

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA MODERNA DE MANTENIMIENTO (RCM)
APLICADO A LA SUBESTACIÓN I.U PASCUAL BRAVO BASADOS EN LA NORMA
ISO 14224**

**JHORMAN MIRA GOMEZ
LUIS ALBERTO MOSQUERA HURTADO
ALEJANDRO MUÑOZ JARAMILLO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2024**

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA MODERNA DE MANTENIMIENTO (RCM)
APLICADO A LA SUBESTACIÓN I.U PASCUAL BRAVO BASADOS EN LA NORMA
ISO 14224**

JHORMAN MIRA GOMEZ

LUIS ALBERTO MOSQUERA HURTADO

ALEJANDRO MUÑOZ JARAMILLO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Asesores

William Orozco Murillo

Magister en Gestión Energética Industrial

Andrés Felipe Ramírez Barrera

Bioingeniero

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELÉCTRICA

MEDELLÍN

2024

Contenido

Introducción	5
1. Planteamiento del Problema.....	6
1.1 Descripción	6
1.2 Formulación	8
2. Justificación.....	9
3. Objetivos	10
3.1 Objetivo General	10
3.2 Objetivos Específicos.....	10
4. Referentes Teóricas	11
4.1 Subestaciones Eléctricas	11
4.1.1 Subestación de Maniobra	11
4.1.2 Subestación de Transformación	11
4.1.3 Tipos de Subestaciones	11
4.2 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).	12
4.2.1. Según la norma SAE JA1011, las 7 Preguntas Básicas Para que un Proceso sea Considerado RCM son:.....	13
4.3 Taxonomía.....	14
5. Descripción Técnica del Proyecto.....	16
6. Resultados de la Propuesta.....	19
6.1 Elementos Característicos de una Subestación Eléctrica	19
6.1.1 Transformadores de Potencia Eléctrica.....	19
6.1.1.2 Partes Características de los Transformadores.....	19
6.1.2 Aparamenta de Maniobra y Protección.....	22
6.2 Análisis Taxonómico	25
6.3 Análisis Operativo.....	26

6.4 Formato de Mantenimiento RCM	30
6.4.1 Tablas Severidad y Frecuencia.....	30
6.4.2 Formatos de Equipos.....	31
7. Metodología	32
7.1 Tipo de Proyecto	32
7.2 Método	32
7.3 Instrumentos de Recolección de Información.	33
7.3.1. Fuentes Primarias.	33
7.3.2. Fuentes Secundarias.	33
8. Recursos	34
8.1 Humanos	34
8.2 Técnicos	34
8.3 Presupuesto	35
9. Cronograma de actividades	36
10. Conclusiones	37
11. Recomendaciones.....	39
12. Referencias.....	40

Introducción

El mantenimiento a las instalaciones eléctricas se encuentra avanzando y evolucionando constantemente con el fin de garantizar una mayor confiabilidad, disponibilidad y eficiencia operativa. Teniendo en cuenta que el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) ha demostrado ser una metodología clave para la gestión efectiva de activos, este mantenimiento RCM representa un enfoque moderno que integra la innovación tecnológica y un análisis detallado de los datos de fallas para optimizar la toma de decisiones en el mantenimiento. Este trabajo propone un diseño moderno de un plan de mantenimiento basado en el RCM aplicando la norma ISO 14224. Esta norma establece las pautas para la recolección y el intercambio de datos sobre confiabilidad y mantenimiento en la industria, lo que facilita la gestión estructural y eficiente de la información de los activos. Con esta propuesta de mantenimiento se busca mejorar la gestión de la infraestructura eléctrica, incrementando la confiabilidad de sus sistemas y reduciendo los costos asociados a fallos inesperados o a paradas no programadas.

1. Planteamiento del Problema

1.1 Descripción

El mantenimiento convencional a menudo se basa en intervalos de tiempo predefinidos o en recuentos de horas de funcionamiento para llevar a cabo inspecciones, reparaciones y reemplazos de componentes. Este enfoque suele ser costoso y a menudo conlleva un alto riesgo de fallas inesperadas entre los ciclos de mantenimiento programados. Además, puede resultar en la sustitución prematura de componentes que aún están en buenas condiciones de funcionamiento.

Teniendo en cuenta que el mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) se centra en identificar las funciones críticas de los activos, evaluar los modos de falla potenciales y priorizar las acciones de mantenimiento para mitigar los riesgos asociados con estas fallas. RCM utiliza datos de rendimiento históricos, análisis de riesgos y estrategias de mantenimiento predictivo para optimizar la confiabilidad, la disponibilidad y la vida útil de los activos.

El problema planteado se centra en determinar por qué deberíamos optar por un enfoque de mantenimiento RCM en lugar de uno convencional para una subestación eléctrica. Esto implica evaluar los beneficios potenciales en términos de reducción de costos, mejora de la confiabilidad del sistema, minimización del tiempo de inactividad y maximización de la vida útil de los equipos. Considerando implementar efectivamente un enfoque RCM a los activos con mayor criticidad en la subestación,

teniendo en cuenta las características del sistema eléctrico, los riesgos operativos y las necesidades del mantenimiento.

Con esta propuesta moderna de mantenimiento basada en la confiabilidad buscamos brindarle a la subestación de la Institución Universitaria Pascual Bravo los siguientes beneficios, mejora en la confiabilidad y disponibilidad de sus activos, reducción en sus costos operativos, la optimización de los recursos y la optimización del tiempo de trabajo del personal de mantenimiento, incremento de la vida útil de los equipos, mejorar la seguridad tanto de los operadores como la infraestructura, mejor planeación y programación del mantenimiento, detección temprana de fallas, mejora en la documentación y trazabilidad, cumplimiento normativo y reducción en riesgos, permitiendo a la subestación operar de una manera más eficiente, con menor riesgo y menores costos, mejorando no solo la operatividad, sino que también aumentando la seguridad y la optimización de los recursos.

1.2 Formulación

¿Cómo puede el enfoque del mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) maximizar la disponibilidad operativa, minimizar los costos de mantenimiento y reducir el riesgo de fallas no planificadas en comparación con un mantenimiento convencional en una subestación eléctrica?

