

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de ingeniería mecánica**



TESÍS DE MAESTRÍA

Definición de la estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad para las subestaciones eléctricas de la Clínica de Occidente de la ciudad de Cali

Presentado por:

Ing. Edison Quintero Mondragón

Director:

Ing. Gonzalo Aguirre

Cali – Colombia julio 2024

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, porque a través de sus esfuerzos, involucraron la educación como pilar en la formación que recibí desde niño; lo mismo aspiro hacer en este momento para con mi hijo, replicar el ejemplo que recibí en la infancia para su proyecto de vida.

A mi esposa por su apoyo y comprensión en todo este tiempo.

Al ingeniero Gonzalo Aguirre por orientar mi trabajo de grado desde su conocimiento y experiencia; como persona y docente, es un ejemplo por seguir.

CONTENIDO

1. CONTENIDO.....	3
1.1. TABLAS.....	4
1.2. ILUSTRACIONES	4
1.3. ANEXOS	7
2. RESUMEN	8
3. INTRODUCCIÓN	9
4. OBJETIVOS.....	10
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
6. JUSTIFICACIÓN	14
7. MARCO TEORÍCO	15
8. METODOLOGÍA	16
9. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	17
9.1. MATRIZ DE CRITICIDAD.....	17
9.2. CONTEXTO OPERACIONAL.....	23
9.2.1. CELDAS, EQUIPOS Y MANIOBRA ELÉCTRICA EN MEDIA TENSIÓN DE LAS TORRES A, B, C Y CIC:	23
9.2.2. SUBESTACIÓN #1 TORRE A – 400KVA:	29
9.2.3. SUBESTACIÓN #5 TORRE A – 500KVA:	31
9.2.4. SUBESTACIÓN #7 TORRE C – 750KVA:	33
9.2.5. SUBESTACIÓN #8 TORRE B – 1200KVA:.....	35
9.3. FUNCIONES PRINCIPALES Y FUNCIONES SECUNDARIAS	37
9.4. FALLAS FUNCIONALES.....	38
9.5. MODOS DE FALLOS (CAUSA RAÍZ).....	41
9.6. FMECA Y ÁRBOL DE DECISIÓN DEL RCM	46
9.7. POLITICAS Y TAREAS DE MANEJO DE CONSECUENCIAS DE FALLAS.....	56
10. IMPLEMENTACIÓN DE LAS RUTINAS DE MANTENIMIENTO EN EL QSYSTEMS	58
11. CONCLUSIONES	62
12. BIBLIOGRAFÍA.....	63

1.1. TABLAS

Tabla 1. Contexto operacional celdas, equipos y maniobra eléctrica en media tensión de las Torres A, B, C y CIC.....	27
Tabla 2. Contexto operacional Subestación #1 Torre A – 400KVA	31
Tabla 3. Contexto operacional Subestación #5 Torre A – 500KVA	33
Tabla 4. Contexto operacional Subestación #7 Torre C – 750KVA	35
Tabla 5. Contexto operacional Subestación #8 Torre B – 1200KVA	37
Tabla 6. Funciones principales y secundarias de los equipos críticos sistema de media tensión Clínica de Occidente	38
Tabla 7. Histórico de averías subestaciones la Clínica de Occidente - QSYSTEMS.....	39
Tabla 8. Fallas funcionales de las funciones principales de los equipos críticos sistema de media tensión Clínica de Occidente	41
Tabla 9. Criticidad modos de fallo seccionador SF6	42
Tabla 10. Criticidad modos de fallo cable monopolar 4/0	43
Tabla 11. Criticidad modos de fallo Celda de protección automática bajo carga.....	44
Tabla 12. Criticidad modos de fallo seccionador SF6.....	44
Tabla 13. Criticidad modos de transformador 13.2KV/208VAC.....	45
Tabla 14. Criticidad modos de Tableros eléctricos de circuitos críticos y vitales	46

1.2. ILUSTRACIONES

Figura 1. Tiempos de paros no programados Clínica de Occidente diciembre 2022.....	11
Figura 2. Categorización del Mantenimiento según ISO 14224:2016	11
Figura 3. Las seis medidas para cero pérdidas.....	12
Figura 4. Las siete preguntas del RCM	12
Figura 5. Caracterización del proceso de mantenimiento Clínica de Occidente	13
Figura 6. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM según revista Predyc.....	16
Figura 7. Criticidad para las subestaciones de la Clínica de Occidente.....	17
Figura 8. Diagrama de flujo de las subestaciones de la Clínica de Occidente.....	17
Figura 9. Taxonomía celdas, equipos eléctricos en media tensión de las Torres A, B, C y CIC.....	18
Figura 10. Taxonomía Subestación #1 Torre A – 400KVA.....	19
Figura 11. Taxonomía Subestación #5 Torre A – 500KVA.....	19
Figura 12. Taxonomía Subestación #7 Torre A – 750KVA.....	20
Figura 13. Taxonomía Subestación #8 Torre B – 1200KVA	20
Figura 14. Criticidad de equipos CELDAS, Y MANIOBRA ELÉCTRICA EN MEDIA TENSIÓN DE TORRE A, B, C y CIC	21
Figura 15. Criticidad de equipos subestaciones críticas Clínica de Occidente	22
Figura 16. Matriz de criticidad ítems mantenibles subestaciones críticas Clínica de Occidente.....	22
Figura 17. Diagrama unifilar celdas, equipos y maniobra eléctrica en media tensión de las Torres A, B, C y CIC	24
Figura 18. Reconector trifásico	28
Figura 19. Transferencia de media tensión.....	28
Figura 20. Celda de protección con interruptor automático.....	28
Figura 21. Tren de celdas Torre A y Torre B	28
Figura 22. Tren de celdas en SF6 Torre A, Torre C y Centro del cáncer.....	29
Figura 23. Tren de celdas en SF6 Torre A.....	29
Figura 24. Diagrama unifilar subestación piso 1 – Torre A.....	30
Figura 25. Subestación piso 1 – Torre A	30
Figura 26. Subestación piso 1 – Torre A	30
Figura 27. Subestación sótano 1 – Torre A.....	32
Figura 28. Diagrama unifilar sótano 1 – Torre A	32
Figura 29. Circuitos eléctricos subestación sótano 1 – Torre A.....	32
Figura 30. Diagrama subestación Torre C	34
Figura 31. Subestación Torre C	34
Figura 32. Subestación Torre B – Clínica Torre B	36
Figura 33. Matriz de criticidad UNE-EN 60812 (Análisis RCA).....	41
Figura 34. Análisis FMECA software IRCM630.....	47
Figura 35. Árbol lógico de decisión RCM – Moubray, 2004	47
Figura 36. Tareas RCM para el cableado Monopolar CDO.....	48
Figura 37. Tareas RCM para celdas baja tensión CDO.....	48
Figura 38. Tareas RCM para celda de disparo SEPAM CDO.....	49
Figura 39. Tareas RCM para seccionadores en SF6 CDO	49
Figura 40. Tareas RCM para transformadores 13.2kV/220VAC	50

Figura 41. Tareas RCM para punto de conexión CDO	50
Figura 42. Lista de chequeo equipos de media tensión CDO	51
Figura 43. Lista de chequeo subestaciones CDO.....	52
Figura 44. Procedimiento estándar de mantenimiento para cierre de seccionadores en SF6	53
Figura 45. Procedimiento estándar de mantenimiento para apertura de seccionadores en SF6	53
Figura 46. Procedimiento estándar de mantenimiento para mantenimiento de subestaciones	54
Figura 47. Registro de asistencia capacitación mantenimiento	54
Figura 48. Capacitación en campo con personal de mantenimiento	55
Figura 49. Capacitación en campo con personal de contratista	55
Figura 50. Propuesta segundo circuito alimentador Clínica de Occidente.....	55
Figura 51. Dashboard QSYSTEMS.....	58
Figura 52. Creación de las hojas de vida de equipos en el QSYSTEMS.....	58
Figura 53. Hoja de vida subestación 1 torre A.....	59
Figura 54. Hoja de vida subestación 5 torre A.....	59
Figura 55. Cronograma de mantenimiento Subestaciones QSYSTEMS	59
Figura 56. Esquema de ordenes de trabajo.....	60
Figura 57. Propuesta KPI MTBF activos críticos CDO	60
Figura 58. Propuesta KPI MTTR activos críticos CDO.....	61

1.3. ANEXOS

Anexo 1 Análisis de criticidad Activos CDO

Anexo 2 Taxonomía equipos CDO

Anexo 3 equipos eléctricos críticos CDO

Anexo 4 Árbol de fallos

Anexo 5 FMECA Equipos críticos SE CDO

Anexo 6 Árbol de decisión RCM

Anexo 7 F SUB-003 Lista chequeo equipos subestaciones

Anexo 8 SMP-MTTO-001-CIERRE Y OPERACION SECCIONADOR SF6

Anexo 9 SMP-MTTO-002-APERTURA Y OPERACION SECCIONADOR SF6

Anexo 10 SMP-MTTO-003-MTTO SUBESTACIONES Y TABLEROS DE BAJA

Anexo 11 Mantenimiento subestaciones CDO

Anexo 12 Presupuesto mantenimiento subestaciones CDO

2. RESUMEN

En la actualidad, la Clínica de Occidente de la ciudad de Cali, se proyecta como una institución de referencia nacional e internacional en la prestación de servicios de salud de alta y mediana complejidad, bajo criterios de excelencia y sostenibilidad. Adicionalmente, la clínica desea mejorar la atención y ampliar la cobertura para que su EBITDA sea de un 25% al año 2025. Esta proyección de crecimiento ha sido establecida en el plan estratégico de la compañía y es el punto de partida para la actualización de todos los procesos.

Por otra parte, la Clínica de Occidente posee dos grandes sedes (Torre B y Torre C) las cuales hacen a la infraestructura existente (Torre A, Centro de especialistas, centro del cáncer y edificio administrativo) para apalancar su crecimiento, consolidar la imagen institucional y el buen nombre de la compañía. Adicional, la compañía ha incorporado nuevas tecnologías como parte del plan de renovación de activos físicos e infraestructura; tal es el caso de los equipos de apoyo crítico (subestaciones, plantas de emergencias, chillers magnéticos, UMAS, fancoils, sistemas de bombeo, mobiliario, entre otros) y equipos de especialidad clínica (Resonadores, aceleradores lineales, tomógrafos, monitores, entre otros).

Estos esfuerzos e inversiones están encaminados en dar cumplimiento a criterios de aceptación de tipo normativos, con el objetivo que la clínica pueda ser competitiva en su nicho de mercado y funcione según a los requerimientos legales exigidos para las entidades prestadoras de servicios de salud en Colombia; algunos de los requerimientos normativos que la clínica debe garantizar para la prestación de los servicios de salud son: Resolución 3100 de 2019 (Estándar de habilitación), Manual de Acreditación en Salud Ambulatorio y Hospitalario de Colombia, Resolución 1403 de 2007 (BPE para central de mezclas y radio farmacias) y la Resolución 4410 de 2009 (BPM para generación de gases medicinales)

Lo descrito anteriormente, involucra de manera directa la gestión de activos físicos y la gestión del mantenimiento de la clínica, debido a que las acciones que se generan desde estas áreas adicionan valor de una forma transversal a los todos los procesos de la institución. Por esta razón, la propuesta de trabajo de grado de la maestría en ingeniería mecánica con orientación en mantenimiento se centra en la definición e implementación de una estrategia de mantenimiento estandarizado y robusto para toda la Clínica de Occidente, que le permita alcanzar los objetivos organizacionales; al igual que mantener de una manera confiable y sostenible los activos físicos y facilitar el cumplimiento de los criterios de aceptación normativos. Para este caso, se usará como referencia los cursos vistos en la maestría (RCM, Gerencia de mantenimiento, Gestión de activos) y algunos criterios normativos como: UNE-ENE 16646-2015, UNE-ENE 15268-2015, ISO 55001 versión 2015, ISO 31000 versión 2018, SAE JA1011 y SAE JA1012.

PALABRAS CLAVES: RCM, Gerencia de mantenimiento, Gestión de activos

3. INTRODUCCIÓN

En este trabajo, se realizará la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en las subestaciones de energía eléctrica de la Clínica de Occidente de la ciudad de Cali, basado en los estándares SAE JA1011 y SAE JA1012 del 2002.

Por otra parte, la necesidad de implementar una estrategia de mantenimiento basado en confiabilidad se debe, a que existe un cuestionamiento sobre qué tan efectivas son las tareas de mantenimiento preventivo que actualmente se desarrollan en las subestaciones desde el software de gestión de mantenimiento, ya que se existen fallos históricos, que pudieron ser detectados si las rutinas de mantenimiento fuesen más robustas o si éstas estuviesen enfocadas en mitigar la causa raíz de cada una de las averías que se han presentado históricamente. Por esta razón, se escoge la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), con el objetivo de aumentar la continuidad en el servicio de energía en todos los edificios que tiene la Clínica de Occidente y prolongar el ciclo de vida de los activos físicos de cada una de las subestaciones eléctricas.

Adicionalmente, para que la Clínica de Occidente cumpla con su proyección de convertirse en una institución de referencia nacional e internacional en la prestación de servicios de salud de alta y mediana complejidad, bajo criterios de excelencia y sostenibilidad, debe conocer y mitigar el riesgo que afecta todos sus procesos. Para el área de mantenimiento, es muy claro que la continuidad del negocio depende de la disponibilidad y correcta operación de los activos físicos (mobiliario, equipos de apoyo crítico, infraestructura y redes de servicios básicos) de la institución, ya que son éstos, los que permiten que se puedan cumplir sus propósitos asistenciales de la clínica. Teniendo en cuenta esto, la propuesta de trabajo de grado de la maestría en ingeniería mecánica con orientación en mantenimiento busca llevar a cero fallas las subestaciones eléctricas de grado A (Críticidad alta) y garantizar la seguridad de las personas y la calidad en suministro de energía eléctrica. Para esto, se usará como referencia los cursos vistos en la maestría (RCM, Gerencia de mantenimiento, Gestión de activos, automatización de los sistemas de producción, instrumentación industrial) y algunos criterios normativos como: UNE-ENE 16646-2015, UNE-ENE 15268-2015, ISO14224:2016, ISO 55001:2015, ISO 31000: 2018.

Es importante decir, que los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser replicados a las subestaciones grado B y C; al igual que el resto de los activos Físicos de la Clínica.

Se espera que esta estrategia de mantenimiento sobre las subestaciones sea divulgada al personal de mantenimiento eléctrico y contratistas, con el fin que mejoren las prácticas de mantenimiento y se tenga una robustez y seguridad en la operación de las subestaciones. Adicional, se aspira a crear documentos, tales como fichas de operación, manual de contingencias, diagramas unifilares, que se esperan sirvan como insumo para la formación de las competencias específicas del personal de mantenimiento de la clínica. Posteriormente, se indagará sobre qué metodologías y técnicas de mantenimiento se están aplicando hoy en día en las subestaciones para aumentar la confiabilidad. También, se dejarán plasmados los requisitos que deben cumplir las subestaciones más antiguas para la obtención de la certificación RETIE.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Aumentar la disponibilidad y confiabilidad en el suministro de energía eléctrica de la Clínica de Occidente, aplicando la metodología de mantenimiento RCM en las subestaciones de energía eléctrica críticas (Equipo clase A) de la institución.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar, documentar, estandarizar y divulgar una metodología de mantenimiento basada en la confiabilidad y la criticidad de los activos físicos, que permita llevar a cero fallas los equipos catalogados como críticos (Equipos grado A).
- Reducir a un 50% el número de averías en las subestaciones con criticidad media (equipo grado B), con la implementación de la metodología de mantenimiento RCM.
- Generar los estándares de operación y mantenimiento de las subestaciones eléctricas de la Clínica en el sistema de información QSYSTEMS para que sean utilizados por el personal técnico.
- Establecer, documentar, estandarizar y divulgar un procedimiento de mantenimiento y operación en las subestaciones eléctricas que mitigue el riesgo eléctrico o la ocurrencia de accidentes.
- Investigar que herramientas tecnológicas se han implementado en el medio para generar estrategias de mantenimiento basadas en confiabilidad que garanticen cero fallas en las subestaciones eléctricas.
- Implementar un indicador que mida la disponibilidad, el MTTR y el MTBF para los activos físicos críticos; al igual que utilizar los análisis de causa raíz para la interpretación de los eventos no deseados en los activos críticos.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde el mes de diciembre 2022, el área de mantenimiento de la Clínica de Occidente inicio con el reporte de los paros no programados a través de un archivo en Microsoft Excel, con el objetivo de establecer y clasificar las averías de sus activos físicos (pérdidas) que afectan la continuidad del negocio.

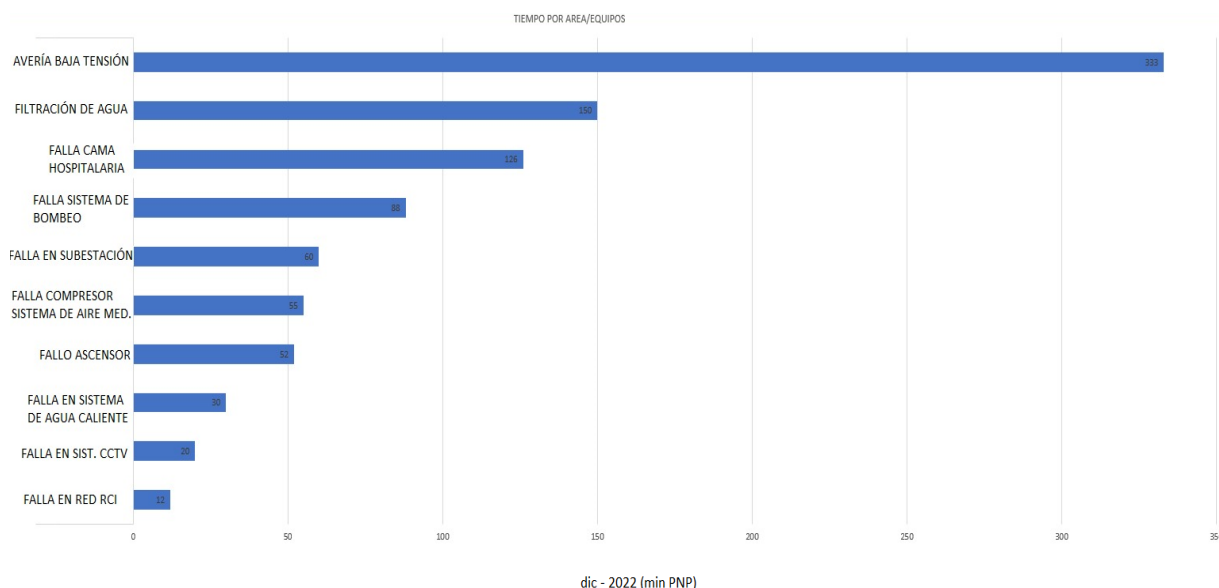


Figura 1. Tiempos de paros no programados Clínica de Occidente diciembre 2022

Inicialmente, para reducir el número de los eventos no deseados, se esbozó una estrategia de mantenimiento basada en la norma ISO 14224: 2016 (figura 2).

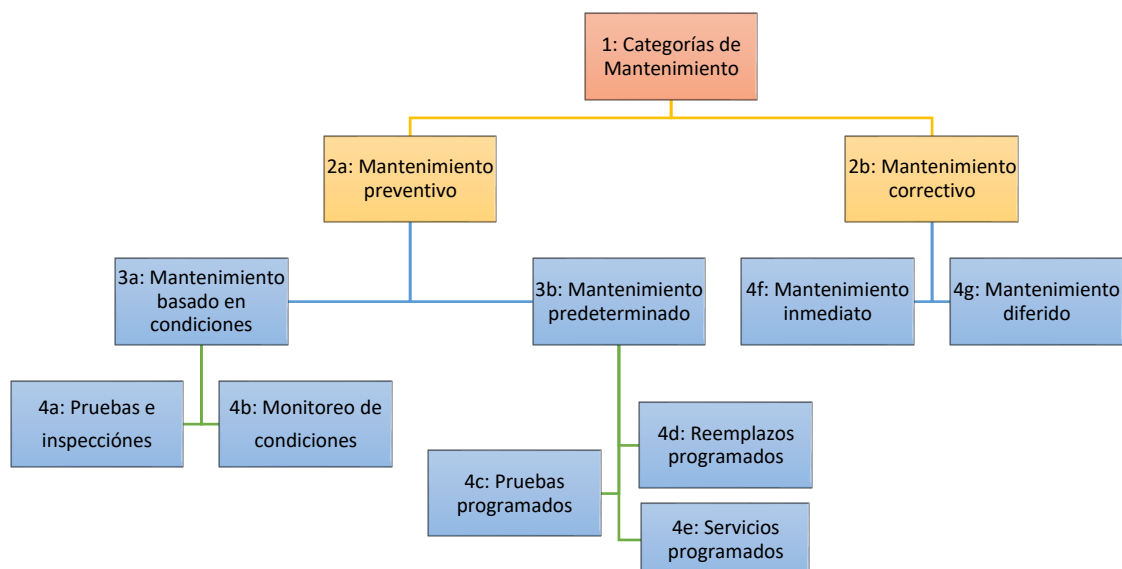


Figura 2. Categorización del Mantenimiento según ISO 14224:2016

Sin embargo, este primer intento insipiente no consideró elementos claves para la eliminación total de las pérdidas y no brindó una respuesta a como aumentar la confiabilidad de los activos físicos; tal es el caso, que la ocurrencia de los eventos no deseados registrados era repetitiva y muchos de éstos se resolvían de manera reactiva.

Si se toma como referencia las seis medidas para eliminar pérdidas (figura 3) propuestas en el desarrollo del mantenimiento productivo total (TPM) y se compara con las averías de la clínica, se puede decir que el mantenimiento llevado a cabo hasta este punto no previene el deterioro natural y/o forzado de los equipos; a esto se suma la carencia de conocimientos técnicos al momento de la operar los activos físicos y la falta de procesos estandarizados para la operación y el mantenimiento.

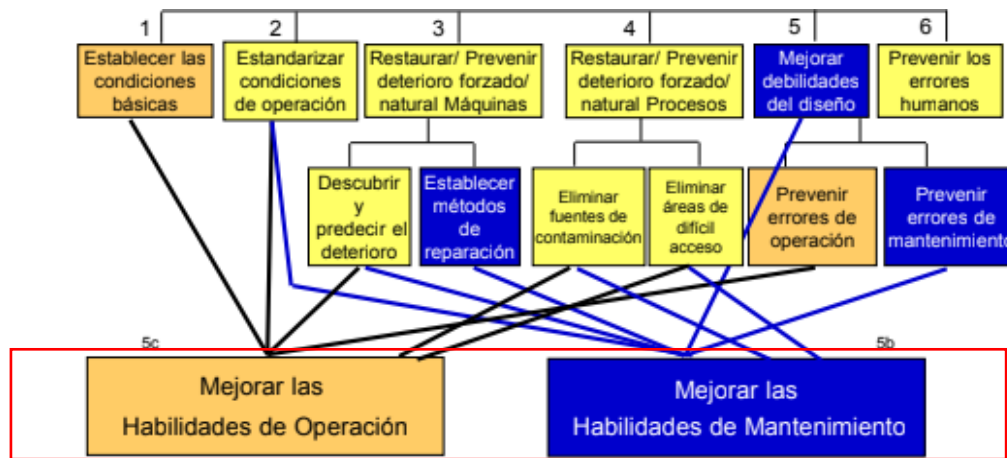


Figura 3. Las seis medidas para cero pérdidas

Cómo consecuencia a lo anterior, las tareas generadas desde el CMMS no estaban fundamentadas sobre la criticidad de los activos, su taxonomía, la severidad de las fallas, los modos de fallos, ni los planes de acción derivados de los análisis de causa raíz; tal y como lo sugiere la SAE JA1011 y SAE JA1012 a través de las siete preguntas del mantenimiento de confiabilidad (figura 4).

