con aceites, lubricantes, residuos y virutas de materiales. |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Fuente: Elaboración propia*

- **Taladro Fresadora**

*Tabla 41: Justificación de la criticidad de la fresadora WINSTON*

| <b>Resultado Criticidad</b> | <b>15</b>         | <b>Estado</b>                                                                                                                                 | <b>Medianamente crítico</b> |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Factor</b>               | <b>Valoración</b> | <b>Justificación</b>                                                                                                                          |                             |
| Fallas Frecuentes           | 3                 | Al ser un activo antiguo, presentó fallas puntuales en el reemplazo de piezas y fugas de aceites lubricantes                                  |                             |
| Impacto de Servicio         | 1                 | Aunque se presentaron fallas, el activo siempre estuvo a la disposición de los estudiantes para el desarrollo de clase y proyectos.           |                             |
| Flexibilidad operacional    | 1                 | La fresadora tiene como reemplazo la fresadora MAPI para el cumplimiento de tareas para el desarrollo de clase y proyectos de los estudiantes |                             |

|                        |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Costo de mantenimiento | 1 | Debido a que es un activo antiguo y ya cumpliendo con su vida útil, esta fresadora se considera obsoleta, por lo que está en proceso de retirarla del inventario de la universidad, por lo tanto, se decide no invertir en mantenimientos en el último año.                                                              |
| Impacto en SAH         | 3 | El departamento de seguridad y medio ambiente, documentó que la fresadora presenta riesgos en la seguridad de los operadores por la presencia de cables por el suelo que obstruyen el paso de los operadores elevando el riesgo de caídas. En el caso del medio ambiente, presenta fugas ligeras de aceites lubricantes. |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Centro de mecanizado CNC Neway**

*Tabla 42: Justificación de la criticidad del centro de mecanizado*

| Resultado Criticidad | 21         | Estado                                                                                                                                                                               | No critico |
|----------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Factor               | Valoración | Justificación                                                                                                                                                                        |            |
| Fallas Frecuentes    | 1          | El CNC no presento fallas en su funcionamiento. Aunque se realizó una parada por el desmontaje de los ejes 4 y 5 debido a la presencia de corrosión en la bancada principal del eje. |            |
| Impacto de Servicio  | 4          | Debido a mantenimientos con largas paradas el centro de mecanizado, no ha                                                                                                            |            |

|                          |   |                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |   | estado en funcionamiento por problemas con sus ejes principales, codificación y corrosión persistente                                                                                                                         |
| Flexibilidad operacional | 4 | Este activo no presenta otro equipo que reemplace sus funciones cuando se encuentra en mantenimiento o presente una falla.                                                                                                    |
| Costo de mantenimiento   | 2 | Debido a que es un activo que es costoso de mantener, con modificaciones en sus sistemas de ejes y monitoreo en su codificación para funcionamiento, el CNC sobrepasa el promedio de inversión establecido por la institución |
| Impacto en SAH           | 3 | Presenta daños menores por presencia de viruta y aceites o grasas lubricantes                                                                                                                                                 |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Fresadora MAPI**

*Tabla 43: Justificación de la criticidad de la fresadora MAPI*

| <b>Resultado Criticidad</b> | <b>3</b>          | <b>Estado</b>                                                                                                                                   | <b>No critico</b> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>Factor</b>               | <b>Valoración</b> | <b>Justificación</b>                                                                                                                            |                   |
| Fallas Frecuentes           | 1                 | La fresadora MAPI, en el periodo de evaluación presento únicamente fallas en la bomba de refrigeración, debido a una obstrucción en su sistema. |                   |
| Impacto de Servicio         | 1                 | No presento problemas en la prestación de su servicio. El equipo estuvo                                                                         |                   |

|                          |   |                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |   | disponible para el desarrollo de clase y proyectos estudiantiles.                                                                                                                               |
| Flexibilidad operacional | 1 | El activo tiene como reemplazo la fresadora WINSTON cuando este se encuentre en mantenimiento o parada por averías                                                                              |
| Costo de mantenimiento   | 1 | Para este equipo solo se ha invertido principalmente en mantenimientos preventivos, por lo que su valor en costos de mantenimiento se encuentra por debajo de lo estipulado por la universidad. |
| Impacto en SAH           | 1 | Este activo no presenta riesgos para los operadores y para el medio ambiente.                                                                                                                   |

*Fuente: Elaboración propia*

## 6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM

Para la aplicación de la metodología RCM, se toma el equipo con mayor criticidad de las instalaciones del laboratorio, que en este caso es el Torno DMTG CdS 6250B. Inicialmente se toma el activo y se hace un análisis de sus sistemas principales que son los encargados de darle el funcionamiento al equipo. Para ello, las normas SAE JA1011 SAE JA1012 se define como aplicar de una forma exitosa la RCM y junto a norma SAE J1739 evalúa las funciones, modos y consecuencias de fallas con la finalidad de enfocarse en planes y decisiones de mantenimiento para conservar el activo en excelentes condiciones sin la necesidad de intervenir con paradas imprevistas y pérdidas en el desarrollo de actividades académicas,

Junto a la información estructural y operacional del activo y encargados de los mantenimientos correspondientes, se identifican los sistemas principales que serán evaluados y reconocidos como críticos o no críticos, priorizando su monitoreo y funcionabilidad para la aplicación de la metodología RCM.

**NOTA:** para la explicación de cómo se desarrolló esta metodología, se usará como ejemplo el sistema eléctrico del torno, que dio como resultado la presencia de más fallas funcionales, así como las posibles fallas funcionales que puedan ocurrir en ella teniendo en cuenta su utilidad y operación. Para los resultados de los demás sistemas que conforman el torno, se mostraran en el anexo G.

## 6.1. TORNO PARALELO DMTG CdS 6250B

Activo considerado fundamental para la introducción de máquinas herramientas básicas para el mecanizado de materiales o pieza cilíndricas por medio del arranque de material (viruta) con procesos como refrentado, roscado, cilindrado, taladrado, etc. (figura 13 y 14). Estos procesos de mecanizados sirven para la fabricación principal de ejes, bujes y roscados para máquinas o proyectos creados en la facultad. Así mismo, instruye a los estudiantes a relacionarse con la industria metalmecánica, el funcionamiento de sus sistemas, mecanismos y la importancia de este tipo de equipos dentro de la industria de fabricación y manejo de materiales.

*Figura 13: Procesos de mecanizado de un trono paralelo*



Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn38.html>

*Figura 14: Torno DMTG CdS 6250B*



*Fuente: Autor*

## **6.2. SISTEMAS PRINCIPALES DEL TORNO DMTG CdS 6250B**

Como toda máquina, el torno paralelo se divide en sistemas y subsistemas que se unen para que el equipo cumpla con funciones y tareas específicas que varían según la finalidad y necesidad del operador, por eso, para la metodología RCM es de suma importancia la identificación de estos sistemas. Como se muestra en la tabla 44, el torno DMTG tiene como sistemas principales los siguientes sistemas:

*Tabla 44: Determinación de las funciones y características del Torno DMTG*

| <b>Sistemas principales del torno DMTG</b> | <b>Código</b>                 |
|--------------------------------------------|-------------------------------|
| Sistema eléctrico                          | USTA04 - LAB2 - MM -TD01 - SE |
| Motor principal                            | USTA04 - LAB2 - MM -TD01 - MP |
| Sistema de transmisión mecánica            | USTA04 - LAB2 - MM -TD01 - TM |
| Sistema automático                         | USTA04 - LAB2 - MM -TD01 - SA |

*Fuente: elaboración propia*

### **6.3. DETERMINACIÓN DE FUNCIONES DEL TORNO DMTG CDS 6250B**

La descripción y determinación de las funciones de un activo influye en el contexto operacional bajo las circunstancias de cómo y dónde se utilizan y qué criterios dependen del estándar global de su desempeño, como producción, rendimiento, seguridad, integridad ambiental, entre otros criterios. Como se aclaró en la sección 3, la metodología RCM busca desarrollar y mantener las funciones del activo, así como sus sistemas y subsistemas, en función de las necesidades del usuario o dueño, que, en un ámbito de uso educativo, haría referencia al estudiante, docente y/o la temática abordada para el desarrollo de clase.

La determinación de las funciones del equipo en general y de cada sistema que compone el activo, ayuda a la evaluación de las posibles fallas que presenta el torno de una forma más precisa y ordenada. Para este procedimiento se clasifican las funcionalidades principales y secundarias del activo, la descripción de las características técnicas, operativas y ambientales de los sistemas, identificando la ubicación en el activo y cómo se puede diferenciar de los otros sistemas. Esta información se analiza tomando de forma general al torno y a cada sistema principal del mismo, para que de forma individual se evalúen sus características y capacidades, para finalmente documentar esta información en la tabla 45 y 44.

Tabla 45: Determinación de las funciones y características del Torno DMTG

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                         |                        |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|--------------------------|
|  <div>UNIVERSIDAD<br/>SANTO TOMÁS<br/>TUNJA</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Facultad Ingeniería<br>Mecánica         | Descripción del activo |                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                         | Torno DMTG CdS 6250B   |                          |
| Planta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Laboratorios de procesos de manufactura | Fecha                  | Noviembre 2024           |
| Objeto de estudios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Sistema eléctrico Torno DMTG CdS 6250B  | Código del activo      | USTA04 - LAB2 - MM -TD01 |
| Fotografía del activo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                         | ¿Que se estudia?       |                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                         | Torno DMTG CdS 6250B   |                          |
| Características técnicas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                         |                        |                          |
| <b>Manual de operación:</b><br><a href="https://drive.google.com/file/d/1DD5bE5s5xVETtutrT17fYVo-VSLLQYqk/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1DD5bE5s5xVETtutrT17fYVo-VSLLQYqk/view?usp=sharing</a><br><b>Manual de Partes:</b><br><a href="https://drive.google.com/file/d/1awh4tSosqdHd_MY-WQX6SMyyEHOYUFjv/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1awh4tSosqdHd_MY-WQX6SMyyEHOYUFjv/view?usp=sharing</a> |                                         |                        |                          |
| Funciones principales                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                         |                        |                          |
| Prestar un servicio de aprendizaje en la operación de maquinado de materiales con el arranque de viruta para la fabricación de piezas                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                         |                        |                          |
| Funciones Secundarias                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                         |                        |                          |
| Realizar procesos de mecanizado, como refrentado, cilindrado, tronzado, entre otros, para la fabricación de piezas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                         |                        |                          |

Fuente: elaboración propia con base a la norma SAE

Tabla 46: Determinación de las funciones y características del sistema eléctrico del torno DMTG