2. Justificación

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es preferible al mantenimiento convencional porque se enfoca en la confiabilidad operativa de los equipos. Prioriza equipos críticos, analiza modos de falla y sus consecuencias, optimiza estrategias de mantenimiento, reduce costos y promueve la mejora continua. Esto asegura una operación más segura, confiable y rentable de los sistemas industriales.

La aplicación de esta metodología RCM utilizando un modelo taxonómico representa un avance significativo en la gestión del mantenimiento eléctrico, ofreciendo ventajas claras en términos de predicción, eficiencia, reducción de costos, toma de decisiones, seguridad, integración y adaptabilidad. Estas mejoras no solo optimizan la operación de la subestación, sino que también contribuyen a una gestión más sostenible y rentable de los activos eléctricos.

La implementación de esta metodología le permite a la subestación de la Institución Universitaria Pascual Bravo, garantizar la continuidad del servicio eléctrico, la reducción de tiempos de inactividad no planificados, la optimización de costos operativos, maximizar la vida útil de los equipos, el incremento en la confiabilidad y la seguridad operativa, la facilidad de la toma de decisiones basada en datos, mejora en la planificación y el uso de los recursos, reduce los riesgos operacionales y brinda una mejora continua en el proceso de mantenimiento.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Desarrollar e implementar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para los equipos de alta criticidad en la subestación de la I.U Pascual Bravo (Transformadores, interruptores y seccionadores), mediante la creación de un modelo taxonómico que identifique estos equipos y sus partes, estableciendo estrategias de mantenimiento con el fin de garantizar la continuidad operativa y la confiabilidad del suministro eléctrico.

3.2 Objetivos Específicos

Realizar un análisis exhaustivo de los equipos seleccionados (Transformador e interruptores) de la subestación de la I.U Pascual Bravo, estos cuentan con alto nivel de criticidad, considerando su impacto en la operación y seguridad del sistema eléctrico.

Desarrollar un esquema de clasificación taxonómica que permita categorizar las partes de los equipos a trabajar, considerando sus características técnicas, función y nivel de importancia para la operación.

Establecer criterios claros y objetivos para la selección de estrategias de mantenimiento RCM que se aplicarán a los equipos con alto nivel de criticidad, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos y la complejidad de las tareas de mantenimiento.

4. Referentes Teóricas

4.1 Subestaciones Eléctricas

Una subestación eléctrica es el conjunto, situado en un mismo lugar, de la aparamenta eléctrica y de los edificios necesarios para realizar alguna de las siguientes funciones: transformación de la tensión, de la frecuencia, del número de fases, rectificación, compensación del factor de potencia y conexión de dos o más circuitos (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 46).

En general, se distinguen los siguientes tipos de subestaciones:

4.1.1 Subestación de Maniobra

Es la destinada a la conexión entre dos o más circuitos y sus maniobras (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 46).

4.1.2 Subestación de Transformación

Es la destinada a la transformación de energía eléctrica mediante uno o más transformadores cuyos secundarios se emplean en la alimentación de otras subestaciones o centros de transformación (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 46).

4.1.3 Tipos de Subestaciones

Las subestaciones pueden ser de distintos tipos según la característica que se analice. En la *Figura 1* se indica posible clasificación (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 46).

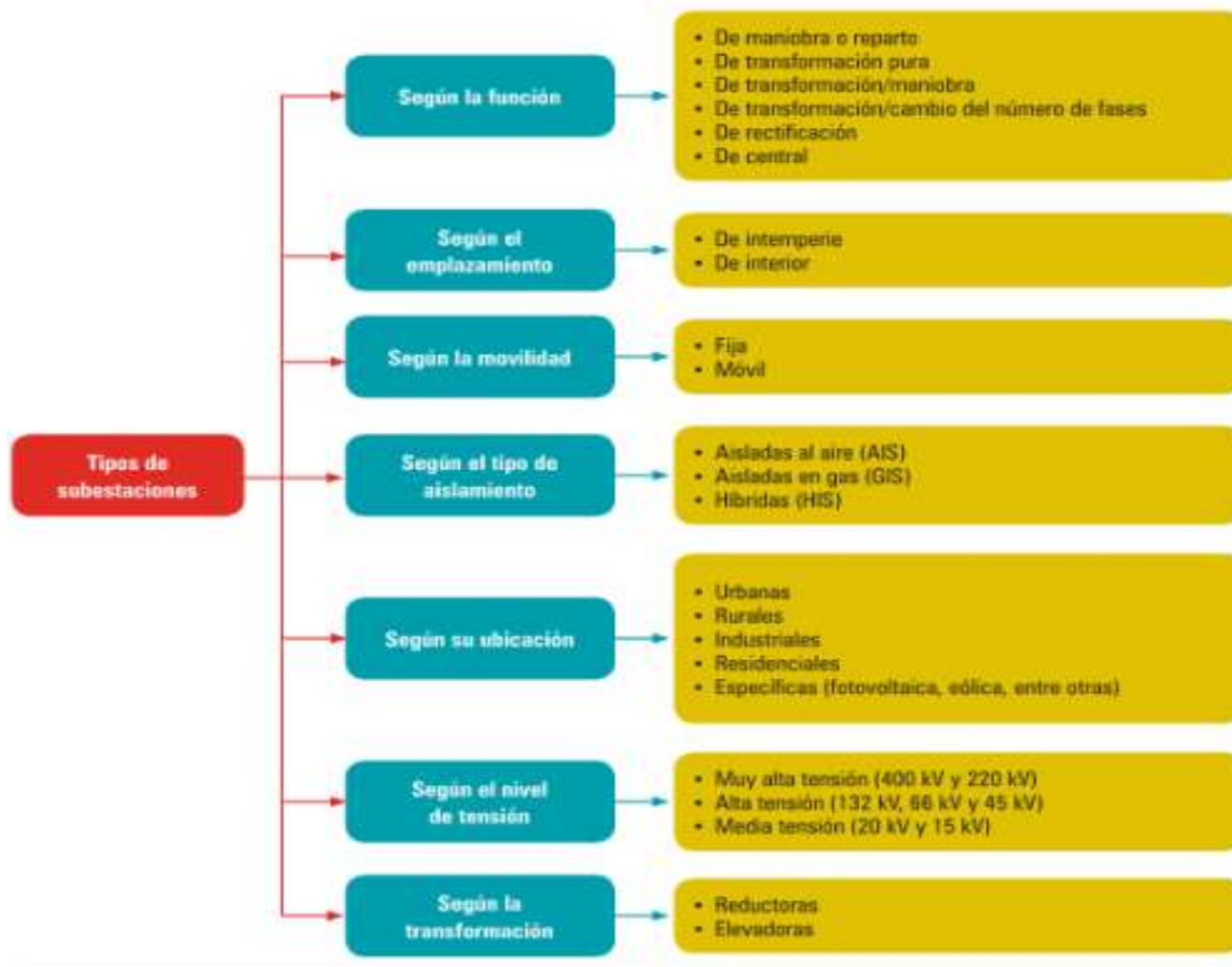


Figura 1. Tipos de subestaciones

Fuente. (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 46).