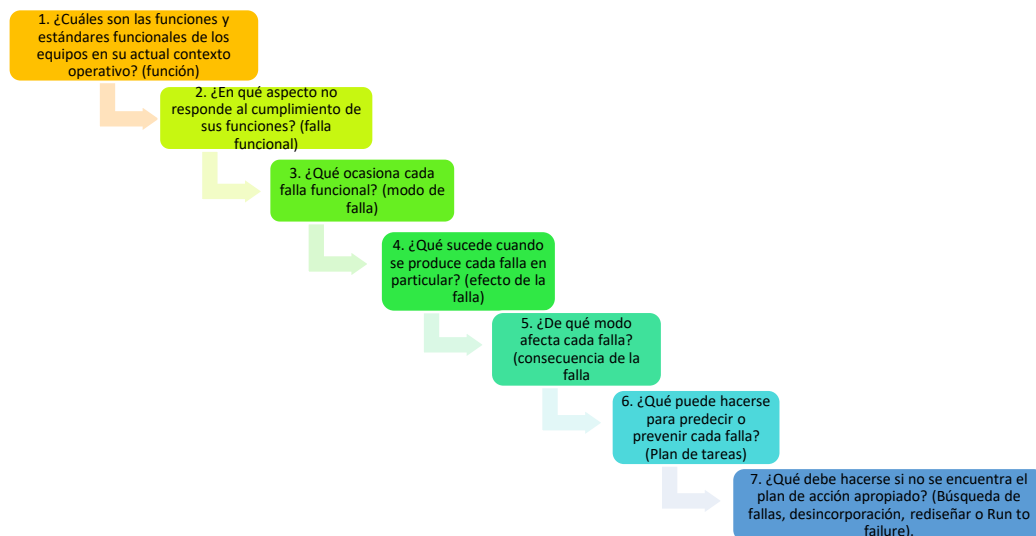


Figura 4. Las siete preguntas del RCM

En este trabajo pretende establecer una metodología centrada en la confiabilidad (RCM) y las seis medidas para cero fallas, que sirva como estandarte de mantenimiento para los activos críticos y que al final se traduzca en acciones efectivas para la eliminación de las averías dentro de la compañía. Para este caso, se trabajará lo concerniente con el suministro de la energía eléctrica en las subestaciones de la Clínica de Occidente, debido a que es una de las entradas más relevantes dentro de la caracterización del proceso de mantenimiento (figura 5), ya que de ésta depende el funcionamiento de todos los servicios asistenciales; al igual que la seguridad de los pacientes. Por lo tanto, será el eje de este documento.

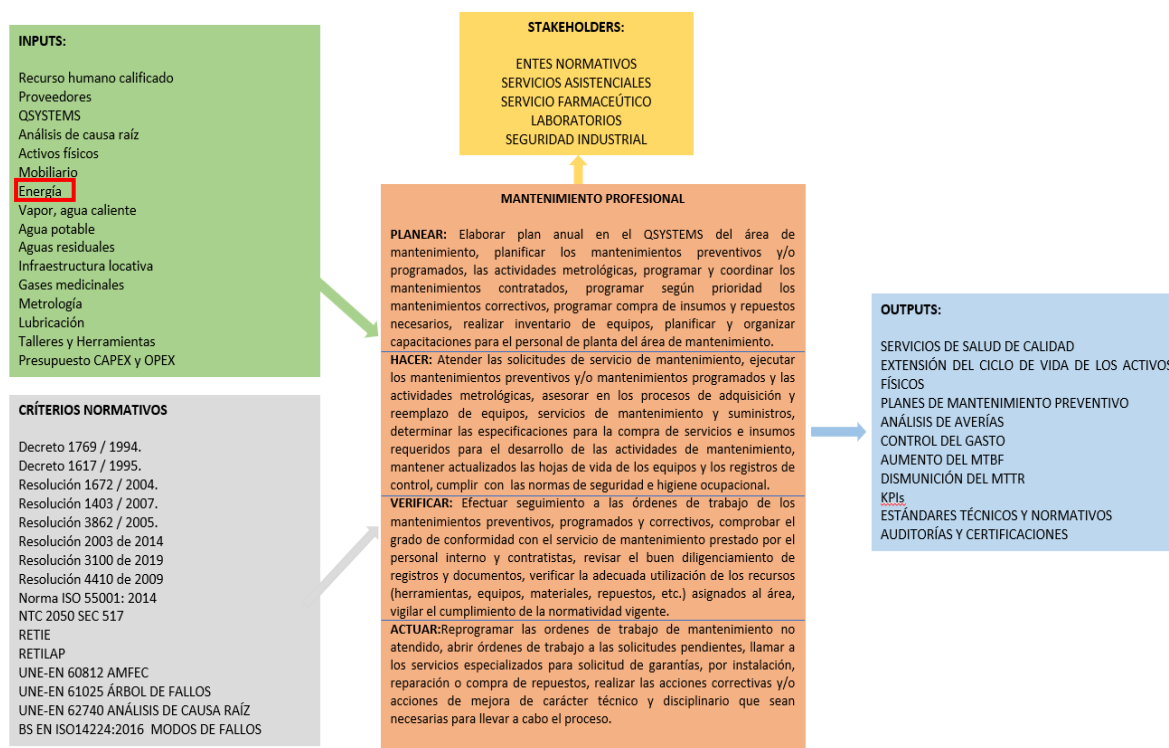


Figura 5. Caracterización del proceso de mantenimiento Clínica de Occidente

6. JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista económico y de empresa, cada vez que un servicio de salud se ve afectado debido al fallo de una subestación de energía eléctrica, la clínica deja de percibir ingresos debido a la no prestación de los servicios; en algunos casos, existen servicios de vital importancia para la rentabilidad de la clínica; como ejemplo: un paciente en cubículo de UCI puede representar un ingreso aproximado para la clínica entre \$1.5 millones a \$2 millones el día, un proceso de cirugía de alto costo puede estar en \$150 millones, una sesión de radioterapia en un acelerador lineal puede oscilar entre \$14 millones y \$23 millones.

Por otra parte, desde la seguridad del paciente, la no prestación a tiempo de un servicio de salud puede afectar la calidad de vida e incluso la muerte de las personas. Se debe tener en cuenta que la salud es un derecho fundamental en Colombia.

Finalmente, el proceso de mantenimiento de la Clínica de Occidente, tiene por objetivo garantizar la disponibilidad y correcta operación de los activos físicos (mobiliario, equipos de apoyo crítico, infraestructura y redes de servicios básicos) para los propósitos asistenciales y administrativos de la Clínica de Occidente S.A; de igual forma, contribuir al desarrollo de la prestación de los servicios de salud según lo establecido por los entes normativos, identificando los riesgos y oportunidades de mejora, que permitan que la gestión del mantenimiento se haga en pro de la seguridad de las personas, el aprovechamiento de los recursos (presupuesto) y la reducción del impacto ambiental.

7. MARCO TEORÍCO

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) aplicado a las subestaciones de la Clínica de Occidente permitirá entre otras cosas, establecer el conjunto de tareas mínimas de mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo o cuidados básicos, necesarias para mitigar aquellos fallos potenciales y/o funcionales que afectan los estándares de operación de los activos que pertenecen a las subestaciones sin comprometer la prestación del servicio.

En una subestación eléctrica, es posible identificar los siguientes activos físicos: punto de conexión, cortacircuitos, DPS, transferencias en media tensión, transferencias en baja tensión, circuitos críticos, circuitos vitales, circuitos normales, celdas de potencia, celda de medida, seccionadores, transformador, banco de condensadores, instrumentación, sistemas de puesta a tierra, protecciones, cableado eléctrico, edificación, entre otros. Se debe decir, que se utilizará el sistema de información para la gestión de mantenimiento que tiene la clínica para facilitar la implementación del RCM sobre las subestaciones.

El autor (MEDRANO MARTÍNEZ, 2010), involucra el RCM en las subestaciones de la Empresa de Energía de Bogotá (EEB) de 230KV, como herramienta para minimizar los riesgos relacionados con la seguridad de los activos de las subestaciones y al igual que RETIE proteger a las personas que los mantienen y los operan, sin afectar del medio ambiente. También, hace claridad en las exigencias regulatorias en Colombia, las cuales son cada vez más rigurosas en cuanto a los niveles de prestación del servicio de energía eléctrica. Esto ha llevado a todas las empresas del sector a buscar las mejores prácticas al momento de gestionar el mantenimiento de su infraestructura y la ejecución de las actividades de operación y en algunas ocasiones a rediseñar sus activos. Finalmente, reconoce el RCM como la mejor práctica para dar confiabilidad a las subestaciones de la ciudad de Bogotá.

Por otra parte, (ALBAN MARTÍNEZ & PANTOJA PUERTA, 2011) exponen como el RCM permitió aumentar la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica de la subestación de energía de la torre de Cali optimizando los costos, mediante la identificación y el mantenimiento de los estándares de operación que hacen parte de una subestación; esto sin afectar la seguridad los operadores. También, describen como resultado de su trabajo todas las pruebas inmersas en el mantenimiento de una subestación.

Finalmente, (CELA ADAGOYA & TACO VILLALBA , 2006) encuentran a través del RCM y el análisis de modos de fallas y sus efectos la mejor frecuencia para la intervención preventiva de un autotransformador de 138KV, sin afectar la prestación del servicio ante sus clientes.

Se puede detallar en todas las investigaciones, como la metodología RCM permite saber cuándo, dónde y cómo se debe realizar el mantenimiento en un equipo o sistema, con el objetivo primordial que éste siga cumpliendo con sus funciones o estándares de ejecución determinado. Adicionalmente, se espera que el análisis de criticidad y el análisis de modos de fallas y sus efectos sean las herramientas que determinen un plan de mantenimiento efectivo y eficiente para las subestaciones de energía eléctrica de la Clínica de Occidente.

8. METODOLOGÍA

La implementación de la estrategia de mantenimiento de las subestaciones de la Clínica de Occidente iniciará con la construcción de una matriz de criticidad de activos, posteriormente se seleccionarán los activos con criticidad más alta; Luego, se utilizará el estándar ISO 14224:2016 para definir la taxonomía de los activos. Después, se dará respuesta a las siete preguntas que plantea el mantenimiento centrado en confiabilidad según como lo establece la SAE JA1011; esto será reforzado con las seis medidas para cero pérdidas que plantea el mantenimiento productivo total TPM y el análisis de causa raíz FMECA a través del software IRCM630. Finalmente, se generarán las tareas preventivas que el personal técnico de la clínica deberá ejecutar de forma sistemática por medio del programa QSYSTEMS.



Figura 6. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM según revista Predyc

9. DESARROLLO DEL PROYECTO

9.1. MATRIZ DE CRITICIDAD

El primer paso para el desarrollo de este trabajo consiste en definir la criticidad del sistema eléctrico en media tensión de la clínica; para esto se hará uso de la matriz de criticidad construida en conjunto con el personal de mantenimiento. El anexo 1 de este trabajo, contiene toda la matriz de criticidad de los activos físicos de la Clínica de Occidente.

ITEM EVALUACION (CLASES A: CRÍTICO, B: CRITICIDAD MEDIA, C: BAJA CRITICIDAD)										
ITEM	AREA	EQUIPO, DISPOSITIVO, RED, INFRAESTRUCTURA Y/O EVENTO	FRECUENCIA DE FALLOS (4) ALTA: Más de 4 en un año (3) PROMEDIO: 2 a 3 fallas en un año (2) BAJA: 1 a 2 fallas por año (1) EXCELENTE: Menos de una falla por año	IMPACTO OPERACIONAL (10) Parada inmediata de toda la CLÍNICA (6) Parada inmediata de un Servicio Asistencial (4) Impacta los niveles de calidad en la prestación de los servicios asistenciales (2) Repercute en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo (1) No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y la calidad de los servicios	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (4) No existe opción de producción y no existe función de respaldo Back up (2) Existe opción de respaldo compartido (1) Existe opción de respaldo disponible	COSTOS DE MANTENIMIENTO (1) 0 a 10 SMLMV (5) 10 SMLMV a 25 SMLMV (10) 25 SMLMV a 700 SMLMV (20) Más de 700 SMLMV	IMPACTO EN LA SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE (20) Afecta la seguridad humana tanto externa como externa (15) Provoca incumplimientos de tipo legal o sanciones (10) Afecta el medio ambiente produciendo daños severos (8) Provoca un paro total o parcial en la prestación del servicio (4) Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales (1) No provoca ningún daño a las personas, instalaciones ni ambiente	Criticidad = Frecuencia X Consecuencia Consecuencia = (Impacto Operacional X Flexibilidad Operacional + (Costo Operativo Adicional) + (Impacto Seguridad y Medio Ambiente).	CRITICIDAD C= 0 HASTA 30 B= 31 HASTA 90 A= MAS DE 90	
								TOT	GRADC	
70	ESPECIALISTAS	SUBESTACION 9 ESPECIALISTAS 112.5KVA	1	4	2	5	8	21	C	
72	TORRE A - CLÍNICA - SÓTANO 1	SUBESTACION 5 TORRE A 500KVA	2	6	4	10	20	108	A	
85	CENTRO DEL CÁNCER CIC	SUBESTACION 6 TORRE A 300KVA	2	4	4	5	20	82	B	
86	TORRE B - EQUIPOS DE APOYO	SUBESTACION 9 TORRE B 1000KVA	2	4	4	5	20	82	B	
87	TORRE B - CLÍNICA	SUBESTACION 10 TORRE B 1200KVA	2	6	4	10	20	108	A	
88	TORRE B - IMÁGENES DIAGNOSTICAS	SUBESTACION 11 TORRE B 225KVA	1	2	4	10	20	76	B	
89	TORRE C - CLÍNICA	SUBESTACION 7 TORRE C 750KVA	2	4	4	10	20	92	A	
90	TORRE A - CLÍNICA - AMPLIACIÓN	SUBESTACION 8 TORRE A 750KVA	1	2	4	10	20	76	B	
91	RAYOS X	SUBESTACION 2 RAYOS X 500KVA	2	2	4	10	20	76	B	
92	ANGIOGRAFÍA	SUBESTACION 4 ANGIOGRAFÍA 225KVA	2	2	4	10	20	76	B	
93	RESONANCIA	SUBESTACION 3 RESONANCIA 150KVA	2	2	4	10	20	76	B	
94	TORRE A CLÍNICA - PISO 1	SUBESTACION 1 PRIMER PISO 400KVA	2	6	4	10	20	108	A	
95	ADMINISTRATIVO	SUBESTACION 10 ADMINISTRATIVO 225KVA	1	4	2	5	8	21	C	
250	TORRE A, B, C, CIC	CÉLDAS, EQUIPOS Y MANIOBRA ELÉCTRICA DE MEDIA TENSIÓN REQUERIDA PARA ENERGIZAR TODAS LAS SUBESTACIONES DE LA CLÍNICA	2	6	4	10	20	108	A	

Figura 7. Criticidad para las subestaciones de la Clínica de Occidente

De la figura 7, se puede decir que los activos críticos (equipos con clasificación tipo A) son aquellos sistemas eléctricos en media tensión y subestaciones cuya alimentación eléctrica hace parte de los ramales normales, vitales y críticos que requieren los pacientes para mantenerse estables mientras se encuentran en procedimientos médicos; tales como cirugías, UCIs, hospitalización, laboratorios y urgencias.

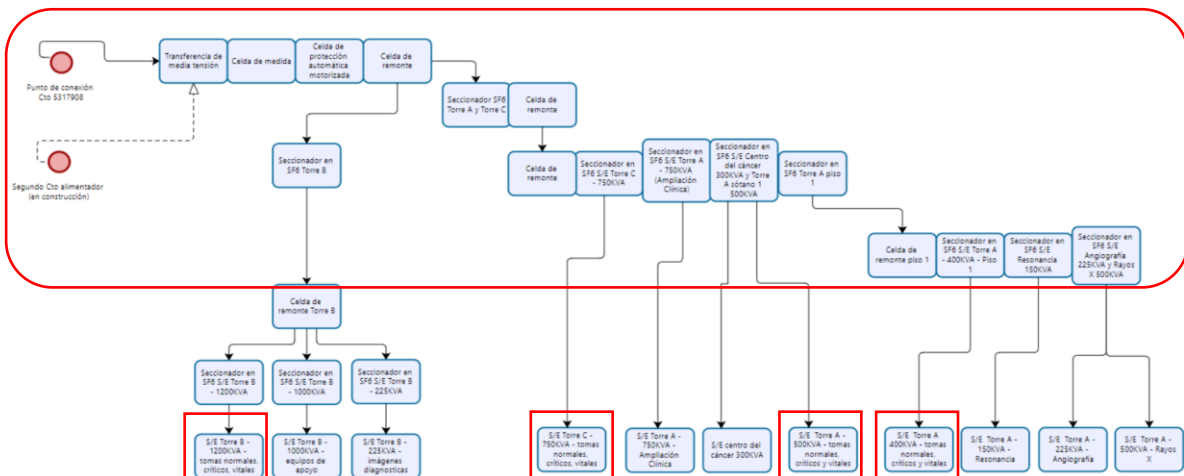


Figura 8. Diagrama de flujo de las subestaciones de la Clínica de Occidente

La norma ISO 14224:2016 dice “La taxonomía es una clasificación sistemática de ítems o elementos en grupos genéricos, basándose en factores posiblemente comunes a varios de los elementos, teniendo en cuenta su ubicación física, uso, subdivisión de equipos, entre otros”. Por lo tanto, es necesario establecer la taxonomía de cada sistema crítico hasta encontrar el ítem mantenible, esto con el objetivo de facilitar el trabajo más adelante.

CONSTRUCCIÓN TAXONOMICA CLÍNICA DE OCCIDENTE									
PLANTA	NIVEL 1		NIVEL 2		NIVEL 3		NIVEL 4		NIVEL5
									NIVEL 6
									ID
									SI SUB
CLINICA DE OCCIDENTE	CDO	TORRE A, B, C Y DC	ABCCC	GENERACIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA	GE	CEL	CEL	CEL	CEL

18

tipo A (alta criticidad). La taxonomía de los sistemas de media tensión críticos puede ser consultada en el anexo 2 de este trabajo.

Una vez establecida la taxonomía, el siguiente paso será someter los ítems mantenibles obtenidos en las figuras 9, 10, 11, 12 y 13 a un nuevo análisis de criticidad; esto con el objetivo de priorizar la implementación de la estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad.

El análisis de criticidad muestra los siguientes resultados:

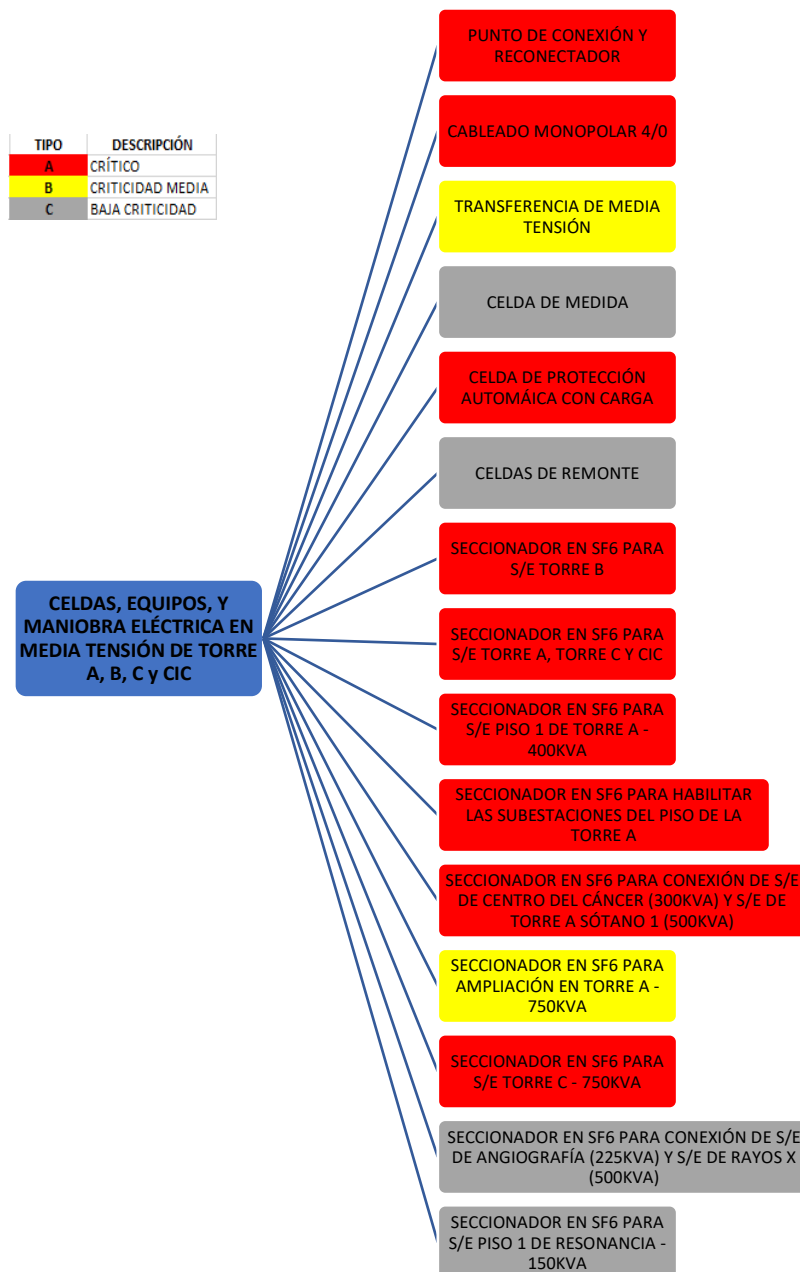


Figura 14. Criticidad de equipos CELDAS, Y MANIOBRA ELÉCTRICA EN MEDIA TENSIÓN DE TORRE A, B, C y CIC

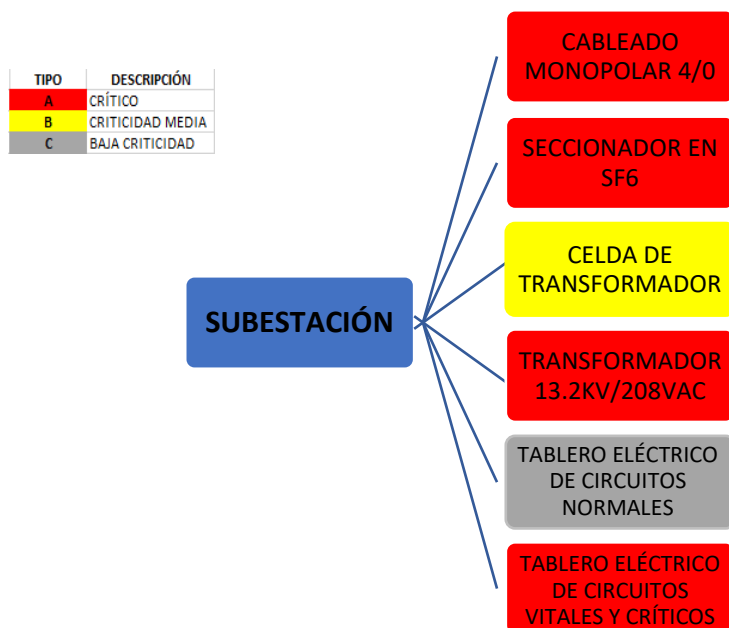


Figura 15. Criticidad de equipos subestaciones críticas Clínica de Occidente

En las figuras 14 y 15, se puede observar el resultado del análisis de criticidad realizado a los ítems mantenibles que hacen parte del sistema eléctrico de media tensión de la Clínica de Occidente. Para una información detallada, se debe consultar el anexo 3 de este trabajo.