|                                                                                                                                                                                                         |                                           |                                                                          |                               |                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA                                                                                         |                                           | Facultad Ingeniería Mecánica                                             |                               | Descripción del activo                                                                |  |
|                                                                                                                                                                                                         |                                           |                                                                          |                               | Torno DMTG CdS 6250B                                                                  |  |
| Planta                                                                                                                                                                                                  | Laboratorios de procesos de manufactura   | Fecha                                                                    | Noviembre 2024                |                                                                                       |  |
| Objeto de estudios                                                                                                                                                                                      | Sistema eléctrico<br>Torno DMTG Cds 6250B | Código del activo                                                        | USTA04 - LAB2 - MM -TD01      |                                                                                       |  |
|                                                                                                                                                                                                         |                                           | Código del sistema                                                       | USTA04 - LAB2 - MM -TD01 - SE |                                                                                       |  |
| Fronteras                                                                                                                                                                                               |                                           |                                                                          |                               |                                                                                       |  |
| ¿Que se estudia?                                                                                                                                                                                        |                                           | Qué no se estudia                                                        |                               |                                                                                       |  |
| Sistema eléctrico de controladores y trasformadores                                                                                                                                                     |                                           | Motor principal, Sistemas secundarios para ordenadores de visualización. |                               |    |  |
| Interfases                                                                                                                                                                                              |                                           |                                                                          |                               |                                                                                       |  |
| <b>Entradas:</b> alimentación a 220 v con sistema de seguridad de mufla que permite una polaridad constante.                                                                                            |                                           |                                                                          |                               |                                                                                       |  |
| <b>Salidas:</b> para las bobinas de embrague alimentadas a 24 v para la caja Norton con una bobina caja de avances para iluminación de 110v                                                             |                                           |                                                                          |                               |   |  |
| Características técnicas                                                                                                                                                                                |                                           |                                                                          |                               |                                                                                       |  |
| Transformador de control de máquina herramienta: <a href="#">F-开关电源系列1.cdr</a>                                                                                                                          |                                           |                                                                          |                               |                                                                                       |  |
| Power Switch: <a href="http://www.leadmarine.com/power-switch-BJM1.html">http://www.leadmarine.com/power-switch-BJM1.html</a> :                                                                         |                                           |                                                                          |                               |                                                                                       |  |
| Contactores CJX1-9: <a href="https://drive.google.com/file/d/1ctB1fpeyzduwENXCvA5iR5u6_4INh1Z3/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1ctB1fpeyzduwENXCvA5iR5u6_4INh1Z3/view?usp=sharing</a> |                                           |                                                                          |                               |                                                                                       |  |
| Arrancador de motor trifásico manual: <a href="https://platinum-international.store/platinum-">https://platinum-international.store/platinum-</a>                                                       |                                           |                                                                          |                               |  |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <p><a href="http://international/protection-power/circuit-breakers/siemens-3ve3-000-2na00-circuit-breaker/?v=0b3b97fa6688">international/protection-power/circuit-breakers/siemens-3ve3-000-2na00-circuit-breaker/?v=0b3b97fa6688</a></p> <p>Disyuntores eléctricos circuito 32<sup>a</sup> 690V RoHS CDP9i serie AMP motor disyuntor: <a href="https://www.alibaba.com/product-detail/Electric-breakers-circuit-32A-690V-RoHS_1600555849651.html">https://www.alibaba.com/product-detail/Electric-breakers-circuit-32A-690V-RoHS_1600555849651.html</a></p> <p>Breakers: <a href="http://delixi-electric.com/upload/pdf/CDB6s.pdf">delixi-electric.com/upload/pdf/CDB6s.pdf</a></p> |  |
| <p><b>Características operativas</b></p> <p>Fuente de alimentación: 220V<br/>Corriente: 24 AC<br/>Velocidad: 26 rpm a 2000 rpm<br/>Frecuencia 60Hz</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |
| <p><b>Condiciones ambientales</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |
| <p><b>Funciones principales</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
| <p>Suministrar y controlar la energía eléctrica para los componentes y sistemas de la maquina</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
| <p><b>Funciones Secundarias</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar los movimientos automáticos del torno, asegurando precisión y continuidad en los procesos de mecanizado.</li> <li>• Implementar conexiones para paradas de emergencia, relés de sobrecarga y protecciones contra cortocircuitos, garantizando la seguridad del operador y la integridad del equipo</li> <li>• Suministrar energía al motor principal para impulsar el giro del eje del torno, permitiendo la ejecución eficiente de tareas como refrentado, cilindrado y roscado.</li> </ul>                                                                                                                                      |  |

*Fuente: elaboración propia con base a la norma SAE*

#### 6.4. ANÁLISIS DE FALLAS

Para este análisis se registraron las fallas funcionales que presentan los sistemas del torno y las fallas que tiene una alta probabilidad de que ocurran. Dentro de la determinación de estas fallas, entran las de tipo mecánicas, operacionales o normas que se estén infringiendo que afecten la funcionalidad del activo y reflejen de forma negativa la institución.

Aplicando la norma SAE JA1012, se describen las fallas junto a la función principal de cada sistema como se muestra en la tabla 47. Para la identificación de la función (F) se enumera partiendo del número 1. Mientras que las fallas funcionales (FF) se representan con las letras del abecedario.

*Tabla 47: Función principal y fallas funcionales del sistema eléctrico del torno*

| F | Función                                                                                                                                               | FF | Falla Funcional (Pérdida de la Función)                                 |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Suministrar energía al motor principal para el impulso del giro del eje del torno, permitiendo la realización eficiente de los procesos de mecanizado | A  | Arranque ineficiente del motor principal                                |
|   |                                                                                                                                                       | B  | Los switches no accionan los avances de sistema automáticos             |
|   |                                                                                                                                                       | C  | La palanca de encendido no activa correctamente el encendido del torno. |
|   |                                                                                                                                                       | D  | El motor principal trabaja en dos fases                                 |

*Fuente: elaboración propia con base a la norma SAE JA 1012*

## 6.5. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMEF):

Este análisis se enfoca en las causas de cómo se generan las fallas y que efectos origina la existencia de la falla, ya sea en un contexto mecánico, operativo o faltas en el cumplimiento de normativas. Para la aplicación de este análisis, se analizaron las instalaciones, fuentes de energía y operación por parte de los estudiantes al activo, y

junto a docentes encargados de clase, laboratoristas y registros de mantenimientos se definieron los causantes y efectos de las fallas. Como se busca implementar el análisis en los sistemas de un equipo, se implementa el AMEF enfocado en el análisis de los sistemas de un activo o proceso.

Los modos y efectos de fallas se describen teniendo en cuenta el impacto que este genera en la comunidad educativa y en el funcionamiento del equipo. En la tabla 48 se describe este análisis y en relación de las fallas presentadas en el activo.

*Tabla 48: Modos y efectos de fallas del sistema eléctrico del torno*

| No. | Modo de Falla                                                                    | Efecto de falla                                                                                                            |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Problemas de energización del circuito de alimentación principal del laboratorio | Desgaste de componentes como bobinas y problemas en el motor principal como sobrecalentamientos y fluctuaciones de voltaje |
| 2   | Presencia de desgaste, desajuste y problemas en el desplazamiento de posición.   | No activa las funciones del sistema automáticos y el enclavamiento del sistema no actúa                                    |
| 3   | Mala operación en la activación de la palanca de encendido                       | Dispara la protección general del motor (des energiza el torno). Posibilidad del quemar el motor principal                 |

*Fuente: elaboración propia con base en la norma SAE JA 1012.*

Los modos y efectos de fallas se identifican enumerando cada cualidad que explique la falla funcional del sistema del activo. Finalmente se obtiene el AMEF del sistema del activo como se muestra en la tabla 49.

Tabla 49: AMEF del sistema eléctrico del torno

|                                                                                                                        |                                                                                        |               |                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|
|  <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA</b> | <b>RCM: Hoja de información –<br/>Análisis de modos y efectos de<br/>fallas (AMEF)</b> | <b>Planta</b> | Laboratorio de procesos de<br>manufactura |
|                                                                                                                        |                                                                                        | <b>Activo</b> | Torno DMTG CdS 6250B                      |
|                                                                                                                        |                                                                                        | <b>Código</b> | USTA04 - LAB2 - MM - TD01                 |

|                          |                                           |              |        |
|--------------------------|-------------------------------------------|--------------|--------|
| <b>Objeto de estudio</b> | Sistemas principales Torno DMTG Cds 6250B | <b>Fecha</b> | nov-24 |
|--------------------------|-------------------------------------------|--------------|--------|

| Sistema Eléctrico |                                                                                                                                                       |    | Código del sistema                                                      |     | USTA04 - LAB2 - MM -TD01 - SE                                                    |                                                                                                                            |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F                 | Función                                                                                                                                               | FF | Falla Funcional                                                         | No. | Modo de Falla                                                                    | Efecto de falla                                                                                                            |
| 1                 | Suministrar energía al motor principal para el impulso del giro del eje del torno, permitiendo la realización eficiente de los procesos de mecanizado | A  | Arranque ineficiente del motor principal                                | 1   | Problemas de energización del circuito de alimentación principal del laboratorio | Desgaste de componentes como bobinas y problemas en el motor principal como sobrecalentamientos y fluctuaciones de voltaje |
|                   |                                                                                                                                                       | B  | Los switches no accionan los avances de sistema automáticos             | 2   | Presencia de desgaste, desajuste y problemas en el desplazamiento de posición.   | No activa las funciones del sistema automáticos y el enclavamiento del sistema no actúa                                    |
|                   |                                                                                                                                                       | C  | La palanca de encendido no activa correctamente el encendido del torno. | 3   | Mala operación en la activación de la palanca de encendido                       | Dispara la protección general del motor (desenergiza el torno). Posibilidad de quemar el motor principal                   |
|                   |                                                                                                                                                       | D  | El motor principal trabaja en dos fases                                 |     |                                                                                  |                                                                                                                            |

Fuente: elaboración propia

### 6.5.1. Consecuencias de las fallas

Cualquier tipo de falla que se presenta en un activo conlleva a tener impactos negativos a nivel operativo, de seguridad y bienestar humano, de medio ambiente, imagen e inversión institucional. Para analizar de una forma global las consecuencias de las fallas, se realiza un estudio de impacto y caracterización de las fallas en factores que se ven afectadas por la presencia de dichas fallas. A demás se caracteriza la complejidad de detección de la falla y lo que sucedería si este llegara a ocurrir.

Los factores a evaluar, se caracterizan por ser de vital importancia para el funcionamiento, eficiencia y ambiente de trabajo del activo, por este motivo los factores que predominan para este análisis son:

- **Seguridad:** evalúa el riesgo al que está expuesto el operador con la presencia de la falla en el activo funcionando o en parada, así como la exposición frecuente a las irregularidades del sistema generadas por la falla.
- **Medio ambiente:** evalúa el impacto que tiene sobre el medio ambiente con la presencia de la falla en el activo funcionando o en parada.
- **Operación:** con la presencia de la falla, se evalúa la respuesta operativa del activo en función del trabajo asignado con la presencia de la falla, es decir, el resultado de las necesidades operativas del estudiante y/o docente para el maquinado de piezas.
- **Reparación:** hace referencia al tiempo que toma la reparación y mantenimiento de la falla. Así mismo, se tiene en cuenta los costos que intervendrían para la reparación de esta.

- **Imagen corporativa:** es el reflejo e impacto en la imagen de la institución ante la gerencia y mantenimiento de los activos.
- **Fallo oculto:** es la descripción de la falla en cuanto a la detección visible de la misma. Se considera una falla oculta si su detección no se ve a simple vista para el operario con el activo en funcionamiento o en parada.
- **¿Qué sucede cuando falla?:** es la descripción de la falla cuando este llega a su límite y las consecuencias finales en el funcionamiento del activo.

Con relación al modelo propuesto, se realiza un análisis respectivo de cada falla, modo y efecto y su impacto o consecuencias en los factores fundamentales anteriormente mencionados que se manejan dentro de la institución. Utilizando la identificación de cada falla como se muestra en la tabla 49 y teniendo en cuenta las consecuencias de estas fallas dentro del sistema, se describe y estudia el impacto de estas para decidir la toma de medidas proactivas y medir la intervención de un mantenimiento acorde a las necesidades operativas del activo y operador.

A continuación, en la tabla 50, se muestra la descripción de las consecuencias de cada falla presente en el sistema eléctrico del torno de acuerdo a las fallas, modos y efectos de fallas ya identificadas. Se tiene en cuenta, que la descripción de las consecuencias según la falla, guarda una relaciones e influencia para la evaluación de todos los factores entre sí.

Para la documentación y orden de la información se usa un cuadro explicativo relacionando cada falla y descripción de sus efectos y consecuencias con la plantilla diseñada en el anexo C con base a la norma SAE JA 1012.