4.2 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

Es un proceso empleado para determinar los requisitos de mantenimiento de cualquier activo físico dentro de su contexto operacional. El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metalmecánica, etc. (Ramírez, 2022).

La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM (Ramírez, 2022).

4.2.1. Según la norma SAE JA1011, las 7 Preguntas Básicas Para que un Proceso sea

Considerado RCM son:

¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?

¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?

¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?

¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?

¿Cuál es la consecuencia de cada falla?

¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?

¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada? (Ramírez, 2022).

4.2.2 Tipos de Mantenimiento

Tradicionalmente, se consideraba que existían tres tipos de mantenimiento: Predictivo, preventivo, y correctivo. Sin embargo, existen cuatro tipos de mantenimiento:

Mantenimiento predictivo, también llamado mantenimiento a condición.

Mantenimiento preventivo, que puede ser de dos tipos: sustitución o reacondicionamiento.

Mantenimiento correctivo, también llamado trabajo a la falla.

Mantenimiento detectivo o “búsqueda de fallas”: Análisis Causa Raíz (Ramírez, 2022).

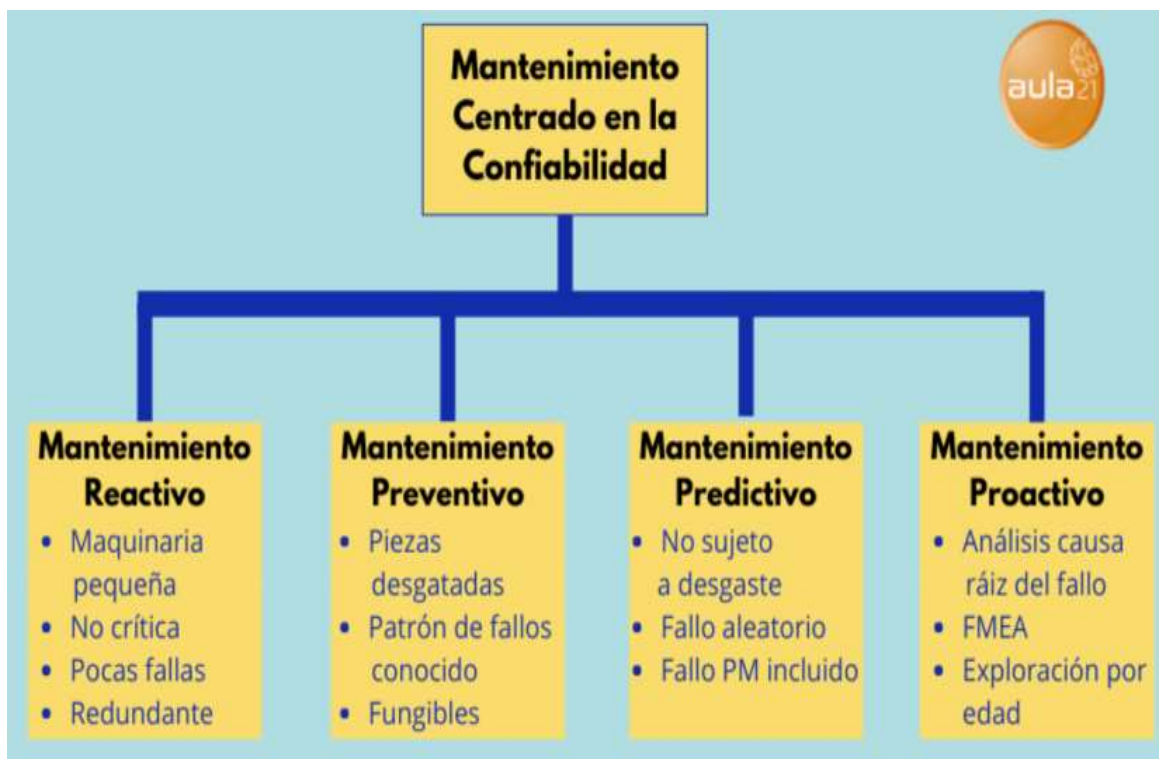


Figura 2. Conceptos del RCM
Fuente. (Ramírez, 2022).

4.3 Taxonomía

La norma ISO 14224 define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.), la taxonomía es representada en forma de pirámide como se observa en la *Figura 2* y representa la ubicación del equipo o activo dentro de la organización. Para realizar el RCM, se puede utilizar como insumo la taxonomía, el diagrama de límites de equipo *Figura 4* y la subdivisión de equipo que recomienda esta norma (Campo López, 2019, pág. 53-54).