ITEM EVALUACION (CLASES A:CRÍTICO, B: CRITICIDAD MEDIA, C: BAJA CRITICIDAD)										
ÍTEM	AREA	EQUIPO, DISPOSITIVO, RED, INFRAESTRUCTURA Y/O EVENTO	FRECUENCIA DE FALLOS (4) ALTA: Más de 4 en un año (3) PROMEDIO: 2 a 3 fallas en un año (2) BAJA: 1 a 2 fallas por año (1) EXCELENTE: Menos de una falla por año	IMPACTO OPERACIONAL (10) Parada inmediata de toda la CLÍNICA (6) Parada inmediata de un Servicio Asistencial (4) Impacto los niveles de calidad en la prestación de los servicios asistenciales (2) Repercute en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo. (1) No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y la calidad de los servicios	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (4) No existe opción de producción y no existe función de respaldo Back-up (2) Existe opción de respaldo compartido (1) Existe opción de respaldo disponible	COSTOS DE MANTENIMIENTO (1) 0 a 10 SMLMV (5) 10 SMLMV a 25 SMLMV (10) 25 SMLMV a 700 SMLMV (20) Más de 700 SMLMV	IMPACTO EN LA SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE (20) Afecta la seguridad humana tanto externa como externa legal o sanciones (15) Provoca incumplimientos de tipo legal o sanciones (10) Afecta el medio ambiente produciendo daños severos (8) Provoca un paro total o parcial en la prestación del servicio (4) Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales (1) No provoca ningún daño a las personas, instalaciones ni ambiente	Criticidad = Frecuencia X Consecuencia Consecuencia = (Impacto Operacional X Flexibilidad Operacional) + (Costo Operativo Adicional) + (Impacto Seguridad y Medio Ambiente)	CRITICIDAD C= 0 HASTA 30 B= 31 HASTA 90 C= MAS DE 90	
								TOT	GRAD	
1	CELDA, EQUIPOS, Y MANIOBRA ELÉCTRICA EN MEDIA TENSIÓN DE TORRE A, B, C y DIC	PUNTO DE CONEXIÓN Y RECONECTADOR	4	6	4	5	15	176	A	
2		CABLEADO MONOPOLAR 4/0	3	6	2	5	20	111	A	
3		TRANSFERENCIA DE MEDIA TENSIÓN	2	6	2	10	20	94	B	
4		CELDA DE MEDIA	1	4	4	1	8	25	C	
5		CELDA DE PROTECCIÓN AUTOMÁTICA CON	3	6	4	1	15	120	A	
6		CELDA DE REMONTE	1	4	4	1	8	25	C	
7		SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE B	3	6	4	10	20	162	A	
8		SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE A	3	6	4	10	20	162	A	
9		SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E PISO 1 DE TORRE A - 400KVA	3	6	4	10	20	162	A	
10		SECCIONADOR EN SF6 PARA HABILITAR LAS SUBESTACIONES DEL PISO DE LA TORRE A	3	6	4	10	20	162	A	
11		SECCIONADOR EN SF6 PARA CONEXIÓN DE S/E DE CENTRO DEL CÁNCER (300KVA) Y S/E DE TORRE A - 750KVA	3	6	4	10	20	162	A	
12		SECCIONADOR EN SF6 PARA AMPLIACIÓN EN TORRE A - 750KVA	2	6	2	10	20	94	B	
13		SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE C -	3	6	4	10	20	162	A	
14		SECCIONADOR EN SF6 PARA CONEXIÓN DE S/E DE ANGIOGRAFÍA (225KVA) Y S/E DE RAYOS X	1	4	4	1	8	25	C	
15	SUBESTACIÓN	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E PISO 1 DE RESONANCIA - 150KVA	1	4	4	1	8	25	C	
16		CABLEADO MONOPOLAR 4/0	2	6	4	10	15	38	A	
17		SECCIONADOR EN SF6	3	6	4	10	20	162	A	
18		CELDA DE TRANSFORMADOR	2	4	4	1	15	64	B	
19		TRANSFORMADOR 13.2KV/208VAC	3	6	4	1	15	120	A	
20		TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS NORMALES	2	1	4	1	1	12	C	
21		TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS VITALES Y CRÍTICOS	3	4	4	1	20	111	A	

Figura 16. Matriz de criticidad ítems mantenibles subestaciones críticas Clínica de Occidente

Con los resultados obtenidos hasta el momento, se observa de manera generalizada que una subestación de la Clínica de Occidente siempre estará compuesta por los mismos

equipos, es decir un seccionador, una celda de transformador, un transformador, metros cable monopolar, un tablero de circuitos normales, un tablero de circuitos críticos y vitales. Por lo tanto, es posible estandarizar y replicar la estrategia de mantenimiento RCM en todas las subestaciones críticas.

El siguiente paso en el desarrollo de la metodología de mantenimiento basado en confiabilidad es la definición del contexto operacional de los activos físicos. Posiblemente este es el trabajo más robusto dentro del RCM, ya que implica un conocimiento de los equipos y de las variables con la que los activos operan. La definición de las variables de operación da paso a los estándares funcionales y/o funciones; por lo tanto, es necesario que el contexto operacional quede bien definido.

9.2. CONTEXTO OPERACIONAL

A continuación, se ilustra el desarrollo de los contextos operacionales de los sistemas de media tensión críticos de la Clínica de Occidente.

9.2.1. CELDAS, EQUIPOS Y MANIOBRA ELÉCTRICA EN MEDIA TENSIÓN DE LAS TORRES A, B, C Y CIC:

Para proveer la alimentación eléctrica en cada una de las subestaciones de la Clínica de Occidente, se requiere una serie de celdas y equipos en media tensión, cuya disponibilidad y confiabilidad debe ser alta, ya que un evento no deseado puede generar una afectación en todos los servicios de salud y en la vida de los pacientes. En la Clínica de Occidente, la configuración de estos equipos viene dada por un punto de conexión externo a 13.2KV, un reconectador, una transferencia de media tensión, una celda de medida, un interruptor de disparo automático, unas celdas de remonte, puntas de cable monopolar y 9 seccionadores de en SF6, los cuales derivan la alimentación eléctrica a las diferentes subestaciones. Es importante decir que la energía eléctrica en una clínica es el corazón de todos los procesos; por lo tanto, el suministro de este servicio debe ser continuo y de calidad.

El punto de conexión está identificado con el circuito N° 5317908 por parte del proveedor de servicios EMCALI. Este nodo, viene cableado por tres líneas más neutro de cable monopolar ecológico de calibre 4/0AWG desde el circuito VERSALLES de la subestación CHIPICHAPE. La entrada de este circuito en la clínica es a través de tres corta circuitos de 200A y luego a un reconectador de marca NOJA Power VISI-SWITCH (carga total de la clínica 6.5MVA). Estos dos activos son mantenidos por el personal de EMCALI. Posteriormente, el cable monopolar pasa a una caja de maniobra e ingresa a la celda de transferencia de media tensión de marca Schneider Electric de referencia NSM-1 SM6. Esta transferencia es aislada por aire y viene configurada para 24KV, 630A y 20kA de protección de arco interno. La salida de la transferencia va conectada a una celda de medida en donde que cuenta con dos transformadores de corriente (CT) para 13.2KV de 250/5A calibrados según el código de medida de la CREG (CREG 038 de 2014), también tiene dos transformadores de voltaje (PT) de 13.2KV/120VAC. La conexión que sale de la celda de medida va dirigida a una celda de media tensión de protección motorizada de marca Schneider Electric tipo SM6 DM1-A con voltaje nominal de 24KV, 630A y con un relé de protección de corto circuito SEPAM S20 con disparo automático. Finalmente, el cable

monopolar pasa por una celda de remonte, la cual ayuda a distribuir el cable hacia cada uno de los seccionadores en SF6 de marca Schneider Electric con referencia DM1- C SM-6 de cada subestación de la clínica. De manera general un seccionador en SF6 es un interruptor que extingue el arco eléctrico cuando se conmuta; dependiendo del tipo de carga cada subestación maneja un tipo de fusible independiente. Con el objetivo de dar una mejor ilustración, a continuación, se ilustra el diagrama de flujo de las conexiones y equipos mencionados:

El diagrama unifilar de celdas, equipos y maniobra eléctrica en media tensión de las Torres A, B, C y CIC, se muestra en la figura 17.

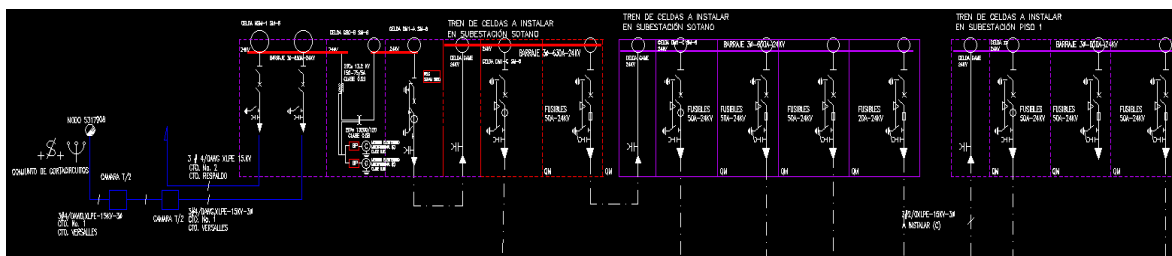


Figura 17. Diagrama unifilar celdas, equipos y maniobra eléctrica en media tensión de las Torres A, B, C y CIC

En resumen, el contexto operacional de las celdas, equipos y maniobra eléctrica en media tensión de las Torres A, B, C y CIC se puede resumir en la siguiente tabla:

ÍTEM	ACTIVO O FIJO	EQUIPO	CANT	MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS	CONTEXTO OPERACIONAL
1	NO APLICABLE	PUNTO DE CONEXIÓN	1	DIMEL	NO APLICA	Poste de 12 metros, en el cual tiene instalado 3 corta circuitos de 200A cada uno	Equipo operado por la empresa de servicios públicos EMCALI, opera las 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, sostiene y canaliza hacia la clínica la acometida eléctrica que viene desde el circuito Versalles
2	NO APLICABLE	RECONECTOR	1	NOJA Power VISI-SWITCH	NOJA Power VISI-SWITCH	Interruptor bajo carga con aislamiento dieléctrico sólido con apertura visible.	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C. Es un interruptor de media tensión que puede activarse por un incremento súbito de la corriente. Ante un disparo, protege la red externa. Su reposición es automática.
3	NO APLICABLE	CABLE MONOPOLAR 4/0 AWG	330 metros	CENTELSA	CENTELSA	Cable Cu XLPE # 4/0, 15kV al 133% pantalla Cinta	Este cable se utiliza para las conexiones de media tensión, posee un alto aislamiento, es un cable rígido y se debe cuidar que no pierda aislamiento. Es un cable de tipo ecológico, no se ve afectado por las condiciones climáticas
4	51360	CELDA DE TRANSFERENCIA AISLADA EN MEDIA TENSIÓN	1	SCHNEIDER ELECTRIC	NSM-1 SM6	Transferencia aislada por aire y viene configurada para 24KV, 630A y 20kA de protección de arco interno	Esta celda autosoportada, opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, en esta celda llega la conexión del nodo externo, ante una caída de tensión, esta celda hace el cambio a un segundo circuito alimentador. En este momento esta celda opera de manera manual, ya que el segundo circuito alimentador está en proceso de construcción.

5	51362	CELDA DE MEDIDA	1	CELCO	CELCO	2 CTs para 13.2KV de 250/5A 2 PTs de 13.2KV/120VAC Medidor principal de energía Medidor de respaldo de energía Telemedida	Esta celda autosoportada, opera equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, en su interior se encuentran los transformadores de corriente y de potencial, los cuales van conectados a los contadores de energía. En esta celda se genera la macromedición de Torre A, Torre B, Torre C y CIC
6	55760	CELDA DE PROTECCIÓN MOTORIZADA BAJO CARGA	1	SCHNEIDER ELECTRIC	SM6 DM1-A	Voltaje nominal de 24KV, 630A y con un relé de protección de corto circuito SEPAM S20 con disparo automático	Esta celda autosoportada, opera equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, el relé de protección se encarga de detectar fases caídas, corto circuitos, desbalances, entre otros y protege todas las conexiones en media tensión de la clínica aguas abajo; este equipo se rearma de forma automática y puede operar con carga.
7	55771	CELDA DE REMONTE	4	CELCO	CELCO	Celda con barrajes trifásicos para 630A	Corresponde a una celda autosoportada en cuyo interior se tiene un barrajes trifásicos de 630A instalados con aisladores, en donde se conecta el cable monopolar para que sirva como empalme de una conexión a otra, ya sea por distancia o porque el cable debe cambiar de dirección. Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C.
8	55772	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE B	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 50A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 250A hacia los transformadores que se encuentran en la Torre B. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
9	55773	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE C Y CIC	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 50A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 250A hacia los transformadores de la Torre A, Torre C y centro del cáncer. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
10	55774	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE C - 750KVA	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 50A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 200A hacia el transformador de 750KVA de la torre C. El disparo de

							este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
11	55775	SECCIONADO R EN SF6 PARA AMPLIACIÓN EN TORRE A - 750KVA	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 50A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 200A hacia el transformador de 750KVA que tiene una de las subestaciones que usa clínica para su ampliación en cargas que no son críticas. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
12	55776	SECCIONADO R EN SF6 PARA CONEXIÓN DE S/E DE CENTRO DEL CÁNCER (300KVA) Y S/E DE TORRE A SÓTANO 1 (500KVA)	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 32A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 200A hacia los transformadores de 300KVA y 500KVA de las subestaciones del centro del cáncer y la subestación de torre del sótano respectivamente. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
13	55777	SECCIONADO R EN SF6 PARA HABILITAR LAS SUBESTACIONES DEL PISO DE LA TORRE A	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 50A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y habilita el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 200A desde el sótano hacia las subestaciones del piso 1 de la clínica. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
14	55778	SECCIONADO R EN SF6 PARA S/E PISO 1 DE TORRE A - 400KVA	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 32A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a

							200A hacia el transformador de 400KVA de la subestación de la Torre A, ubicada en el piso 1 de la clínica. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
15	55779	SECCIONADO R EN SF6 PARA S/E PISO 1 DE RESONANCIA - 150KVA	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 20A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 200A hacia el transformador de 150KVA de resonancia. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
16	55780	SECCIONADO R EN SF6 PARA CONEXIÓN DE S/E DE ANGIOGRAFÍA (225KVA) Y S/E DE RAYOS X (500KVA)	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 32A, 25KV, dimensiones	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 200A hacia los transformadores de 225KVA y 500KVA de las subestaciones de angiografía y rayos X respectivamente. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas

Tabla 1. Contexto operacional celdas, equipos y maniobra eléctrica en media tensión de las Torres A, B, C y CIC

Adicional, se anexan algunas imágenes en las que es posible visualizar las celdas, equipos y maniobra eléctrica en media tensión de las Torres A, B, C y CIC:



Figura 18. Reconector trifásico



Figura 19. Transferencia de media tensión



Figura 20. Celda de protección con interruptor automático



Figura 21. Tren de celdas Torre A y Torre B



Figura 22. Tren de celdas en SF6 Torre A, Torre C y Centro del cáncer



Figura 23. Tren de celdas en SF6 Torre A

9.2.2. SUBESTACIÓN #1 TORRE A – 400KVA:

Esta subestación se encuentra ubicada en el primer piso de la clínica, es la más crítica, ya que suministra energía eléctrica a la mitad de la clínica (Torre A), en lo que se refiere a los ramales normales, vitales y críticos. Esta subestación tiene una gran variedad de circuitos eléctricos, tales como: hospitalización, UCIs, Urgencias, planta de gases medicinales, calentador de agua, TAC de simulación, pasillos y zonas comunes. La capacidad de esta subestación es de 400KVA a 13,2KV salida 208VAC. Esta subestación tiene un seccionador en SF6 de marca Schneider Electric de referencia DM1- C SM-6 con fusibles rápidos de alta tensión para 20A y un transformador en cobre seco marca SUNTEC aislamiento clase H sin DPS, peso 1.2 toneladas y conexión D Yn5. Para los circuitos críticos, se tiene una transferencia automática de 650A. Esta subestación, no posee certificación RETIE.

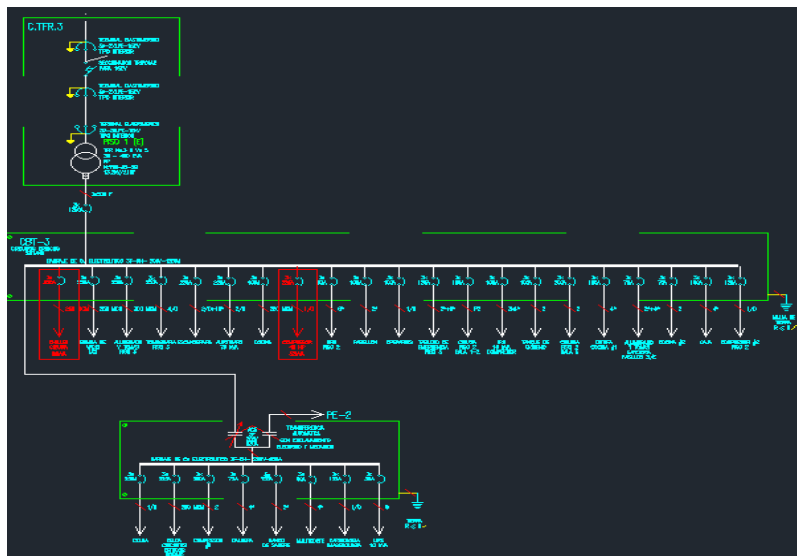


Figura 24. Diagrama unifilar subestación piso 1 – Torre A



Figura 25. Subestación piso 1 – Torre A

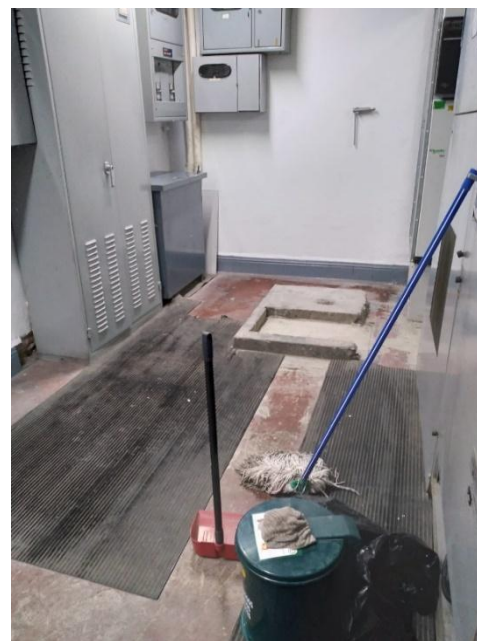


Figura 26. Subestación piso 1 – Torre A

Como se puede observar en las figuras 25 y 26, la subestación del piso 1 de la Torre A, es una subestación obsoleta, no cumple con las distancias de seguridad, las celdas de baja tensión tienen conexiones eléctricas inseguras, los barrajes de baja tensión están expuestos y la celda del transformador no tiene los espacios adecuados para trabajar en media tensión. En esta subestación, se presentó uno de los fallos más críticos en el año 2020, debido a las condiciones de espacio.

Una manera de resumir el contexto operacional de esta subestación es por medio de la siguiente tabla:

ÍTEM	ACTIVO FIJO	DESCRIPCIÓN	CANT	MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS	CONTEXTO OPERACIONAL
1	55778	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E PISO 1 DE TORRE A - 400KVA	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 20A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 200A hacia el transformador de 400KVA de la subestación de la Torre A, ubicada en el piso 1 de la clínica. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
2	20345	CELDA DE TRANSFORMADOR	1	CELCO	CELCO	CELCO	Corresponde a una celda auto soportada que se encarga de cubrir transformador seco de 400KVA y protegerlo de las condiciones externas
3	20345-1	TRANSFORMADOR 13.2KV/208VAC - 400KVA	1	SUNTEC	DTHV3	Peso 1.2 toneladas y conexión D Yn5	Este equipo, trabaja las 24 horas, todos los días, durante todo el año, su temperatura de operación no debe exceder los 50°C, es el encargado de generar el voltaje de baja tensión 208VAC con una corriente de 1096A que va hacia los ramales normales, vitales y críticos. Tiene una carga actual del 90%.
4	20345-2	TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS NORMALES	1	CELCO	CELCO	CELCO	Este tablero de distribución contiene protecciones eléctricas trifásicas que oscilan entre 30 a 225A. Las conexiones eléctricas de este tablero corresponden a circuitos que no necesitan respaldo de energía eléctrica ante una pérdida de voltaje de alimentación.
5	20345-3	TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS VITALES Y CRÍTICOS	1	CELCO	CELCO	CELCO	Este tablero de distribución contiene protecciones eléctricas trifásicas que oscilan entre 30 a 225A. Las conexiones eléctricas de este tablero corresponden a circuitos requieren energía eléctrica ante una pérdida de voltaje de alimentación. Para esto, cuentan con una transferencia automática de 650A y un segundo circuito alimentador proveniente de una planta eléctrica de 1000KVA. En este tablero, van conectados los servicios de UCIs, Hospitalización y Urgencias.
6	NA	CABLEADO MONOPOLAR DE MEDIA TENSIÓN	50m	CENTELSA	CENTELSA	Cable Cu XLPE # 4/0, 15kV al 133% pantalla Cinta	Este cable se utiliza para las conexiones de media tensión, posee un alto aislamiento, es un cable rígido y se debe cuidar que no pierda aislamiento. Es un cable de tipo ecológico, no se ve afectado por las condiciones climáticas

Tabla 2. Contexto operacional Subestación #1 Torre A – 400KVA

9.2.3. SUBESTACIÓN #5 TORRE A – 500KVA:

Esta es la segunda subestación más crítica de la Torre A, se encuentra ubicada en el sótano 1 del edificio principal, se encarga de suministrar energía eléctrica a circuitos normales, vitales y críticos de la otra mitad de la clínica; en este caso, ascensores, plantas de agua potable, plantas de aguas residuales, cirugía, esterilización, bombas de vacío, compresores de aire de evacuación, sistemas contraincendios, equipos de aire acondicionado, chillers, plantas de agua fría, área de partos, UCI neonatal, pasillos y zonas comunes. Tiene una transferencia automática de 500A, al igual que un seccionador de media tensión en aire con fusibles de 40A. El transformador es seco de 500KVA alimentación 13.2KV (con DPS en media tensión) a 208VAC, marca magnetron aislamiento clase H, peso 1.3 toneladas. Esta subestación, no posee certificación RETIE y está en proceso de migración de cargas a la

subestación Torre A – SÓTANO 1 – Ampliación Clínica. La carga actual de esta subestación es de 76%.



