

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Electricidad

**PROPUESTA DE UN MANUAL DE PROCESOS DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO PARA EQUIPOS ANALIZADORES DE RED DE MEDIO Y
BAJO VOLTAJE DEL ÁREA DE CALIDAD DE ENERGÍA DE LA EMPRESA
ELÉCTRICA REGIONAL EMELNORTE S.A.**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la
obtención del título de Ingeniero Eléctrico

Autor:

Oldrichs Andrés Ponce Dorado

Director:

Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas, Msc

Ibarra - Ecuador

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401581442		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ponce Dorado Oldrichs Andrés		
DIRECCIÓN:	Bartolome Garcia 1-108 Obispo Mosquera		
EMAIL:	oaponced@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2602 095	TELÉFONO MÓVIL:	0991379308

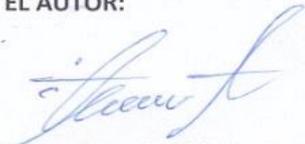
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	PROPUESTA DE UN MANUAL DE PROCESOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS ANALIZADORES DE RED DE MEDIO Y BAJO VOLTAJE DEL ÁREA DE CALIDAD DE ENERGÍA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL EMELNORTE S.A.
AUTOR (ES):	Ponce Dorado Oldrichs Andrés
FECHA: DD/MM/AAAA	30/06/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Electricidad
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas, Msc

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de junio de 2023

EL AUTOR:



Ponce Dorado Oldrichs Andrés
CI: 0401581442



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Yo, Olger Gilberto Arellano Bastidas en calidad del tutor del señor estudiante Ponce Dorado Oldrichs Andrés, certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"PROPUESTA DE UN MANUAL DE PROCESOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS ANALIZADORES DE RED DE MEDIO Y BAJO VOLTAJE DEL ÁREA DE CALIDAD DE ENERGÍA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL EMELNORTE S.A."**.

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Olger Arellano", is written over a horizontal dotted line.

Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas, Msc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Dedicatoria

El presente trabajo de grado está dedicado principalmente a mi madre Nancy Dorado que desde hace 24 años me ha brindado su dedicación, esfuerzo incansable y sabiduría, lo cual ha sido una inspiración constante a lo largo de mi carrera universitaria, ella siempre ha estado dispuesta a ayudarme, con una paciencia inagotable y una humildad admirable, me ha enseñado valiosas lecciones que van más allá de los libros y las aulas. Su compromiso con la excelencia y sus altos estándares han sido el estímulo que necesitaba para superar mis límites y alcanzar mis metas. Me ha formado con valores y principios los cuales me han servido para mi desarrollo académico y personal, su apoyo incondicional y esfuerzo diario me sirvió para seguir firme a pesar de los problemas y adversidades que se suscitaron en el transcurso de la carrera.

De igual forma dedico el presente trabajo de grado a mi hermano y a mi abuelita, los cuales me han brindado un apoyo emocional el cual mediante su amor y sabiduría me ha servido como un pilar fundamental en la construcción de la persona que soy el día de hoy.

Finalmente, la culminación de este trabajo me lo dedico a mí, ya que sin mi esfuerzo y constancia no hubiera sido posible la culminación del mismo.

Agradecimientos

Quiero iniciar agradeciendo a la Universidad Técnica del Norte por darme la oportunidad de formarme profesionalmente en el área de electricidad en la cual con la ayuda de los profesores e instalaciones me sirvieron para forjar los conocimientos actuales.

Agradezco a la Empresa Eléctrica Regional Norte, EMELNORTE S.A, principalmente al departamento de Calidad de la Energía y trabajadores que lo conforman por abrirme las puertas, brindarme la información y ayuda necesaria para poder desarrollar mi trabajo investigativo.

Agradezco a los docentes de la carrera de Electricidad en especial a los ingenieros, magísteres y PhDs: Olger Gilberto Arellano Bastidas, Hernán Pérez Cruz, Gerardo Isaías Collaguazo y Eliana Carolina Ormeño, por las enseñanzas, experiencias y conocimientos brindados en el transcurso de la carrera los cuales sirvieron para el fortalecimiento de mis capacidades académicas.

Finalmente, agradezco a mi familia, pareja Samantha Baquero, mis mejores amigos Santiago Imbaquingo y David López, por brindarme su apoyo y llenarme de fuerzas para poder seguir adelante y lograr cumplir una de las etapas más importantes de mi vida.

Tabla de contenidos

Resumen	X
Abstract	XI
Introducción	XII
Planteamiento del problema	XIII
Formulación del problema.....	XIV
Objetivos.....	XIV
Alcance.....	XV
Justificación	XV

CAPÍTULO 1

Descripción de los tipos y procesos de mantenimiento para equipos de mediciones de magnitudes eléctricas.....	1
1.1. Función del Mantenimiento Para Equipos.....	1
Optimización de la función del mantenimiento de equipos	1
1.2. Tipos de mantenimiento.....	2
1.2.1. Mantenimiento preventivo	2
1.2.2. Mantenimiento overhaul	11
1.2.3. Mantenimiento predictivo.....	11
1.2.4. Mantenimiento correctivo	13

CAPÍTULO 2

Levantamiento de información, diagnóstico del estado de los equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje.....	16
2.1. Descripción del Departamento de Calidad de Energía.....	16
2.1.1. Ubicación Geográfica	16
2.1.2. Lugares de instalación de los equipos	17
2.2. Metodología.....	19
2.3. Sistema de medición de parámetros de calidad de energía de la Empresa Eléctrica Regional EMELNORTE S.A.	19
2.3.1. Equipos analizadores de red de bajo voltaje	20
2.3.2. Proceso actual de instalación de los equipos analizadores de red de bajo voltaje	27
2.3.3. Proceso actual de obtención de datos.....	28
2.3.4. Proceso actual de desinstalación de los equipos analizadores de red.....	29
2.3.5. Proceso actual de descarga de datos de los equipos analizadores de red.	29
2.4. Desarrollo de la ficha de modos, efectos y criticidad de fallos de los equipos analizadores de red	30

2.4.1.	Adecuación de las tablas de severidad, ocurrencia y detección de falla	30
2.5.	Número de prioridad de riesgo en base al número de causa de falla de los equipos analizadores de red	33
2.5.1.	Número de prioridad de riesgo del equipo Fluke 1744	34
2.5.2.	Número de prioridad de riesgo del equipo Fluke 1748	34
2.5.3.	Número de prioridad de riesgo del equipo Fluke 1760	35
2.5.4.	Número de prioridad de riesgo del equipo AEMC 8335	36
2.5.5.	Número de prioridad de riesgo del equipo LEM Topas 1000	36