Tabla 50: Consecuencia de fallas en el sistema eléctrico del torno

|                                                                                   |                                                                                |               |                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|
|  | <b>RCM: Hoja de información - Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)</b> | <b>Planta</b> | Laboratorio de procesos de manufactura |
|                                                                                   |                                                                                | <b>Activo</b> | Torno DMTG CdS 6250B                   |
|                                                                                   |                                                                                | <b>Código</b> | USTA04 - LAB2 - MM - TD01              |

|                          |                                           |              |        |
|--------------------------|-------------------------------------------|--------------|--------|
| <b>Objeto de estudio</b> | Sistemas principales Torno DMTG CdS 6250B | <b>Fecha</b> | nov-24 |
|--------------------------|-------------------------------------------|--------------|--------|

| SISTEMA ELÉCTRICO |   |   |                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|---|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F                 | F | M | EFECTOS DE FALLA                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                    |
|                   |   |   | OCULTO                                                                                                              | SEGURIDAD                                                                                                                                                                                                                           | MED. AMBIENTE                                                                                                                                                        | OPERACIÓN                                                                                                                         | REPARACIÓN                                                                                                                                                                                      | IMAGEN CORPORATIVA                                                                                                                                                                                                                                                | QUE SUCEDE CUANDO FALLA                                                                                                                                                                                            |
| 1                 | A | 1 | El arranque ineficiente del motor es evidente al iniciar una operación por lo que no se considera una falla oculta. | Genera incendio o quemaduras al operador por sobrecalentamientos, así como la proyección de fragmentos y derrames de aceites lubricantes por la presencia de vibraciones o fallas electromecánicas lo que ocasiona caídas, golpes o | Genera un mayor consumo de energía, emisiones de partículas o gases contaminantes por sobrecalentamiento, derrames de aceites lubricantes contaminando suelos, áreas | Posibles inexactitudes en las dimensiones y problemas en el acabado superficial al momento de mecanizar una pieza por fluctuación | <b>Mantenimiento a la red eléctrica del laboratorio:</b> hacer estudios de las instalaciones eléctricas según la norma RETIE. Con mediciones de flujo eléctrico a las instalaciones y detección | Mala imagen en la administración y manejo de las instalaciones, así como en el cumplimiento de las normas vigentes, lo que afecta la percepción de la eficiencia y profesionalismo de la institución. La constante indisposición de la comunidad educativa debido | Sobrecalentamiento del motor, así como desgastes prematuros en sus componentes como bobinas y rodamientos. Daño en controladores o sensores por fluctuaciones de voltaje, vibraciones, acoplamientos incorrectos y |

|   |   |   |                                                                             |                                                                                                                                                                      |                                                                                                     |                                                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                             |
|---|---|---|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |                                                                             | heridas al estudiante. A demás por esta falla los sistemas de seguridad pueden tener problemas, que, al momento de su necesidad, no funcionen de la manera correcta. | de trabajo y/o acueductos                                                                           | es en el voltaje.                                                           | del problema, la reparación de esta falla conllevaría un tiempo de parada de más de 4 horas. | a las paradas frecuentes impacta negativamente en el desarrollo de las clases y en la fabricación de piezas, generando demoras y disminuyendo la productividad. Esto, a su vez, repercute en la calidad de la formación impartida y en la satisfacción general de estudiantes y docentes, afectando la reputación institucional. | en un caso extremo perdida funcional del motor principal generando la inactividad del torno |
| 1 | B | 2 | El estado, conexión y funcionamiento de los switches para la activación del | El operario tiene más contacto con las partes móviles del torno, lo que en un descuido puede ocasionar                                                               | La falla en los switches para el accionamiento del automático del torno, no genera algún impacto al | Regularidad en la calidad de la pieza, aumento de errores humanos, desgaste | Presencia de irregularidades en la calidad del mecanizado de la pieza y desgaste             | Refleja poco manejo de metodologías y variación para facilitar la operación y manejo del torno. A demás,                                                                                                                                                                                                                         | El maquinado automático queda inhabilitado para su operación. El torno queda funcionando    |

|   |   |   |                                                                                                                   |                                                                                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                            |                                                                                                              |
|---|---|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   | automático, no cuenta con un monitoreo que verifique su correcto funcionamiento, por lo que se considera un fallo | atrapamientos o lesiones.                                                                                                                           | medio ambiente                                                                     | prematureo de herramientas como buriles, tiempos extensos en mecanizados de piezas                                                                     | prematureo de herramientas                                                                                                                                                                                            | demuestra la invalidación de la comunidad educativa por la falta de accesibilidad a herramientas y capacidades de la operación del equipo. | con sus mandos manuales o mecánicos                                                                          |
| 1 | C | 3 | Hace referencia a un problema de operación con la mala activación del equipo, no se considera un fallo oculto     | <b>Arranques involuntarios:</b><br>La desinformación de la falla, puede ocasionar accidentes a los estudiantes en un intento de encender el activo. | El mal accionamiento del encendido del torno, no genera impactos al medio ambiente | Sin la capacitación y enseñanza, la frecuencia de este problema puede generar daños en el motor principal, paradas y, por lo tanto, pérdida de clases. | La frecuencia de esta mala operación, puede llegar a generar daños que requieren de altos costos y paradas de tiempos prologados por daños en el motor principal, en sistemas electromecánicos y componentes en común | La presencia de esta falla, demuestra un nivel regular de enseñanza, cuidado del equipo y capacidad de operación en los estudiantes.       | Se dispara la protección general del motor (desenergiza el torno), posibilidad de quemar el motor principal. |
| 1 | D | 3 |                                                                                                                   |                                                                                                                                                     |                                                                                    |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                            |                                                                                                              |

Fuente: elaboración propia

### **6.5.2. Análisis de riesgos**

Con base a las normas de gestión de riesgos y la SAE J1739, se plantea la realización de un estudio de análisis de riesgo evaluando la ocurrencia de las fallas y factores de severidad. Estas normas establecen parámetros para definir cada uno de los valores de los factores de riesgos y severidad, y los valores de los coeficientes de peso en severidad lo que permite una evaluación sistemática y rigurosa de los posibles escenarios de fallas.

Para cada modo de falla dentro de una unidad específica, se identificaron los valores correspondientes a los factores de severidad y los coeficientes de peso, los cuales se describen a continuación y se citan en la sección 3 en relación con la institución educativa. Estos valores fueron definidos considerando las particularidades del entorno educativo, los equipos involucrados y los estándares internacionales aplicables, asegurando que la evaluación se adapte de manera adecuada a las necesidades operativas de la institución.

Como se observa en el cuadro 1, los factores y coeficientes se evalúan los riesgos presentes en el activo y la influencia que este conlleva no solo en la seguridad operacional, ambiental y de los usuarios, si no, además en factores como la imagen corporativa, manejo de costos y calidad de desarrollo académico.

**Cuadro 1. Tablas de factores de severidad de riesgo**

| Tabla de probabilidad de ocurrencia |                    |              |
|-------------------------------------|--------------------|--------------|
| Ocurrencia                          |                    | Calificación |
| Frecuente                           | 1 falla en 1 mes   | 4            |
| Ocasional                           | 1 falla en 1 año   | 3            |
| Remota                              | 1 falla en 5 años  | 2            |
| Poco Probable                       | 1 falla en 20 años | 1            |

| Factores de peso en severidad |            |
|-------------------------------|------------|
| Kfo = Fallas ocultas          | 0,05 o 5%  |
| Ksf = Seguridad Física        | 0,20 o 20% |
| Kma = Medio Ambiente          | 0,10 o 10% |
| Kor = Costos de Reparación    | 0,30 o 30% |
| Kic = Imagen Corporativa      | 0,30 o 30% |
| Koc = Efectos en clientes     | 0,05 o 5%  |

| Tabla de fallos ocultos                                                                               |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| FO- Fallos Ocultos                                                                                    | Calificación |
| No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores.                            | 0            |
| Existe una baja posibilidad de que la falla NO sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores. | 1            |
| En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteriores.         | 2            |

| Tabla de Medio Ambiente                                                                                                                 |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| MA- Medio Ambiente                                                                                                                      | Calificación |
| No afecta al medio ambiente                                                                                                             | 0            |
| Afecta el MA, pero se puede controlar. No daña el Ecosistema                                                                            | 1            |
| Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de seis meses con un valor inferior a 2000000 COP | 2            |

| Tabla de Efectos en Clientes     |              |
|----------------------------------|--------------|
| OC - Efectos en Clientes         | Calificación |
| Desarrollo de clase completa     | 0            |
| Perdida de clase en el 5% y 20%  | 1            |
| Perdida de clase en el 31% y 50% | 2            |

|                                                                                                       |   |                                                                                                                                                               |   |                                  |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----------------------------------|---|
| Existe una baja posibilidad de que la falla SI sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores. | 3 | Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de tres años con un valor inferior a 6000000 COP                        | 3 | Perdida de clase en el 51% y 70% | 3 |
| La falla siempre es oculta y ocasionara fallas múltiples graves en el sistema.                        | 4 | Afecta los de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en más de tres años o es irreversible. Su impacto social y ecológico es superior a 6000000 COP | 4 | Perdida de clase de más del 70%  | 4 |

| Tabla de seguridad física                                                                |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| FS - Seguridad Física                                                                    | Calificación |
| No afecta personas ni equipos                                                            | 0            |
| Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal                | 1            |
| Afecta de dos a cinco personas y puede generar incapacidad de tipo temporal              | 2            |
| Afecta a más de cinco personas y puede generar incapacidad de tipo temporal o permanente | 3            |

| Tabla de Costos de reparación |              |
|-------------------------------|--------------|
| OR - Costos de Reparación     | Calificación |
| Entre 10000 y 500000 COP      | 0            |
| Entre 500001 y 1000000 COP    | 1            |
| Entre 1000001 y 5000000 COP   | 2            |
| Entre 5000001 y 10000000 COP  | 3            |

| Tabla de Imagen Corporativa                                                                                 |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| IC - Imagen Corporativa                                                                                     | Calificación |
| No es relevante                                                                                             | 0            |
| Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos                                          | 1            |
| Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión menor a 2000000 COP          | 2            |
| Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión entre 2000000 y 10000000 COP | 3            |

|                                                                 |   |                      |   |                                                                                                                             |   |
|-----------------------------------------------------------------|---|----------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o más personas | 4 | Mayor a 10000001 COP | 4 | Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión mayor a 10000000 COP. Puede ser irreversible | 4 |
|-----------------------------------------------------------------|---|----------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

*Fuente: elaboración propia con base a la norma SAE*

Para poder hallar el valor de riesgo total del sistema, se toman los modos de fallas mencionadas en la sección 6.5 y aplicando la ecuación (5) se evalúa cada modo de falla para hallar el valor de severidad total y posteriormente calcular el riesgo total del sistema.

$$R = O * S \quad (5)$$

Donde

R= Riesgo total

O= Ocurrencia

S=Severidad

La ocurrencia de cada falla se evalúa en la tabla de probabilidad de ocurrencia del cuadro 1. Para ello se estudia la probabilidad de que ocurra la falla en un periodo de tiempo y se califica con el valor que posea más relación con el activo.

En el caso de la severidad de riesgo, se califica la falla del sistema en relación con los factores mencionados en el cuadro 1. Teniendo los valores seleccionados acorde al estado del sistema, a continuación, se halla el valor de severidad con la ecuación (6):

$$S = (Kfo * FO) + (Ksf * SF) + (Kma * MA) + (Kor * OR) + (Kic * IC) + (Koc * OC) \quad (6)$$

Donde:

Kfo, ksf, Kma, Kor, Kic, Koc = Coeficientes de peso en severidad.

FO, SF, MA, OR, IC, OC = Factores de severidad de riesgo.

Finalmente, teniendo ya el resultado de la severidad y el valor de ocurrencia, se reemplaza los valores con la ecuación 6, dando como respuesta el riesgo total del sistema.

Como ejemplo se toma el primer modo de falla del sistema eléctrico del torno y se aplica las operaciones teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado:

## 1. Modos de falla:

*Tabla 51: Primer modo de falla del sistema eléctrico del torno:*

| F | Función                                                                           | FF | Falla Funcional                          | No. | Modo de Falla                                                                    |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Suministrar energía al motor principal para el impulso del giro del eje del torno | A  | Arranque ineficiente del motor principal | 1   | Problemas de energización del circuito de alimentación principal del laboratorio |

*Fuente: elaboración propia con base a norma SAE*

## 2. Ocurrencia:

Como se trata de un fallo eléctrico constante en la red de electricidad del laboratorio, suele ser frecuente el problema por cuando el torno inicia sus funciones operativas, lo que hace que la falla persista en las instalaciones del activo. Para la calificación de la ocurrencia se toma el valor con relación a la frecuencia de la falla en el tiempo estimado de un año o menos (tabla 52).

*Tabla 52: Ejemplo de evaluación de la ocurrencia en un modo de falla del sistema eléctrico del torno.*

| Tabla de probabilidad de ocurrencia |                    |              |
|-------------------------------------|--------------------|--------------|
| Ocurrencia                          |                    | Calificación |
| Frecuente                           | 1 falla en 1 mes   | 4            |
| Ocasional                           | 1 falla en 1 año   | 3            |
| Remota                              | 1 falla en 5 años  | 2            |
| Poco Probable                       | 1 falla en 20 años | 1            |

*Fuente: elaboración propia con base a norma SAE*

### 3. Severidad:

Para la calificación de la severidad se estudia la influencia en los factores y la relación con el estado del sistema. Para este ejemplo se tomará el factor de seguridad física (SF) para analizar cómo funciona la calificación de estos factores. En la Tabla 53, se observa las posibles consecuencias en afectaciones al operador por parte del activo y en relación con el modo de falla, se hace posible el riesgo de accidentes por presencia de fluctuaciones de voltaje, sobrecalentamientos y fallas inminentes del torno, afectando principalmente la integridad del usuario o estudiante que opera el activo.