Figura 27. Subestación sótano 1 – Torre A

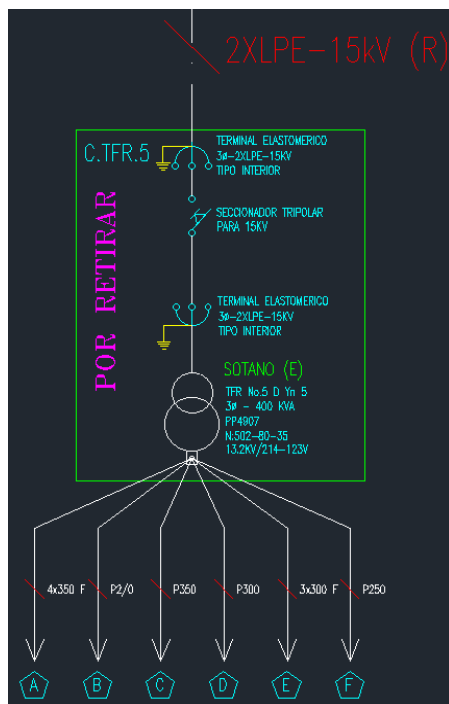


Figura 28. Diagrama unifilar sótano 1 – Torre A

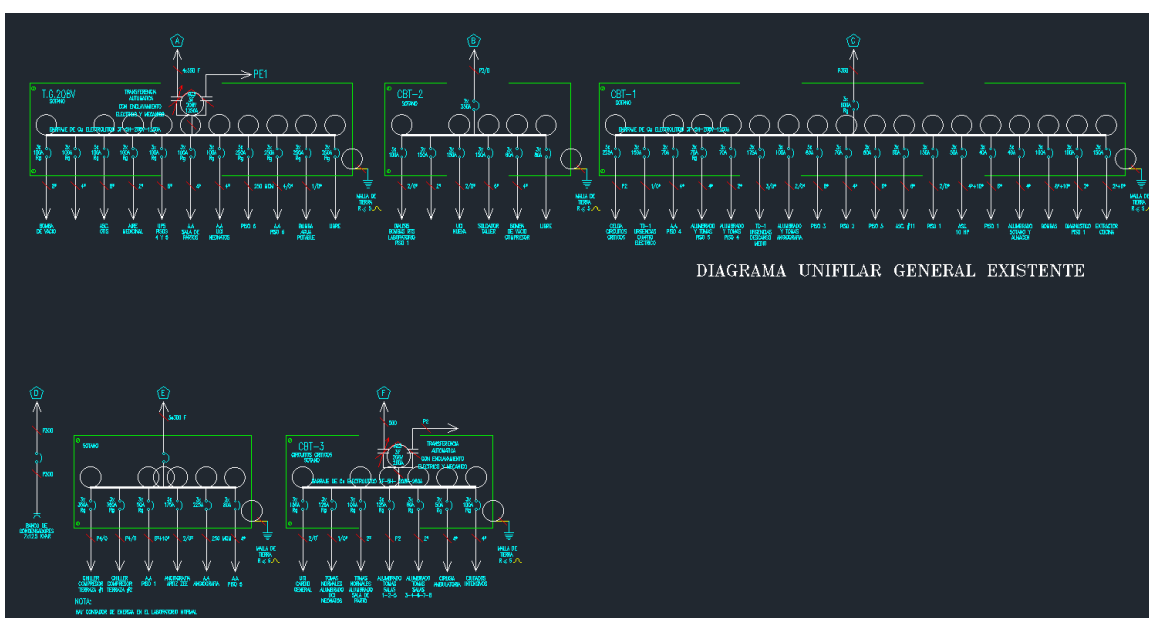


Figura 29. Circuitos eléctricos subestación sótano 1 – Torre A

Se puede tener un resumen del contexto operacional de esta subestación en la siguiente tabla:

ÍTE M	ACTIVO FIJO	DESCRIPCIÓN	CANT	MARCA	MODEL O	CARACTERÍSTICAS	CONTEXTO OPERACIONAL
1	55776	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E SÓTANO 1 DE TORRE A - 500KVA	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 32A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 200A hacia el transformador de 500KVA de la subestación de la Torre A, ubicada en el sótano 1 de la clínica. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
2	21564	CELDA DE TRANSFORMADOR	1	CELCO	CELCO	CELCO	Corresponde a una celda autosoportada que se encarga de cubrir transformador seco de 500KVA y protegerlo de las condiciones externas
3	21564-1	TRANSFORMADOR 13.2KV/208VAC - 500KVA	1	SUNTEC	DTHV3	Peso 1.2 toneladas y conexión D Yn5	Este equipo, trabaja las 24 horas, todos los días, durante todo el año, su temperatura de operación no debe exceder los 50°C, es el encargado de generar el voltaje de baja tensión 208VAC con una corriente de 1300A que va hacia los ramales normales, vitales y críticos. Tiene una carga actual del 76%.
4	21564-2	TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS NORMALES	1	CELCO	CELCO	CELCO	Este tablero de distribución contiene la otra mitad de las protecciones eléctricas trifásicas de la clínica que oscilan entre 30 a 225A. Las conexiones eléctricas de este tablero corresponden a circuitos que no necesitan respaldo de energía eléctrica ante una pérdida de voltaje de alimentación.
5	21564-3	TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS VITALES Y CRÍTICOS	1	CELCO	CELCO	CELCO	Este tablero de distribución contiene la otra mitad de las protecciones eléctricas trifásicas de la clínica que oscilan entre 30 a 225A. Las conexiones eléctricas de este tablero corresponden a circuitos requieren energía eléctrica ante una pérdida de voltaje de alimentación. Para esto, cuentan con una transferencia automática de 500A y un segundo circuito alimentador proveniente de una planta eléctrica de 850KVA. En este tablero, van conectados los equipos de apoyo, tales como chillers, ascensores, bombas de agua, bombas de vacío, entre otros
6	NA	CABLEADO MONOPOLAR DE MEDIA TENSIÓN	50m	CENTELSA	CENTELSA	Cable Cu XLPE # 4/0, 15kV al 133% pantalla Cinta	Este cable se utiliza para las conexiones de media tensión, posee un alto aislamiento, es un cable rígido y se debe cuidar que no pierda aislamiento. Es un cable de tipo ecológico, no se ve afectado por las condiciones climáticas

Tabla 3. Contexto operacional Subestación #5 Torre A – 500KVA

9.2.4. SUBESTACIÓN #7 TORRE C – 750KVA:

Esta subestación es nueva y posee certificación RETIE, fue construida para suministrar energía eléctrica a uno de los edificios nuevos que ha construido la clínica, el cual se llama Torre C.

En el edificio Torre C, se tiene un laboratorio de patología, tres pisos de hospitalización, una UCI de adultos y una ampliación del área de urgencias. Adicionalmente, tiene un segundo acelerador lineal para los tratamientos de radioterapia y un robot para los procesos de braquiterapia. También, permite el suministro de energía eléctrica a dos UPS de 40KVA y 60KVA respectivamente. Finalmente, permite la operación de los equipos de apoyo crítico, tales como: plantas de agua potable, planta de aguas residuales, ascensor, chillers de 60TON y 50TON, equipos de aire acondicionado, plantas de agua fría, sistemas RCI.

La subestación Torre C, consta de un transformador seco marca WEG de 750KVA a 13.2KV en el primario, 208VAC en el secundario, DPS en media tensión en las borneras del transformador, conexión D Yn5, aislamiento tipo H con bobina en cobre, posee un seccionador en SF6 con fusibles de 40A. Todas las celdas de media y baja y media tensión han sido construidas con un proveedor certificado con el RETIE, cumple con las distancias de seguridad. Tiene correctamente separados las celdas con los circuitos normales, vitales y críticos. Posee dos transferencias automáticas de 1000A cada una, DPS en baja tensión, como redundancia en caso de caídas de tensión. También tiene tres analizadores de redes para medir el consumo de las celdas de los circuitos normales, vitales y críticos. La celda del transformador tiene un control de temperatura para atenuar el calor generado por la carga eléctrica. Las conexiones eléctricas de esta subestación son a través de blindobarras para los ramales normales, vitales y críticos.

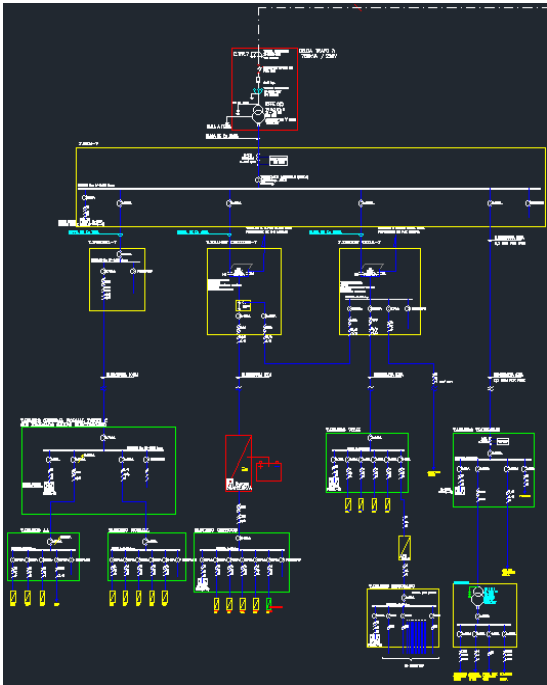


Figura 30. Diagrama subestación Torre C



Figura 31. Subestación Torre C

Para la subestación del edificio Torre C, es posible tener un resumen del contexto operacional, si se toma como referencia la siguiente tabla:

ÍTE M	ACTIV O FIJO	DESCRIPCIÓN	CAN T	MARCA	MODEL O	CARACTERÍSTI CAS	CONTEXTO OPERACIONAL
1	55774	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E SÓTANO 1 DE TORRE C - 750KVA	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 40A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 200A hacia el transformador de 750KVA de la subestación de la Torre A, ubicada en el sótano 1 de la clínica. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas

2	55774-1	CELDA DE TRANSFORMADOR	1	CELCO	CELCO	CELCO	Corresponde a una celda autosoportada que se encarga de cubrir transformador seco de 750KVA y protegerlo de las condiciones externas
3	55774-2	TRANSFORMADOR 13.2KV/208VAC - 750KVA	1	SUNTEC	DTHV3	Peso 1.2 toneladas y conexión D Yn5	Este equipo, trabaja las 24 horas, todos los días, durante todo el año, su temperatura de operación no debe exceder los 50°C, es el encargado de generar el voltaje de baja tensión 208VAC con una corriente de 1500A que va hacia los ramales normales, vitales y críticos. Tiene una carga actual del 40%.
4	55774-3	TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS NORMALES	1	CELCO	CELCO	CELCO	Este tablero de distribución las protecciones eléctricas trifásicas de la clínica que oscilan entre 30 a 500A. Las conexiones eléctricas de este tablero corresponden a circuitos que no necesitan respaldo de energía eléctrica ante una pérdida de voltaje de alimentación.
5	55774-4	TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS VITALES Y CRÍTICOS	1	CELCO	CELCO	CELCO	Este tablero de distribución contiene la otra mitad de las protecciones eléctricas trifásicas de la clínica que oscilan entre 30 a 500A. Las conexiones eléctricas de este tablero corresponden a circuitos requieren energía eléctrica ante una pérdida de voltaje de alimentación. Para esto, cuentan con dos transferencias automáticas de 800A cada una y un segundo circuito alimentador proveniente de una planta eléctrica de 1000KVA. En este tablero, van conectados los equipos de apoyo, tales como chillers, ascensores, bombas de agua, bombas de vacío, entre otros. La otra transferencia, se encarga de dar suministro de energía eléctrica a las áreas de urgencias, UCIs, Hospitalización y Laboratorio de patología.
6	NA	CABLEADO MONOPOLAR DE MEDIA TENSIÓN	50m	CENTELS A	CENTEL SA	Cable Cu XLPE # 4/0, 15kV al 133% pantalla Cinta	Este cable se utiliza para las conexiones de media tensión, posee un alto aislamiento, es un cable rígido y se debe cuidar que no pierda aislamiento. Es un cable de tipo ecológico, no se ve afectado por las condiciones climáticas

Tabla 4. Contexto operacional Subestación #7 Torre C – 750KVA

9.2.5. SUBESTACIÓN #8 TORRE B – 1200KVA:

Esta es una de las subestaciones más grandes de la Clínica de Occidente, suministrará energía a circuitos normales, vitales y críticos de todos los pisos de la torre B; entre ellos, UCIS, Salas de cirugía, gammacamara, TAC de simulación, hospitalización, médula ósea y radio farmacia. posee un seccionador bajo carga en SF6 con fusibles en media tensión de 50A, tiene un transformador seco de marca WEG de 1250KVA con alimentación a 13.2KV a 208VAC con aislamiento clase F (resina epóxica) conexión D Yn5, DPS en media tensión y en baja tensión, malla a tierra con medición inferior a 5 ohmios, celda de condensadores de 90 analizadores de red para medir el consumo de cada celda, tres transferencias automáticas en baja tensión de 2000A, 500A y 1600A. Todas las conexiones de esta subestación se dan a través de blindobarras. Esta subestación posee certificación RETIE para la transformación y distribución. En total, posee alrededor de 39 tableros de distribución. Posee una transferencia automática de 1500A y su segunda alimentación la provee un generador eléctrico de 1500KVA, con autonomía de 12 horas.

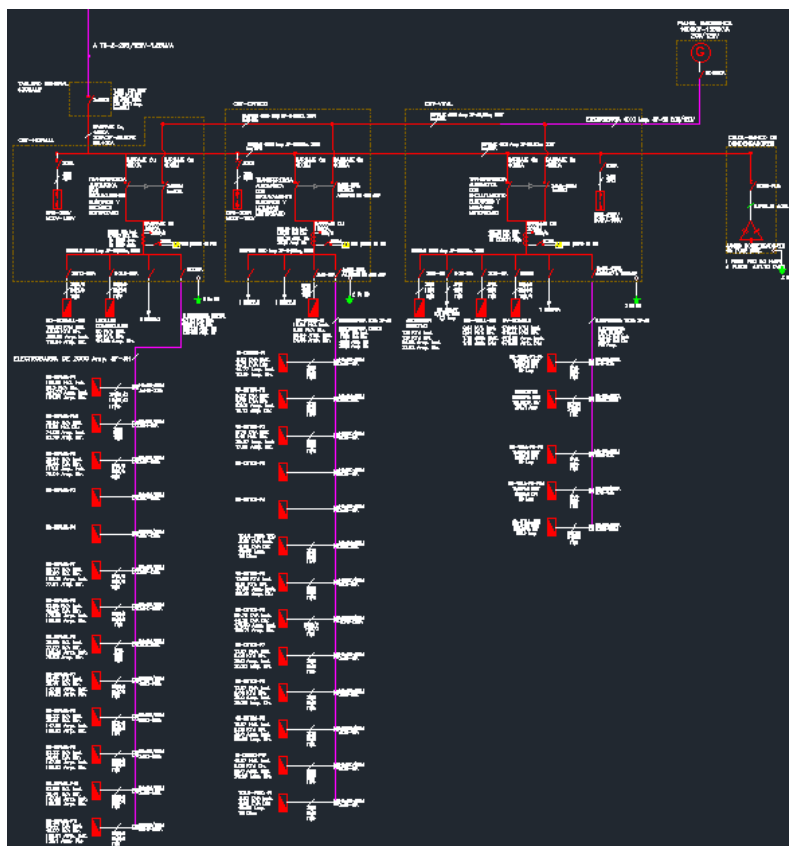


Figura 32. Subestación Torre B – Clínica Torre B

El resumen del contexto operacional de la subestación de 1200KVA del edificio Torre B, se ilustra a continuación:

ÍTEM	ACTIVO FIJO	DESCRIPCIÓN	CANT	MARCA	MODEL O	CARACTERÍSTICAS	CONTEXTO OPERACIONAL
1	61120	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E DE TORRE B DE 1200KVA	1	SCHNEIDER ELECTRIC	DM1- C SM-6	3 fusibles de disparo rápido de 50A, 25KV	Este equipo opera 24 horas, todos los días de semana durante todo el año, su temperatura de operación es de 40°C, debe permanecer conmutado (cerrado) y dar el paso de la alimentación eléctrica en 13.2KV a 200A hacia el transformador de 1200KVA de la subestación de la Torre B, ubicada en el semisótano de este edificio. El disparo de este equipo se da cuando se detecta un corto circuito en algunas de sus fases que están aguas abajo de los fusibles, es decir en la alimentación del bobinado primario de los transformadores. El rearme de este equipo se hace de manera manual. Por tener SF6 puede extinguir el arco eléctrico al momento de conmutarse y de ahí que sus dimensiones son pequeñas
2	61120-1	CELDA DE TRANSFORMADOR	1	CELCO	CELCO	CELCO	Corresponde a una celda autosoportada que se encarga de cubrir transformador seco de 1200KVA y protegerlo de las condiciones externas
3	61120-2	TRANSFORMADOR 13.2KV/208VAC - 1200KVA	1	WEG	DTHV3	Peso 1.2 toneladas y conexión D Yn5 Aislamiento clase F	Este equipo, trabaja las 24 horas, todos los días, durante todo el año, su temperatura de operación no debe exceder los 50°C, es el encargado de generar el voltaje de baja tensión 208VAC con una corriente de 1800A que va hacia los ramales normales, vitales y críticos. Tiene una carga actual del 40%.

4	61120-3	TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS NORMALES	1	CELCO	CELCO	CELCO	Este tablero de distribución las protecciones eléctricas trifásicas de la clínica que oscilan entre 30 a 500A. Las conexiones eléctricas de este tablero corresponden a circuitos que no necesitan respaldo de energía eléctrica ante una pérdida de voltaje de alimentación.
5	61120-4	TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS VITALES Y CRÍTICOS	1	CELCO	CELCO	CELCO	Este tablero de distribución contiene la otra mitad de las protecciones eléctricas trifásicas de la clínica que oscilan entre 30 a 500A. Las conexiones eléctricas de este tablero corresponden a circuitos requieren energía eléctrica ante una pérdida de voltaje de alimentación. Para esto, cuentan con dos transferencias automáticas de 800A cada una y un segundo circuito alimentador proveniente de una planta eléctrica de 1500KVA. En este tablero, van conectados los equipos de apoyo, tales como chillers, ascensores, bombas de agua, bombas de vacío, UCIS, Salas de cirugía, gammacamara, TAC de simulación, hospitalización, médula ósea y radio farmacia, entre otros. La otra transferencia, se encarga de dar suministro de energía eléctrica a las áreas de urgencias, UCIs, Hospitalización y Laboratorio de patología.
6	NA	CABLEADO MONOPOLAR DE MEDIA TENSIÓN	50m	CENTELS A	CENTEL SA	Cable Cu XLPE # 4/0, 15kV al 133% pantalla Cinta	Este cable se utiliza para las conexiones de media tensión, posee un alto aislamiento, es un cable rígido y se debe cuidar que no pierda aislamiento. Es un cable de tipo ecológico, no se ve afectado por las condiciones climáticas

Tabla 5. Contexto operacional Subestación #8 Torre B – 1200KVA

9.3. FUNCIONES PRINCIPALES Y FUNCIONES SECUNDARIAS

Las funciones principales de los equipos críticos del sistema eléctrico de media tensión y las subestaciones de la Clínica de Occidente, permitirán definir las fallas funcionales y modos de fallas, que tiene definido el RCM en el documento SAE JA1012.

En la tabla 6, es posible ver en detalle las funciones de cada equipo crítico del sistema de media tensión y de cada subestación crítica.

ÍTEM	EQUIPO CRÍTICO	FUNCIONES PRINCIPALES	FUNCIONES SECUNDARIAS
1	PUNTO DE CONEXIÓN Y RECONECTADOR	Garantizar la alimentación de energía eléctrica externa de 13.2KV Proteger el circuito Versalles de cualquier de cualquier evento en el que se tenga un aumento súbito de corriente superior a 200A	Reponer de manera automática el circuito alimentador externo Garantizar la seguridad del personal de la empresa de servicios públicos EMCALI al momento de realizar maniobra en media tensión en la zona
2	CABLEADO MONOPOLAR 4/0 AWG	Transmitir la corriente de 200A media tensión hacia las diferentes subestaciones y circuitos de media tensión Transmitir la tensión de 13.2KV media tensión hacia las diferentes subestaciones y circuitos de media tensión	Tener una temperatura de operación menor o igual a 90°C Tener un nivel de aislamiento de 100%, espesor de (6.35mm de espesor
3	CELDA DE PROTECCIÓN AUTOMÁTICA CON CARGA	Garantizar el paso del voltaje de media tensión 13.2KV hacia los seccionadores en SF6 Generar la activación del relé de corta circuito ante un aumento súbito de la corriente por encima de los 200A	Rearmar de manera automática el circuito de media tensión con carga Monitorear el comportamiento de las fases en media tensión
4	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE B	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia las subestaciones Torre B Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga una sobre corriente o corto circuito superior a 50A	Extinguir el arco eléctrico con el gas SF6 producto de la conmutación en media tensión Permitir una maniobra segura al momento de abrir a cerrar
5	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE A, TORRE C Y CIC	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia los seccionadores de Torre A, Torre C y CIC	Extinguir el arco eléctrico con el gas SF6 producto de la conmutación en media tensión

		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga una sobre corriente o un corto circuito superior a 50A	Permitir una maniobra segura al momento de abrir a cerrar
6	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E PISO 1 DE TORRE A - 400KVA	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia la subestación de torre A	Extinguir el arco eléctrico con el gas SF6 producto de la conmutación en media tensión
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un corto circuito superior a 32A	Permitir una maniobra segura al momento de abrir a cerrar
7	SECCIONADOR EN SF6 PARA HABILITAR LAS SUBESTACIONES DEL PISO DE LA TORRE A	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia la subestación de torre C	Extinguir el arco eléctrico con el gas SF6 producto de la conmutación en media tensión
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un corto circuito superior a 40A	Permitir una maniobra segura al momento de abrir a cerrar
8	SECCIONADOR EN SF6 PARA CONEXIÓN DE S/E DE CENTRO DEL CÁNCER (300KVA) Y S/E DE TORRE A SÓTANO 1 (500KVA)	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia la subestación de torre A y CIC	Extinguir el arco eléctrico con el gas SF6 producto de la conmutación en media tensión
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un corto circuito superior a 32A	Permitir una maniobra segura al momento de abrir a cerrar
9	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE C - 750KVA	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia las subestaciones de torre C	Extinguir el arco eléctrico con el gas SF6 producto de la conmutación en media tensión
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un corto circuito superior a 40A	Permitir una maniobra segura al momento de abrir a cerrar
10	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE B - 1200KVA	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia las subestaciones de torre C	Extinguir el arco eléctrico con el gas SF6 producto de la conmutación en media tensión
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un corto circuito superior a 40A	Permitir una maniobra segura al momento de abrir a cerrar
11	TRANSFORMADOR 13.2KV/208VAC (400KVA, 500KVA, 750KVA, 1200KVA)	Convertir el voltaje de media tensión 13.2KV a un voltaje trifásico de baja de 208VAC para los diferentes tableros eléctricos que tiene la clínica de Occidente	Operar al máximo un 75% de su capacidad nominal
		Proteger la conexión de los circuitos eléctricos del tablero contra transitorios, con DPS tipo 1, con una capacidad de descarga 100KA.	Permitir una capacidad de ruptura de 35KA para toda la maniobra eléctrica que hace parte del tablero.
		Tener una alimentación eléctrica trifásica de 208VAC +/- 10%	Operar con una temperatura menor igual a 60°C
12	TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS VITALES Y CRÍTICOS	Generar la distribución en baja tensión (208VAC) hacia los ramales críticos y vitales de la clínica	Alojar los equipos de protección, maniobra eléctrica, analizador de redes, barrajes, cableado, entre otros, de los ocho circuitos trifásicos mediante un gabinete autosoportado construido en lámina Cold Rolled calibre 14 y calibre 16, con un grado de protección IP65.
		Activación de las transferencias eléctricas de 650A, 500A y 1500A respectivamente cuando se tenga una caída de tensión	Mantener una temperatura de operación menor igual a 60°C

Tabla 6. Funciones principales y secundarias de los equipos críticos sistema de media tensión Clínica de Occidente

Una vez establecidas las funciones primarias y secundarias, se procede a evaluar las fallas funcionales de cada equipo crítico; para efectos de practicidad solo se evaluarán las fallas de las funciones principales, ya que se observa que éstas son las que impactan en mayor medida, si se llega a dar una condición por fuera del estándar definido.