CAPÍTULO 3

Manual de mantenimiento preventivo para equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje.....	38
3.1. Plan de mantenimiento preventivo para equipos analizadores de red	38
3.1.1. Adecuaciones de la tabla de Número de Prioridad de Riesgo	38
3.1.2. Planes de mantenimiento, semanal, mensual y trimestral de los equipos analizadores de red en base a sus causas de falla.....	43
3.2. Formatos para la estructura del manual de mantenimiento	56
3.2.1. Registro de los equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje	56
3.2.2. Registro de evaluación visual del área de trabajos de mantenimiento	57
3.2.3. Registro de información técnica de cada equipo.....	58
3.2.4. Registro de la función de las partes del equipo, instrucciones, acciones y frecuencia de las tareas de mantenimiento	58
3.2.5. Registro de la gestión de trabajo del personal del departamento.....	58
3.2.6. Registro del control de los proveedores.....	59
3.2.7. Formato de órdenes de trabajo de tareas de mantenimiento	59
3.2.8. Registro de averías de un equipo o componente.....	59
3.2.9. Hoja de vida de cada equipo	59
Conclusiones	61
Recomendaciones	62
Referencias.....	63
Anexos.....	63

Índice de Figuras

Fig. 1 Diseño del árbol de fallas.....	12
Fig. 2 Ubicación geográfica sucursal empresa eléctrica EMELNORTE S.A.....	17
Fig. 3 Metodología por seguir para la elaboración de un manual de mantenimiento preventivo.....	19
Fig. 4 Equipo analizador de red Fluke 1744.....	21
Fig. 5 Equipo analizador de red Fluke 1748.....	22
Fig. 6 Equipo analizador de red Fluke 1760.....	23
Fig. 7 Equipo analizador de red AEMC 8335.....	24
Fig. 8 Equipo analizador de red LEM TOPAS 1000.....	25
Fig. 9 Equipo analizador de red de MV KRON RM- 960-PQ.....	26
Fig. 10 Gráfico de líneas del número de prioridad de riesgo con respecto al número de causa Fluke 1744.....	34
Fig. 11 Gráfico de líneas del número de prioridad de riesgo con respecto al número de causa Fluke 1748.....	35
Fig. 12 Gráfico de líneas del número de prioridad de riesgo con respecto al número de causa Fluke 1760	36
Fig. 13 Gráfico de líneas del número de prioridad de riesgo con respecto al número de causa AEMC 8335	37
Fig. 14 Gráfico de líneas del número de prioridad de riesgo con respecto al número de causa LEM TOPAS 1000	38
Fig. 15 Diagrama de flujo de las actividades a realizar por aparición de una falla	51

Índice de tablas

Tabla 1.1. Criterios de severidad de una falla.....	5
Tabla 1.2. Criterios de ocurrencia de una falla.....	6
Tabla 1.3. Criterio de detección de una falla.....	6
Tabla 1.4. Descripción de los símbolos que conforman un árbol de fallas.....	12
Tabla 2.1. Grupos de análisis correspondiente a Calidad de Producto.....	18
Tabla 2.2. Equipos analizadores de red con los que cuenta actualmente la empresa eléctrica EMELNORTE S.A.....	20
Tabla 2.3. Tabla ajustada de severidad de efectos de falla.....	31
Tabla 2.4. Ajustes de la tabla de probabilidad de ocurrencia de una falla.....	32
Tabla 2.5. Ajustes de la tabla de probabilidad de detección.....	33
Tabla 3.1. Adecuaciones de la tabla de número de prioridad de riesgo (RPN).....	40
Tabla 3.2. RPN, causa de falla y frecuencia de mantenimiento equipo Fluke 1744.....	40
Tabla 3.3. RPN, causa de falla y frecuencia de mantenimiento equipo Fluke 1748.....	41
Tabla 3.4. RPN, causa de falla y frecuencia de mantenimiento equipo Fluke 1760.....	42
Tabla 3.5. RPN, causa de falla y frecuencia de mantenimiento equipo Aemc 8335.....	43
Tabla 3.6. RPN, causa de falla y frecuencia de mantenimiento equipo LEM Topas 1000...	43
Tabla 3.7. Plan de mantenimiento del equipo Fluke 1744.....	46
Tabla 3.8. Plan de mantenimiento del equipo Fluke 1748.....	48
Tabla 3.9. Plan de mantenimiento del equipo Fluke 1760.....	50
Tabla 3.10. Plan de mantenimiento del equipo AEMC 8335.....	53
Tabla 3.11. Plan de mantenimiento del equipo LEM TOPAS 1000.....	54
Tabla 3.12. Modelo de codificación de equipos analizadores de red de bajo y medio voltaje.....	56

Resumen

La empresa eléctrica EMELNORTE S.A. en base a la regulación ARCERNNR Nro. 002/20 tiene como uno de sus objetivos principales el garantizar que la energía eléctrica que se suministra a los consumidores llegue de manera continua con seguridad y de calidad, es por eso que mensualmente utilizan equipos analizadores de red tanto de medio y bajo voltaje para verificar el estado de la energía eléctrica para posteriormente realizar análisis y cambios para mejorar la calidad de producto, debido a esto se creó el departamento de calidad de energía y estudios eléctricos el cual es el encargado principalmente del uso de los equipos analizadores de red y análisis de la calidad de producto. Las mediciones que realizan los operadores a las redes de bajo y medio voltaje con los equipos analizadores de red se las hace por 7 días durante 3 semanas, por esto los equipos trabajan continuamente y debido a la mala planificación de las ordenes de trabajo, falta de historiales de fallas y mantenimientos, falta de equipos y mal uso en la instalación o desinstalación de los mismos, llegan a sufrir daños que pueden ser previsibles con un correcto registro de fallas, monitoreo y un cronograma de mantenimientos preventivos. Debido a ello el objetivo de este trabajo de grado es proponer un manual de procesos de mantenimiento de equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje de la Empresa Eléctrica Regional Norte EMELNORTE S.A., esto se lo realiza mediante el empleo de métodos cuantitativos y cualitativos de análisis de causas, efectos y fallas en los equipos o componentes el cual da como resultado la identificación de las fallas, sus soluciones y las frecuencias para el mantenimiento o inspección de los equipos o componentes, información que se utiliza para la elaboración de un manual de mantenimiento.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, ficha FMECA, linieros, análisis cuantitativo, análisis cualitativo

Abstract

EMELNORTE S.A. POWER COMPANY according to regulation ARCERNR No. 002/20 – whose main objective is to guarantee continuous safe quality power supply to consumers. This is the reason why network analyzing equipment is used for the verifying of average and low voltage power status so that the eventual performance analyses and changes are made to improve product quality. Therefore, a power quality and studies department were created—to mainly oversee network analyzing and analyzing quality product equipment. Measuring processes performed to low and average voltage networks with by operators using analyzing network equipment last for a 3 week/7-day period. Consequently, these types of equipment get detrimentally damaged since they operate continuously because of inadequate order planning, lack of failure records and maintenance, the need for additional equipment, poor equipment uninstalling. Despite this fact, this kind of predictable damage may be prevented by fault record management and a preventative maintenance schedule. Thus, the objective of the graduation work is the proposal of an analyzing equipment procedure maintenance manual –average and low voltage networks for “*Empresa Eléctrica Regional Norte EMELNORTE S.A.*”. The study is conducted by quantitative and qualitative cause, faults and analysis methods applied to equipment or components resulting in fault identification, solutions, and equipment and components maintenance/inspection timetable so that information obtained is used for the making of a procedure maintenance manual.