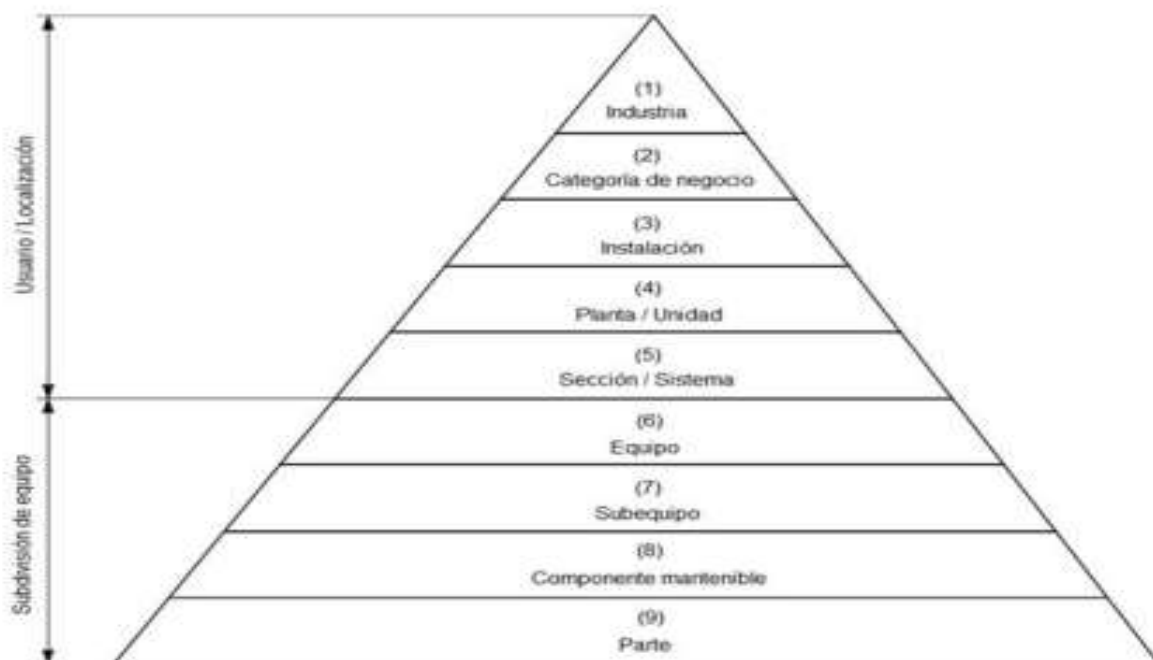


Figura 3. Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos

Fuente. (Campo López, 2019, pág. 54).

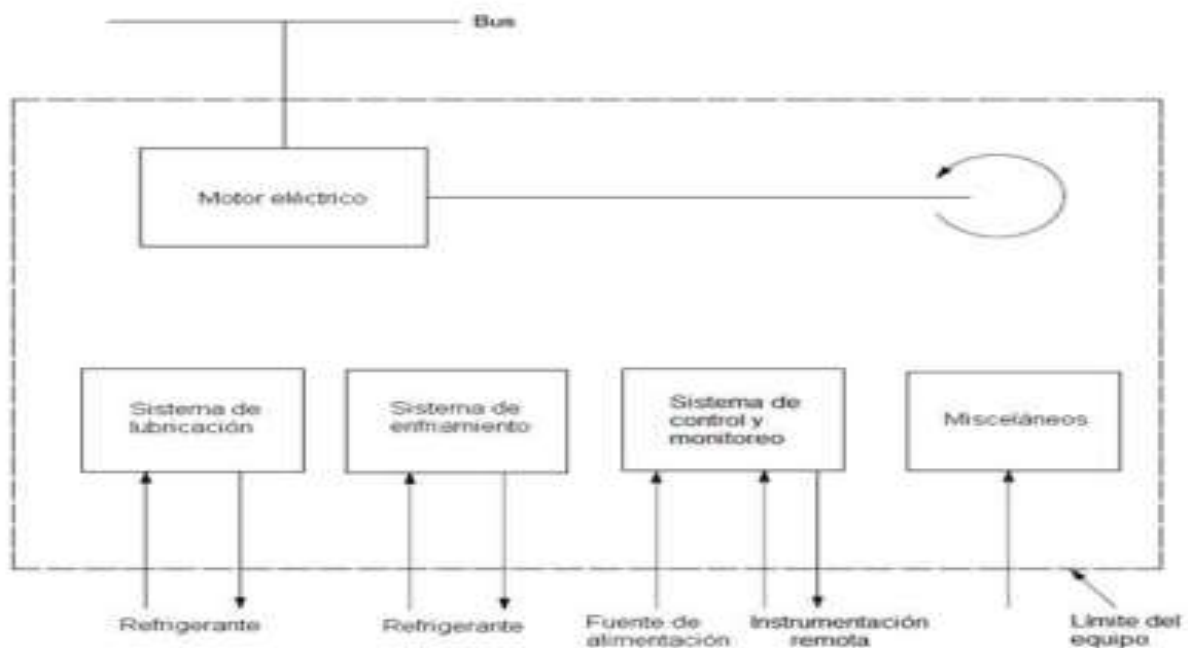


Figura 4. Diagrama de límite de equipo para un motor eléctrico

Fuente. (Campo López, 2019, pág. 54).

5. Descripción Técnica del Proyecto

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.). El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos.

Es utilizado con frecuencia no solo para identificar tareas de mantenimiento, también se utiliza como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento o detectar áreas de oportunidad de mejora en el mantenimiento de equipos complejos. La norma SAE JA1011 establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para que pueda definirse como RCM; especifica que cualquier proceso de RCM debe asegurarse de responder satisfactoriamente en secuencia las preguntas que se muestran en la *Figura 4*.



Figura 5. Proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Fuente. (Campo López, 2019, pág. 52).

En este trabajo buscamos responder de manera adecuada todas las preguntas del proceso de RCM, para que puedan ser aplicadas a la subestación de la institución universitaria Pascual Bravo a los equipos con mayor criticidad dentro de este sistema, para esto se debe contar con toda la información del activo y debe tomarse decisiones con base en esta información. Se propone una metodología RCM ampliada que además de incluir los pasos que marca la norma SAE JA1011, incluye pasos adicionales tales como: recopilación de información relevante para el proceso, la utilización de la norma ISO 14224 para definir y uniformar la información del equipo el proceso que se va a desarrollar se ve ilustrado en la *Figura 5*.

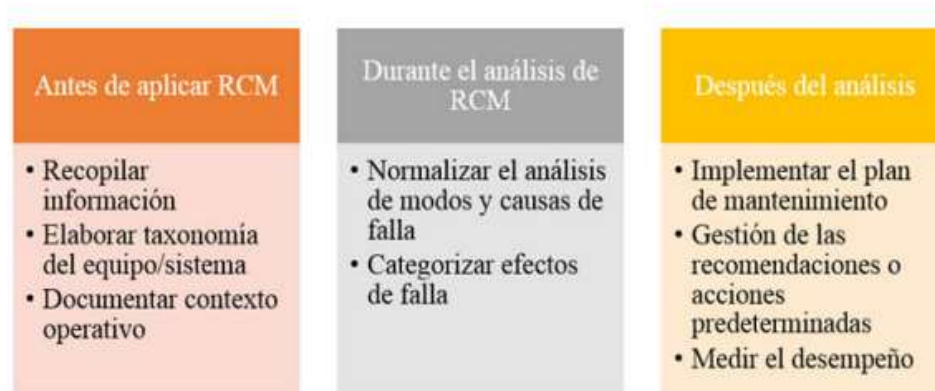


Figura 6. Pasos adicionales propuestos para la metodología de RCM.
Fuente. (Campo López, 2019, pág. 53).