9.4. FALLAS FUNCIONALES

Las fallas funcionales se definen como la pérdida de la función de un activo. De forma adicional, se utilizará como referencia el histórico de averías que han tenido las subestaciones desde el año 2019 hasta la fecha:

AÑO	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	NÚMERO FALLAS	HORAS SIN SERVICIO
2019	Disparo de transferencia automática por sobrecarga	Torre A – PISO 1 – Clínica	2	3
2019	Disparo en celda de protección principal	Todas las subestaciones	1	5
2019	Afectaciones externas en el fluido eléctrico	Todas las subestaciones	4	4
2019	Retorno de voltaje por tierra	Centro de Oncología	1	4
2020	Daño en aislamiento de transformador	Torre A – PISO 1 – Clínica	1	8
2020	Disparo en tablero de baja tensión por sobrecarga	Centro de Oncología	2	6
2020	Afectaciones externas en el fluido eléctrico	Todas las subestaciones	2	1.5
2020	Aumento de temperatura en transformador	Centro de Oncología	1	0
2020	Avería de ventilador de celda de transformador	Torre A – SÓTANO 1 – Ampliación Clínica	2	0
2020	Avería de ventilador de celda de transformador	Torre C	2	0
2021	Fallo en la transferencia automática de subestación	Torre A – PISO 1 – Rayos X	2	3
2021	Fallo en la transferencia automática de subestación	Torre A – SÓTANO 1 – Ampliación Clínica	1	3
2021	Fallo en cableado de media tensión	Centro de especialistas	1	3
2021	Afectaciones externas en el fluido eléctrico	Todas las subestaciones	3	2
2021	Fallo en la transferencia automática de subestación	Torre C	1	3
2021	Fallo en aisladores de transformador	Torre A – SÓTANO 1 – Clínica	1	0
2022	Disparo en celda de protección principal	Todas las subestaciones	1	8

Tabla 7.Histórico de averías subestaciones la Clínica de Occidente - QSYSTEMS

A continuación, se ilustran los fallos funcionales:

ÍTEM	EQUIPO CRÍTICO	FUNCIONES PRINCIPALES	FALLAS FUNCIONALES
1	PUNTO DE CONEXIÓN Y RECONECTADOR	Garantizar la alimentación de energía eléctrica externa de 13.2KV	Tensión de alimentación es 0V
		Proteger el circuito Versalles de cualquier de cualquier evento en el que se tenga un aumento súbito de corriente superior a 200A	Apertura o disparo en los corta circuitos
2	CABLEADO MONOPOLAR 4/0 AWG	Transmitir la corriente de 200A media tensión hacia las diferentes subestaciones y circuitos de media tensión	1. Corriente es igual a 0A 2. Cortocircuito
		Transmitir la tensión de 13.2KV media tensión hacia las diferentes subestaciones y circuitos de media tensión	1. Tensión en media tensión es 0V. 2. Tensión de alimentación por encima de los 13.2KV 3. Tensión de alimentación por debajo de los 13.2KV 4. Tensión de alimentación fluctuante
3	CELDA DE PROTECCIÓN AUTOMÁTICA CON CARGA	Garantizar el paso del voltaje de media tensión 13.2KV hacia los seccionadores en SF6	1. Tensión en media tensión es 0V. 2. Tensión de alimentación por encima de los 13.2KV 3. Tensión de alimentación por debajo de los 13.2KV 4. Tensión de alimentación fluctuante
		Generar la activación del relé de corta circuito ante un aumento súbito de la corriente por encima de los 200A	1. Corriente es igual a 0A 2. Cortocircuito
4	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE B	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia las subestaciones Torre B	1. Tensión en media tensión es 0V. 2. Tensión de alimentación por encima de los 13.2KV 3. Tensión de alimentación por debajo de los

			13.2KV
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un aumento de corriente súbito que supere los 50A	4. Tensión de alimentación fluctuante 1. Apertura o disparo en el seccionador
5	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE A, TORRE C Y CIC	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia los seccionadores de Torre A, Torre C y CIC	1. Tensión en media tensión es 0V. 2. Tensión de alimentación por encima de los 13.2KV 3. Tensión de alimentación por debajo de los 13.2KV 4. Tensión de alimentación fluctuante
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga una sobre corriente o un corto circuito superior a 50A	1. Apertura o disparo en el seccionador
6	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E PISO 1 DE TORRE A - 400KVA	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia la subestación de torre A	1. Tensión en media tensión es 0V. 2. Tensión de alimentación por encima de los 13.2KV 3. Tensión de alimentación por debajo de los 13.2KV 4. Tensión de alimentación fluctuante
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un corto circuito superior a 32A	1. Apertura o disparo en el seccionador
7	SECCIONADOR EN SF6 PARA HABILITAR LAS SUBESTACIONES DEL PISO DE LA TORRE A	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia la subestación de torre C	1. Tensión en media tensión es 0V. 2. Tensión de alimentación por encima de los 13.2KV 3. Tensión de alimentación por debajo de los 13.2KV 4. Tensión de alimentación fluctuante
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un corto circuito superior a 40A	1. Apertura o disparo en el seccionador
8	SECCIONADOR EN SF6 PARA CONEXIÓN DE S/E DE CENTRO DEL CÁNCER (300KVA) Y S/E DE TORRE A SÓTANO 1 (500KVA)	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia la subestación de torre A y CIC	1. Tensión en media tensión es 0V. 2. Tensión de alimentación por encima de los 13.2KV 3. Tensión de alimentación por debajo de los 13.2KV 4. Tensión de alimentación fluctuante
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un corto circuito superior a 32A	1. Apertura o disparo en el seccionador
9	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE C - 750KVA	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia la subestación de torre C	1. Tensión en media tensión es 0V. 2. Tensión de alimentación por encima de los 13.2KV 3. Tensión de alimentación por debajo de los 13.2KV 4. Tensión de alimentación fluctuante
		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un corto circuito superior a 40A	1. Apertura o disparo en el seccionador
10	SECCIONADOR EN SF6 PARA S/E TORRE B - 1200KVA	Permitir el paso del voltaje trifásico (13.2KV) en media tensión hacia la subestación de torre C	1. Tensión en media tensión es 0V. 2. Tensión de alimentación por encima de los 13.2KV 3. Tensión de alimentación por debajo de los 13.2KV 4. Tensión de alimentación fluctuante

		Proteger el sistema eléctrico de media tensión, cuando se tenga un corto circuito superior a 40A	1. Apertura o disparo en el seccionador
11	TRANSFORMADOR 13.2KV/208VAC (400KVA, 500KVA, 750KVA, 1200KVA)	Convertir el voltaje de media tensión 13.2KV a un voltaje trifásico de baja de 208VAC para los diferentes tableros eléctricos que tiene la clínica de Occidente	1. Voltaje igual a 0VAC 2. Voltaje superior a 208VAC 3. Voltaje inferior a 208VAC 4. Voltaje aterrizado
		Operar con un temperatura menor o igual a 60°C	Temperatura superior a 60°C
		Tener una alimentación eléctrica trifásica de 208VAC +/- 10%	1. Fluctuación de Voltaje
12	TABLERO ELÉCTRICO DE CIRCUITOS VITALES Y CRÍTICOS	Generar la distribución en baja tensión (208VAC) hacia los ramales críticos y vitales de la clínica	1. Voltaje igual a 0VAC 2. Voltaje superior a 208VAC 3. Voltaje inferior a 208VAC 4. Voltaje aterrizado
		Activación de las transferencias eléctricas de 650A, 500A y 1500A respectivamente cuando se tenga una caída de tensión	1. Transferencias eléctricas no se activan ante una caída de tensión

Tabla 8. Fallas funcionales de las funciones principales de los equipos críticos sistema de media tensión Clínica de Occidente

Si se toma como referencia las normas UNE-EN 61025 (Árbol de fallos) y UNE-EN 60812 (Análisis RCA), es posibles decir que las fallas funcionales, son eventos no deseados; por lo tanto, pueden ser analizados por cualquier método de análisis de causa raíz, con el objetivo de encontrar el modo de fallo que realmente impacta. Para este caso, se utilizará el árbol de fallos definido en el estándar UNE-EN 61025.

Por otra parte, se observa que los fallos asociados a los seccionadores en SF6 son todos similares. Esto permite trabajar con uno solo de estos equipos; para después replicarlo y estandarizarlo sobre los demás seccionadores.

9.5. MODOS DE FALLOS (CAUSA RAÍZ)

El árbol de fallos de cada ítem mantenible crítico se puede observar en el anexo 4. Los resultados muestran la causa raíz para cada equipo crítico, según la metodología UNE-EN 61025. Cabe aclarar, que los diferentes modos de fallo (causas raíz) fueron igualmente sometidos a un análisis de criticidad, según lo que establece la norma UNE-EN 60812 (Análisis RCA).

Tabla 3 – Matriz de Riesgo/Criticidad

Frecuencia de ocurrencia del efecto de fallo	Niveles de Severidad			
	1 Insignificante	2 Marginal	3 Crítico	4 Catastrófico
5: Frecuente	No deseable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
4: Probable	Tolerable	No deseable	Intolerable	Intolerable
3: Ocasional	Tolerable	No deseable	No deseable	Intolerable
2: Remoto	Insignificante	Tolerable	No deseable	No deseable
1: Improbable	Insignificante	Insignificante	Tolerable	Tolerable

Figura 33. Matriz de criticidad UNE-EN 60812 (Análisis RCA)

Los resultados obtenidos en los diferentes ejercicios del árbol de fallo son:

Punto de conexión y reconector

CAUSA RAÍZ	DESCRIPCIÓN	Severidad	Probabilidad	Riesgo (SxP)	Comentarios
1.1.1	SISTEMA MECÁNICO NO ACCIONA	3	2	6	
2.2.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.1.1.1	AUMENTO SÚBITO DE CARGA	3	2	6	
2.1.2	CORTOCIRCUITO AGUAS ABAJO DEL RECONECTOR	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
3.1.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA AFECTACIONES CLIMÁTICAS	3	3	9	
3.2.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
4.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.2.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.2.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.2.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.1.1.1	AUMENTO SÚBITO DE CARGA	3	2	6	
5.1.2	CORTOCIRCUITO AGUAS ABAJO DEL RECONECTOR	3	3	9	
6.1.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA AFECTACIONES CLIMÁTICAS	3	3	9	
6.2.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	

Tabla 9. Criticidad modos de fallo seccionador SF6

Cable monopolar 4/0

CAUSA RAÍZ	DESCRIPCIÓN	Severidad	Probabilidad	Riesgo (SxP)	Comentarios
1.1.1.1	CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
1.1.2.1	TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
1.1.3.1	CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.1.1.1	ROEDORES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.1.1	MALA INSTALACIÓN	3	2	6	
3.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA AFECTACIONES CLIMÁTICAS	3	3	9	
4.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
5.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
5.1.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.1.2.2	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.1.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.1.4	ROEDORES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.1.5	MALA INSTALACIÓN	3	3	9	
6.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	

7.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA AFECTACIONES CLIMATICAS	3	3	9	
8.1.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
8.1.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
8.1.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
8.1.4	ROEDORES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
8.1.5	MALA INSTALACIÓN	3	3	9	

Tabla 10. Criticidad modos de fallo cable monopolar 4/0

Celda de protección automática bajo carga

CAUSA RAÍZ	DESCRIPCIÓN	Severidad	Probabilidad	Riesgo (SxP)	Comentarios
1.1.1	NO SE TIENE UN PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO E INTERVENCIÓN EN LAS SUBESTACIONES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
1.2.1.1	DESGASTE EN COMPONENTES MECÁNICOS	3	3	9	
1.2.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.1.1.1	CORTOCIRCUITO AGUAS ABAJO DEL SECCIONADOR	3	2	6	
2.1.2	AUMENTO SÚBITO DE CARGA	3	2	6	
3.1.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA AFECTACIONES CLIMATICAS	3	3	9	
3.2.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
4.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
5.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
6.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA AFECTACIONES CLIMATICAS	3	3	9	
7.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
8.1.1	NO SE TIENE UN PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO E INTERVENCIÓN EN LAS SUBESTACIONES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
8.2.1.1	DESGASTE EN COMPONENTES MECÁNICOS	3	3	9	
8.2.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
9.2.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
9.2.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
9.2.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
9.1.1.1	AUMENTO SÚBITO DE CARGA	3	2	6	
9.1.2	CORTOCIRCUITO AGUAS ABAJO DEL SECCIONADOR	3	2	6	
10.1.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA AFECTACIONES CLIMATICAS	3	3	9	
10.2.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
11.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	
12.2.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
12.2.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
12.2.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN

12.1.1.1	AUMENTO SÚBITO DE CARGA	3	2	6	
12.1.2	CORTOCIRCUITO AGUAS ABAJO DEL SECCIONADOR	3	3	9	
13.1.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA AFECTACIONES CLIMATICAS	3	2	6	
13.2.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
13.3.1	NO EXISTE CONTROL DE PLAGAS	3	3	9	

Tabla 11. Criticidad modos de fallo Celda de protección automática bajo carga

Seccionador en SF6

CAUSA RAÍZ	DESCRIPCIÓN	Severidad	Probabilidad	Riesgo (SxP)	Comentarios
1.2.1	NO SE TIENE UN PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO E INTERVENCIÓN EN LAS SUBESTACIONES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.1.1	CORTOCIRCUITO EN EL DEBANADO PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR	4	4	16	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.1.2	FATIGA EN LOS FUSIBLES	2	4	8	
2.1.3.1	CABLES Y PUNTOS DE FIJACIÓN FLOJOS	4	4	16	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.1.4.1	MALA INSTALACIÓN O INSTALACIÓN OBSOLETA	2	3	6	
2.1.4.2	ROEDORES	2	3	6	
2.1.5.1	CUMPLIMIENTO DE LA VIDA ÚTIL DEL SECCIONADOR	2	2	4	
2.2.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
3.1.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA AFECTACIONES CLIMATICAS	3	3	9	
3.2.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
4.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
5.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
6.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA FALLOS EN EL CIRCUITO ALIMENTADOR	3	3	9	
7.1.1	NO SE TIENE UN RESPALDO O STAND BY PARA AFECTACIONES CLIMATICAS	3	3	9	
8.1.2	PÉRDIDA DE AISLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
8.2.1	CUMPLIMIENTO DE LA VIDA ÚTIL DE LOS FUSIBLES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
8.3.1	CABLES Y PUNTOS DE FIJACIÓN FLOJOS	3	3	9	
8.4.1	MALA INSTALACIÓN O INSTALACIÓN OBSOLETA	2	3	6	
8.4.2	ROEDORES	2	3	6	
8.5.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
9.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
9.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
9.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN

Tabla 12. Criticidad modos de fallo seccionador SF6

Transformador 13.2KV/208VAC

CAUSA RAÍZ	DESCRIPCIÓN	Severidad	Probabilidad	Riesgo (SxP)	Comentarios
1.1.1	NO SE TIENE UN PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO E INTERVENCIÓN EN LAS SUBESTACIONES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN

2.1.1.1	PÉRDIDA DE AISLAMIENTO EN LOS DEBANADOS	4	4	16	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.1	PÉRDIDA DE AISLAMIENTO EN LOS DEBANADOS	4	4	16	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.3.1	CABLES Y PUNTOS DE FIJACIÓN FLOJOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.4.1	MALA INSTALACIÓN O INSTALACIÓN OBSOLETA	3	3	9	
2.4.2	ROEDORES	3	3	9	
2.5.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.5.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.5.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
3.1.1	HUMEDAD EN LOS DEBANADOS DEL TRANSFORMADOR	3	2	6	
3.2.1	NO EXISTE CONTROL DE PLAGAS	3	3	9	
4.1.1	NO SE TIENE NORMALIZADO LA POSICIÓN DEL TAP	2	2	4	
6.1.1	TRANSFORMADOR SUCIO	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
6.1.2.1	TRANSFORMADOR TRABAJANDO POR ENCIMA DEL 75% DE SU CAPACIDAD	2	3	6	
6.1.3	NO SE TIENE REFRIGERACIÓN PARA EL TRANSFORMADOR	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
7.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
7.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
7.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
8.1.1	TORMENTAS ELÉCTRICAS	3	3	9	
9.1.1	CABLES, BORNERAS, TERMINALES SUELTOS, FLOJOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
10.1.1	TRANSFORMADOR SUCIO	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
10.2.1	TRANSFORMADOR TRABAJANDO POR ENCIMA DEL 75% DE SU CAPACIDAD	2	3	6	
10.3.1	VENTILACIÓN NO OPERATIVA	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
11.1.1	TRANSFORMADOR SUCIO	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
11.2.1	TRANSFORMADOR TRABAJANDO POR ENCIMA DEL 75% DE SU CAPACIDAD	2	3	6	
11.3.1	VENTILACIÓN NO OPERATIVA	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN

Tabla 13. Criticidad modos de transformador 13.2KV/208VAC

Tableros eléctricos de circuitos críticos y vitales

CAUSA RAÍZ	DESCRIPCIÓN	Severidad	Probabilidad	Riesgo (SxP)	Comentarios
1.1.1	NO SE TIENE UN PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO E INTERVENCIÓN EN LAS SUBESTACIONES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.1.1	CABLES Y PUNTOS DE FIJACIÓN FLOJOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.1	MALA INSTALACIÓN O INSTALACIÓN OBSOLETA	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.2.2	ROEDORES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.3.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.3.1.2	MANIOBRA ELÉCTRICA OBSOLETA	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.3.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
2.3.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN

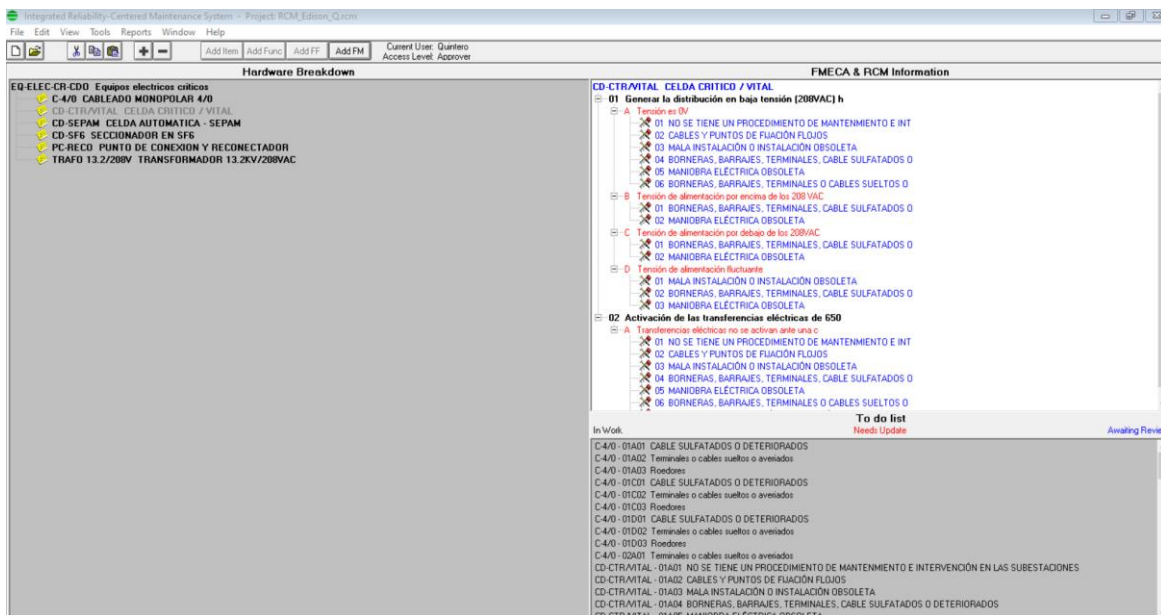
4.1.1	MALA INSTALACIÓN O INSTALACIÓN OBSOLETA	3	2	6	
4.1.2	ROEDORES	3	3	9	
4.2.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
4.2.1.2	MANIOBRA ELÉCTRICA OBSOLETA	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
4.2.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
4.2.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.1.1	MALA INSTALACIÓN O INSTALACIÓN OBSOLETA	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.1.2	ROEDORES	3	3	9	
5.2.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.2.1.2	MANIOBRA ELÉCTRICA OBSOLETA	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.2.2.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
5.2.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
6.1.1	NO SE TIENE UN PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO E INTERVENCIÓN EN LAS SUBESTACIONES	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
7.1.1	CABLES Y PUNTOS DE FIJACIÓN FLOJOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
7.2.1	MALA INSTALACIÓN O INSTALACIÓN OBSOLETA	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
7.2.2	ROEDORES	3	3	9	
7.3.1.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES, CABLE SULFATADOS O DETERIORADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
7.3.1.2	MANIOBRA ELÉCTRICA OBSOLETA	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
7.3.3.1	BORNERAS, BARRAJES, TERMINALES O CABLES SUELTOS O AVERIADOS	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
7.4.1.1	EL ACCIONAMIENTO MECÁNICO NO ESTÁ LUBRICADO	3	4	12	REQUIERE PLAN DE ACCIÓN
7.5.1.1	CRECIMIENTO INDISCRIMINADO DE LA CLÍNICA HACE QUE SE CONECTEN CARGAS ENTENDER LA CONDICIÓN ACTUAL	3	3	9	

Tabla 14. Criticidad modos de Tableros eléctricos de circuitos críticos y vitales

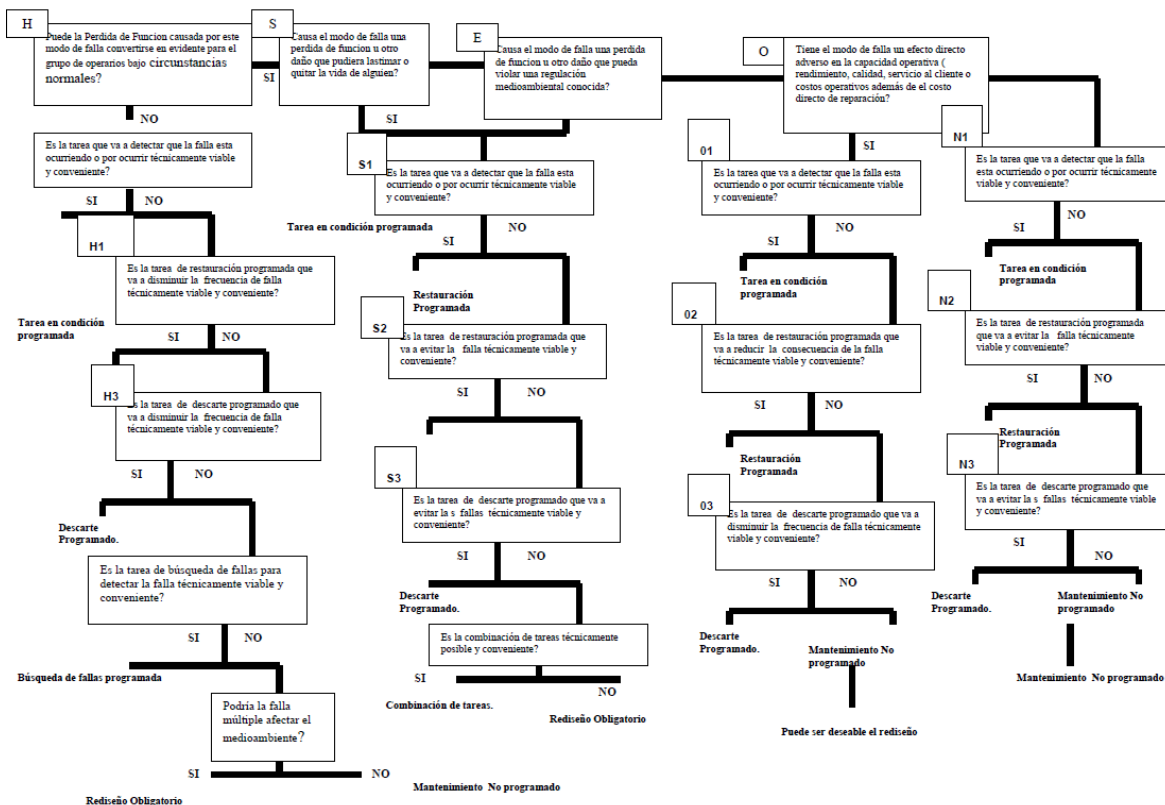
En las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14 se puede observar las diferentes causas raíz que pueden generar las fallas funcionales en los equipos críticos del sistema eléctrico de media tensión de la Clínica de Occidente. Se debe decir que los modos de falla escogidos para el análisis del árbol de decisión que plantea la SAE JA1012, son los que obtuvieron la calificación de criticidad más alta (color rojo); con el programa IRCM630, es posible organizar la información, ya que se encuentran muchos modos de falla son similares.