Keywords: Preventive maintenance, FMECA file, linemen, quantitative analysis, qualitative analysis.

Introducción

El incremento del consumo energético en América del Sur se ha realizado de manera exponencial, según los datos obtenidos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2019), en 1990 el consumo energético era de 435,4 TWh y para el 2019 incrementó a 1109,5 TWh, de la misma manera, conforme existe un avance del crecimiento a nivel regional producirá un incremento a nivel local, tal y como lo muestra los siguientes datos. En Ecuador en los últimos años ha ido de 4,9 TWh en 1990 hasta su última adquisición de datos que fue en el 2019 con un aproximado de 26,2 TWh (IEA, 2019), esto ha llevado a que las empresas que suministran la energía eléctrica optimicen recursos para brindar un servicio de calidad a sus usuarios. En consecuencia, la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), manifiesta en la regulación Nro. 002/20 algunas obligaciones que deben cumplir las empresas distribuidoras de energía eléctrica tales como “Prestar el servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica a los consumidores finales, cumpliendo con los requerimientos de calidad exigidos en la presente regulación”, “Levantar, registrar, procesar y analizar la información necesaria para la determinación de todos los índices e indicadores de calidad”, “Implementar campañas de medición para la evaluación de la calidad de producto, conforme lo establecido en la presente regulación”(ARCERNNR, 2020).

En este sentido, EMELNORTE dentro de los objetivos estratégicos para el período 2018-2022, tiene “Garantizar el suministro de energía eléctrica con calidad, oportunidad, continuidad y seguridad” (Arciniegas, 2019). Entre los principales inconvenientes que impiden que la calidad del servicio eléctrico suministrado a los clientes sea eficiente están: las variaciones de frecuencia, variaciones de amplitud, distorsiones armónicas, entre otras (Enríquez, 2015). En la actualidad, existen por parte de la IEEE algunas normativas que se rigen internacionalmente, las cuales ayudan a regular la calidad energética, estas clasifican a los diferentes fenómenos electromagnéticos que se pueden producir en las redes eléctricas, entre los cuales tenemos: transitorios, variaciones de corta duración, variaciones de larga duración, desequilibrio de la tensión, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de la frecuencia (IEEE, 1995).

Con el fin de evitar que existan este tipo de inconvenientes en la red, las empresas encargadas del suministro eléctrico se han visto en la necesidad de realizar un seguimiento exhaustivo a las redes eléctricas de medio y bajo voltaje, debido a que, en estas, se presentan los principales problemas relacionados a la calidad de energía los cuales son provocados por el incremento de circuitos electrónicos modernos, electrodomésticos e instalaciones industriales (MPCEIP, 2020). Para la evaluación de la calidad de la energía y la obtención de datos, las empresas eléctricas utilizan equipos analizadores de red, para determinar la calidad

de la energía entregada a los consumidores, haciendo uso del reconocimiento, detección, identificación y registro de todas las desviaciones que se presente en condiciones normales (López-Portilla & Falcón Urquiaga, 2013). Es por esto por lo que EMELNORTE cuenta con diferentes tipos de equipos analizadores de red, utilizados para bajo voltaje y otros utilizados para el análisis de la calidad de la red en medio voltaje.

Para que un equipo electrónico pueda mantenerse en niveles óptimos de funcionamiento, debe tener su respectivo mantenimiento, ya que esto asegurará disponibilidad de los equipos de medición de las redes eléctricas. La función del mantenimiento de los equipos está sujeta a numerosas obligaciones y entre los beneficios que ostenta son: nivel de eficiencia deseado, aumento de la esperanza de vida de los equipos, mayor fiabilidad, reducción de fallas inesperadas, mayor organización por parte de los linieros que realizan los trabajos de mantenimiento, organización en la gestión de repuestos y proveedores (Pérez Fernández, 2006).

Planteamiento del problema

La Empresa Eléctrica Regional EMELNORTE S.A. Es una empresa distribuidora, la cual tiene la misión de brindar el servicio público de energía eléctrica a las provincias de Imbabura, Carchi, cantones Pedro Moncayo, Cayambe en la Provincia de Pichincha, Cantón Sucumbíos en la Provincia de Sucumbíos, y la Parroquia Alto Tambo perteneciente al Cantón San Lorenzo de la Provincia de Esmeraldas, la energía eléctrica suministrada debe cumplir con los estándares de calidad, es por ello que cuenta con el área de Calidad de Energía el cual es la encargada de calcular los índices de los parámetros de calidad de producto.

La distribuidora actualmente dispone de equipos analizadores de la red eléctrica para bajo y medio voltaje, los cuales censan parámetros de calidad de producto, estos deben ser entregados mensualmente a la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables por sus siglas ARCENNRN.

Las mediciones para el cálculo de los índices de los parámetros de calidad de producto deben ser tomados 7 días continuos, durante 3 semanas en diferentes puntos, los cuales son seleccionado aleatoriamente dentro del Plan de Medición Anual aprobado por el ARCENNRN, es por esto que los equipos al estar a la intemperie deben ser capaces de soportar diferentes condiciones climáticas y deben tener un especial nivel de seguridad para evitar que sean sustraídos, en la actualidad el área de Calidad de Energía realiza un mantenimiento correctivo pero sin ningún cronograma ni proceso establecido, además la ausencia de un plan de recolección del historial de mantenimiento provoca un desabastecimiento en los repuestos,

desconocimiento de que equipos ya cumplieron su vida útil y están listos para ser reingresarlos a bodega, un incremento de que surjan averías las cuales pueden afectar en el número de mediciones que deben ser entregadas mensualmente por la empresa, todo esto conlleva a un aumento en los costos para la reparación de los equipos analizadores de red.

Estos equipos a además de tener un elevado costo son de alta importancia para analizar los parámetros de calidad de energía en redes de medio y bajo voltaje y con ello que la empresa eléctrica pueda realizar las correcciones necesarias para entregar un servicio eléctrico en concordancia a la regulación de calidad del servicio de distribución y comercialización eléctrica.

Formulación del problema

¿Cómo diseñar un manual de procesos de mantenimiento preventivo para equipos analizadores de red de bajo y medio voltaje mediante el análisis del estado de los equipos?