*Tabla 53: Ejemplo de evaluación de la severidad en SF en un modo de falla del sistema eléctrico del torno.*

| Tabla de seguridad física                                                                |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| FS - Seguridad Física                                                                    | Calificación |
| No afecta personas ni equipos                                                            | 0            |
| Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal                | 1            |
| Afecta de dos a cinco personas y puede generar incapacidad de tipo temporal              | 2            |
| Afecta a más de cinco personas y puede generar incapacidad de tipo temporal o permanente | 3            |
| Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o más personas                          | 4            |

*Fuente: elaboración propia elaboración propia con base a norma SAE*

Esta misma evaluación se realiza en los factores restantes dado como resultado la siguiente calificación:

*Tabla 54: Respuesta de la calificación de los factores en el modo de falla del sistema eléctrico del torno*

| <b>Factor</b>             | <b>Calificación</b> |
|---------------------------|---------------------|
| Fallos Ocultos (FO)       | 0                   |
| Seguridad Física (SF)     | 1                   |
| Medio Ambiente (MA)       | 1                   |
| Costos de Reparación (OR) | 1                   |
| Imagen Corporativa (IC)   | 2                   |
| Efectos en Clientes (OC)  | 0                   |

*Fuente: elaboración propia*

Teniendo las calificaciones de los factores a medir, se usa los coeficientes de peso en severidad (cuadro 1) y se reemplaza los valores en la ecuación (6) como se muestra a continuación. Los coeficientes se relacionan con los factores, ya que define el porcentaje de importancia en el análisis de riesgo.

*Tabla 55: Respuesta de riesgo total en el modo de falla del sistema eléctrico del torno.*

| <b>Factores de peso en severidad</b> |            |
|--------------------------------------|------------|
| Kfo = Fallas ocultas                 | 0,05 o 5%  |
| Ksf = Seguridad Física               | 0,20 o 20% |
| Kma = Medio Ambiente                 | 0,10 o 10% |
| Kor = Costos de Reparación           | 0,30 o 30% |
| Kic = Imagen Corporativa             | 0,30 o 30% |
| Koc = Efectos en clientes            | 0,05 o 5%  |

*Fuente: elaboración propia con base a la SAE*

#### **Aplicación de la ecuación:**

$$S = (0.05 * 0) + (0.20 * 1) + (0.10 * 1) + (0.30 * 1) + (0.30 * 2) + (0.05 * 0) \quad (6)$$

$$S = 0 + 0.20 + 0.10 + 0.30 + 0.60 + 0$$

$$S = 1.20$$

Finalmente, se reemplaza en la ecuación (5) para hallar el riesgo total del sistema del activo.

$$R = O * S \quad (5)$$

$$R = 4 * 1.20$$

$$R = 4.8$$

Este cálculo debe hacerse para cada modo de fallas que posea el sistema para que posteriormente se sume el resultado de severidad de los modos de fallas y de como respuesta el valor total del riesgo del sistema. En el caso del sistema eléctrico, los resultados de la severidad de los modos de falla y el análisis de riesgo total se observan en la tabla 56.

*Tabla 56: Respuesta de riesgo total en el modo de falla del sistema eléctrico del torno*

| F | FF | MF | Modo de falla                                                                    | S                   | R = O x S   |
|---|----|----|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------|
| 1 | A  | 1  | Problemas de energización del circuito de alimentación principal del laboratorio | 1.20                | 4.8         |
| 1 | B  | 2  | Presencia de desgaste, desajuste y problemas en el desplazamiento de posición.   | 1.00                | 3           |
| 1 | C  | 3  | Mala operación en la activación de la palanca de encendido1.20                   | 0.30                | 1.2         |
| 1 | D  | 4  | Mala operación en la activación de la palanca de encendido                       | 0.0                 | 1.2         |
|   |    |    |                                                                                  | <b>Riesgo total</b> | <b>10.2</b> |

*Fuente: elaboración propia*

Para el desarrollo más detallado del análisis se aplicó en una hoja de cálculo los respectivos valores seleccionados y sus operaciones para hallar la totalidad del riesgo (tabla 57)

Tabla 57: Respuesta de riesgo total en el modo de falla del sistema eléctrico del torno en una hoja de calculo

| F                         | F<br>F | M<br>F | MODO DE<br>FALLA                                                                 | O | Kfo    |             | Ksf    |             | Kma    |             | Kic    |             | Kor    |             | Koc    |             | S        | R = O x<br>S |
|---------------------------|--------|--------|----------------------------------------------------------------------------------|---|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|----------|--------------|
|                           |        |        |                                                                                  |   | 0,05   |             | 0,20   |             | 0,10   |             | 0,30   |             | 0,30   |             | 0,05   |             |          |              |
|                           |        |        |                                                                                  |   | F<br>O | Kfo x<br>FO | S<br>F | Ksf x<br>SF | M<br>A | Kma x<br>MA | I<br>C | Kic x<br>IC | O<br>R | Kor x<br>OR | O<br>C | Koc x<br>OC |          |              |
| SISTEMA ELÉCTRICO         |        |        |                                                                                  |   |        |             |        |             |        |             |        |             |        |             |        |             |          |              |
| 1                         | A      | 1      | Problemas de energización del circuito de alimentación principal del laboratorio | 4 | 0      | 0           | 1      | 0,2         | 1      | 0,1         | 2      | 0,6         | 1      | 0,3         | 0      | 0           | 1,2<br>0 | 4,8          |
| 1                         | B      | 2      | Presencia de desgaste, desajuste y problemas en el desplazamiento de posición.   | 3 | 1      | 0,05        | 0      | 0           | 0      | 0           | 2      | 0,6         | 1      | 0,3         | 1      | 0,05        | 1,0<br>0 | 3            |
| 1                         | C      | 3      | Mala operación en la activación de la palanca de encendido                       | 4 | 0      | 0           | 0      | 0           | 0      | 0           | 1      | 0,3         | 0      | 0           | 0      | 0           | 0,3<br>0 | 1,2          |
| 1                         | D      | 3      | Mala operación en la activación de la palanca de encendido                       | 4 | 0      | 0           | 0      | 0           | 0      | 0           | 1      | 0,3         | 0      | 0           | 0      | 0           | 0,3<br>0 | 1,2          |
| Total, análisis de riesgo |        |        |                                                                                  |   |        |             |        |             |        |             |        |             |        |             |        |             |          | 10,2         |

Fuente: elaboración propia con base a la norma SAE J1739

Esta hoja tiene como función definir la toma de decisiones en los mantenimientos y su planeación (Anexo E) Para este procedimiento se usa como base el diagrama de decisión RCM. Junto a la hoja de información AMEF (Tabla 49), las columnas de F, FF y FM identifican el modo de falla que se estudia, y se correlaciona las referencias de las hojas de información y las hojas de decisión, como se muestra en la figura 14 <sup>21</sup>

|  <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b><br>TUNJA   |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          | <b>RCM: Hoja de información –<br/>Análisis de modos y efectos de<br/>fallas (AMEF)</b> |                      |                                           |                                                                                  |    |    | <b>Planta</b> Labora<br>manu |              |          |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|---------------------------------|---|----|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----|----|------------------------------|--------------|----------|--|
|                                                                                                                             |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          |                                                                                        |                      |                                           |                                                                                  |    |    | <b>Activo</b> Torno          |              |          |  |
|                                                                                                                             |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          |                                                                                        |                      |                                           |                                                                                  |    |    | <b>Código</b> USTA0          |              |          |  |
| <b>Objeto de estudio</b>                                                                                                    |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          |                                                                                        |                      | Sistemas principales Torno DMTG Cds 6250B |                                                                                  |    |    |                              | <b>Fecha</b> |          |  |
| Sistema Eléctrico                                                                                                           |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          | Código del sistema                                                                     |                      |                                           |                                                                                  |    |    | USTA04 - L                   |              |          |  |
| F                                                                                                                           | Función                                                                           |    |                                 |   | FF | Falla Funcional                          |                                                                                        |                      | No.                                       | Modo de Falla                                                                    |    |    |                              |              |          |  |
| 1                                                                                                                           | Suministrar energía al motor principal para el impulso del giro del eje del torno |    |                                 |   | A  | Ineficiente arranque del motor principal |                                                                                        |                      | 1                                         | Problemas de energización del circuito de alimentación principal del laboratorio |    |    |                              |              |          |  |
|                                                                                                                             |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          |                                                                                        |                      |                                           |                                                                                  |    |    |                              |              |          |  |
|  <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b><br>TUNJA |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          | <b>Hoja de información Matriz de<br/>desición RCM</b>                                  |                      |                                           |                                                                                  |    |    | <b>Planta</b> L              |              |          |  |
|                                                                                                                             |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          |                                                                                        |                      |                                           |                                                                                  |    |    | <b>Activo</b> T              |              |          |  |
|                                                                                                                             |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          |                                                                                        |                      |                                           |                                                                                  |    |    | <b>Codigo</b> U              |              |          |  |
| <b>Objeto de estudio</b>                                                                                                    |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          |                                                                                        |                      | Sistemas principales Torno DMTG Cds 6250B |                                                                                  |    |    |                              |              | <b>F</b> |  |
| Referencia de información                                                                                                   |                                                                                   |    | Evaluación de las consecuencias |   |    |                                          | H1<br>S1<br>O1<br>N1                                                                   | H2<br>S2<br>O2<br>N2 | H3<br>S3<br>O3<br>N3                      | Tareas "a la falla de"                                                           |    |    |                              |              |          |  |
| F                                                                                                                           | FF                                                                                | MF | H                               | S | E  | O                                        |                                                                                        |                      |                                           | H4                                                                               | H5 | S4 |                              |              |          |  |
| <b>Sistema eléctrico</b>                                                                                                    |                                                                                   |    |                                 |   |    |                                          |                                                                                        |                      |                                           |                                                                                  |    |    |                              |              |          |  |
| 1                                                                                                                           | A                                                                                 | 1  | S                               | N | S  |                                          | S                                                                                      |                      |                                           |                                                                                  |    |    | M c d                        |              |          |  |

<sup>21</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. 2 ed. Gran Bretaña: Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn, 2004. 446 p. ISBN: 09539603-2-3

Las primeras diez columnas o encabezados de la hoja de decisión hacen referencia a las preguntas del diagrama de decisión RCM, que tienen como significado:

- **Columnas H, S, E, O y N:** se usan para registrar las respuestas a las preguntas referentes de las consecuencias de falla.
- **Columnas tituladas H1, H2, H3:** se usan para registra la selección de una tarea proactiva y el tipo de tarea.
- **Columnas HA, H5 y S4:** Se usan cuando se hace necesario responder cualquier pregunta “a falta de”.<sup>22</sup>

En las últimas tres columnas se registran las tareas proactivas o mantenimientos, seguido de la frecuencia en la que se deben hacer y el encargado o responsable de ejecutarlos.

#### **6.5.4. Diagrama de decisión RCM**

Para la aplicación de la hoja de decisión, se usa el diagrama RCM (Cuadro 2) que utiliza preguntas estructuradas para seleccionar mantenimientos o tareas proactivas. En resumen, según la condición del activo y los análisis del AMEF, el diagrama se basa en la decisión de que tan conveniente puede llegar a ser una tarea proactiva, la implementación de modificaciones o rediseños, o mantenimientos rigurosos según la funcionalidad del activo y las necesidades de operador o institución. Para un enfoque más practico se define los trabajos propuestos y los factores o criterios que se tratan al momento de aplicar la hoja de decisión junto al diagrama de decisión RCM.

---

<sup>22</sup> Ibid., p. 206

#### 6.5.4.1. Tareas propuestas

- **Tareas proactivas:** hace referencia a las acciones y técnicas planificadas en un activo antes de que ocurra una falla o avería. Esto se realiza con el objetivo de prevenir o anticipar fallas. Dentro de las tareas proactivas entran mantenimientos preventivos, predictivos o de condición.
- **Tarea a condición:** son acciones y medidas que se aplican solo cuando existen indicadores como deterioros o anomalías que conllevarían al origen de una falla que requieran de un mantenimiento, es decir, las tareas seleccionadas se basan en la condición real del activo a mantener.
- **Tarea de reacondicionamiento cíclico:** son las acciones que se encargan de restaurar o rediseñar un sistema, componente o un equipo en general para la optimización de su funcionamiento mediante procesos repetitivos y planificados en intervalos de tiempo para la prevención de fallas.
- **Tarea d sustitución cíclica:** es el reemplazo de sistemas, piezas, componentes o de activos de manera regular o planificado periódicamente para la prevención de fallas. Esto quiere decir, que existen partes del activo que cumplen con una vida útil determinada y que se planifica su reemplazo para no tener que llegar a su daño total.
- **Tarea de búsqueda de fallas:** son mantenimientos o acciones que se centran en el estudio de funciones del activo para finalmente enfocarse en la predicción de fallas. Para estas tareas, entran técnicas manuales de monitoreos e inspecciones, pruebas y análisis de funcionamiento de sistemas o componentes del activo.
- **Rediseño obligatorio:** cuando los mantenimientos aplicados como preventivos, predictivos o de condición no son suficientes para la eficiencia del equipo o el

rendimiento del activo no aseguran confiabilidad, se encuentran la necesidad de realizar modificaciones o aplicar alternativas de diseño que mejoren o mitiguen la frecuencia de fallas y optimice su gerencia y mantenimiento.