6. Resultados de la Propuesta

6.1 Elementos Característicos de una Subestación Eléctrica

Empezamos conociendo y describiendo los valores característicos de los distintos equipos que componen una subestación eléctrica (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 76).

6.1.1 Transformadores de Potencia Eléctrica

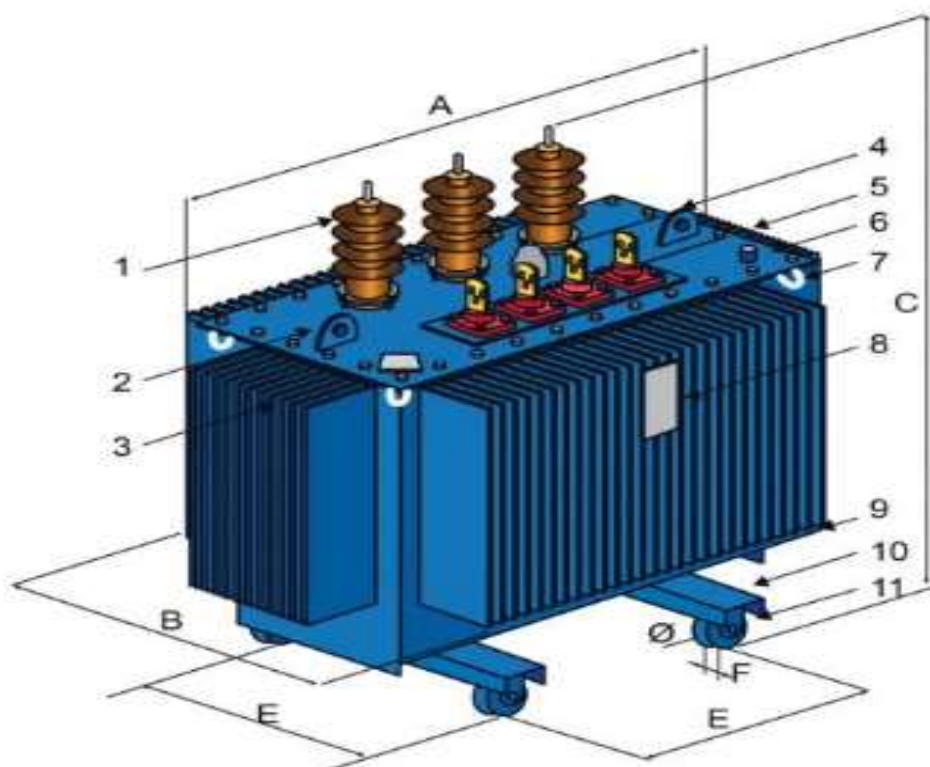
Se entiende como transformador de potencia el que transforma la tensión de AT/AT o AT/MT. y como transformador de distribución el que transforma la tensión de MT/BT.

Los transformadores y autotransformadores más utilizados en subestaciones eléctricas son los de baño en aceite con depósito de expansión. Para servicios auxiliares y de reserva se utilizan también los de aislamiento sólido a base de resinas (secos). (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 77).

En la subestación de la Institución ubicada en el bloque 6 nos encontramos que en la subestación contamos con tres transformadores el transformador principal en es un transformador seco encapsulado en resina epoxica *Figura 6*, un transformador secundario seco clase H *Figura 7*, y un transformador de distribución trifásico *Figura 8*.

6.1.1.2 Partes Características de los Transformadores

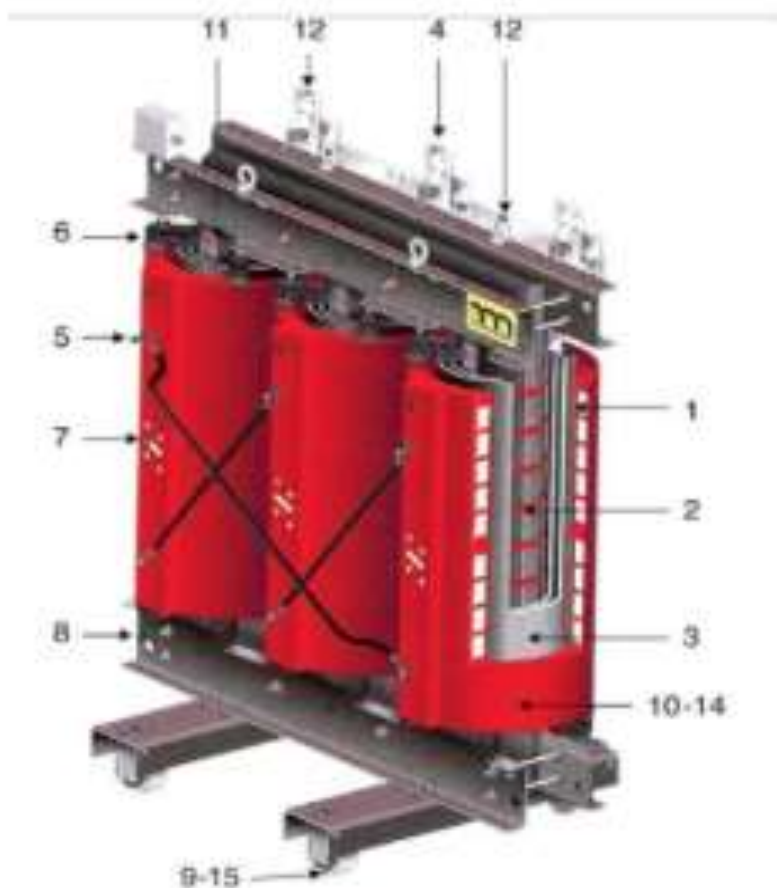
Las principales características de los transformadores que entraremos a analizar pueden visualizarse en las *Figuras 9 y 10*.



- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1. Bobinas de AT. | 6. Alojamiento del termómetro. |
| 2. Cáncamos de elevación. | 7. Cáncamos de arrastre. |
| 3. Dispositivo de llenado. | 8. Placa de características. |
| 4. Regulador de tensión en vacío. | 9. Toma de tierra. |
| | 10. Base del transformador. |

Figura 7. Partes de un transformador.

Fuente. (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 81).



- | | |
|--|---|
| 1. Devanados de MT. | 9. Chasis. |
| 2. Núcleo con tres columnas de chapa magnética. | 10. Transformador de reducido mantenimiento gracias al aislante de resina de epoxi. |
| 3. Devanados de BT. | 11. Sensor PT100 o PTC para controlar la temperatura de funcionamiento. |
| 4. Terminales de conexión de BT. | 12. Cáncamos de elevación. |
| 5. Terminales de conexión de MT. | 13. Preequipamiento opcional para unir la conexión de BT al sistema de canalización eléctrica prefabricada. |
| 6. Fijación de la bobina con silentblocks (antivibraciones). | 14. Material aislante de clase F. |
| 7. Tomas en el lado de MT para adaptar la tensión del primario a la de la red. | 15. Ruedas bidireccionales. |
| 8. Estructura, armaduras y chasis. | |

Figura 8. Transformador de tipo seco.
Fuente. (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 81).

6.1.2 Aparamenta de Maniobra y Protección

La aparamenta es un término general aplicable a los aparatos de conexión y a su combinación con aparatos de mando de protección y de regulación asociados a ella, así como a los conjuntos de estos aparatos, con sus conexiones, accesorios, envolventes y soportes correspondientes.

La aparamenta de maniobra es aquella que abre y cierra circuitos eléctricos.

La aparamenta de protección es la que elimina los defectos que se pueden producir en la red aguas abajo (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 158).

6.1.2.1 Elementos de Mando y Protección

Los principales elementos de mando y protección que se analizan en este apartado son los que se suelen utilizar en las subestaciones eléctricas, principalmente en la subestación que estamos analizando que es la subestación de la Institución Universitaria Pascual Bravo. Analizamos los siguientes elementos de maniobra y protección (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 158).

Interruptor Automático. Es un aparato mecánico de conexión capaz de establecer, de soportar y de interrumpir corrientes en las condiciones normales del circuito y eventualmente otras condiciones específicas de sobrecarga en servicio, así como de soportar durante un tiempo determinado corrientes en condiciones anormales tales como las de cortocircuito. También se le conoce como interruptor automático de potencia y como disyuntor (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 158).

Fusibles Los fusibles son elementos destinados a interrumpir corrientes de cortocircuito e incluso a limitarlas en su valor (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 177).

Pararrayos. Los pararrayos protegen aguas abajo limitando las sobretensiones de origen atmosférico y de maniobra a unos valores adecuados.

El objetivo que se pretende conseguir con la utilización de pararrayos es dar el mayor margen de protección contra sobretensiones al equipo que se protege. En un equipo protegido adecuadamente por pararrayos, las sobretensiones nunca podrán alcanzar valores superiores a aquellos que el equipo puede soportar (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 177).

Aisladores Los aisladores no permiten que la electricidad pase de los conductores a los apoyos, y de estos a tierra. Se montan con varios elementos formando las llamadas cadenas de aisladores (de amarre o de suspensión). Pueden estar hechos de materiales cerámicos (porcelanas) de vidrio, de aislamiento compuesto de goma de silicona, de polímeros o de otro material de características adecuadas a su función (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 178).

Las protecciones de las cadenas de aisladores están diseñadas para:

- a) Reducir al máximo el efecto corona y los niveles de radio interferencia, asegurando la repartición del gradiente de potencial a lo largo de la cadena.
- b) Soporta sin daños graves los arcos de potencia que se generan en las cadenas de aisladores, por esta razón se fabrican de acero galvanizado en caliente, en general de redondos macizos (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 178-179).

Sistema de puesta a tierra. La puesta a tierra se establece con el objeto de limitar la tensión que, con respecto a tierra, pueden presentar en un momento dado las masas metálicas. La instalación de puesta a tierra debe conseguir que las personas no queden sometidas a valores no adecuados de las tensiones de paso y contacto. Las subestaciones deben contar con un sistema de puesta a tierra al cual se conectan a todos y cada uno de los elementos de la instalación que requieren ser puestos a tierra para (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 181):

- a) Tener un medio seguro para proteger a las personas que se encuentran dentro o en la proximidad del sistema de tierra o de los equipos conectados a tierra, de los riesgos de una descarga eléctrica debida a condiciones de fallo o por descarga atmosférica.
- b) Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes a tierra ya sean debidas a un fallo a tierra del sistema o a la propia operación de algunos equipos.
- c) Tener un medio seguro para disparar las corrientes eléctricas indeseables a tierra, sin que se exceda los límites de operación de los equipos.
- d) Facilitar la operación de los dispositivos de protección para la eliminación de fallas a tierra.
- e) Tener un medio de descarga y desenergización de equipos antes de proceder a las tareas de mantenimiento.
- f) Dar mayor fiabilidad y seguridad al servicio eléctrico (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 181).