Objetivos

Objetivo General

Proponer un manual de procesos de mantenimiento de equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje pertenecientes a la Empresa Eléctrica Regional Norte EMELNORTE S.A., con el fin de que el departamento de la Calidad de Energía y Estudios Eléctricos, pueda utilizarlo para su organización, planificación y ejecución de las tareas de mantenimiento, mediante el uso de métodos basados en la teoría del mantenimiento.

Objetivos Específicos

- Describir los tipos de mantenimiento existentes para equipos de medición de magnitudes eléctricas.
- Realizar un levantamiento y diagnóstico del estado actual de los equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje.
- Realizar un manual de procesos de mantenimiento preventivo para equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje.

Alcance

La propuesta del manual de procesos de mantenimiento considera su aplicación, para aproximadamente 35 equipos analizadores de red, de los cuales 3 son de medio voltaje y 32 de bajo voltaje de diferentes marcas, con los que cuenta actualmente el área de Calidad de Energía de la Empresa Eléctrica Regional EMELNORTE S.A; para ello se realizará una recopilación de la información técnica de cada equipo, así como también se verificará y analizará las condiciones de trabajo a las cuales están sometidos, se revisará y analizará la información sobre si los equipos fueron sometidos a una contrastación, esta información ayudará de manera complementaria y junto con el análisis de la información externa de los equipos que se van a utilizar para la elaboración del manual de mantenimiento, se realizará la determinación de los contenidos.

Para la elaboración del manual de mantenimiento de equipos analizadores de red se realizará un plan de procedimientos de instalación de los equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje con el objetivo de determinar los tiempos para la ejecución de un mantenimiento preventivo.

El siguiente trabajo de titulación está enfocado en un estudio de tipo exploratorio y formulativo debido a la propuesta de un manual de procesos de mantenimiento de equipos analizadores de red medio y bajo voltaje, los cuales trabajan de acuerdo con las necesidades de cada empresa, es por ello por lo que no existe ningún tipo guía de manuales de mantenimiento referentes a estos equipos.

Toda la información que se requiera con respecto a datos técnicos de parámetros de calidad de energía, guías de funcionamiento tanto de los equipos analizadores de red de medio como de bajo voltaje, modelos de los equipos, acceso directo a los equipos y acceso a los datos de fallas de los equipos, para la realización del manual de mantenimiento preventivo, será brindada por parte del área de Calidad de Energía.

Justificación

En la actualidad la Empresa Eléctrica Regional Norte EMELNORTE S.A. está obligada a cumplir con la entrega a la ARCERNR de 1008 mediciones de parámetros de calidad de energía al mes, en base a lo dispuesto en la regulación Nro. 002/20, es por ello, que el área encargada está en la obligación de mantener un constante mantenimiento a los equipos utilizados para la medición, con el fin de que no se sancione a la distribuidora por incumplimiento de entrega de información por calidad de producto.

Debido a la alta importancia que tienen estos equipos en el análisis de parámetros de calidad de producto en las redes eléctricas, la empresa tienen la necesidad de un manual de procesos de mantenimiento preventivo para equipos analizadores de red, con el fin de que funcionen correctamente, puedan realizar su trabajo sin interrupciones de acuerdo a un cronograma de mantenimiento, prolonguen la vida útil de los equipos y reduzca el porcentaje de desperfectos, esto ayudará a que el área de Calidad de Energía de la Empresa Regional EMELNORTE S.A. pueda utilizar en cualquier momento los equipos y que los parámetros de medición obtenidos, ayuden a realizar las acciones necesarias que mejoren la calidad del servicio eléctrico y de esta manera puedan cumplir con las exigencias de la Regulación ARCERNR 002/20 con respecto a la calidad de producto y con el Plan de Mediciones Anual.

Actualmente no existe ningún manual de procesos de mantenimiento para los equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje con los que cuenta EMELNORTE S.A, es por tal motivo que se procederá a su realización.

Debido al uso continuo de los analizadores de red y a la ausencia de un cronograma de mantenimiento, provoca una acelerada degeneración lo cual trae como consecuencia un aumento en el número de averías que se pueden provocar en un rango de tiempo, por lo tanto, es oportuno proponer un manual que ayudará a mantener un completo proceso de mantenimiento y además es pertinente debido a la necesidad que tiene el área de Calidad de Energía de que sus equipos analizadores de red funcionen correctamente.

CAPÍTULO 1

Descripción de los tipos y procesos de mantenimiento para equipos de mediciones de magnitudes eléctricas

En el presente capítulo se explica la función que cumple un proceso de mantenimiento con la finalidad de describir los tipos de mantenimientos más importantes para equipos de mediciones de magnitudes eléctricas, en base a esa información se identifica el mantenimiento óptimo para los equipos analizadores de red con los que actualmente cuenta EMELNORTE S.A.

1.1. *Función del Mantenimiento Para Equipos*

Para entender en que consiste el mantenimiento se identificó su concepto, según la Asociación francesa de normalización o por sus siglas AFNOR (Ary, 2018), define al mantenimiento en la norma NF X 60 010 como “Todas las acciones para mantener o restaurar un bien en un estado o en condiciones especificadas para proporcionar un servicio específico”. Es por ello que el mantenimiento se puede realizar por ejemplo a instalaciones eléctricas, máquinas de diferentes tipos, equipos de medición de magnitudes eléctricas o equipos utilizados para otros fines específicos.

Ya que uno de los principales beneficios del mantenimiento de equipos, es ayudar a su conservación a lo largo de los años. Se han adaptado términos, los cuales entran en la función del mantenimiento, uno de ellos es la fiabilidad, es por ello que el mantenimiento y los equipos que lo realizan, no solo buscan la solución de fallas que aparezcan, si no la prevención de estas, o actuar previamente para que no se produzcan, esto con el fin de reducir costos de la reparación de los equipos. Es así como ahora la función del mantenimiento ya no solo se basa en la reparación de averías que surjan, si no, es necesario el estudio de tareas de mantenimiento preventivo por parte del personal (Santiago, 2015).

Optimización de la función del mantenimiento de equipos

Para hablar de la optimización de los procesos de mantenimiento, es necesario que el conjunto de actividades necesarias para realizar la mantención a los equipos sea planificado en base al número de equipos similares que exista en la planta, esto con el objetivo de disminuir el costo global de mantenimiento (Park, 2016). Para llegar a la optimización de la función de mantenimiento, se debe tratar la denominada función de equipos la cual nos dice que va a incluir todas las actividades que conciernen a los equipos y la podemos descomponer en:

- a) Mantenimiento de equipos
- b) Inversiones en la renovación de los equipos
- c) Mejoras de los equipos
- d) Desarrollo de nuevos equipos

Lo que trata de identificar estas cuatro actividades es que cada una es necesaria, si es que se quiere optimizar un mantenimiento, es así como las veces que se va a realizar el mantenimiento de un equipo en este caso de medición a lo largo de su vida útil no debe de superar al costo de inversión de la renovación de ese equipo (Park, 2016).