- **Combinación de tareas:** es la combinación de varias metodologías de mantenimiento con el fin de mejorar la eficiencia y efectividad del mantenimiento de un sistema o activo, reduciendo tiempos de parada y costos de inversión.

#### **6.5.4.2. Factores que estudia el diagrama RCM.**

El diagrama de decisión RCM evalúa factores que con frecuencia entran en los diferentes análisis y evaluaciones que involucran el mantenimiento y que se ha aplicado anteriormente en las diferentes metodologías implementadas en este proyecto. Cabe aclarar que se evalúan las consecuencias que el activo ha implicado en ellas. Los factores involucrados son:

- Consecuencias del fallo oculto
- Consecuencias para la seguridad o el medio ambiente:
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operaciones

#### **6.5.4.3. Preguntas base del diagrama de decisión RCM**

El diagrama de decisión RCM constan de tres preguntas claves que varían dependiendo del contexto operacional, seguridad y medio ambiente o si se trata de una falla oculta y contextos no operacionales (Tabla 58).

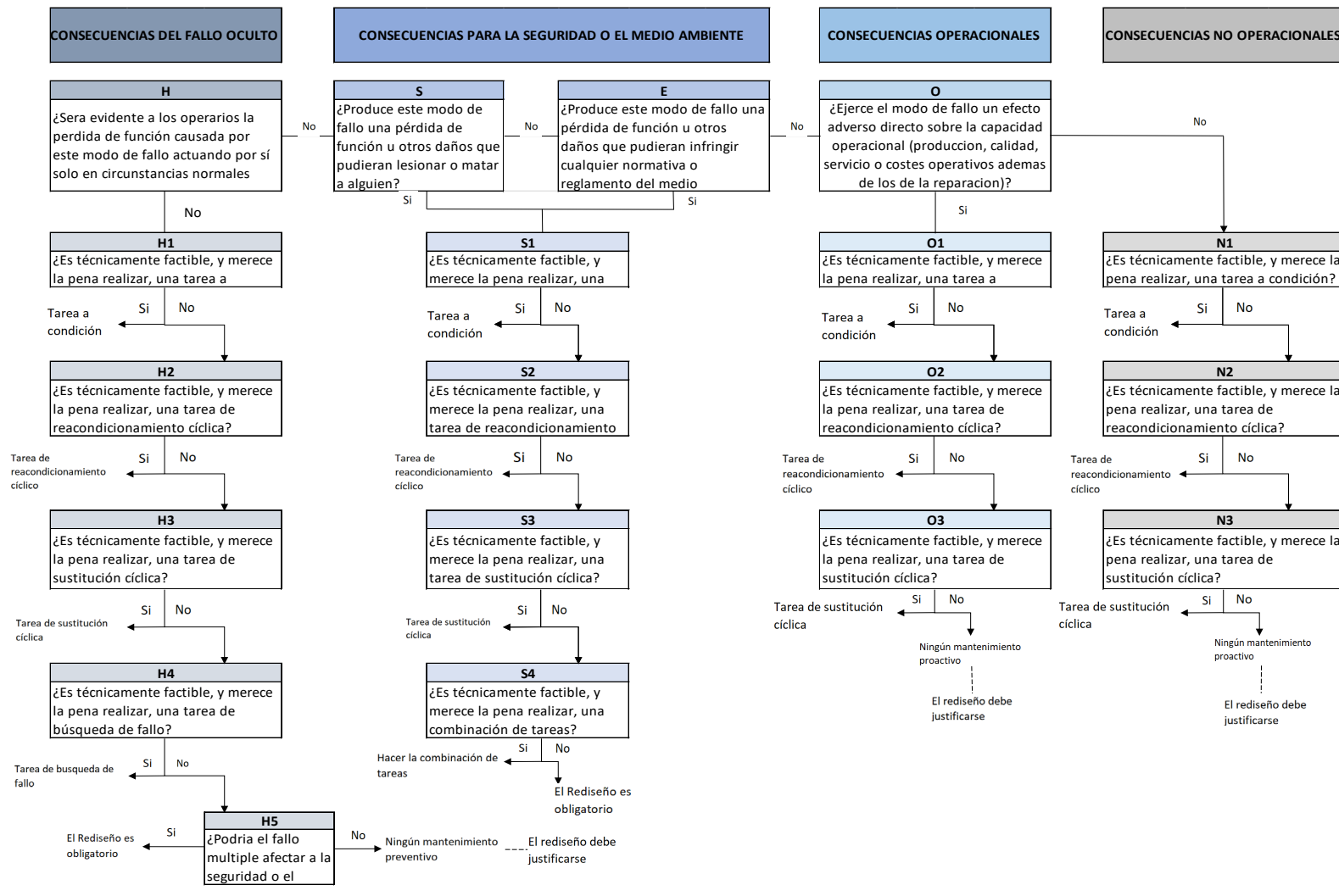
*Tabla 58: Preguntas base del diagrama de decisión RCM*

| <b>Pregunta</b>                                                                         | <b>Referencia y aplicación</b>                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿La falla tiene consecuencias evidentes y críticas?                                     | Si la respuesta es sí, se recomienda aplicar manteamientos preventivos o monitoreos frecuentes.                                                        |
| ¿la falla se puede predecir con tareas y mantenimientos basados en monitoreos?          | Si es factible este tipo de tareas, se recomienda la implantación de mantenimientos a condición.                                                       |
| ¿la falla puede causar un riesgo irreversible en la seguridad y/o en el medio ambiente? | En los casos más críticos, se requiere le intervención de modificaciones o rediseños al activo o planes de mantenimiento más planificados y rigurosos. |

*Fuente: elaboración propia con base al diagrama de decisión RCM*

Siguiendo el diagrama de decisión junto con los modos de fallas del sistema eléctrico del torno, se busca en la hoja de decisión la metodología más apropiada para un mayor rendimiento de sus sistemas. En la tabla 59 se completa la hoja de decisión con el sistema eléctrico cumpliendo con las necesidades que este requiere para el funcionamiento estable del sistema. La explicación de las tareas propuestas en el plan de mantenimiento se explicará en detalles en la tabla 60.

**Cuadro 2: Diagrama de decisión RCM**



Fuente: elaboración propia con base a MOUBRAY, John. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*

Tabla 59: Hoja de decisión RCM aplicada en los activos del laboratorio de la USTA Tunja

|                                                                                                                                          |    |    |                                 |   |   |   |                                           |                      |                      |                        |    |    |                                                                                                                                                                                            |                    |                        |        |  |                                        |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---------------------------------|---|---|---|-------------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------|--------|--|----------------------------------------|--|
|  <div>UNIVERSIDAD<br/><b>SANTOTOMÁS</b><br/>TUNJA</div> |    |    |                                 |   |   |   |                                           |                      |                      | Hoja de decisión RCM   |    |    |                                                                                                                                                                                            |                    |                        | Planta |  | Laboratorio de procesos de manufactura |  |
|                                                                                                                                          |    |    |                                 |   |   |   |                                           |                      |                      |                        |    |    |                                                                                                                                                                                            |                    |                        | Activo |  | Torno DMTG CdS 6250B                   |  |
|                                                                                                                                          |    |    |                                 |   |   |   |                                           |                      |                      |                        |    |    |                                                                                                                                                                                            |                    |                        | Código |  | USTA04 - LAB2 - MM - TD01              |  |
| Objeto de estudio                                                                                                                        |    |    |                                 |   |   |   | Sistemas principales Torno DMTG Cds 6250B |                      |                      |                        |    |    | Fecha                                                                                                                                                                                      |                    | nov-24                 |        |  |                                        |  |
| Referencia de información                                                                                                                |    |    | Evaluación de las consecuencias |   |   |   | H1<br>S1<br>O1<br>N1                      | H2<br>S2<br>O2<br>N2 | H3<br>S3<br>O3<br>N3 | Tareas "a la falla de" |    |    | Tarea propuesta                                                                                                                                                                            | Frecuencia Inicial | A realizar             |        |  |                                        |  |
|                                                                                                                                          |    |    |                                 |   |   |   |                                           |                      |                      | H4                     | H5 | S4 |                                                                                                                                                                                            |                    |                        |        |  |                                        |  |
| F                                                                                                                                        | FF | MF | H                               | S | E | O |                                           |                      |                      |                        |    |    |                                                                                                                                                                                            |                    |                        |        |  |                                        |  |
| Sistema eléctrico                                                                                                                        |    |    |                                 |   |   |   |                                           |                      |                      |                        |    |    |                                                                                                                                                                                            |                    |                        |        |  |                                        |  |
| 1                                                                                                                                        | A  | 1  | S                               | N | S |   | S                                         |                      |                      |                        |    |    | Monitoreo continuo del flujo de energía.<br><br>Inspecciones visuales periódicas.<br><br>Verificación de los dispositivos de protección.<br><br>Revisión de la estabilidad del suministro. | Mensual            | Especialista eléctrico |        |  |                                        |  |

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |                                                                                                                                                     |                                                                  |                                               |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  | Verificación del sistema de respaldo.                                                                                                               |                                                                  |                                               |
| 1 | B | 2 | N |   |   |   | N | N | S |  |  |  | Revisión periódica de componentes.<br><br>Cambio de componentes apropiados para el sistema.<br><br>Supervisión de las funciones de los componentes. | Semestral                                                        | Laboratorista / Contratista                   |
| 1 | C | 3 | N | N | N | S | S |   |   |  |  |  | Monitoreo a los estudiantes en la operación del activo.<br><br>Capacitaciones enfocadas en la correcta operación del activo.                        | Antes del inicio de operación y después del encendido del equipo | Laboratorista / Docente encargado de la clase |
| 1 | D | 3 | N | N | N | S | S |   |   |  |  |  | Monitoreo a los estudiantes en la operación del activo.<br><br>Capacitaciones enfocadas en la                                                       | Antes del inicio de operación y después del encendido del equipo | Laboratorista / Docente encargado de la clase |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                               |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | correcta operación del activo.                                                |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Aplicación de técnicas preoperacionales para el encendido del motor principal |  |  |

*Fuente: Elaboración propia con base a MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*

*Tabla 60: Explicación de las tareas propuestas para el mantenimiento y mejora del sistema eléctrico del torno DMTG.*

| <b>Mantenimientos propuestos: Sistema eléctrico Torno DMTG</b> |           |           |                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>F</b>                                                       | <b>FF</b> | <b>MF</b> | <b>Tarea propuesta</b>                         | <b>Descripción de la tarea</b>                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1                                                              | A         | 1         | Monitoreo continuo del flujo de energía        | Utilizar equipos de medición en tiempo real para verificar que la energía eléctrica suministrada cumple con los parámetros establecidos (voltaje, corriente y frecuencia) requeridos para el correcto funcionamiento de los sistemas y equipos del laboratorio.                                           |
|                                                                |           |           | Inspecciones visuales periódicas               | Revisar cables, interruptores, conexiones y paneles eléctricos para identificar signos de desgaste, corrosión o posibles puntos de sobrecalentamiento. Las inspecciones también deben asegurar que no haya obstrucciones en los conductos que puedan afectar el flujo de energía.                         |
|                                                                |           |           | Verificación de los dispositivos de protección | Comprobar que los sistemas de protección, como los interruptores automáticos, fusibles y relés, funcionen correctamente para evitar posibles sobrecargas o cortocircuitos. Esta revisión debe realizarse de manera sistemática para garantizar que el sistema esté preparado ante cualquier contingencia. |
|                                                                |           |           | Revisión de la estabilidad del suministro      | Asegurarse de que el flujo de energía sea constante y no presente fluctuaciones significativas que puedan afectar el rendimiento de los equipos. Se deben identificar fuentes de                                                                                                                          |

|   |   |   |                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---|---|---|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | B |   |                                                   | posibles interrupciones, como cortes momentáneos o variaciones en la calidad de la energía (picos de tensión, armónicos, etc.).                                                                                                                                                                       |
|   |   |   | Verificación del sistema de respaldo              | Inspeccionar los sistemas de respaldo de energía, como generadores o sistemas de baterías, para garantizar que estén operativos y listos para activarse en caso de una falla en la red eléctrica principal.                                                                                           |
|   |   | 2 | Revisión periódica de piezas y componentes.       | Monitorear por medio de mantenimientos y técnicas que verifiquen la condición actual del sistema, el estado físico de las piezas como switches, cables, ensambles y acoples que lo conforman, así como sus conexiones y sistemas de seguridad para el aseguramiento de su funcionamiento y operación. |
|   |   |   | Cambio de componentes apropiados para el sistema. | Realizar el reemplazo de piezas y correcta selección de componentes para el cumplimiento de funciones del equipo, tenido en cuenta la utilidad que se levara a fin, con el estudio de materiales, de las capacidades productivas y operacionales.                                                     |
|   |   |   | Supervisión de las funciones de los componentes.  | Aplicar mantenimientos y monitoreos que verifique el correcto funcionamiento de los componentes como flujo de energía adecuado, aseguramientos de conexiones, y cumplimiento de normativas de seguridad e instalación.                                                                                |