6.2 Análisis Taxonómico

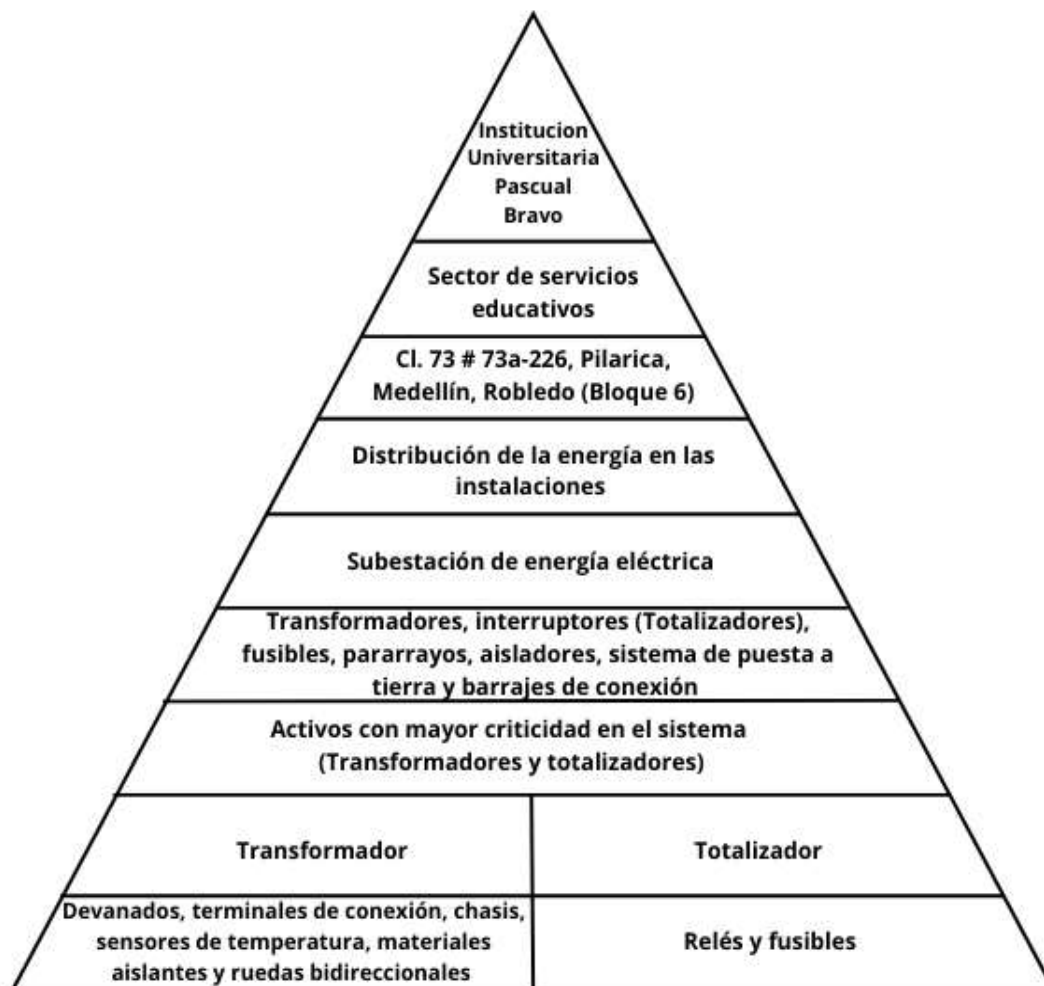


Figura 9. Modelo taxonómico.
Fuente. Propia.

6.3 Análisis Operativo

El mantenimiento RCM su implementación es dirigida a los activos con mayor criticidad en el sistema, en una subestación eléctrica de media tensión, los equipos de mayor criticidad son aquellos en los cuales la falla podría afectar significativamente la operación y la seguridad de la instalación, así como la calidad del suministro eléctrico. Los principales equipos críticos en este tipo de subestaciones son los transformadores y los totalizadores.

El transformador convierte la tensión de la energía eléctrica de niveles altos (alta tensión) a niveles más bajos de media tensión (y viceversa) para que pueda ser distribuida de manera segura, si un transformador falla, puede interrumpir el suministro eléctrico a una gran cantidad de usuarios y provocar costosos tiempos de inactividad. Las reparaciones de transformadores suelen ser complicadas y pueden requerir tiempos largos (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 77).

Un interruptor o disyuntor protege la subestación de fallas eléctricas (como cortocircuitos) desconectando rápidamente los circuitos afectados. Un interruptor defectuoso o que no se dispare en caso de una falla puede poner en riesgo toda la subestación, no solo por la falta de protección ante fallas, sino también porque podría generar incendios o daños a otros equipos (TRASHORRAS MONTECELOS, 2015, pág. 158).

Teniendo esto presente se entra a analizar los transformadores y totalizadores dentro de la subestación y se procede a analizar.

Interruptores



Figura 13. Totalizador principal.
Fuente. propia.



Figura 14. Totalizadores de distribución.
Fuente. propia.

6.4 Formato de Mantenimiento RCM

Analizando los equipos de alta criticidad que se encuentran en la subestación, procedemos a realizar su respectivo plan de mantenimiento basado en la confiabilidad anexando su respectiva plantilla.

6.4.1 Tablas Severidad y Frecuencia

Aspectos importantes que se deben tener en cuenta para establecer una buena metodología en el mantenimiento RCM de los equipos a tratar.

Severidad		
Gravedad	Criterio	Valor
Muy Baja	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Figura 15. Tabla de severidad.

Fuente. propia.

Frecuencia		
Frecuencia	Criterio	Valor
Muy Baja	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10

Figura 16. Tabla de frecuencia.

Fuente. propia.

6.4.2 Formatos de Equipos

El formato de los equipos está expresado en Excel el cual se llaman.

- a) Formato_RCM_Interruptores
- b) Formato_RCM_Transformadores

7. Metodología

7.1 Tipo de Proyecto

Proyecto de mejora de la confiabilidad del sistema eléctrico, con un enfoque específico en el diseño e implementación de estrategias de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para equipos críticos en una subestación eléctrica.

7.2 Método

- Conocer el modelo taxonómico de los equipos eléctricos pertenecientes a la subestación de la I.U Pascual Bravo.
- Seleccionar los equipos de mayor criticidad en una subestación eléctrica de 13.2KV para este caso son transformadores, interruptores y seccionadores.
- Realizar un modelo taxonómico de los equipos seleccionados conociendo a detalle cada uno de los elementos internos que componen el equipo.
- Implementar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a los equipos seleccionados.

7.3 Instrumentos de Recolección de Información.

7.3.1. Fuentes Primarias.

- -"Subestaciones eléctricas" de Jesus Trashorras Montecelos.
- "Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos" Científica Instituto Politécnico Nacional México.
- "MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)" de Ing. Andres Felipe Ramirez Barrera, Esp, Msc.