1.2. Tipos de mantenimiento

Dependiendo los equipos y componentes a los que se pretenda realizar el mantenimiento y los recursos con los que cuente la empresa, existen varios tipos los cuales pueden ser empleados para equipos de medición de parámetros de magnitudes eléctricas. En el siguiente apartado se identificó los cuatro tipos de mantenimientos más utilizados, se evitó mencionar a otros tipos de mantenimientos como el rutinario, programado o productivo total, debido a que la metodología utilizada se asemeja con el mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo o overhaul.

1.2.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se lo realiza mediante la programación de actividades que se pretenden realizar con la finalidad de evitar que llegue a existir un fallo en los equipos, este mantenimiento generalmente realiza el cambio de piezas defectuosas de una instalación, maquina o equipo de medición. La aplicación de un mantenimiento preventivo ayuda al aumento de vida útil de los equipos debido a la periodicidad con la que se los realiza (ARIAS, 2016).

Método de identificación temprana de fallos para la elaboración de un mantenimiento preventivo

Al ser el principal objetivo del mantenimiento preventivo el “evitar que llegue a existir un fallo en un equipo o componente”, es necesario utilizar métodos o técnicas que ayuden al operador a distinguir que piezas o que equipos deben ser sustituidos antes de que exista una falla, debido a esto un análisis de fallas debe ser de los principales procesos a cumplir antes de elaborar un manual de mantenimiento.

Análisis de modo, efecto y criticidad de fallos

Para el análisis de la manera en que falla un equipo, existen varios sistemas o metodologías los cuales ayudan a clasificar las fallas potenciales de un equipo con el objetivo

de dar recomendaciones para prevenir esas fallas, entre los sistemas más utilizados tenemos el FMEA conocido en inglés como, Failure Mode Effect Análisis o Análisis de modo y efecto de falla, este sistema generalmente es utilizado en proyectos industriales los cuales es necesario crear un grupo técnico conformado por ingenieros y técnicos de mantenimiento, los cuales analizarán las causas de falla durante el diseño y cuellos de botella que se presenten en el sistema y los procesos que se realicen por parte del personal involucrado en el proyecto. Sin embargo, al solo analizar el modo y el efecto de falla, se convierte en una técnica más centrada en el aspecto cualitativo, obviando las causas, la severidad, la ocurrencia y medio de detección de fallas, lo cual no ocurre con el sistema FMECA, el cual agrupa la técnica y metodología del FMEA, pero agregando la criticidad de una falla mediante un análisis cuantitativo (Chrysler & Corporation, Ford Motor Company, 2021).

Composición del FMECA

Para realizar el análisis de modo de falla utilizando el sistema de FMECA, existen varias fichas o tablas de varios autores que se pueden utilizar con el objetivo de simplificar la información del proceso a analizar. Para el estudio de los modos de falla de los equipos analizadores de red se utilizará el formulario propuesto por el autor (Castro, 2014) el cual cuenta con 15 apartados los cuales se deberán llenar con información que proporcione la empresa o el departamento.

Entre más información se pueda recopilar de los equipos más completo será el análisis y mayor eficiencia tendrán las conclusiones a las cuales se lleguen (Park, 2016).

Apartados de la ficha técnica FMECA

La estructura de los casilleros de la ficha técnica va de acuerdo con la norma SAE J1739 elaborada por (Chrysler & Corporation, Ford Motor Company, 2021), sin embargo la metodología se basa conforme al análisis del proceso o producto que se esté revisando, es así que se pueden realizar adaptaciones a los cuadros cuantitativos de los criterios de análisis de severidad, ocurrencia y detección, para ello es necesario identificar la información que va en cada apartado.

- a) Número de ficha. - Es el número de identificación que se dará a las fichas que se realicen, estos irán en orden ascendente de acuerdo con su fecha de redacción.
- b) Tipificación por proceso o producto. - Si la ficha del FMECA se la realiza durante el diseño o montaje de un equipo, este apartado deberá constar como producto. De la misma manera si el equipo a analizar se encuentra en operación se deberá registrar como proceso (Castro, 2014).
- c) Departamento responsable del análisis. - Se especificará el departamento o grupo el cual va a llevar a cabo el diseño de la ficha de FMECA.

- d) Personal responsable del análisis. - Se identificará los nombres de los responsables en el diseño y revisión de la ficha, se entendería que deberán formar parte del departamento o grupo responsable.
- e) Especificaciones del equipo analizado. - En este apartado se menciona el código y modelo del equipo analizado, en caso de ser un conjunto de equipos del mismo modelo se deberá identificar todos los equipos que formen parte del análisis.
- f) Fecha de realización y revisión de ficha. - Según la norma (SAE J1739, 2021) es necesario poner la fecha de realización y revisión debido a que pueden existir adecuaciones o cambios que se realicen a la ficha, las fechas servirán de guía para los linieros que realizaran el mantenimiento para dar su criterio de si se debe o no actualizar la ficha.
- g) Grupo autorizado para el mantenimiento. - El grupo autorizado para el mantenimiento puede o no ser el mismo el cual realizó la ficha, de la misma manera deberá ser ingresados los nombres de los encargados de implementar las recomendaciones que se realicen para el mantenimiento de los equipos.
- h) Equipo para analizar. - Se identificará el equipo al cual se le realizará el análisis.
- i) Componentes del equipo. - En este apartado se desglosará los componentes de los cuales según el departamento que opera los equipos son los que más daños han sufrido, eso con el objetivo de realizar recomendaciones para su mantenimiento.
- j) Función de cada componente. - Se pondrá la definición del funcionamiento de cada componente, es necesario agregar los valores en los que operan, los cuales pueden ser valores de voltaje, corriente, rangos máximos, rangos mínimos, presión y temperatura. Esto corresponderá dependiendo cada componente.
- k) Modos potenciales de falla. - Para identificar qué información va en los modos de falla es necesario conocer la definición de una falla, según (Castro, 2014) es el impedimento de un sistema o componente de cumplir con su función, según esta definición podemos deducir que el modo de falla es la descripción por la cual el componente puede llegar a fallar, este apartado deberá ser descrito en términos físicos o térmicos.
- l) Efectos potenciales de falla. - En este apartado se pondrán las consecuencias que provoca el modo potencial de falla, la descripción de los efectos potenciales de falla deberá ser en términos en los cuales el operador, el equipo o el sistema sintió la falla.
- m) Análisis cuantitativo de severidad de la falla. - El índice de severidad se lo realiza evaluando los efectos potenciales de falla, al ser un análisis cuantitativo se proporciona un número del 1 al 10 a cada efecto de falla y se analiza cada uno según el criterio de que tan grave es para el sistema o proceso que esta falla ocurra.