9.6. FMECA Y ÁRBOL DE DECISIÓN DEL RCM

La figura 34, se muestra el análisis FMECA realizado en el software IRCM630 sobre los equipos críticos que hacen parte de las subestaciones eléctricas de la Clínica de Occidente y el anexo 5 de este trabajo contiene el desarrollo completo de este ejercicio, que posteriormente será utilizado por el árbol de decisión del RCM para plasmar el tipo de tarea de mantenimiento que requerirán los equipos eléctricos críticos.



Por otra parte, la figura 35, ilustra el árbol lógico de decisión del RCM. Adicional, en el anexo 6 se puede observar el desarrollo de esta herramienta en el formato de Microsoft Excel adoptado por la clínica. Es importante aclarar que, las actividades que resulten de este anexo serán las plasmadas en el software de mantenimiento QSYSTEMS.



Los planes de acción obtenidos a través del árbol de decisión se muestran a continuación:

		RCM TASKS DECISION WORKSHEET																							
		Equipment No. :		Equipment Type :		Date Started :		Date End :		Teamname :		Reviewed by :		Rev. No.		Sheet									
		CABLEADO MONOPOLAR		Cableado eléctrico		10/05/2021		12/05/2021		Mantenimiento		Gonzalo Aguirre		1		1									
		Team Objective :		Determinar las tareas de mantenimiento requeridas para el cableado monopolar de las subestaciones										Approved by :		Date :		of							
						Edison Quintero		Juan Aristizabal																	
Information Reference		Failure Consequence		H1 S1		H2 S2		H3 S3		H4 S4		Default Tasks		Proposed Tasks (PT)				Maintenance Classification (Check Classification)		Initial Interval (ii)		Responsible			
F		FF FM		H		S		E		O		N1 N2 N3 N4		H4 H5 S4		PM CBM RTF RED MOD									
1 A 1										X		X		Pruebas de aislamiento del cable, revision y limpieza de terminales eléctricas. Retirar humedad en el cable. Reemplazar partes deterioradas. Revision de pantallas y premoldeados				x				semestral		Técnicos/contratista	
1 A 2										X		X		Retorqueo de terminales, ajustar soportes, ajustar barrajes, aislar terminales eléctricas				x				semestral		Técnicos/contratista	
1 A 3										X		X		Implementar programa de control de roedores, limpieza de celdas y pasa cables, tapar posibles entradas de roedores con poliuretano				x				mensual		contratista	
1 B														No aplica											
1 C 1										X		X		Pruebas de aislamiento del cable, revision y limpieza de terminales eléctricas. Retirar humedad en el cable. Reemplazar partes deterioradas. Revision de pantallas y premoldeados				x				semestral		Técnicos/contratista	
1 C 2										X		X		Retorqueo de terminales, ajustar soportes, ajustar barrajes, aislar terminales eléctricas				x				semestral		Técnicos/contratista	
1 C 3										X		X		Implementar programa de control de roedores, limpieza de celdas y pasa cables, tapar posibles entradas de roedores con poliuretano				x				mensual		contratista	
1 D 1										X		X		Pruebas de aislamiento del cable, revision y limpieza de terminales eléctricas. Retirar humedad en el cable. Reemplazar partes deterioradas. Revision de pantallas y premoldeados				x				semestral		Técnicos/contratista	
1 D 2										X		X		Retorqueo de terminales, ajustar soportes, ajustar barrajes, aislar terminales eléctricas				x				semestral		Técnicos/contratista	
1 D 3										X		X		Implementar programa de control de roedores, limpieza de celdas y pasa cables, tapar posibles entradas de roedores con poliuretano				x				mensual		contratista	
2 A 1										X		X		Realizar termografías para identificar el estado del cable y posibles fatigas				x				semestral		Técnicos/contratista	
S5-08		LEGEND PM - Preventive Maintenance		PdM - Condition-Based RTF - Run to fail										Red - Redundancy (ii) Initial Interval				MOD - Modify (PT) Proposed Tasks							

Figura 36. Tareas RCM para el cableado Monopolar CDO

RCM TASKS DECISION WORKSHEET

Equipment No. :	Equipment Type :	Date Started :	Date End :	Teamname :	Reviewed by :	Rev. No.	Sheet
Celdas eléctricas circuitos críticos, vitales y normales	Celdas de baja tensión	10/05/2021	12/05/2021	Mantenimiento	Gonzalo Aguirre	1	1
Team Objective :				Leader :	Approved by :	Date :	of
Determinar las tareas de mantenimiento requeridas para las celdas de baja tensión				Edison Quintero	Juan Aristizabal		

Information Reference	Failure Consequence	H1 S1	H2 S2	H3 S3	H4 S4	Default Tasks	Proposed Tasks (PT)	Maintenance Classification (Check Classification)	Initial Interval (ii)	Responsible										
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	N4	H4	H5	S4	PM	CBM	RTF	RED	MOD		
1	A	1				X	X							X					Mensual	Técnicos/contratista
1	A	2				X	X							X					Mensual	Técnicos/contratista
1	A	3			X					X							X	Anual	Contratistas	
1	A	4				X	X							X					Mensual	Técnicos/contratista
1	A	5				X				X							X	semestral	Técnicos/contratista	
1	A	6				X	X							X					Mensual	Técnicos/contratista
1	B	1				X	X							X					Mensual	Técnicos/contratista
1	B	2				X				X							X	semestral	Técnicos/contratista	
1	C	1				X	X							X					Mensual	Técnicos/contratista
1	C	2			X					X				X				X	Anual	Contratistas
1	D	1			X					X							X		Anual	Técnicos/contratista
1	D	2				X	X							X					Mensual	Técnicos/contratista
1	D	3				X	X							X					Mensual	Técnicos/contratista
2	A	1				X	X							X					Mensual	Técnicos/contratista
2	A	2				X	X							X					Mensual	Técnicos/contratista
2	A	3			X					X							X	Anual	Contratistas	
2	A	4			X					X							X	Anual	Contratistas	

Figura 37. Tareas RCM para celdas baja tensión CDO



CLÍNICA

OCCIDENTE

RCM TASKS DECISION WORKSHEET

Equipment No. :	Equipment Type :	Date Started :	Date End :	Teamname :	Reviewed by :	Rev. No.	Sheet
Celda de protección automática SEPAM	Seccionador bajo carga	10/05/2021	12/05/2021	Mantenimiento	Gonzalo Aguirre	1	1
Team Objective :				Leader :	Approved by :	Date :	of
Determinar las tareas de mantenimiento requeridas para la celda SEPAM				Edison Quintero	Juan Aristizabal		

Information Reference	Failure Consequence	H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	H4 S4 O4	Default Tasks	Proposed Tasks (PT)	Maintenance Classification (Check Classification)	Initial Interval (ii)	Responsible
F	FF	FM	H	S	E	O	N1 N2 N3 N4 H4 H5 S4	PM CBM RTF RED MOD		
						X	X			Crear un estándar operacional para el mantenimiento y operación de las subestaciones. Formar al personal técnico para realizar actividades de mantenimiento en subestaciones. Adquirir todos los elementos de protección personal y herramientas requeridas para intervenir subestaciones
1	A	1				X	X			Realizar lubricación de elementos móviles del seccionador y realizar limpieza y retorqueo de cables
1	A	3				X	X			Reemplazo de fusibles
1	B	1				X	X			Limpieza de componentes electricos, termografías, retorqueo de terminales, barrajes, reemplazo de maniobra eléctrica averiada, corregir puntos calientes.
1	B	2				X	X			Limpieza de componentes electricos, termografías, retorqueo de terminales, barrajes, reemplazo de maniobra eléctrica averiada, corregir puntos calientes.
1	B	3				X	X			Implementar programa de control de roedores, limpieza de celdas y pasa cables, tapar posibles entradas de roedores con polibutirano
1	C	1				X	X			Limpieza de componentes electricos, termografías, retorqueo de terminales, barrajes, reemplazo de maniobra eléctrica averiada, corregir puntos calientes.
1	C	2				X	X			Limpieza de componentes electricos, termografías, retorqueo de terminales, barrajes, reemplazo de maniobra eléctrica averiada, corregir puntos calientes.
1	C	3				X	X			Implementar programa de control de roedores, limpieza de celdas y pasa cables, tapar posibles entradas de roedores con polibutirano
1	D	1				X	X			Limpieza de componentes electricos, termografías, retorqueo de terminales, barrajes, reemplazo de maniobra eléctrica averiada, corregir puntos calientes.
1	D	2				X	X			Limpieza de componentes electricos, termografías, retorqueo de terminales, barrajes, reemplazo de maniobra eléctrica averiada, corregir puntos calientes.
1	D	3				X	X			Implementar programa de control de roedores, limpieza de celdas y pasa cables, tapar posibles entradas de roedores con polibutirano
2	A	1				X	X			Crear un estándar operacional para el mantenimiento y operación de las subestaciones. Formar al personal técnico para realizar actividades de mantenimiento en subestaciones. Adquirir todos los elementos de protección personal y herramientas requeridas para intervenir subestaciones
2	A	2				X	X			Realizar lubricación de elementos móviles del seccionador y realizar limpieza y retorqueo de cables
2	A	3				X	X			Limpieza de componentes electricos, termografías, retorqueo de terminales, barrajes, reemplazo de maniobra eléctrica averiada, corregir puntos calientes.
2	B	1				X	X			Crear un estándar operacional para el mantenimiento y operación de las subestaciones. Formar al personal técnico para realizar actividades de mantenimiento en subestaciones. Adquirir todos los elementos de protección personal y herramientas requeridas para intervenir subestaciones
2	B	2				X	X			Realizar lubricación de elementos móviles del seccionador y realizar limpieza y retorqueo de cables
2	B	3				X	X			Limpieza de componentes electricos, termografías, retorqueo de terminales, barrajes, reemplazo de maniobra eléctrica averiada, corregir puntos calientes.
2	B	4				X	X			Implementar programa de control de roedores, limpieza de celdas y pasa cables, tapar posibles entradas de roedores con polibutirano

Figura 38. Tareas RCM para celda de disparo SEPAM CDO

CLÍNICA DE OCCIDENTE

RCM TASKS DECISION WORKSHEET

Equipment No.:		Equipment Type:		Date Started:	Date End:	Teamname:	Reviewed by:	Rev. No.	Sheet												
Celda de protección en SF6		Seccionador en SF6		10/05/2021	12/05/2021	Mantenimiento	Gonzalo Aguirre	1	1												
Team Objective:		Determinar las tareas de mantenimiento requeridas para la celdas en SF6		Leader:		Approved by:		Date:	of												
Edison Quintero		Juan Aristizabal																			
Information Reference	Failure Consequence					Proposed Tasks		Maintenance Classification	Initial Interval	Responsible											
								(Check Classification)	(ii)												
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	N4	H4	H5	S4	PM	CBM	RTF	RED	MOD			
1	A	1				X		X						X				mensual	Técnicos/contratista		
1	A	2				X		X						X				semestral	Técnicos/contratista		
1	A	3				X		X						X				anual	Técnicos/contratista		
1	A	4				X		X						X				semestral	Técnicos/contratista		
1	A	5				X		X						X				semestral	Técnicos/contratista		
1	B	1				X		X						X				semestral	Técnicos/contratista		
1	C	1				X		X						X				semestral	contratista		
1	C	2				X		X						X				semestral	Técnicos/contratista		
1	D	1				X		X						X				semestral	contratista		
1	D	2				X		X						X				semestral	contratista		
2	A	1				X		X						X				semestral	contratista		
2	A	2				X		X						X				anual	Técnicos/contratista		
2	A	3				X		X						X				semestral	contratista		
55-08		LEGEND PM - Preventive Maintenance					PdM - Condition-Based RTF - Run to fail					Red - Redundancy (ii) Initial Interval					MOD - Modify (PT) Proposed Tasks				

55-08 LEGEND PM - Preventive Maintenance

PdM - Condition-Based RTF - Run to fail

Red - Redundancy

MOD - Modify

(ii) Initial Interval

(PT) Proposed Tasks

Figura 39. Tareas RCM para seccionadores en SF6 CDO

		RCM TASKS DECISION WORKSHEET																							
Equipment No. :							Equipment Type :				Date Started :		Date End :		Teamname :		Reviewed by :		Rev. No.	Sheet					
Transformador de 13.2KV/220VAC							Trabajadores de baja				10/05/2021		12/05/2021		Mantenimiento		Gonzalo Aguirre		1	1					
Team Objective :							Determine the maintenance tasks required for the low voltage transformers				Leader :		Edison Quintero		Approved by :		Juan Aristizabal		Date :	of					
Information Reference		Failure Consequence					H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	H4 S4 O4	Proposed Tasks					Maintenance Classification (Check Classification)					Initial Interval (ii)	Responsible			
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	N4	H4	H5	S4	(PT)					PM CBM RTF RED MOD						
1	A	1				X		X						Crear un estándar operacional para el mantenimiento y operación de las subestaciones. Formar al personal técnico para realizar actividades de mantenimiento en subestaciones. Adquirir todos los elementos de protección personal y herramientas requeridas para intervenir subestaciones					x				mensual	Técnicos/contratista	
1	A	2				X		X						Limpieza del transformador con nitrógeno, medición de aislamiento del transformador, medición de la relación de transformación, revisión de los DPS y revisión del estado de cable, terminales y bornas. Mantenimiento al sistema de puesta a tierra					x				semestral	Técnicos/contratista	
1	A	3				X		X						Limpieza de componentes eléctricos, termografías, retorqueo de terminales, barras, reemplazo de maniobra eléctrica averiada, corregir puntos calientes.					x				semestral	Técnicos/contratista	
1	A	4				X		X						Revisión del cableado, retorqueo de terminales, limpieza de barras, bornas y remoción de sulfatación					x				semestral	Técnicos/contratista	
1	B	1				X		X						Revisión del cableado, retorqueo de terminales, limpieza de barras, bornas y remoción de sulfatación					x				semestral	Técnicos/contratista	
1	C	1				X		X						Limpieza del transformador con nitrógeno, limpieza de la celda del transformador					x				semestral	Técnicos/contratista	
1	C	2				X		X						Mantenimiento a los sistemas de puesta a tierras, revisión de barras y medición de la tierra.					x				semestral	Técnicos/contratista	
1	C	3				X		X						Revisión del cableado, retorqueo de terminales, limpieza de barras, bornas y remoción de sulfatación					x				semestral	Técnicos/contratista	
1	D	1				X		X						Revisión del cableado, retorqueo de terminales, limpieza de barras, bornas y remoción de sulfatación					x				semestral	Técnicos/contratista	
1	D	2				X		X						Mantenimiento a los sistemas de puesta a tierras, revisión de barras y medición de la tierra.					x				semestral	Técnicos/contratista	
1	D	3				X		X						Limpieza de componentes eléctricos, termografías, retorqueo de terminales, barras, reemplazo de maniobra eléctrica averiada, corregir puntos calientes.					x				semestral	Técnicos/contratista	
1	D	4				X		X						Limpieza del transformador con nitrógeno, limpieza de la celda del transformador					x				semestral	Técnicos/contratista	
2	A	1				X		X						Limpieza del transformador con nitrógeno, limpieza de la celda del transformador					x				semestral	Técnicos/contratista	
2	A	2				X		X						Mantenimiento a sistema de ventilación de la celda					x				semestral	Técnicos/contratista	
S5-08		LEGEND PM - Preventive Maintenance					PdM - Condition-Based RTF - Run to fail					Red - Redundancy (ii) Initial Interval					MOD - Modify (PT) Proposed Tasks								

Figura 40. Tareas RCM para transformadores 13.2kv/220VAC

 CLÍNICA DE OCCIDENTE		RCM TASKS DECISION WORKSHEET																						
		Equipment No. : PUNTO DE CONEXIÓN Y RECONECTOR			Equipment Type : Punto de conexión y reconector			Date Started : 10/05/2021		Date End : 12/05/2021		Teamname : Mantenimiento		Reviewed by : Gonzalo Aguirre		Rev. No. 1	Sheet 1							
Team Objective : Determinar las tareas de mantenimiento requeridas para el punto de conexión y reconector																			Leader : Edison Quintero		Approved by : Juan Aristizabal		Date : 	of
Information Reference		Failure Consequence			H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	H4 S4 O4	Default Tasks		Proposed Tasks (PT)					Maintenance Classification (Check Classification) PM CBM RTF RED MOD				Initial Interval (ii)	Responsible			
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	N4	H4	H5	S4											
1	A	1				X		X						Limpieza de componentes electricos, termografias, retorqueo de terminales, barrajes, reemplazo borneras, barrajes, cableado averiado					x		Anual	contratista		
1	A	2				X		X						Retorqueo de terminales, ajustar soportes, ajustar barrajes, aislar terminales eléctricas					x		Anual	contratista		
1	A	3				X		X						Retorqueo de terminales, ajustar soportes, ajustar barrajes, aislar terminales eléctricas					x		Anual	contratista		
2	A	1				X		X						Mantenimiento al sistema de puesta a tierras, revisión del cableado, pruebas de aislamiento del cable,					x		Anual	contratista		
2	A	1				X		X						Implementar un segundo reconector para aumentar la confiabilidad de la red eléctrica						x		contratista		
S5-08		LEGEND PM - Preventive Maintenance					PdM - Condition-Based RTF - Run to fail					Red - Redundancy (ii) Initial Interval					MOD - Modify (PT) Proposed Tasks							

Figura 41. Tareas RCM para punto de conexión CDO

El resultado obtenido del árbol de decisión del RCM para los equipos críticos es posible verlo en las figuras 36, 37, 38, 39, 40 y 41 respectivamente. Cada imagen, contiene las actividades que el personal de mantenimiento (técnicos y contratistas) llevarán a cabo de manera sistemática con el fin de aumentar la confiabilidad de los sistemas eléctricos y subestaciones de la clínica. Estas actividades, serán migradas al sistema de gestión de mantenimiento que maneja la compañía QSYSTEMS.

Por otra parte, existen algunas tareas resaltadas en color amarillo que, si bien no hacen parte de un plan de mantenimiento, son parte de las seis medidas para cero pérdidas que se mencionaron al inicio de este trabajo.

En otras palabras, las actividades de mantenimiento generadas desde el árbol de decisión del RCM son la respuesta a una parte de la problemática (prevenir el deterioro natural y forzado de los activos). Sin embargo, revisando las seis medidas para cero fallas, es posible concluir que para garantizar un verdadero criterio de confiabilidad sobre los activos, es necesario establecer condiciones básicas, evitar los errores humanos a través de los estándares operacionales y los estándares de mantenimiento, mejorar las condiciones de diseño de las subestaciones, entender la relación de mantenimiento con el proveedor de servicios públicos y el entrenamiento y capacitación permanente sobre el personal técnico.

Antes de realizar la implementación del plan de mantenimiento en QSYSTEMS, se procede a generar las listas de chequeo de tendrá el personal técnico para evaluar el estado de los circuitos de media tensión y subestaciones de la clínica. El anexo 7, contiene las listas de chequeo.

LISTA DE CHEQUEO DE EQUIPOS DE MEDIA TENSIÓN				 CÓDIGO: F CAL 003	
ESTADO	ÓPTIMO:  ANOMALIA: 	FECHA:	TURNO:		
		TÉCNICO:	SUBESTACION:		
EQUIPO	DESCRIPCIÓN	ESTADO	OBSERVACIONES Y/O NOVEDADES	# DE SOLICITUD A MANTENIMIENTO	
PUNTO DE CONEXIÓN	Realizar inspección visual. Identifica alguna condición de recalentamiento en los componentes aisladores ?				
	Realizar inspección visual. Identifica alguna condición de recalentamiento en el cableado ?				
	Realizar inspección visual. Identifica alguna condición de recalentamiento en los conos premoldeados ?				
	Verificar el estado del tablero de control del reconectador. Existe alguna condición anormal en el en tablero ?				
	Realizar inspección visual. Identifica alguna condición inusual sobre la estructura del reconectador ?				
	Mida con la cámara termográfica los DPS				
	Identifique puntos calientes con cámara termográfica. Validar incrementos anormales de temperatura sobre los elementos eléctricos. La temperatura debe ser inferior 70°C				
CANALIZACIONES, CAJAS DE INSPECCIÓN Y TUBERÍAS	Realizar inspección visual sobre el cable. Existe alguna condición de recalentamiento				
	Verifique que la caja principal no tenga empozamiento. Activar bomba sumergible				
	El cableado de tierra y la malla a tierra está sulfatado ?				
	Los cableados de tierras y/o barrajes están conectados				
TRANSFERENCIA DE MEDIA TENSIÓN	Verificar que la celda esté en buen estado				
	Verificar que las seguridades de la celda estén operativas				
	Al interior de celda se escucha sónidos resonantes ?				
	Se percibe algún incremento de temperatura en la celda				
CELDA DE MEDIDA	Verificar que la UPS que activa el control de la celda esté operativo				
	Verificar que el medidor principal esté registrando los datos a través del modem				
	Verificar que el medidor de respaldo esté registrando los datos a través del modem				
	Al interior de celda se escucha sónidos resonantes ?				
CELDAS DE REMONTE	Se percibe algún incremento de temperatura en la celda				
	Al interior de celda se escucha sónidos resonantes ?				
	El cableado de tierra y la malla a tierra está sulfatado ?				
	Los cableados de tierras y/o barrajes están conectados				

Figura 42. Lista de chequeo equipos de media tensión CDO

LISTA DE CHEQUEO DE EQUIPOS DE LA SUBESTACIÓN					 CÓDIGO: F CAL 003
ESTADO	ÓPTIMO: ☒	FECHA:	TURNO:		
	ANOMALIA: ☒	TÉCNICO:	SUBESTACION:		
EQUIPO	DESCRIPCIÓN	ESTADO	OBSERVACIONES Y/O NOVEDADES	# DE SOLICITUD A MANTENIMIENTO	
CELDA DEL TRANSFORMADOR	Verificar que el sistema de ventilación se encuentre operativo				
	Al interior de celda se escucha sonidos resonantes ?				
	Se percibe algún incremento de temperatura en la celda				
	El cableado de tierra y la malla a tierra está sulfatado ?				
	Los cableados de tierras y/o barrajes están conectados				
	Verificar que la celda esté en buen estado				
	Verificar que las seguridades de la celda estén operativas				
	TRANSFORMADOR ELÉCTRICO	De forma visual, verifique el estado de los DPS			
Verificar con el termómetro infrarrojo la temperatura del transformador					
Verificar que el cableado de tierra y/o barrajes en el transformador esté conectado					
De forma visual, verifique el estado de la conexiones en baja tensión. Existe conexiones con recalentamiento ?					
De forma visual, verifique el estado de la conexiones en media tensión. Existe conexiones con recalentamiento ?					
De forma visual, verifique el estado del devanado del transformador					
TABLERO ELÉCTRICO NORMAL	Verificar el estado de la maniobra eléctrica. Existen componente con recalentamiento ?				
	Con el termómetro infrarrojo verificar la temperatura al interior del tablero				
	Verificar el estado de lo barrajes y aisladores				
	Con la cámara termográfica, mida los puntos calientes al interior del tablero. Corrija los puntos calientes				
	Verificar el estado de los DPS				
	Verificar el estado del cableado. Existe cableado con recalentamiento ?				
	La marcaciones y diagramas unifilares están actualizados				
TABLERO ELÉCTRICO VITAL/CRÍTICO	Verificar el estado de la maniobra eléctrica. Existen componente con recalentamiento ?				
	Con el termómetro infrarrojo verificar la temperatura al interior del tablero				
	Verificar el estado de lo barrajes y aisladores				
	Con la cámara termográfica, mida los puntos calientes al interior del tablero. Corrija los puntos calientes				
	Verificar el estado de los DPS				
	Verificar el estado del cableado. Existe cableado con recalentamiento ?				