|   |   |   |                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|---|---|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | C | 3 | Monitoreo a los estudiantes en la operación del activo.                       | Realizar monitoreos constantes en la operación de los estudiantes, como metodología para mitigar la generación de fallas y asegurar el correcto uso del equipo.                                                                                                                                                     |
|   |   |   | Capacitaciones enfocadas en la correcta operación del activo.                 | Mejoramientos en la pedagogía en la operación del activo con la aplicación de teorías, cuidados y uso adecuado del activo según el proceso de mecanizado.                                                                                                                                                           |
| 1 | D | 4 | Monitoreo a los estudiantes en la operación del activo.                       | Realizar monitoreos constantes en la operación de los estudiantes, como metodología para mitigar la generación de fallas y asegurar el correcto uso del equipo.                                                                                                                                                     |
|   |   |   | Capacitaciones enfocadas en la correcta operación del activo.                 | Mejoramientos en la pedagogía en la operación del activo con la aplicación de teorías, cuidados y uso adecuado del activo según el proceso de mecanizado.                                                                                                                                                           |
|   |   |   | Aplicación de técnicas preoperacionales para el encendido del motor principal | Aplicar acciones pre – operativas como la comprobación y posición correcta de mandos, palancas, interruptores o botones, así como, el estado del activo y de su motor principal.                                                                                                                                    |
|   |   |   | Mantenimientos preventivos y predictivos del motor principal.                 | Inspeccionar el motor principal con mantenimientos que involucren técnicas que detecten puntos se sobre calentamiento, vibraciones, conexiones débiles o anomalías en su funcionamiento para evitar sobre esfuerzos del motor y/o fallas que involucren el daño de otros sistemas o componentes conectados al motor |

## **7. RECOMENDACIONES**

- Para la codificación de las sedes de la Universidad, tener en cuenta la existencia de una codificación actual o identificación de las otras sedes para la implantación de la codificación propuesta.
- Para un mejor estudio de disponibilidad de servicio, se recomienda llevar un historial de las horas de uso de los equipos. Para esta actividad se puede utilizar el formato de solicitud de préstamos de laboratorio y de los activos.
- Mejorar el proceso de gestión de recursos por parte de área encargada, para garantizar el mantenimiento adecuado en el menor tiempo posible, reducir tiempo muertos y evitar llegar a daños mayores por la demora de la adquisición de repuestos, debido a que es un problema recurrente.
- Monitorear el uso correcto de los activos presentes en el laboratorio para evitar la creación de fallas por mala operación de las mismas. Además, aporta a la revisión constante del estado del equipo y la seguridad de los operadores e instalaciones.
- Es fundamental que la universidad considere la actualización y renovación periódica de sus activos en función de las necesidades educativas y las innovaciones tecnológicas en el campo del maquinado. Esto garantizará que los equipos estén alineados con los estándares de calidad y seguridad requeridos, optimizando el rendimiento y la satisfacción de los usuarios.

- Se recomienda transitar mantenimientos hacia un enfoque más proactivo, centrado en el análisis de riesgos y la optimización de los mantenimientos, lo que permitiría reducir costos a largo plazo y mejorar la disponibilidad de los equipos para el desarrollo de clases y proyectos.

## 8. CONCLUSIONES

- Inicialmente, se contaba con el estudio de cinco activos, pero debido al cumplimiento de la vida útil de un segundo torno y su obsolescencia tecnológica, el equipo fue dado de baja del inventario de la institución. Esto es debido a la falta de disponibilidad de repuestos y el alto costo de mantenimiento en comparación con su rendimiento, pues, el activo requería de reparaciones constantes y en su mayoría de ámbito correctivo, lo que llevó a su exclusión del proyecto para la aplicación de la metodología RCM.
- El torno paralelo DMTG CdS 6250B, al ser un equipo de alta demanda por los estudiantes y para el desarrollo de clase, presenta fallas funcionales principalmente relacionadas con la operación incorrecta, la inexperiencia de los usuarios y la falta de cuidado por parte de los mismos. Estas fallas incluyen problemas en la calibración, ajuste de piezas sobreesfuerzos y sobrecalentamientos, lo que exponen al activo a fallas recurrentes y posibles averías de mayor gravedad.
- El taladro fresadora al ser un equipo antiguo y de baja demanda, ha llegado al final de su vida útil. La administración de la universidad la considera obsoleta para el cumplimiento de sus funciones, motivo por el cual se dejó de aplicar mantenimiento y costos de inversión desde el periodo 2023-2. Aunque actualmente aún se utiliza en el laboratorio, se ha evaluado como un activo con bajo rendimiento en términos de mantenimiento y disponibilidad operativa, por lo que se está gestionando su retiro del inventario del laboratorio. Esta obsolescencia afecta la capacidad de producción y la disponibilidad de equipos operativos para los estudiantes.

- Al implementar la metodología RCM en el torno, se identificó que el actual modelo de mantenimiento, basado principalmente en mantenimiento correctivo y preventivo, no es rentable. Esto ha aumentado los costos operativos y disminuido la eficiencia en la gestión de los activos.
- En un sentido administrativo, la gestión de recursos y repuestos es muy lenta, por lo que las paradas y tiempos muertos de los activos se alargan más, causando inconvenientes, generando inconformidades en la comunidad educativa.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] DAQUILEMA MARTÍNEZ, Aldo Raúl y LÓPEZ TAPIA, Oscar Fabricio. Elaboración del inventario de los activos a mantener de la empresa Ciauto cia. Ltda. de la ciudad de Ambato en base a la norma ISO 14224 [en línea], proyecto técnico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador, 2021, [Consultado el 09 de 2024], disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15992/1/25T00418.pdf>
- [2] ANDRADE SOLÓRZANO, Carlos Luis, HERRERA SUÁREZ, Miguel. Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM [en línea]. 2021 mayo-julio, vol. 4, Nro. 8 [Consultado 14 diciembre 2024]. ISSN 2737-6249. Disponible en: <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/31>.
- [3] CAMPOS LÓPEZ, Omar; TOLENTINO ESLAVA, Guilibaldo; TOLEDO VELÁZQUEZ, Miguel; TOLENTINO ESLAVA, René. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos [en línea]. Instituto Politécnico Nacional, México, 2019 [consultado el 10 de 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/61458265006.pdf>
- [4] CHRISTIAN IVAN PROAÑO CARDENAS, Propuesta de metodología de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), basado en las normas ISO 14224, SAE JA1011 y SAE JA1012, en la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair – CELEC E.P., [en línea], tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018, [Consultado el 08 de 2024], disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19787?locale=de>

- [5] CRUZADO VALLADARES, Ricardo José. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a bombas de carga en una refinería [en línea]. Tesis de trabajo de grado. Universidad de Piura, 2020. [Consultado el 12 diciembre 2024]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/2e11c521-bdc1-4713-a5a0-b61fb451270c/content>.
- [6] HUNG, Alberto J. Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC [en línea]. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, 2008 [consultado el 14 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127741002>
- [7] IVAN PATRICIO ALVAREZ ZEAS. Implementación de la metodología RCM para los vehículos de emergencia del Benemérito cuerpo de bomberos voluntarios de Cuesca [en línea]. Proyecto técnico. Universidad Politécnica Salesiana, 2017. [Consultado el 15 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14200/1/UPS-CT006981.pdf>
- [8] JORGE LUIS CASTRO VALDIVIA, aplicación de herramientas de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para homologar procesos del laboratorio de materiales de la EPIMMEM, [en línea], tesis de maestría, Universidad Católica de Santa María, Arequipa Peru, 2020, [Consultado el 10 de 2024], disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7ce32eb2-e1d0-4ceb-9d73-fd21f0c333e7/content>

- [9] JOHANA NATALY HARO CAPELO, Implementación de un plan de mantenimiento para los laboratorios de las áreas eléctricas y del laboratorio de mantenimiento predictivo de la facultad de mecánica mediante el software SisMAC, [en línea], trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador, 2016, [Consultado el 09 de 2024], disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5901/1/25T00281.pdf>
- [10] MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. 2 ed. Gran Bretaña: Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn, 2004. 446 p. ISBN: 09539603-2-3
- [11] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural— recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. ISO 14224. 3ed. Reino Unido. ISO 2016. 280 p.
- [12] PARRA MÁRQUEZ, C, & CRESPO MARQUEZ, A. Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [en línea]. Segunda edición. Sevilla-España: Editorial Ingeman, 2019. [Consulta: 2024-11-26]. Disponible en: [\(PDF\) Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos](#)
- [13] PROVEDA GUEVARA, Alejandro José. Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad para el desarrollo de planes de mantenimiento [en línea]. 2011. [Consultado en 14 diciembre 2024]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CICYT%20APOVEDA%20RCM.pdf>

- [14] SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Análisis de efectos y modos de falla potencial (FMEA) que incluye FMEA de diseño, FMEA-MSR suplementario y FMEA de proceso. SAE J1739. JAN2021. 105 p.
- [15] SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. SAE JA1011.1999. 12 p.
- [16] SOCIEDAD DE INGENIEROS DE AUTOMOCIÓN. Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). SAE JA1012. 2002. 62 p.
- [17] SOPORTE Y COMPAÑÍA. [sitio web]. Medellín: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). [Consulta:15 diciembre 2024]. Disponible en: <https://soporteycia.com>.

## **ANEXOS**

**Anexo A.** Plantilla para la descripción de funciones de activos o sistemas

|                                                                                                                           |                                               |                               |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|--|
|  <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b><br>TUNJA | <b>Facultad Ingeniería</b><br><b>Mecánica</b> | <b>Descripción del activo</b> |  |
|                                                                                                                           |                                               | <b>Torno DMTG CdS 6250B</b>   |  |
| <b>Planta</b>                                                                                                             |                                               | <b>Fecha</b>                  |  |
| <b>Objeto de estudios</b>                                                                                                 |                                               | <b>Código del activo</b>      |  |
|                                                                                                                           |                                               | <b>Código del sistema</b>     |  |
| <b>Fronteras</b>                                                                                                          |                                               |                               |  |
| <b>¿Que se estudia?</b>                                                                                                   | <b>Qué no se estudia</b>                      |                               |  |
|                                                                                                                           |                                               |                               |  |
| <b>Interfases</b>                                                                                                         |                                               |                               |  |
|                                                                                                                           |                                               |                               |  |
| <b>Características técnicas</b>                                                                                           |                                               |                               |  |
|                                                                                                                           |                                               |                               |  |
| <b>Características técnicas</b>                                                                                           |                                               |                               |  |
|                                                                                                                           |                                               |                               |  |
| <b>Características operativas</b>                                                                                         |                                               |                               |  |
|                                                                                                                           |                                               |                               |  |
| <b>Condiciones ambientales</b>                                                                                            |                                               |                               |  |
|                                                                                                                           |                                               |                               |  |
| <b>Funciones principales</b>                                                                                              |                                               |                               |  |
|                                                                                                                           |                                               |                               |  |
| <b>Funciones Secundarias</b>                                                                                              |                                               |                               |  |
|                                                                                                                           |                                               |                               |  |

**Anexo B.** Plantilla para el Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

|                                                                                                                                |                                                                                        |               |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---|
|  <b>UNIVERSIDAD<br/>SANTO TOMÁS<br/>TUNJA</b> | <b>RCM: Hoja de información -<br/>Análisis de modos y efectos<br/>de fallas (AMEF)</b> | <b>Planta</b> | - |
|                                                                                                                                |                                                                                        | <b>Activo</b> | - |
|                                                                                                                                |                                                                                        | <b>Código</b> | - |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Objeto de estudio</b> | - |
|--------------------------|---|

|              |   |
|--------------|---|
| <b>Fecha</b> | - |
|--------------|---|

| Sistema XXXX |         |    |                 |     |               |                 |
|--------------|---------|----|-----------------|-----|---------------|-----------------|
| F            | Función | FF | Falla Funcional | No. | Modo de Falla | Efecto de falla |
| 1            |         | A  |                 | 1   |               |                 |
|              |         | B  |                 | 2   |               |                 |
|              |         | C  |                 | 3   |               |                 |