7.3.2. Fuentes Secundarias.

- Artículos de revistas.
- Informes de investigación y estudios de casos realizados por consultoras, instituciones académicas y organismos gubernamentales que analizan la aplicación y efectividad de la taxonomía y el RCM en diferentes contextos y sectores industriales.
- Libros de texto y manuales que abordan la gestión de activos, mantenimiento de equipos, y estrategias de fiabilidad, incluyendo secciones dedicadas a la taxonomía y el RCM como parte de un enfoque más amplio de gestión de mantenimiento.
- Páginas web y recursos en línea de organizaciones profesionales y técnicas dedicadas a la ingeniería de mantenimiento, gestión de activos y fiabilidad, donde se comparten informes, guías y otros materiales educativos relacionados con estos temas.

8. Recursos

8.1 Humanos

los involucrados en el proyecto de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) es desarrollado principalmente por estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la universidad del Pascual Bravo, junto con la colaboración de los docentes indicados por la institución, los roles de los docentes en el proyecto son la parte técnica y parte metodológica, ya que con el apoyo técnico se desarrolla un buen entendimiento a la hora de ejecutar el proyecto. Por otro lado, la parte metodológica es necesaria para darle forma al escrito sin ninguna confusión a la hora de aplicar el proyecto.

8.2 Técnicos

para el desarrollo del proyecto de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) los recursos físicos son pocos, ya que el proyecto se basa en el diagnóstico y ejecución del cómo afrontar de la mejor manera los mantenimientos futuros de los activos implicados, como interruptores y transformadores de la subestación de la universidad, para ello se debe contar con un buen equipo de cómputo para visualizar el mantenimiento que se debe realizar, o en su defecto tenerlo físico (hoja física) para mayor comodidad de los ejecutantes de los mantenimientos.

8.3 Presupuesto

Cantidad	Recurso	En dinero	En especie	Total
1	Tiempo asesor (hora)	25.000		25.000
1	Portátil HP Core I5		1.500.000	1.500.000
1	Microsoft office 2016 para hogar y empresa con licencia (wifi)		500.000	500.000
3	Tiempos estudiantes (hora)		20.000	20.000
TOTAL		\$ 25000	\$ 2.020.000	\$ 2.045.000

9. Cronograma de Actividades

ACTIVIDAD	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES			
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Asignación de asesor				
selección del proyecto	semana 1			
introducción a la tematica	semana 2			
recolección de información	semana 4			
visita a la subestación		semana 2		
primer adelanto al proyecto		semana 3		
revisión del proyecto por parte de asesor		semana 4		
segundo adelanto al proyecto			semana 2	
revisión del proyecto por parte de asesor			semana 3	
resultados esperados				semana 2
entrega final				semana 3

10. Conclusiones

- Se desarrolló una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad ampliada tomando como referencia la norma SAE JA1011 y considerando la definición de la taxonomía de equipo con la norma ISO 14224, el análisis de modos y causas de falla con la norma ISO 14224, se realizó la implementación del plan de mantenimiento y la medición del desempeño como pasos en la aplicación de esta metodología.
- Proponer que el primer paso sea recopilar y analizar la información del activo subraya la importancia de tener datos de calidad, lo que garantiza que el usuario entienda completamente el activo antes de comenzar el análisis. Definir el contexto operativo y la taxonomía según la norma ISO 14224 al principio facilita la implementación de la metodología, ya que estos pasos permiten que el usuario conozca los componentes y el entorno operativo antes de definir las funciones. Esto quedó demostrado en el caso de aplicación, donde la información se organizó mientras se iniciaba el análisis. Al establecer el contexto operativo y la taxonomía, los usuarios pueden familiarizarse con el equipo antes de abordar las siete preguntas del RCM.
- Con la implementación de un mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) se reduce el tiempo y aumenta significativamente la efectividad de los mantenimientos que se ejecutan en la subestación ya que se tiene un plan de mantenimiento bien estructurado.
- Con la realización del esquema de mantenimiento en formato Excel se logra obtener un mejor enfoque y una buena explicación para los involucrados en los mantenimientos venideros.

- El equipo de creación del diseño se retroalimenta con la asesoría de los docentes al igual del personal encargado de la operación de la subestación, teniendo así un mejor concepto para el desarrollo del proyecto (RCM).

11. Recomendaciones

- Se recomienda hacer un chequeo periódicamente de la calidad de la energía, con equipos calibrados con el objetivo de tener una trazabilidad del estado de la calidad de la energía de la universidad, y así tener una confiabilidad mayor.
- En un futuro realizar el mismo plan de mantenimiento a los demás equipos que están en la subestación, con el fin de tener el mismo plan detallado y así nivelar el tiempo y efectividad de los mantenimientos.
- Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de los equipos críticos de la subestación, con el fin de detectar posibles fallos o anomalías de manera anticipada. Esto permitiría realizar ajustes o mantenimientos preventivos antes de que ocurran problemas mayores, optimizando el tiempo de operación y mejorando la eficiencia energética de la subestación.

12. Referencias

- Campo López, O. (2019, Enero 19). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1). <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/61458265006.pdf>
- Ramírez, A. F. (2022). *MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)*. TRASHORRAS MONTECELOS, J. (2015). *Subestaciones eléctricas*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Díaz, F., & Freddy. (2017). *Identificación de equipos críticos para el plan de mantenimiento preventivo de la sub estación Chimbote 500 KV*. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3905>
- Martínez Niño, J. L., & Parra, C. (2018). *Análisis de criticidad aplicado a sistemas productivos en la industria procesadora de alimentos, basado en el modelo Semi-Cuantitativo MCR (Matriz de Criticidad por Riesgo)*. INGEMAN. https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Parra-19/publication/358431984_Analisis_de_criticidad_aplicado_a_sistemas_productivos_en_la_industria_procesadora_de_alimentos_basado_en_el_modelo_Semi-Cuantitativo_MCR_Matriz_de_Criticidad_por_Riesgo_Sector_indu
- Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. (2019). *Científica*, 23(1). <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/61458265006.pdf>
- Moubray, J., & Pérez J., C. M. (2004). *MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)*. Asheville, North Carolina, USA. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39763521/RCM2_EXPLICACION-libre.pdf?1446863080=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIntroduccion_a_RCM.pdf&Expires=1717831423&Signature=GVel4yM6JDTSrX-820JTcm~O4wT8aC4M~yZAKTmGTw3YKw5uv9t9HvrRy0QDwbkQ2j3