Figura 43. Lista de chequeo subestaciones CDO

Otra de las actividades que sugiere el árbol de decisión es la creación de los estándares para la intervención y operación de las subestaciones por parte del personal técnico; para este caso, las figuras 44, 45 y 46 muestra algunos de procedimientos estándares de mantenimiento creados. Los anexos 8, 9 y 10 de este trabajo contiene información más detallada de los procedimientos.

Procedimiento estándar de mantenimiento - SMP		CIERRE Y OPERACIÓN DE SECCIONADORES Y CELDAS EN SF6										SMP-MTTO-001							
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		Versión: 1							
Preparado por:		Revisado por:		Revisado por:		Revisado por:		Revisado por:		Revisado por:		Fecha: 20 Nov 2019							
Linea	MEDIA TENSION	Maquina	SUBESTACION	Clasificación SMP	Mecanico	Eléctrico	✓	# de técnicos requeridos	2	Tiempo requerido por cada técnico	46min	Tipo de mantenimiento	Preventivo	Duración de la tarea [min]	46min	Parada de maquina [min]	46min	Frecuencia (D,S,M,2M,Q,A)	M
LAY-OUT DE LA MAQUINA INDICANDO EL SISTEMA DONDE SE LLEVARA A CABO LA TAREA																			
EQUIPO DE PROTECCION REQUERIDO (X si no aplica)				REQUIERE BLOQUEO?				Riesgos de seguridad (X si no aplica)				Se realiza evaluación del riesgo?							
#	Paso a paso	Duración (min)	Categoría	Seguridad	Calidad	Medio Ambiente	Proceso	DIBUJO / FOTO											
1	Divulgación del procedimiento al personal que realizará la actividad (personal electricista con competencias y aprobación por CDO)	5min	+	Se realiza La divulgación del paso a paso de la actividad con sus respectivos controles. Ver WP-SHE-013 Bloqueo y Señalización energías peligrosas. WP SHE-029 procedimiento para trabajo con riesgo eléctrico.															

Figura 44. Procedimiento estándar de mantenimiento para cierre de seccionadores en SF6

Procedimiento estándar de mantenimiento - SMP		APERTURA Y OPERACIÓN DE SECCIONADORES Y CELDAS EN SF6										SMP-MTTO-001							
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		Versión: 1							
Preparado por:		Revisado por:		Revisado por:		Revisado por:		Revisado por:		Revisado por:		Fecha: 20 Nov 2019							
Linea	MEDIA	Maquina	SUBESTACION	Clasificación SMP	Mecanico	Eléctrico	✓	# de técnicos requeridos	2	Tiempo requerido	46min	Tipo de mantenimiento	Preventivo	Duración de la tarea [min]	46min	Parada de maquina [min]	46min	Frecuencia (D,S,M,2M,Q,A)	M
LAY-OUT DE LA MAQUINA INDICANDO EL SISTEMA DONDE SE LLEVARA A CABO LA TAREA																			
EQUIPO DE PROTECCION REQUERIDO (X si no aplica)				REQUIERE BLOQUEO?				Riesgos de seguridad (X si no aplica)				Se realiza evaluación del riesgo?							
#	Paso a paso	Duración	Categoría	Seguridad	Calidad	Medio Ambiente	Proceso	DIBUJO / FOTO											
1	Divulgación del procedimiento al personal que realizará la actividad (personal electricista e instrumentista con competencias y aprobación por CDO)	5min	+	Se realiza La divulgación del paso a paso de la actividad con sus respectivos controles. Ver WP-SHE-013 Bloqueo y Señalización energías peligrosas. WP SHE-029 procedimiento para trabajo con riesgo eléctrico.															
2	Alistamiento de elementos de protección personal dieléctricos para la actividad: epp Traje ignífugo, casco dieléctrico, careta para arco eléctrico, botas dieléctricas, guantes dieléctricos	3min	+	El colaborador deberá inspeccionar el estado de los elementos de protección personal para trabajo en media tensión, verificar que se encuentren libres de perforaciones, limpios y deterioro general.															

Figura 45. Procedimiento estándar de mantenimiento para apertura de seccionadores en SF6

Procedimiento estándar de mantenimiento - SMP		MANTENIMIENTO ELÉCTRICO SUBESTACIONES Y TABLEROS DE BAJA										SMP-MTTO-003	
Linea BAJA		Firma: Edson Quiñero		Firma: Fanny Gómez		Firma: Juan Carlos		Firma: Arístides		Versión: 1			
Preparado por:		Revisado por:		Aprobado por:		Aprobado por:		Aprobado por:		Fecha: 20 Nov 2019			
Clasificación SMP	Mecánico	Eléctrico	4	3 horas	Preventivo	6 horas	Parada de máquina [min]	46min	Frecuencia (D.S.M.2M.Q.A)	M			
LAY-OUT DE LA MÁQUINA INDICANDO EL SISTEMA DONDE SE LLEVARÁ A CABO LA TAREA													
EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (Opcional)		REQUIERE BLOQUEO?		Riesgos de seguridad (X si se aplica)						Se realiza evaluación del riesgo?			
		☒ SI ☐ NO		☒ Eléctrico ☒ Arropamiento ☒ Herramientas y equipo ☒ Levantamiento manual de carga ☒ Trabajo en altura ☒ Sustancias peligrosas ☒ Ruido						☒ SI ☐ NO			
#	Paso a paso	Duración (min)	Categoría	Seguridad	Calidad	Medio Ambiente	Proceso	DIBUJO / FOTO					
1	Diligenciamiento de permiso para trabajo eléctrico. (SOLO PERSONAL AUTORIZADO)	15min	+										
2	Realizar la apertura del seccionador en SF6 y el totalizador de baja tensión de la subestación	5min	+										

Figura 46. Procedimiento estándar de mantenimiento para mantenimiento de subestaciones

Parte de la implementación de las seis medidas para cero pérdidas es mitigar los errores humanos; para esto, se hace necesario capacitar al personal encargado de la operación y mantenimiento de las subestaciones y sistemas eléctricos de la clínica. A continuación, se ilustra, como se llevó a cabo este proceso:

REGISTRO DE ASISTENCIA

Evento:	Charla Subestación Eléctrica.	Temas:	Coordinación Revisiones Básicas Subestaciones
Objetivo:	Dar a conocer al personal de mantenimiento el funcionamiento de s/e y planta de emergencia		
Dirigido a:	Personal de MTto.	Dependencia que organiza:	Mantenimiento
Lugar:	Subestación Sotomayor	Fecha:	11/09/2021
		Hora de inicio:	07:00am
		Hora de finalización:	08:30am

No.	Nombre(s) y Apellido(s)	No. Doc. Identidad	Cargo	Dependencia	Teléfono	Firma
1	Michael Izquierdo	1113640033	Aux MTto	MTto	-0-	MAT
2	Carlos Andrés Cordero	945567114	Aux mntto	MTto	-0-	
3	Sebastián Fabra Medina	10494556	Aux MTto	MTto	-0-	
4	MARTHA PEREZ	945117241	Aux MTto	MTto	315380005	
5	Sebastián Fabra Medina	10494556	Aux MTto	MTto	-0-	
6	David Enrique Varga Rojas	101918301	Tecnólogo Eléctrico	Mantenimiento	30051020	
7	Juan José Ortiz	6253290	Aux MTto	MTto	-0-	
8	David Cordero C.	6929824	Aux Planta Quem	Planta de gases	-0-	
9	Edwin A. Buillon	10203733	Técnico eléctrico	Mantenimiento	-0-	
10	Juan Carlos Izquierdo	94557106	Aux mantto	Mantenimiento	-0-	
11	José J. Castillo A	94527456	Aux MTto	MTto	316720226	
12	Gerardo Palacios	12796654	Aux MTto	MTto	517781038	
13	Juan Eduardo Ferrera	94410225	Aux MTto	AUX mt	310625545	
14						
15						

Nota: Los registros audiovisuales que acompañen esta actividad se utilizarán con fines educativos e ilustrativos.

Original: Recursos Humanos
Copia: Dependencia que organiza el evento

Código: RH/HFM001

Última modificación: 29/01/2018

Figura 47. Registro de asistencia capacitación mantenimiento



Figura 48. Capacitación en campo con personal de mantenimiento



Figura 49. Capacitación en campo con personal de contratista

Finalmente, existe una actividad crítica para el sistema de alimentación en media tensión de la clínica, la cual consiste en la implementación de un segundo circuito alimentador. Para efectos de tiempo, solo deja ilustrado una posible propuesta de ruta para un circuito de respaldo. Es parte de la clínica evaluar en qué momento llevará a cabo dicha instalación.



Figura 50. Propuesta segundo circuito alimentador Clínica de Occidente

9.7. POLITICAS Y TAREAS DE MANEJO DE CONSECUENCIAS DE FALLAS

Para entender y evitar que las consecuencias de un fallo de tipo eléctrico generen una afectación sobre la prestación del servicio de salud en la Clínica de Occidente, se establecen los siguientes pasos:

1. Dada la criticidad, es necesario que el tratamiento de los fallos y/o eventos no deseados sobre el suministro de energía eléctrica sea analizado por medio de cualquier técnica de análisis de causa raíz. Para este caso, se utilizará el formato que ya tiene implementado la compañía.
2. El estado y evolución de los planes de acción resultantes de los análisis de causa raíz, deberán ser revisados con la Dirección Admirativa de la clínica y el área de Calidad; de igual forma, debe existir evidencias de la lección aprendida sobre cada plan de acción.
3. Los planes de acción obtenidos desde los análisis de causa raíz, deben cuestionar y realimentar los planes de mantenimiento; validando frecuencias y efectividad de las tareas que ejecuta el personal técnico.
4. Es necesario construir la estadística e históricos de cada mantenimiento generado sobre las subestaciones; en estos se deben incluir las pruebas que se hacen a los transformadores. Involucrar el software QSYSTEMS para la creación de estos históricos.
5. La matriz de riesgos del proceso de mantenimiento debe considerar aquellos riesgos de tipo eléctrico que afecten la continuidad del negocio.
6. Es necesario contar con un procedimiento actualizado en el que se explique cómo se da el manejo a prioridades y se atienden las emergencias de tipo eléctrico; para este caso se debe tener un paso a paso a seguir cuando ocurra una novedad eléctrica. Este documento debe ser divulgado al personal técnico del área de mantenimiento y al comité de emergencias de la clínica.
7. Desde el punto de vista tecnológico, se puede reforzar las labores de mantenimiento e identificación de fallos adquiriendo equipos de monitoreo; tales como: termómetros infrarrojos y cámaras termográficas para que el personal técnico pueda aportar en la disminución de fallos previa capacitación.
8. Es necesario robustecer las subestaciones eléctricas, para esto se debe continuar el proceso de actualización y cumplimiento del RETIE, esto garantiza en gran medida la disminución de averías y la seguridad de las personas.
9. La comunicación y la buena relación con el prestador del servicio de energía debe ser constante, ya que éste es uno de los aliados más importantes que tiene la clínica para dar solución a fallos de tipo eléctrico que afecten la continuidad del negocio. Tener en cuenta que el proveedor posee con un portafolio de servicios que puede

ser de gran utilidad en el mantenimiento preventivo o en el mantenimiento bajo condición de los activos eléctricos.

10. Dentro de los cambios que está teniendo la clínica se hace necesario extender la instalación de los sistemas de detección contraincendios en cada una de las subestaciones eléctricas, esto con el fin de generar alertas en caso de tener incidentes que requieran ser alertados.
11. Es pertinente que el proceso de automatización de las edificaciones que actualmente está llevando a cabo la clínica incluya parámetros y variables de control que permita monitorear cada una de las subestaciones eléctricas; para este caso, se sugiere involucrar variables como: temperaturas de los transformadores y celdas en SF6, corrientes en media tensión, corrientes en baja tensión, distorsión armónica en voltaje y corriente, transferencias eléctricas, bancos de factor de potencia y para los tableros de los ramales críticos, ramales vitales y generadores eléctricos es necesario que la maniobra eléctrica cuente con contactos de confirmación de apertura, disparo o cierre.
12. Los resultados obtenidos permiten decir que, ante algún fallo sobre el suministro de la energía eléctrica en las subestaciones, los equipos de respaldo eléctrico (generadores eléctricos y UPS) se convierten en equipos de alta criticidad, por lo tanto, los planes de mantenimiento de éstos deben ser igualmente robustos.

10. IMPLEMENTACIÓN DE LAS RUTINAS DE MANTENIMIENTO EN EL QSYSTEMS

Primero, se debe establecer en el software QSYSTEMS las hojas de vida de los equipos críticos y generar el plan de mantenimiento basado en los resultados obtenidos. También, es necesario incluir en el presupuesto de mantenimiento un monto que cubra las actividades a ejecutar durante cada año. A continuación, se puede evidenciar las hojas de vida y el plan de mantenimiento en el QSYSTEMS de las subestaciones eléctricas críticas de la clínica.

QSYSTEMS es el programa que usa el personal de mantenimiento que realiza la gestión de los activos físicos de la clínica, este software permite la creación de las hojas de vida de los equipos y posteriormente las rutinas de mantenimiento que cada activo requiere, para que luego sean creadas como ordenes de trabajo, que el personal técnico ejecutará, dejando un histórico sobre los equipos. A continuación, se muestra los pasos que fueron utilizados para crear las hojas de vida y planes de mantenimiento según los resultados obtenidos de la estrategia RCM.

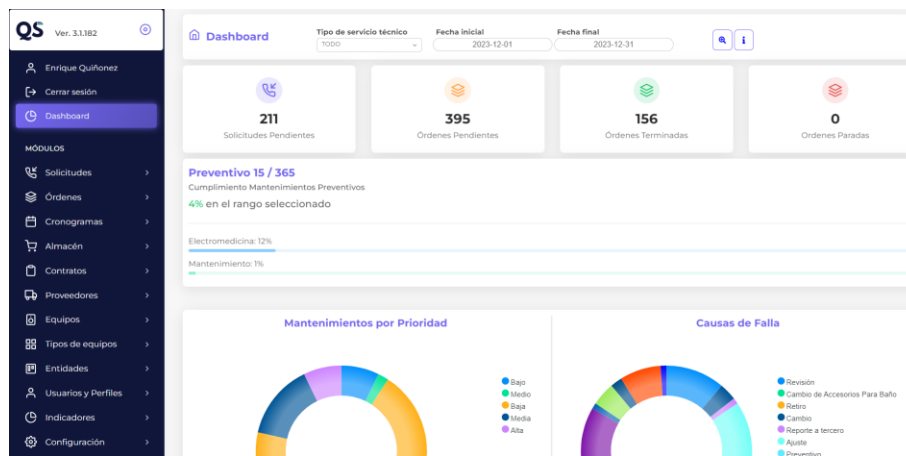


Figura 51. Dashboard QSYSTEMS

Creación de hojas de vida de los equipos críticos de las subestaciones eléctricas de la clínica.

The screenshot shows the 'Equipos' (Equipment) screen in QSYSTEMS. It features a sidebar menu on the left and a main area with a search bar and a table of equipment. The search bar includes fields for 'Entidad', 'Sede', 'Ubicación', 'Serie', 'Código', 'Placa', 'Nombre', and 'Marca', with a 'Buscar' button. Below the search bar, it says 'Equipos : 14 / 14'. The table has columns for 'Nombre', 'Hoja de vida', 'Imprimir', 'Modelo', 'Placa', 'Marca', 'Código', 'Serie', and 'Entidad'. The table lists various electrical substation equipment, including 'SUBESTACION ELECTRICA' and 'SUBESTACION 9 PRIMER PISO ESPECIALIST...', with details like 'SUNTEC' and 'ABB' brands, and 'CLINICA OCCIDENTE' as the entity. At the bottom, there is a copyright notice: 'COPYRIGHT © 2023 QSystems, All rights Reserved'.

Figura 52. Creación de las hojas de vida de equipos en el QSYSTEMS

22/02/2022, 19:37 Hoja de Vida - SUBESTACION ELECTRICA SUNTEC SUNTEC 0140010 SUBESTACION 1 - TORRE A - PRIMER PISO

HOJA DE VIDA EQUIPO



IDENTIFICACIÓN			
Nombre	SUBESTACION ELECTRICA	Identificador Software (Id)	172274
Marca	SUNTEC	Modelo	SUNTEC
Serie	0140010	Placa	SUBESTACION 1 - TORRE A - PRIMER PISO
Código	1180759	Clasificación	No Aplica
Vida útil (Años)	10	Fecha Fabricación	no tiene
Fabricante	SUNTEC	Frecuencia de Mantenimiento (meses)	12
Código de Calibración	no tiene		

INFORMACIÓN DEL EQUIPO			
Cliente	CLINICA OCCIDENTE	Sede	PRINCIPAL
Ubicación	Clínica, Piso 1, Subestación eléctrica piso 1, 6.01 Celdas de transformadores		
Fecha Compra	no tiene	Fecha Inicia Funcionamiento	no tiene
Costo Equipo	0	Proveedor	no tiene
Fecha Inicia Garantía	no tiene	Fecha Finaliza Garantía	no tiene
Frecuencia Calibración (meses)	0	Frecuencia Mantenimiento (meses)	12
Próxima Calibración	no tiene	Registro Inviema	no tiene
Clase Seguridad Eléctrica	no tiene	Tipo Seguridad Eléctrica	no tiene
Última calibración	no tiene	Último preventivo	27/03/2021 - 12:52 17:00:00.0
Número de Correctivos	1	Próximo Preventivo	Enero/2022

INSTRUCTIVOS	
Preventivo	
Secuencia	Actividad
4	Realizar la limpieza de la subestación
5	Verificar que los controladores de transferencia no se encuentren alarmados