**Anexo C:** Plantilla para análisis de las consecuencias de fallas en un sistema o activo

|                                                                                                                                |                                                                                        |               |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---|
|  <b>UNIVERSIDAD<br/>SANTO TOMÁS<br/>TUNJA</b> | <b>RCM: Hoja de información -<br/>Análisis de modos y efectos de<br/>fallas (AMEF)</b> | <b>Planta</b> | - |
|                                                                                                                                |                                                                                        | <b>Activo</b> | - |
|                                                                                                                                |                                                                                        | <b>Código</b> | - |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Objeto de estudio</b> | - |
|--------------------------|---|

|              |   |
|--------------|---|
| <b>Fecha</b> | - |
|--------------|---|

| SISTEMA XXXX |    |    |                  |           |               |             |            |                    |                         |
|--------------|----|----|------------------|-----------|---------------|-------------|------------|--------------------|-------------------------|
| F            | FF | MF | EFECTOS DE FALLA |           |               |             |            |                    |                         |
|              |    |    | OCULTO           | SEGURIDAD | MED. AMBIENTE | OPERACIONAL | REPARACIÓN | IMAGEN CORPORATIVA | QUE SUCEDE CUANDO FALLA |
|              |    |    |                  |           |               |             |            |                    |                         |
|              |    |    |                  |           |               |             |            |                    |                         |
|              |    |    |                  |           |               |             |            |                    |                         |

**Anexo D:** Plantilla para análisis de las consecuencias de fallas en un sistema o activo

|                                                                                                                           |                                                   |        |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------|---|
|  <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b><br>TUNJA | <b>RCM: Hoja de información - Análisis Riesgo</b> | Planta | - |
|                                                                                                                           |                                                   | Activo | - |
|                                                                                                                           |                                                   | Código | - |

|                   |   |
|-------------------|---|
| Objeto de estudio | - |
|-------------------|---|

|       |   |
|-------|---|
| Fecha | - |
|-------|---|

| F                 | F | M | MODO DE FALLA | O | Kfo  |          | Ksf  |          | Kma  |          | Kic  |          | Kor  |          | Koc  |          | S | R = O x S |
|-------------------|---|---|---------------|---|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|---|-----------|
|                   |   |   |               |   | 0,05 |          | 0,20 |          | 0,10 |          | 0,30 |          | 0,30 |          | 0,05 |          |   |           |
|                   |   |   |               |   | F O  | Kfo x FO | S F  | Ksf x SF | M A  | Kma x MA | I C  | Kic x IC | O R  | Kor x OR | O C  | Koc x OC |   |           |
| SISTEMA ELÉCTRICO |   |   |               |   |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |   |           |
|                   |   |   |               |   |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |   |           |
|                   |   |   |               |   |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |   |           |
|                   |   |   |               |   |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |   |           |
|                   |   |   |               |   |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |   |           |
|                   |   |   |               |   |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |   |           |

**Anexo E:** Plantilla para análisis de las consecuencias de fallas en un sistema o activo

|                                                                                                                           |                             |               |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------|---|
|  <b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b><br>TUNJA | <b>Hoja de decisión RCM</b> | <b>Planta</b> | - |
|                                                                                                                           |                             | <b>Activo</b> | - |
|                                                                                                                           |                             | <b>Código</b> | - |
| <b>Objeto de estudio</b>                                                                                                  |                             | -             |   |
|                                                                                                                           |                             | <b>Fecha</b>  | - |

| Referencia de información |    |    | Evaluación de las consecuencias |   |   |   | H1<br>S1<br>O1<br>N1 | H2<br>S2<br>O2<br>N2 | H3<br>S3<br>O3<br>N3 | Tareas "a la falla de" |    |    | Tarea propuesta | Frecuencia Inicial | A realizar |
|---------------------------|----|----|---------------------------------|---|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----|----|-----------------|--------------------|------------|
| F                         | FF | MF | H                               | S | E | O |                      |                      |                      | H4                     | H5 | S4 |                 |                    |            |
| Sistema                   |    |    |                                 |   |   |   |                      |                      |                      |                        |    |    |                 |                    |            |
|                           |    |    |                                 |   |   |   |                      |                      |                      |                        |    |    |                 |                    |            |
|                           |    |    |                                 |   |   |   |                      |                      |                      |                        |    |    |                 |                    |            |
|                           |    |    |                                 |   |   |   |                      |                      |                      |                        |    |    |                 |                    |            |
|                           |    |    |                                 |   |   |   |                      |                      |                      |                        |    |    |                 |                    |            |

*Fuente: elaboración propia con base a al MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*

**Anexo F:** Instructivo para la evaluación de análisis de criticidad en los activos.

| <b>Instructivo para la evaluación de análisis de criticidad de los activos de laboratorio de manufactura de la USTA, seccional Tunja</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. CONCEPTO PRINCIPAL A TENER EN CUENTA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                    |
| <p><b>Análisis de criticidad:</b> Es un procedimiento que ayuda identificar y evaluar el nivel de fallas potenciales en un activo. Este ayuda a priorizar los equipos en función de su gravedad y frecuencia de posibles fallas potenciales, garantizando nuevas metodologías y modelos en planes de mantenimientos más rigurosos y estratégicos.</p>                                                                                                                         |                                                                                                                                                    |
| <b>2. UBICACIÓN DE LOS ACTIVOS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                    |
| <p>La universidad Santo Tomas, seccional Tunja, sede Campus en la Av. Universitaria, posee como instalación principal el edificio Santo Domingo de Guzmán. Este edificio tiene una planta baja (PB) donde se ubican tres laboratorios de la facultad de ingeniería mecánica. El laboratorio de manufactura es donde se encuentran los activos que serán evaluados. Este laboratorio se identifica por sus instalaciones amplias y organización de los activos (figura 1).</p> | <p><i>Figura 1: Laboratorio de procesos de manufactura</i></p>  |

| 3. ACTIVOS A EVALUAR                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fresadora MAPI                                                                                                                                                                                                                                                                            | Taladro Fresadora                                                                 | Torno DMTG                                                                                                                                                                                             |
|                                                                                                                                                                                                          |  |                                                                                                                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                   | Centro de mecanizado NEWAY<br>VM950H                                                                                                                                                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                   |                                                                                                                     |
| 4. METODOLOGÍA A USAR PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” (criticidad total por riesgo):</b><br>Este modelo constituye un proceso de análisis semicuantitativo soportado en el concepto de riesgo, entendido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad de este. |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                        |
| Acciones                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Recursos                                                                          | Equipo de trabajo                                                                                                                                                                                      |
| Evaluar los activos según los criterios que cada factor de ponderación requiera para el análisis de criticidad de los activos                                                                                                                                                             | Información técnica de los equipos<br>Planes de mantenimiento                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Encargados del área de mantenimiento, laboratoristas.</li> <li>○ Administrativos encargados en el manejo de costos y actividades para la ejecución</li> </ul> |

|                                                                             |                                                                                    |                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Definir los criterios necesarios para la evaluación adecuada de cada activo | Fichas técnicas y hojas de vida de los activos<br>Registro de costos y actividades | <b>de acciones de mantenimiento.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Personas encargadas del seguimiento de seguridad ambiental y seguridad de operarios.</b></li> </ul> |
| Obtención de listas de jerarquización para priorizar del activo más crítico | Fichas de seguridad de bienestar integral y medio ambiental                        |                                                                                                                                                                                      |

#### 4.1. Criterios generales

- **El análisis de criticidad se hará en el tiempo determinado de un año ya transcurridos (dos semestres: periodo 2023-2 y 2024-1).**
- **En caso de que los funcionarios que aporten información en el contexto operacional de los activos, sean dos o más integrantes, deben acordar una calificación unánime para la evaluación final del activo**
- **Esta metodología maneja una matriz para el análisis de criticidad que involucra diferentes ramas referentes a la condición actual de los activos (disponibilidad,**

*Figura 2: Matriz de criticidad propuestas por el modelo CTR*

| FRECUENCIA   | 4 | MC | MC | C  | C  | C      |
|--------------|---|----|----|----|----|--------|
|              | 3 | NC | MC | MC | C  | C      |
|              | 2 | NC | NC | MC | C  | C      |
|              | 1 | NC | NC | NC | MC | C      |
|              |   | 10 | 20 | 30 | 40 | 50-200 |
| Consecuencia |   |    |    |    |    |        |

- **NC = No críticos**
- **MC = Mediana criticidad**
- **C = Críticos**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <p><b>mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente) (figura 2). Dicha matriz será utilizada de manera independiente en cada activo a evaluar.</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |
| <p><b>Como evaluar los equipos con la matriz CTR</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |
| <p>Cada criterio tendrá un número establecido que varía según la gravedad de condición que puede llegar a tener un activo. Las personas que serán citadas para la evaluación de los activos, deberán elegir una puntuación acorde a la condición en la que el activo estuvo trabajando durante el periodo establecido.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |
| <p><b>4.2. Factores y criterios que se evaluarán en los activos</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
| <p>Esta metodología usa factores ponderados como: Factor de frecuencia de fallos y factor de consecuencias.</p> <p>Estos serán explicados brevemente para evaluar adecuadamente los criterios por el personal indicado y capacitado para la calificación de los equipos.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |
| <p><b>Definiciones para tener en cuenta</b></p> <p><b>Fallas frecuentes (FF):</b> Es el número de fallas en un tiempo determinado que presenta un activo</p> <p><b>Disponibilidad o impacto del servicio (IS):</b> Es la accesibilidad que posee un activo para la realización o necesidad del desarrollo de una tarea</p> <p><b>Impacto por Flexibilidad Operacional (FO):</b> Alternativa o reemplazo de un activo cuando este presenta una parada por una falla</p> <p><b>Impacto en Costes de Mantenimiento (CM):</b> El dinero que está destinado para la inversión en mantenimiento o modificaciones del activo.</p> <p><b>Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA):</b> Característica de un activo de mantener un entorno de trabajo seguro, limpio y saludable.</p> |  |

| 4.2.1. Factor de frecuencia de fallos                                                                                                                                                                              |                                                                                                                     |                                        |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------|
| Criterios                                                                                                                                                                                                          | Equipo de trabajo                                                                                                   | Puntos a evaluar                       |         |
| Se tendrán en cuenta el número de fallas funcionales y averías donde se tengan que intervenir la parada completa del activo. Este se calificará puntuando el nivel de FF durante el tiempo establecido (figura 3). | Laboratoristas, jefes o encargados del mantenimiento de los activos, personal técnico que realiza el mantenimiento. | Criterio                               | Puntaje |
|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     | Pobre: mayor de 2 fallas/ años         | 4       |
|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     | Promedio: 2 fallas/ año                | 3       |
|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     | Buena: 1 falla/año                     | 2       |
|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     | Excelente: Menos de 0.5 fallas /año    | 1       |
| 4.2.2. Factor de Consecuencias                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                     |                                        |         |
| Impacto en el servicio o Disponibilidad                                                                                                                                                                            |                                                                                                                     |                                        |         |
| Criterios                                                                                                                                                                                                          | Equipo de trabajo                                                                                                   | Puntos a evaluar                       |         |
| Como los activos se usan con fines académicos y de aprendizaje operacional, se busca calificar los impactos de la presencia de fallas en los equipos para el desarrollo de clase.                                  | Docentes encargados de las materias que requieran del uso frecuente de los activos del laboratorio de manufactura   | Criterio                               | Puntaje |
|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     | Disponibilidad de activo menor al 10 % | 10      |
|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     | Disponibilidad del activo en un 25%    | 7       |
|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     | Disponibilidad del activo en un 50%    | 4       |
|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                     | Disponibilidad de activo mayor al 75 % | 1       |

|                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                   |                                                                                                                               |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                   |                                                                                                                               |         |
| Impacto por Flexibilidad Operacional (FO)                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                   |                                                                                                                               |         |
| Criterios                                                                                                                                                                                                                                     | Equipo de trabajo                                                                                                                 | Puntos a evaluar                                                                                                              |         |
| Durante la parada de un equipo por una falla o avería, ¿existe otro activo que reemplace las funciones del equipo parado y pueda mantener el uso, demanda y necesidades de la comunidad educativa, mientras en activo principal es arreglado? | Docentes encargados de las materias que requieran del uso frecuente de los activos del laboratorio de manufactura, Laboratoristas | Criterio                                                                                                                      | Puntaje |
|                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                   | No se cuenta con un equipo de reserva que cumpla con las necesidades y tareas en tiempos de reparación.                       | 4       |
|                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                   | Se cuenta equipos de reserva que funcionan de forma parcial que cumpla con las necesidades y tareas en tiempos de reparación. | 2       |
|                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                   | Se cuenta con un equipo de reserva que cumpla con las necesidades y tareas en tiempos de reparación.                          | 1       |
| Impacto en Manejo de Costos en Mantenimiento                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                   |                                                                                                                               |         |
| Criterios                                                                                                                                                                                                                                     | Equipo de trabajo                                                                                                                 | Puntos a evaluar                                                                                                              |         |
| Teniendo en cuenta el valor estipulado por la universidad para en mantenimiento general                                                                                                                                                       | Director de laboratorios, sindicatura                                                                                             | Criterio                                                                                                                      | Puntaje |
|                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                   | Mayor o igual a (3'205.500)                                                                                                   | 2       |