TABLA 1.1

Criterios de severidad de una falla

Efecto	Criterio de severidad	Ranking
Efecto peligroso sin advertencia	Clasificación del criterio de severidad muy alta cuando el modo de falla afecta a la operación segura o involucra el incumplimiento de regulaciones sin previo aviso para el operador.	10
Peligroso con advertencia	Clasificación del criterio de severidad alta cuando el modo de falla afecta a la operación segura o involucra el incumplimiento de regulaciones con una advertencia al operador de que el elemento es inoperable.	9
Muy alto	Elemento inoperable con pérdida en la función principal	8
Alto	Elemento operable o funcional, pero funciones específicas inoperables además de un bajo rendimiento.	7
Moderado	El elemento es operable, pero existe funciones de comodidad y conveniencia inoperables para el operador.	6
Bajo	El elemento es operable, pero existe funciones de comodidad y conveniencia operables a un nivel reducido de desempeño.	5
Muy bajo	Defectos del elemento notados por linieros con poca experiencia en el manejo de los equipos.	4
Menor	Defectos del elemento notados por linieros con mayor experiencia en el manejo de los equipos.	3
Muy menor	Defectos del elemento notados por linieros con experiencia avanzada en el manejo de los equipos.	2
Ninguno	Sin efectos	1

Fuente. (Chrysler & Corporation, Ford Motor Company, 2021)

Según la norma (SAE J1739, 2021), se describen los niveles de severidad. El autor nos proporciona una tabla de referencia Tabla 1.1, la cual debe ser adaptada dependiendo el análisis al sistema o proceso que se esté realizando, la adaptación podrá incluir cambios en los efectos, adaptaciones en los criterios a analizar o cambios en el ranking.

- n) Causa potencial de la falla. - La causa potencial de falla puede considerarse un defecto del componente, ya sea por causas físicas, químicas, mala maniobrabilidad del equipo o defectos en su fabricación. Las acciones preventivas o correctivas que se realicen en la ficha técnica deberán ser en base al número de causas de falla que se señalen en cada componente.
- o) Análisis cuantitativo de ocurrencia de la falla. - El índice de ocurrencia se analiza con el criterio de la probabilidad de que ocurra la causa potencial de falla como se observa en la Tabla 2. La eliminación o el control del modo de falla de un elemento es la única forma en la que se puede lograr una reducción en el rango de ocurrencia. Para el análisis de la ocurrencia de falla es necesario de un historial de fallas del equipo, en caso de no disponer se puede utilizar, datos estadísticos, experiencias de fallas en componentes similares,

experiencias de los linieros, datos obtenidos de proveedores o datos obtenidos de literatura técnica (Castro, 2014).

TABLA 1.2

Criterios de ocurrencia de una falla

Probabilidad de falla	Tasa de falla	Ranking
Muy alta: Las fallas que se producen en el componente son casi inevitables	1 en 2	10
	1 en 3	9
	1 en 8	8
Alta: Existen fallas repetitivas que se producen en el componente	1 en 20	7
	1 en 80	6
Moderada: Las fallas en el componente llegan a ser esporádicas	1 en 400	5
	1 en 2000	4
	1 en 15000	3
Baja: Existencia de pocas fallas en el componente	1 en 150000	2
	1 en 1500000	1
Remota: Falla improbable	1 en 1500000	1

Fuente. (Chrysler & Corporation, Ford Motor Company, 2021)

Para realizar la tabla de criterios del análisis cuantitativo según (SAE J1739, 2021), el equipo de trabajo debe ponerse de acuerdo sobre un criterio de evaluación acorde a la realidad de la empresa o departamento, es por eso que en la sección 2.4.1. Se realiza la adecuación de la tabla de criterios de ocurrencia de acuerdo con las necesidades de nuestro análisis, en la adaptación que se realice los criterios de probabilidad de falla pueden variar dependiendo el nivel de especificación que se requiera, de la misma manera la tasa de falla variará conforme a los criterios de los linieros de los equipos, estos pueden ser número de fallas al año o número de equipos que fallan.

- p) Medios de detección de la falla. - En este apartado se identificarán las formas de control por medio de las cuales el operador podrá identificar la existencia de una falla en un componente, el objetivo principal es detectar, corregir o prevenir la ocurrencia de una falla.
- q) Análisis cuantitativo de detección de la falla. - El índice de detección de falla se analiza bajo el criterio de que capacidad tiene el sistema o en nuestro caso el equipo para detectar una posible causa de falla antes de que pueda existir afecciones que comprometan el rendimiento de este, para dar un valor cuantitativo como lo indica la Tabla 1.3 el índice de detección se debe evaluar con respecto al modo de falla y al efecto de falla.

TABLA 1.3

Criterio de detección de una falla

Detección	Criterio: Probabilidad de detección	Ranking
------------------	--	----------------

Incertidumbre absoluta	El control no podrá detectar una causa o modo de falla o no existe control en el sistema.	10
Muy remoto	Posibilidad muy remota de que se pueda detectar una causa falla.	9
Remoto	Remota posibilidad de que se pueda detectar una causa falla	8
Muy bajo	Muy baja probabilidad que el sistema pueda detectar una causa de falla	7
Bajo	Probabilidad baja de que el sistema pueda detectar una causa de falla	6
Moderado	Probabilidad moderada de que el sistema pueda detectar una causa de falla	5
Moderado Alto	Probabilidad moderadamente alta de que el sistema pueda detectar una causa de falla	4
Alto	Probabilidad alta de que el sistema pueda detectar una causa de falla	3
Muy alto	Probabilidad muy alta de que el sistema pueda detectar una causa de falla	2
Casi seguro	El sistema casi con seguridad podrá detectar una posible causa de falla.	1

Fuente. (Chrysler & Corporation, Ford Motor Company, 2021)

Como ocurre para la tabla de índices de ocurrencia y severidad, el autor de la norma (SAE J1739, 2021), nos recomienda que la tabla a utilizar en el análisis de detección deberá variar dependiendo a la necesidad de nuestro análisis, es por ello que la Tabla 1.3 se utiliza como guía para realizar nuestra propia adecuación en el Capítulo 2.

r) RPN o número de prioridad de riesgo. - Debido a que la ficha técnica FMECA tiene un análisis cuantitativo al dar un valor numérico dependiendo la tabla de rankings de Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detección (D), estos son usados para clasificar las preocupaciones que debe haber en los procesos o equipos en funcionamiento, el número de prioridad de riesgo se calcula realizando el producto de los valores de Severidad, Ocurrencia y Detección.