30.235.91.156:8080/print/hojavidadeequipo.jsp?m=172224&m1&m=000&v=7350&v2=0&v3=0&v4=0&v5=0&v6=0&v7=0&v8=0&v9=0&v10=0&v11=0&v12=0&v13=0&v14=0&v15=0&v16=0&v17=0&v18=0&v19=0&v20=0&v21=0&v22=0&v23=0&v24=0&v25=0&v26=0&v27=0&v28=0&v29=0&v30=0&v31=0&v32=0&v33=0&v34=0&v35=0&v36=0&v37=0&v38=0&v39=0&v40=0&v41=0&v42=0&v43=0&v44=0&v45=0&v46=0&v47=0&v48=0&v49=0&v50=0&v51=0&v52=0&v53=0&v54=0&v55=0&v56=0&v57=0&v58=0&v59=0&v60=0&v61=0&v62=0&v63=0&v64=0&v65=0&v66=0&v67=0&v68=0&v69=0&v70=0&v71=0&v72=0&v73=0&v74=0&v75=0&v76=0&v77=0&v78=0&v79=0&v80=0&v81=0&v82=0&v83=0&v84=0&v85=0&v86=0&v87=0&v88=0&v89=0&v90=0&v91=0&v92=0&v93=0&v94=0&v95=0&v96=0&v97=0&v98=0&v99=0&v100=0&v101=0&v102=0&v103=0&v104=0&v105=0&v106=0&v107=0&v108=0&v109=0&v110=0&v111=0&v112=0&v113=0&v114=0&v115=0&v116=0&v117=0&v118=0&v119=0&v120=0&v121=0&v122=0&v123=0&v124=0&v125=0&v126=0&v127=0&v128=0&v129=0&v130=0&v131=0&v132=0&v133=0&v134=0&v135=0&v136=0&v137=0&v138=0&v139=0&v140=0&v141=0&v142=0&v143=0&v144=0&v145=0&v146=0&v147=0&v148=0&v149=0&v150=0&v151=0&v152=0&v153=0&v154=0&v155=0&v156=0&v157=0&v158=0&v159=0&v160=0&v161=0&v162=0&v163=0&v164=0&v165=0&v166=0&v167=0&v168=0&v169=0&v170=0&v171=0&v172=0&v173=0&v174=0&v175=0&v176=0&v177=0&v178=0&v179=0&v180=0&v181=0&v182=0&v183=0&v184=0&v185=0&v186=0&v187=0&v188=0&v189=0&v190=0&v191=0&v192=0&v193=0&v194=0&v195=0&v196=0&v197=0&v198=0&v199=0&v200=0&v201=0&v202=0&v203=0&v204=0&v205=0&v206=0&v207=0&v208=0&v209=0&v210=0&v211=0&v212=0&v213=0&v214=0&v215=0&v216=0&v217=0&v218=0&v219=0&v220=0&v221=0&v222=0&v223=0&v224=0&v225=0&v226=0&v227=0&v228=0&v229=0&v230=0&v231=0&v232=0&v233=0&v234=0&v235=0&v236=0&v237=0&v238=0&v239=0&v240=0&v241=0&v242=0&v243=0&v244=0&v245=0&v246=0&v247=0&v248=0&v249=0&v250=0&v251=0&v252=0&v253=0&v254=0&v255=0&v256=0&v257=0&v258=0&v259=0&v260=0&v261=0&v262=0&v263=0&v264=0&v265=0&v266=0&v267=0&v268=0&v269=0&v270=0&v271=0&v272=0&v273=0&v274=0&v275=0&v276=0&v277=0&v278=0&v279=0&v280=0&v281=0&v282=0&v283=0&v284=0&v285=0&v286=0&v287=0&v288=0&v289=0&v290=0&v291=0&v292=0&v293=0&v294=0&v295=0&v296=0&v297=0&v298=0&v299=0&v300=0&v301=0&v302=0&v303=0&v304=0&v305=0&v306=0&v307=0&v308=0&v309=0&v310=0&v311=0&v312=0&v313=0&v314=0&v315=0&v316=0&v317=0&v318=0&v319=0&v320=0&v321=0&v322=0&v323=0&v324=0&v325=0&v326=0&v327=0&v328=0&v329=0&v330=0&v331=0&v332=0&v333=0&v334=0&v335=0&v336=0&v337=0&v338=0&v339=0&v340=0&v341=0&v342=0&v343=0&v344=0&v345=0&v346=0&v347=0&v348=0&v349=0&v350=0&v351=0&v352=0&v353=0&v354=0&v355=0&v356=0&v357=0&v358=0&v359=0&v360=0&v361=0&v362=0&v363=0&v364=0&v365=0&v366=0&v367=0&v368=0&v369=0&v370=0&v371=0&v372=0&v373=0&v374=0&v375=0&v376=0&v377=0&v378=0&v379=0&v380=0&v381=0&v382=0&v383=0&v384=0&v385=0&v386=0&v387=0&v388=0&v389=0&v390=0&v391=0&v392=0&v393=0&v394=0&v395=0&v396=0&v397=0&v398=0&v399=0&v400=0&v401=0&v402=0&v403=0&v404=0&v405=0&v406=0&v407=0&v408=0&v409=0&v410=0&v411=0&v412=0&v413=0&v414=0&v415=0&v416=0&v417=0&v418=0&v419=0&v420=0&v421=0&v422=0&v423=0&v424=0&v425=0&v426=0&v427=0&v428=0&v429=0&v430=0&v431=0&v432=0&v433=0&v434=0&v435=0&v436=0&v437=0&v438=0&v439=0&v440=0&v441=0&v442=0&v443=0&v444=0&v445=0&v446=0&v447=0&v448=0&v449=0&v450=0&v451=0&v452=0&v453=0&v454=0&v455=0&v456=0&v457=0&v458=0&v459=0&v460=0&v461=0&v462=0&v463=0&v464=0&v465=0&v466=0&v467=0&v468=0&v469=0&v470=0&v471=0&v472=0&v473=0&v474=0&v475=0&v476=0&v477=0&v478=0&v479=0&v480=0&v481=0&v482=0&v483=0&v484=0&v485=0&v486=0&v487=0&v488=0&v489=0&v490=0&v491=0&v492=0&v493=0&v494=0&v495=0&v496=0&v497=0&v498=0&v499=0&v500=0&v501=0&v502=0&v503=0&v504=0&v505=0&v506=0&v507=0&v508=0&v509=0&v510=0&v511=0&v512=0&v513=0&v514=0&v515=0&v516=0&v517=0&v518=0&v519=0&v520=0&v521=0&v522=0&v523=0&v524=0&v525=0&v526=0&v527=0&v528=0&v529=0&v530=0&v531=0&v532=0&v533=0&v534=0&v535=0&v536=0&v537=0&v538=0&v539=0&v540=0&v541=0&v542=0&v543=0&v544=0&v545=0&v546=0&v547=0&v548=0&v549=0&v550=0&v551=0&v552=0&v553=0&v554=0&v555=0&v556=0&v557=0&v558=0&v559=0&v560=0&v561=0&v562=0&v563=0&v564=0&v565=0&v566=0&v567=0&v568=0&v569=0&v570=0&v571=0&v572=0&v573=0&v574=0&v575=0&v576=0&v577=0&v578=0&v579=0&v580=0&v581=0&v582=0&v583=0&v584=0&v585=0&v586=0&v587=0&v588=0&v589=0&v590=0&v591=0&v592=0&v593=0&v594=0&v595=0&v596=0&v597=0&v598=0&v599=0&v600=0&v601=0&v602=0&v603=0&v604=0&v605=0&v606=0&v607=0&v608=0&v609=0&v610=0&v611=0&v612=0&v613=0&v614=0&v615=0&v616=0&v617=0&v618=0&v619=0&v620=0&v621=0&v622=0&v623=0&v624=0&v625=0&v626=0&v627=0&v628=0&v629=0&v630=0&v631=0&v632=0&v633=0&v634=0&v635=0&v636=0&v637=0&v638=0&v639=0&v640=0&v641=0&v642=0&v643=0&v644=0&v645=0&v646=0&v647=0&v648=0&v649=0&v650=0&v651=0&v652=0&v653=0&v654=0&v655=0&v656=0&v657=0&v658=0&v659=0&v660=0&v661=0&v662=0&v663=0&v664=0&v665=0&v666=0&v667=0&v668=0&v669=0&v670=0&v671=0&v672=0&v673=0&v674=0&v675=0&v676=0&v677=0&v678=0&v679=0&v680=0&v681=0&v682=0&v683=0&v684=0&v685=0&v686=0&v687=0&v688=0&v689=0&v690=0&v691=0&v692=0&v693=0&v694=0&v695=0&v696=0&v697=0&v698=0&v699=0&v700=0&v701=0&v702=0&v703=0&v704=0&v705=0&v706=0&v707=0&v708=0&v709=0&v710=0&v711=0&v712=0&v713=0&v714=0&v715=0&v716=0&v717=0&v718=0&v719=0&v720=0&v721=0&v722=0&v723=0&v724=0&v725=0&v726=0&v727=0&v728=0&v729=0&v730=0&v731=0&v732=0&v733=0&v734=0&v735=0&v736=0&v737=0&v738=0&v739=0&v740=0&v741=0&v742=0&v743=0&v744=0&v745=0&v746=0&v747=0&v748=0&v749=0&v750=0&v751=0&v752=0&v753=0&v754=0&v755=0&v756=0&v757=0&v758=0&v759=0&v760=0&v761=0&v762=0&v763=0&v764=0&v765=0&v766=0&v767=0&v768=0&v769=0&v770=0&v771=0&v772=0&v773=0&v774=0&v775=0&v776=0&v777=0&v778=0&v779=0&v780=0&v781=0&v782=0&v783=0&v784=0&v785=0&v786=0&v787=0&v788=0&v789=0&v790=0&v791=0&v792=0&v793=0&v794=0&v795=0&v796=0&v797=0&v798=0&v799=0&v800=0&v801=0&v802=0&v803=0&v804=0&v805=0&v806=0&v807=0&v808=0&v809=0&v810=0&v811=0&v812=0&v813=0&v814=0&v815=0&v816=0&v817=0&v818=0&v819=0&v820=0&v821=0&v822=0&v823=0&v824=0&v825=0&v826=0&v827=0&v828=0&v829=0&v830=0&v831=0&v832=0&v833=0&v834=0&v835=0&v836=0&v837=0&v838=0&v839=0&v840=0&v841=0&v842=0&v843=0&v844=0&v845=0&v846=0&v847=0&v848=0&v849=0&v850=0&v851=0&v852=0&v853=0&v854=0&v855=0&v856=0&v857=0&v858=0&v859=0&v860=0&v861=0&v862=0&v863=0&v864=0&v865=0&v866=0&v867=0&v868=0&v869=0&v870=0&v871=0&v872=0&v873=0&v874=0&v875=0&v876=0&v877=0&v878=0&v879=0&v880=0&v881=0&v882=0&v883=0&v884=0&v885=0&v886=0&v887=0&v888=0&v889=0&v890=0&v891=0&v892=0&v893=0&v894=0&v895=0&v896=0&v897=0&v898=0&v899=0&v900=0&v901=0&v902=0&v903=0&v904=0&v905=0&v906=0&v907=0&v908=0&v909=0&v910=0&v911=0&v912=0&v913=0&v914=0&v915=0&v916=0&v917=0&v918=0&v919=0&v920=0&v921=0&v922=0&v923=0&v924=0&v925=0&v926=0&v927=0&v928=0&v929=0&v930=0&v931=0&v932=0&v933=0&v934=0&v935=0&v936=0&v937=0&v938=0&v939=0&v940=0&v941=0&v942=0&v943=0&v944=0&v945=0&v946=0&v947=0&v948=0&v949=0&v950=0&v951=0&v952=0&v953=0&v954=0&v955=0&v956=0&v957=0&v958=0&v959=0&v960=0&v961=0&v962=0&v963=0&v964=0&v965=0&v966=0&v967=0&v968=0&v969=0&v970=0&v971=0&v972=0&v973=0&v974=0&v975=0&v976=0&v977=0&v978=0&v979=0&v980=0&v981=0&v982=0&v983=0&v984=0&v985=0&v986=0&v987=0&v988=0&v989=0&v990=0&v991=0&v992=0&v993=0&v994=0&v995=0&v996=0&v997=0&v998=0&v999=0&v1000=0

Figura 53. Hoja de vida subestación 1 torre A

22/02/2022, 19:30 Hoja de Vida - SUBESTACION ELECTRICA SUNTEC SUNTEC 187395 SUBESTACION 5 TORRE A - SOTANO CLINICA

HOJA DE VIDA EQUIPO



IDENTIFICACIÓN			
Nombre	SUBESTACION ELECTRICA	Identificador Software (Id)	2195
Marca	SUNTEC	Modelo	SUNTEC
Serie	187395	Placa	SUBESTACION 5 TORRE A - SOTANO CLINICA
Código	502-80-35	Clasificación	No Aplica
Vida útil (Años)	20	Fecha Fabricación	no tiene
Fabricante	SUNTEC	Frecuencia de Mantenimiento (meses)	12
Código de Calibración	no tiene		

INFORMACIÓN DEL EQUIPO			
Cliente	CLINICA OCCIDENTE	Sede	PRINCIPAL
Ubicación	Clínica, Sótano 1 Clínica, Circulación principal, 4.05 Subestación eléctrica		
Fecha Compra	no tiene	Fecha Inicia Funcionamiento	no tiene
Costo Equipo	0	Proveedor	no tiene
Fecha Inicia Garantía	no tiene	Fecha Finaliza Garantía	no tiene
Frecuencia Calibración (meses)	0	Frecuencia Mantenimiento (meses)	12
Próxima Calibración	no tiene	Registro Inviema	no tiene
Clase Seguridad Eléctrica	no tiene	Tipo Seguridad Eléctrica	no tiene
Última calibración	no tiene	Último preventivo	27/03/2021 - 12:52 17:00:00.0
Número de Correctivos	0	Próximo Preventivo	Febrero/2022

INSTRUCTIVOS	
Preventivo	
Secuencia	Actividad
4	Realizar la limpieza de la subestación
5	Verificar que los controladores de transferencia no se encuentren alarmados

30.235.91.156:8080/print/hojavidadeequipo.jsp?m=172224&m1&m=000&v=7350&v2=0&v3=0&v4=0&v5=0&v6=0&v7=0&v8=0&v9=0&v10=0&v11=0&v12=0&v13=0&v14=0&v15=0&v16=0&v17=0&v18=0&v19=0&v20=0&v21=0&v22=0&v23=0&v24=0&v25=0&v26=0&v27=0&v28=0&v29=0&v30=0&v31=0&v32=0&v33=0&v34=0&v35=0&v36=0&v37=0&v38=0&v39=0&v40=0&v41=0&v42=0&v43=0&v44=0&v45=0&v46=0&v47=0&v48=0&v49=0&v50=0&v51=0&v52=0&v53=0&v54=0&v55=0&v56=0&v57=0&v58=0&v59=0&v60=0&v61=0&v62=0&v63=0&v64=0&v65=0&v66=0&v67=0&v68=0&v69=0&v70=0&v71=0&v72=0&v73=0&v74=0&v75=0&v76=0&v77=0&v78=0&v79=0&v80=0&v81=0&v82=0&v83=0&v84=0&v85=0&v86=0&v87=0&v88=0&v89=0&v90=0&v91=0&v92=0&v93=0&v94=0&v95=0&v96=0&v97=0&v98=0&v99=0&v100=0

Figura 54. Hoja de vida subestación 5 torre A

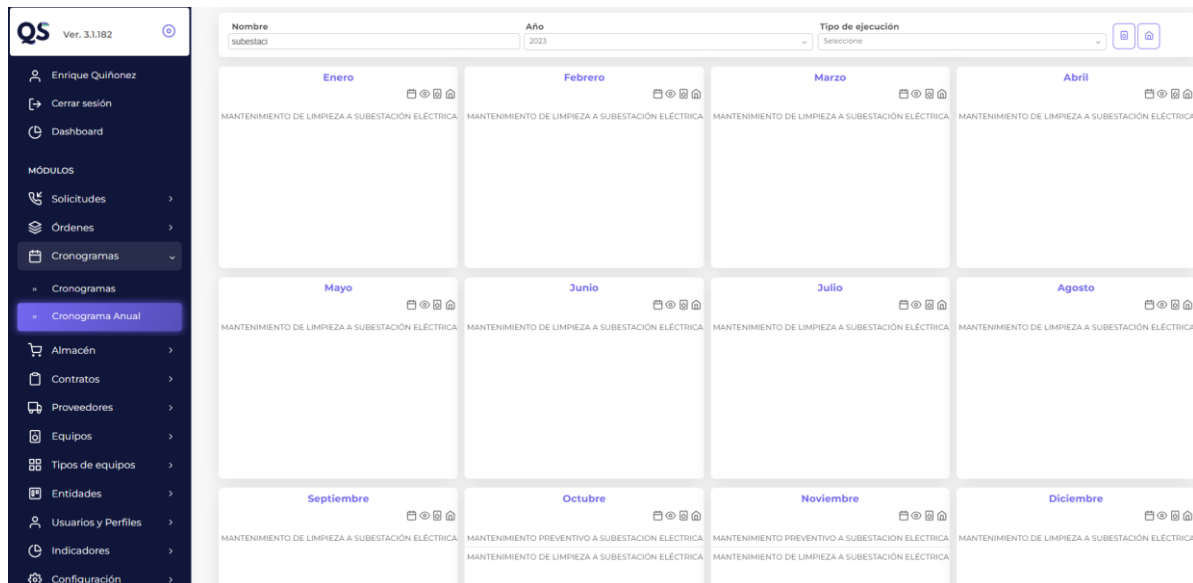


Figura 55. Cronograma de mantenimiento Subestaciones QSYSTEMS

Para la implementación de las rutinas de mantenimiento, la clínica de occidente ha establecido un presupuesto anual, en el cual se incluyen los costos que requiere la ejecución del mantenimiento, también se opta por contratar proveedor especializados que ejecuten las tareas definidas en el RCM. El anexo 11 contiene todas las intervenciones hechas a las subestaciones de la planta y el anexo 12 contiene los presupuestos autorizados para la ejecución de los mantenimientos año a año.

Para la ejecución de los planes de mantenimiento de los activos físicos de la Clínica de Occidente a través del QSYSTEMS, se sugiere trabajar con estructura de ordenes de trabajo planteado por Amendola.

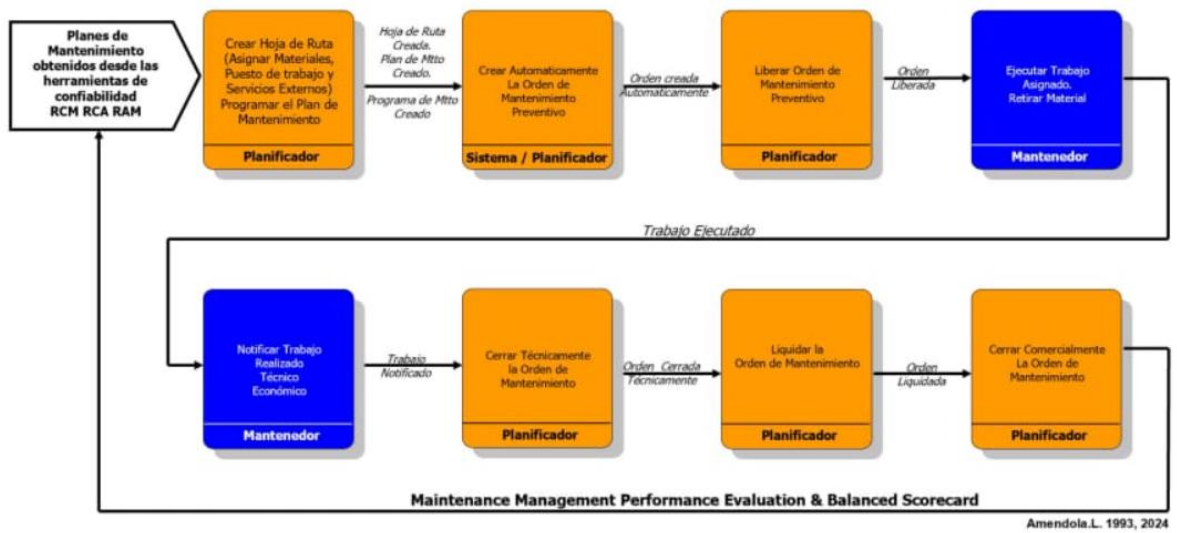


Figura 56. Esquema de ordenes de trabajo

Por otra parte, durante el año 2023 se ha comenzado a medir de manera interna la disponibilidad y mantenibilidad de los activos catalogados como críticos, con el objetivo de encontrar una tendencia que permita identificar futuras mejoras. Estas mediciones se muestran a continuación:

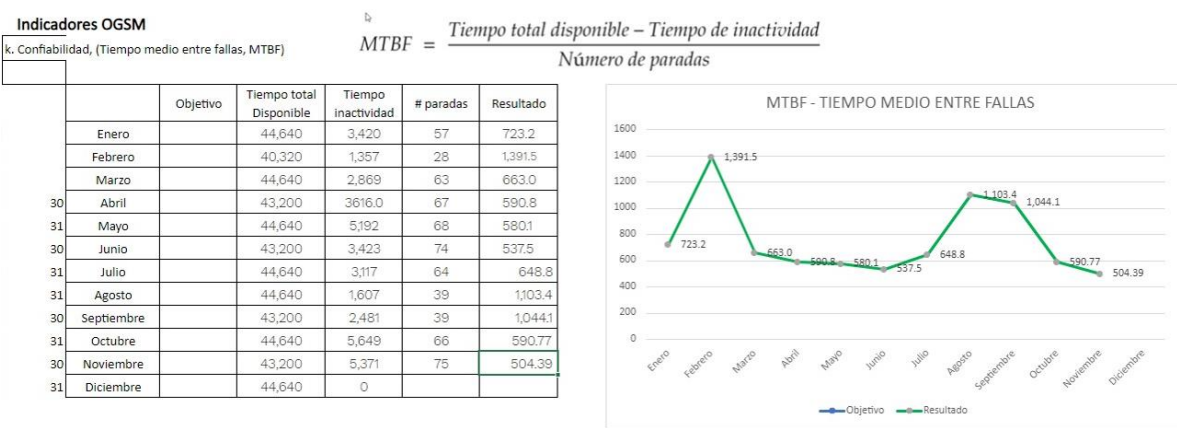


Figura 57. Propuesta KPI MTBF activos críticos CDO

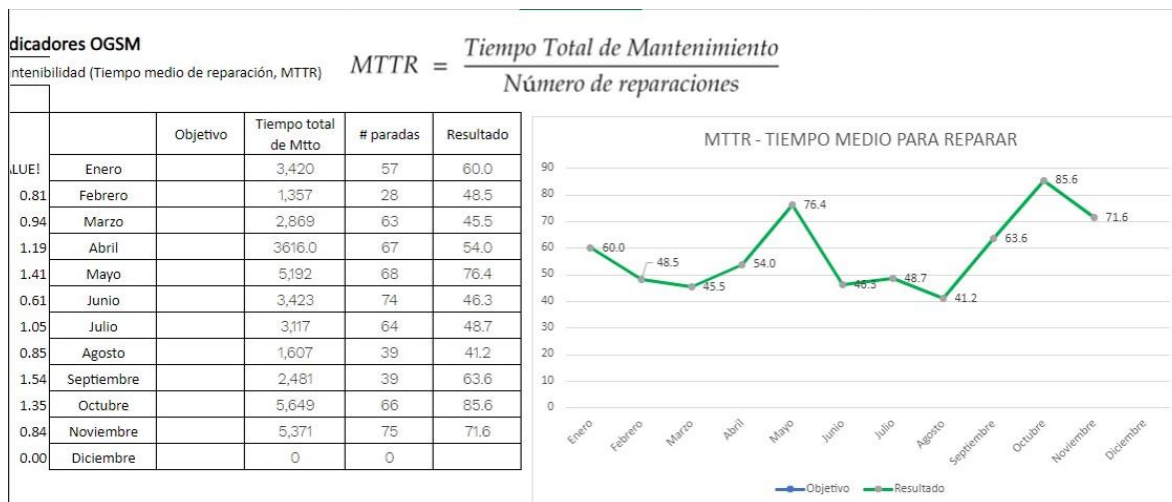


Figura 58. Propuesta KPI MTTR activos críticos CDO

Finalmente, con los trabajos realizados se espera tener una disminución de un 50% de los paros no programados de los equipos críticos de las subestaciones de la clínica de occidente.

11. CONCLUSIONES

- El análisis RCM hecho a las subestaciones eléctricas críticas de la clínica de occidente, muestra como los elementos críticos definen el correcto funcionamiento del todo el sistema de suministro de energía. No obstante, considero que la operación de la subestación depende de factores externos inherentes a la zona en la cual se encuentra ubicada la planta de producción.
- Se puede concluir, que el funcionamiento de las subestaciones es estable en el tiempo. Sin embargo, muchos de las actividades a realizar para mitigar las fallas serán trabajos bajo condición, debido a la importancia que tiene para el funcionamiento de los procesos el suministro de energía. Adicionalmente, esto ayudará a mitigar riesgos al personal al momento de cualquier intervención.
- Se comprueba que los componentes críticos seleccionados poseen en su mayoría fallas de tipo aleatorias, debido a que son equipos eléctricos, cuyo desgaste en el tiempo es algo complejo de medir. Sin embargo, en el análisis RCM no descarta la revisión y chequeo de estos elementos, ya que existen componentes externos que afectan el funcionamiento de los equipos críticos; tal es el caso de los roedores, el polvo, la humedad, las conexiones eléctricas, entre otros, que deben ser intervenidos en el departamento de mantenimiento.
- Es de resaltar, que la correcta ejecución del mantenimiento preventivo en la subestación solo se garantiza si el personal técnico está bien capacitado y conoce los riesgos al interior de la subestación. Esto fue uno de los resultados más importante obtenidos en la auditoría de mantenimiento, el cual se debe reforzar.
- Es importante decir, que el análisis RCM permitió estructurar las actividades de mantenimiento en cada subestación; prueba de ello es que las actividades de mantenimiento preventivo (disminución del número de fallas) fueron tomadas del árbol de decisión arrojado por el RCM.
- Se espera que, con los resultados obtenidos, puedan ayudar al personal de mantenimiento de la clínica de occidente a mejorar sus prácticas de mantenimiento en los sistemas eléctricos críticos, garantizado el cuidado personal, el medio ambiente y las instalaciones.

12. BIBLIOGRAFÍA

- ALBAN MARTÍNEZ, W., & PANTOJA PUERTA, G. (2011). PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA LA SUBESTACION DE LA TORRE DE CALI. Santiago de Cali: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE.
- CELA ADAGOYA, R., & TACO VILLALBA, L. (2006). MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) DEL AUTOTRANSFORMADOR DE POMASQUI230/138/13.8 kV. TRANSELECTRIC S.A., 1-6.
- ENERGÍA, M. D. (2013). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE. Bogotá - Colombia: SPT Ingeniería.
- ENERGÍA, M. D. (2013). RESOLUCIÓN NÚMERO 90708. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE. Colombia.
- EPM, E. P. (2011). Disposiciones generales para los localesl de subestación tipo interior RA8 - 014. Normas Técnicas EPM, 1-22.
- ICONTEC. (1992). ELECTROTECNIA, TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS AUTOREFRIGERADOS, TIPO SECO ABIERTOS Y ENCAPSULADO EN RESINA, CORRIENTE SIN CARGA, PÉRDIDAS Y TENSION DE CORTO CIRCUITO. Norma Técnica Colombiana NTC 3445, 1-9.
- ICONTEC. (2001). TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS. ENSAYOS ELÉCTRICOS Y GENERALIDADES. Norma Técnica Colombiana NTC 380, 3-7.
- MEDRANO MARTÍNEZ, F. (2010). METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LAS SUBESTACIONES DE PROPIEDAD DE LA EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- MOUBRAY, J. M. (2004). MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM). United Kingdom: Aladon Ltda.
- The Engineering Society For Advancing Mobility. (1998). SAE JA 1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. SURFACE VEHICLE AEROSPACE STANDARD, 1-12.
- The Engineering Society For Advancing Mobility. (2002). SAE JA 1012: Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. SURFACE VEHICLE AEROSPACE RECOMMENDED PRACTICE, 1-57.
- International Organization for Standardization, ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 3 ed., Ginebra: ISO, 2016.
- AMENDOLA LUIS (LUIGI) , MODELOS MIXTOS DE CONFIABILIDAD (2022).