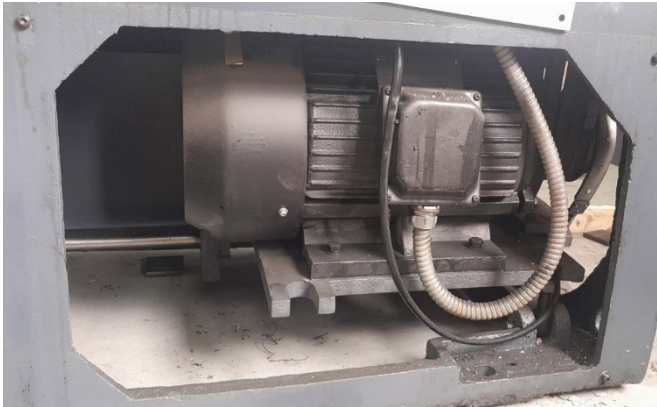
| del laboratorio o de los activos por separado, se calificará el activo si sobrepasa el valor destinado para su mantenimiento o no llega a su rango límite.                                         |                                                                               | Menor a (3'205.500)                                                                                               | 1              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA)</b>                                                                                                                                              |                                                                               |                                                                                                                   |                |
| <b>Criterios</b>                                                                                                                                                                                   | <b>Equipo de trabajo</b>                                                      | <b>Puntos a evaluar</b>                                                                                           |                |
| Se tiene en cuenta el manejo de residuos tóxicos que genere impactos negativos al medio ambiente y/o la salud de los operadores. Número de accidentes o riesgos que los operarios están expuestos. | Administrativos y/o supervisores encargados del cuidado ambiental y seguridad | <b>Criterio</b>                                                                                                   | <b>Puntaje</b> |
|                                                                                                                                                                                                    |                                                                               | Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere notificación a entes externos a la organización. | 8              |
|                                                                                                                                                                                                    |                                                                               | Afecta el ambiente /instalaciones.                                                                                | 7              |
|                                                                                                                                                                                                    |                                                                               | Afecta las instalaciones causando daños severos                                                                   | 5              |
|                                                                                                                                                                                                    |                                                                               | Provoca daños menores (ambiente/seguridad)                                                                        | 3              |
|                                                                                                                                                                                                    |                                                                               | No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o el ambiente                                           | 1              |

**Autor: Lina María Sánchez Romero**  
**Ingeniera Mecánica**

## Anexo G: Funciones y descripción de los sistemas del torno DMTG

|                                                                                            |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------|-------------------------------|
|           |                                                | Facultad<br>Ingeniería<br>Mecánica                                                                      |  | Descripción del activo |                               |
|                                                                                            |                                                |                                                                                                         |  | Torno DMTG CdS 6250B   |                               |
| Planta                                                                                     | Laboratorios de procesos de manufactura        |                                                                                                         |  | Fecha                  | Noviembre 2024                |
| Objeto de estudios                                                                         | Motor eléctrico principal Torno DMTG Cds 6250B |                                                                                                         |  | Código del activo      | USTA04 - LAB2 - MM - TD01     |
|                                                                                            |                                                |                                                                                                         |  | Código del sistema     | USTA04 - LAB2 - MM -TD01 - MP |
| Fronteras                                                                                  |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| ¿Que se estudia?                                                                           |                                                | ¿Qué no se estudia?                                                                                     |  |                        |                               |
| Motor eléctrico que transmite potencia mecánica para operación de mecanizado de materiales |                                                | Sistema de bombeo de líquido refrigerante y lubricación. Conexión por poleas a la transmisión mecánica. |  |                        |                               |
| Interfases                                                                                 |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Entradas: energía eléctrica con potencia de 11Kw                                           |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Salidas: 15HP de potencia con un torque de 61,13 lb. Ft                                    |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Características técnicas                                                                   |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Potencia: (15 HP) 11kw                                                                     |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Frecuencia: 60Hz                                                                           |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| rpm: 1400 - 2800                                                                           |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Voltaje: 220 v                                                                             |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Polos: 4                                                                                   |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Torque: 61,13 lb.ft                                                                        |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Motor trifásico.                                                                           |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Características operativas                                                                 |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Corriente (AC): 24 A                                                                       |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |
| Frecuencia: 60 Hz                                                                          |                                                |                                                                                                         |  |                        |                               |







|                                                                                                                                                                                                       |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Temperatura:</b> 85 ° C a 95 °C<br><b>Rotación del eje:</b> 1727 rpm                                                                                                                               |  |
| <b>Condiciones ambientales</b>                                                                                                                                                                        |  |
| <b>Temperatura ambiente:</b><br><b>Humedad relativa:</b><br>Presencia constante de polvo y partículas contaminantes como virutas provenientes del mecanizado de los materiales.                       |  |
| <b>Funciones principales</b>                                                                                                                                                                          |  |
| Proporcionar una potencia de 15HP para generar la fuerza necesaria para girar el eje del torno a velocidades variables                                                                                |  |
| <b>Funciones Secundarias</b>                                                                                                                                                                          |  |
| Accionamiento de sistemas secundarios como la bomba de refrigeración, mecanismo automático de los ejes, sistemas de frenado de emergencia y regulación de la velocidad en el eje principal del torno. |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                               |                                              |                                                                                                                                                                            |                        |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
|  UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS<br>TUNJA                                                                                                                                            |                                              | Facultad Ingeniería<br>Mecánica                                                                                                                                            | Descripción del activo |                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                               |                                              |                                                                                                                                                                            | Torno DMTG CdS 6250B   |                               |
| Planta                                                                                                                                                                                                                                                        | Laboratorios de procesos de manufactura      |                                                                                                                                                                            | Fecha                  | Noviembre 2024                |
| Objeto de estudios                                                                                                                                                                                                                                            | Transmisión mecánica<br>Torno DMTG CdS 6250B |                                                                                                                                                                            | Código del activo      | USTA04 - LAB2 - MM - TD01     |
|                                                                                                                                                                                                                                                               |                                              |                                                                                                                                                                            | Código del sistema     | USTA04 - LAB2 - MM -TD01 - TM |
| Fronteras                                                                                                                                                                                                                                                     |                                              |                                                                                                                                                                            |                        |                               |
| ¿Que se estudia?                                                                                                                                                                                                                                              |                                              | Qué no se estudia                                                                                                                                                          |                        |                               |
| Trasmisión manual de la caja de cambios                                                                                                                                                                                                                       |                                              | Conexión con el motor principal, sistema de operación y mando de la caja, bomba de lubricación tipo piñones, embrague del husillo de bobinas eléctricas alimentadas a 24 v |                        |                               |
| Interfases                                                                                                                                                                                                                                                    |                                              |                                                                                                                                                                            |                        |                               |
| <b>Entradas:</b> alimentación directamente del motor por medio de correas y poleas con una relación de 1 a 2 que alimenta el husillo principal del torno, por medio de engranaje de la caja Norton nos da todas las gamas de velocidad 320 a 2600 rpm (15 km) |                                              |                                                                                                                                                                            |                        |                               |
| <b>Salidas:</b> potencia de salida variante de acuerdo a la velocidad del husillo anexar calculo                                                                                                                                                              |                                              |                                                                                                                                                                            |                        |                               |
| Características técnicas                                                                                                                                                                                                                                      |                                              |                                                                                                                                                                            |                        |                               |
| Relativo al cambio<br>Potencia inversa a la velocidad                                                                                                                                                                                                         |                                              |                                                                                                                                                                            |                        |                               |
| Características operativas                                                                                                                                                                                                                                    |                                              |                                                                                                                                                                            |                        |                               |
| Aceite hidráulico iso 68 sintético<br>Aceite está funcionando por medio de una bomba de piñones que van dosificando por                                                                                                                                       |                                              |                                                                                                                                                                            |                        |                               |





|                                                                                                           |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| un sistema de canales por goteo el volumen ideal para cada engranaje                                      |  |
| <b>Condiciones ambientales</b>                                                                            |  |
| <b>Temperatura:</b> 20°C en sistemas mecánicos, controlado con la lubricación<br><b>Humidad relativa:</b> |  |
| <b>Funciones principales</b>                                                                              |  |
| Controlar y regular las velocidades de giro de la pieza para su mecanizado.                               |  |
| <b>Funciones Secundarias</b>                                                                              |  |
| Adaptación a diferentes opresiones de mecanizado de piezas.                                               |  |

|                                                                                                                                                                       |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               |                           |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|                                                                                      |                                         | <b>Facultad Ingeniería Mecánica</b>                                                                                                                                                                |  | <b>Descripción del activo</b> |                           |                               |
|                                                                                                                                                                       |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  | <b>Torno DMTG CdS 6250B</b>   |                           |                               |
| <b>Planta</b>                                                                                                                                                         | Laboratorios de procesos de manufactura |                                                                                                                                                                                                    |  | <b>Fecha</b>                  | Noviembre 2024            |                               |
| <b>Objeto de estudios</b>                                                                                                                                             |                                         | Sistema automático Torno DMTG Cds 6250B                                                                                                                                                            |  |                               | <b>Código del activo</b>  | USTA04 - LAB2 - MM - TD01     |
|                                                                                                                                                                       |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               | <b>Código del sistema</b> | USTA04 - LAB2 - MM -TD01 - TM |
|                                                                                                                                                                       |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               |                           |                               |
| <b>Fronteras</b>                                                                                                                                                      |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               |                           |                               |
| <b>¿Que se estudia?</b>                                                                                                                                               |                                         | <b>¿Qué no se estudia?</b>                                                                                                                                                                         |  |                               |                           |                               |
| Delantal o módulos de los carros                                                                                                                                      |                                         | Sistema de lubricación<br>Husillo hexagonal que mueve piñones para aclimatar los avances transversales y longitudinales de los carros mecánica y automáticamente con un embrague electromagnético. |  |                               |                           |                               |
| <b>Interfases</b>                                                                                                                                                     |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               |                           |                               |
| <b>Entradas:</b> embrague 250 w 1360 rpm, Avance depende a la alimentación y al material                                                                              |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               |                           |                               |
| <b>Salidas:</b> velocidad de avance según el material longitudinal y trasversal de los carros a                                                                       |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               |                           |                               |
| <b>Características técnicas</b>                                                                                                                                       |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               |                           |                               |
| Botón de arranque el cual se activa solo el encendido de la maquina con los dos botones de hongos en posición afuera                                                  |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               |                           |                               |
| Activación de lubricación por medio de un bombín (Bomba activada manualmente) para lubricar las bancadas los prismas y cada uno de los elementos mecánicos de la caja |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               |                           |                               |
| Husillo superior referencia 1500mm va acoplado desde la caja de avances hasta el                                                                                      |                                         |                                                                                                                                                                                                    |  |                               |                           |                               |







|                                                                                             |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| delantal por medio de una tuerca en bronce seccionada                                       |  |
| <b>Características operativas</b>                                                           |  |
| Avances rápidos y avances automáticos lentos:                                               |  |
| Avances rápidos para acercamientos rápidos de la pieza a la herramienta de corte (buril)    |  |
| Desactivación del volante por el avance rápido del sistema longitudinal                     |  |
| Transversal el volante permite desarticular el mango para eliminar contacto con el operario |  |
| Aceite lubricante: ISO 68                                                                   |  |
| <b>Condiciones ambientales</b>                                                              |  |
| Temperatura: 45 ° C sistema lubricado por bombeo manual                                     |  |

|                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Funciones principales</b>                                                                                                  |
| Realizar el mecanizado de piezas de forma automática, reduciendo la intervención de un operario manual durante el mecanizado. |

|                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Funciones Secundarias</b>                                              |
| Controla el avance de las herramientas<br>Acabados superficiales parejos. |

**Anexo H:** Hoja de información AMEF y Hoja de decisión RCM

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1--YqZ\\_fXzurDQYEqmEOKIOYWZjScrCJz/edit?usp=sharing&ouid=110488701238031429863&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1--YqZ_fXzurDQYEqmEOKIOYWZjScrCJz/edit?usp=sharing&ouid=110488701238031429863&rtpof=true&sd=true)