Según la norma (SAE J1739, 2021), el valor resultante debe estar en rangos del 1 al 1000 en caso de que el valor supere el máximo, el departamento de mantenimiento deberá realizar esfuerzos para reducir el valor calculado.

A mayor sea el número calculado más atención se debe tener en el modo de falla de ese componente, según la norma es recomendable ordenar los RPN de mayor a menor e identificar las acciones preventivas o correctivas que se puedan realizar para reducir el RPN. La intención de cualquier acción que se recomiende debe reducir los índices de Severidad, Ocurrencia y Detección.

Para el análisis del índice de prioridad de riesgo se elabora una tabla en base a las necesidades que se tenga, sin embargo, el autor de la estructura de la ficha FMECA indica 3 diferentes criterios de análisis que debe contener el cuadro los cuales son: riesgo, RPN y frecuencia de actividades a realizar. El criterio de riesgo puede dividirse en Alto, Moderado y Bajo. Los rangos de RPN variarán de acuerdo con la categoría que se escoja, de la misma manera ocurrirá con el criterio de la frecuencia de las actividades a realizar las cuales pueden variar entre semanal, mensual y anual para las actividades de mantenimiento.

- s) Recomendaciones. – El departamento responsable del análisis señalará las acciones preventivas o correctivas basadas en el mantenimiento de cada componente, adecuaciones para mejorar el método de detección de fallas y reducir los índices de ocurrencia o severidad. (Chrysler & Corporation, Ford Motor Company, 2021).
- t) Grupo que empleará las recomendaciones. - En este apartado es necesario identificar el departamento y el personal el cual se encargará de emplear las recomendaciones que se realicen, de la misma manera se pondrá una fecha tentativa para la finalización del empleo de las recomendaciones.

Información necesaria para la elaboración de un manual de mantenimiento preventivo

Además del análisis de fallas, es necesario tener en cuenta que para la realización de un mantenimiento preventivo debe proporcionarse por parte del departamento de mantenimiento, información general de los equipos, repuestos, personal de mantenimiento y documentación técnica del equipo. En caso de que esta información no exista debe generarse un manual que indique formatos para la elaboración de estos.

Gestión de repuestos

Una de las actividades más importantes que se debe tomar en cuenta al armar un plan de procesos de mantenimiento para un manual, es la disponibilidad de piezas de repuesto en caso de que se necesite realizar un cambio, una adecuada gestión de repuestos para equipos en mantenimiento puede disminuir los costes más importantes del plan de mantenimiento. En la gestión de repuestos debe hacerse una optimización desde el punto de vista de bodega, debido a que ellos son los encargados de la adquisición de repuestos (Park, 2016).

Identificación de las piezas de repuestos.

Para realizar una clasificación adecuada de los repuestos que se necesitarán, es necesario agruparlos midiendo el nivel de importancia que tiene esa pieza dentro del equipo y en función de las necesidades que se tenga de mantenerlo en bodega permanentemente (Santiago, 2015). Es por ello, por lo que la identificación de piezas puede determinarse con respecto a estos 3 criterios:

— Nivel de importancia dentro del equipo

Es necesario identificar en diferentes categorías, esto con el fin de determinar la responsabilidad que tiene esa pieza dentro del equipo.

- a) Piezas o accesorios que puedan presentar desgaste
- b) Piezas o accesorios que se consuman con el tiempo
- c) Elementos de control y funcionamiento
- d) Piezas o accesorios que contenga un movimiento en su operación
- e) Componentes o accesorios electrónicos
- f) Piezas o accesorios que conforman una estructura

— Necesidad de tener el repuesto permanentemente en bodega

Este criterio solo es necesario clasificarlo en tres niveles, siendo así el nivel A como la necesidad de tener la pieza de repuesto en bodega, nivel B necesidad de tener identificados los proveedores y plazos de entrega de los repuestos y finalmente el nivel C las cuales vienen siendo piezas en las que el fallo no afectaría drásticamente a la función que desempeña el equipo, por lo tanto, puede esperarse para su remplazo.

— Clasificación por tipo de adquisición del repuesto

Cuando se va a realizar la compra del repuesto, generalmente se divide dependiendo la pieza que deseemos comprar por ello, si clasificamos una pieza del equipo como tipo estándar, entonces la adquisición de los repuestos podrá hacerse a diferentes proveedores, no esencialmente al fabricante del equipo, sin embargo, si la pieza la clasificamos específica del fabricante del equipo o de la máquina, nos dice que especialmente esa pieza deberá ser aprovisionada directamente del fabricante.

Crterios para tener en cuenta en la compra de un repuesto

Al momento de realizar el análisis de repuestos se verifica la disponibilidad de los componentes, en caso de que no exista algún repuesto es necesario realizar la compra o pedidos de estos, según (Santiago, 2015), existen tres niveles en los cuales el departamento de mantenimiento analizará la criticidad, nivel de consumo, aprovisionamiento de proveedores y costes de cada repuesto.

— Nivel de criticidad del equipo

Necesario para clasificar el nivel de importancia que tiene un equipo, es por ello que antes de realizar la lista de los repuestos que se necesita es fundamental clasificar los equipos por tipo A equipos críticos, tipo B equipos importantes y tipo C equipos prescindibles. (Santiago, 2015).

— Nivel de consumo de las piezas de repuesto

Se puede identificar el nivel de consumo que tiene esa pieza de repuesto a lo largo del tiempo mediante un histórico de averías, es por esto que todos los elementos que su nivel de consumo es alto, deberán estar su respectivo repuesto en bodega debido a su necesidad de cambiarlos con frecuencia (Santiago, 2015).

— Plazos de aprovisionamiento por parte de los proveedores

Una vez identificados los equipos por nivel de criticidad, es necesario utilizar esa información para identificar los lugares en donde se va a realizar el aprovisionamiento de los repuestos, es por ello que para equipos de criticidad alta y media y obtención de repuestos demorosa la recomendación es que se tenga los repuestos en bodega ya que el paro de funcionamiento de esos equipos por un período prolongado de tiempo, puede suponer en paro de procesos de la empresa (Santiago, 2015).

— Coste de cada repuesto

Es necesario identificar las piezas que sean altamente costosas y que sean muy importantes para un equipo de nivel de criticidad alto, este tipo de piezas se debe evitar tener en bodega y lo que se debe de hacer es buscar los métodos de mantenimiento que logren evitar que exista un fallo que afecten a ese tipo de piezas (Santiago, 2015).

Frecuencia de las tareas de mantenimiento

Para analizar con qué frecuencia debe realizarse las tareas de mantenimiento el autor (García, 2017), nos señala que existen tres métodos los cuales pueden ser utilizados para determinar la frecuencia de los mantenimientos para los equipos, el primero es utilizando métodos estadísticos, el segundo es mediante modelos matemáticos y el tercero es mediante la experiencia de los técnicos que deben elaborar el plan de mantenimiento.

Tipos de frecuencia de mantenimientos

Para identificar la frecuencia con que se realizaran los trabajos de mantenimiento es necesaria realizar un análisis de modos y efectos de fallas, con este análisis el operador tendrá la justificación para asignar una frecuencia de mantenimiento a un componente o equipo, de acuerdo con su necesidad.

— Frecuencia diaria

La realiza el trabajador una hora al día, con el objetivo de verificar por medio de inspecciones sensoriales si los equipos están con alguna avería (García, 2017).

— Frecuencia mensual

Es utilizada generalmente para realizar trabajos que el tiempo de periodicidad señala cada mes, en muchas ocasiones es debido a reemplazo de piezas, limpieza general de los equipos o desajustes de elementos del equipo (García, 2017).

— Frecuencia trimestral

Generalmente utilizada para emplear trabajos eléctricos elementales, es de las más utilizadas para establecer la periodicidad de los mantenimientos (García, 2017).

— Frecuencia anual

Se realizan tareas las cuales pueden ser mecánicas, eléctricas o de instrumentación, los mantenimientos anuales pueden realizarse de manera distribuida que quiere decir en cualquier momento del año o de manera parada en la cual debe existir una coordinación con los demás departamentos (García, 2017).

1.2.2. Mantenimiento overhaul

Este mantenimiento también conocido como cero horas según (García, 2018) consiste “en la aplicación de muchas tareas con el principal objetivo de revisar los equipos en intervalos programados de tiempo procurando que sea antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva”.

Para la realización de un mantenimiento overhaul sin duda es necesario que el departamento de mantenimiento cuente con datos de fallas de los equipos o un histórico de averías, la cual es una de las fuentes más importantes y necesarias para entender la situación del equipo, con la ayuda del histórico de fallas podremos identificar y cuantificar cual es la falla más común que presenta el equipo a analizar, sin embargo, si lo que se busca es realizar un plan de manteamiento, es muy difícil que la empresa tenga un historial detallado de las averías que se han presentado a lo largo de la vida de operación de los equipos. En el caso que no exista esta información, se puede recurrir a otros métodos, uno de ellos es un análisis de las facturas de repuesto, con esta información se podrá verificar cual es el repuesto comprado con más frecuencia y por ende se podrá identificar cual es la falla más frecuente que presentan los equipos (Santiago, 2015).

1.2.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo inicia con el análisis de la información recopilada de las maquinas o equipos, este mantenimiento generalmente se lo realiza cuando se observa

condiciones adversas en el funcionamiento del equipo sin que estas hayan parado la producción de la empresa (ARIAS, 2016).

Uno de los métodos que se puede adaptar para la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo es el árbol de fallas o un análisis de confiabilidad de un equipo o componente este se lo realiza mediante métodos deductivos en los cuales se pueda identificar una falla principal y los eventos que pueden ocurrir a partir de esa falla, este tipo de análisis puede ser realizado al momento que se hace el análisis de los equipos, sin embargo, conforme se vaya realizando la inspección y mantenimiento, puede ser actualizado (Park, 2016).

Construcción de un árbol de fallas para equipos de medición

Como se observa en la Figura 1, el árbol de fallas se crea a partir de una falla principal de la cual se irán desprendiendo eventos que puedan llegar a causa esa falla, de la misma manera cada evento puede dividirse en otros eventos, cabe señalar que la expansión de las ramas del árbol de eventos se verá influenciada por el desconocimiento de los modos de falla de los eventos básicos o si se desea realizar un nivel de análisis de falla más detallado. En el caso que los eventos básicos no tengan más eventos subsecuentes, dicho evento debe ser identificado por un círculo (Park, 2016).

Se utilizará un conector AND si se desea identificar qué ocurrirá el evento básico de primer nivel 2, siempre y cuando suceda el evento A y el evento B.

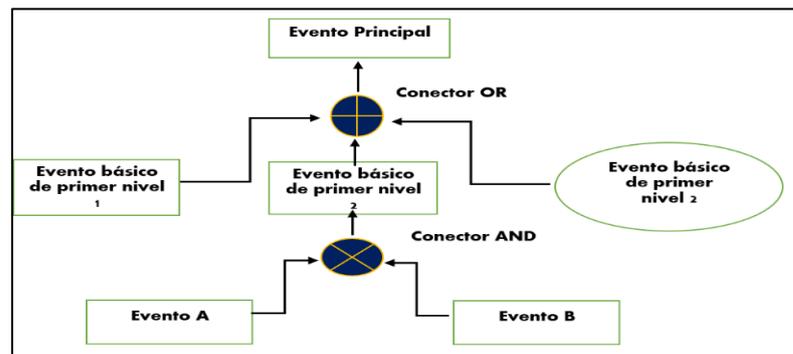


Fig.1.Ejemplo del diseño de Árbol de fallas
Fuente. (Park, 2016)

A continuación, se muestra la Tabla 1.4 que identifica el significado de cada figura que puede conformar el árbol de fallas, esto dependerá de los eventos que ocurran.

TABLA 1.4

Descripción de los símbolos que conforman un árbol de fallas.

<i>Símbolos principales que conforman un árbol de fallas</i>
--

	Rectángulo	Representa un evento no deseado ejemplo una falla
	Diamante	Representa un suceso no desarrollado
	O / OR	Es un condicional y señala que un evento que le sigue ocurrirá si cualquiera de los eventos que se encuentren posterior a él ocurren.
	Y / AND	Este condicional señala que ocurrirá si todos los eventos que le siguen ocurren
	Circulo	Evento base, generalmente se lo sitúa al final de un árbol de fallas

Fuente. (Park, 2016)

Como se observa cada símbolo contienen su propia descripción la cual al momento de analizar las fallas que presenten nuestros equipos o procesos se procederá a la construcción de un árbol de fallas para un mejor entendimiento del suceso.

Identificación de los trabajos de mantenimiento predictivo

Para la realización de un correcto mantenimiento predictivo, es necesario la identificación de los trabajos de mantenimiento la cual se la realiza para evitar que existan averías o para disminuir los efectos es de mucha importancia para cumplir el objetivo del manual de procesos de mantenimiento, estas tareas pueden dividirse según (Santiago, 2015) en tres tipos:

Tarea tipo 1. Una inspección del equipo al cual se le va a realizar un mantenimiento, es de mucha importancia, ya que visualmente se puede identificar si el equipo tiene alguna avería externa o si el equipo está funcionando de una manera incorrecta (Santiago, 2015).

Tarea tipo 2. Se debe verificar el correcto funcionamiento del equipo utilizando los propios instrumentos que el mismo ofrece, entonces si el equipo es de medición, se debe tomar los datos de una serie de parámetros que el mismo equipo realiza y junto con ellos realizar una contrastación con los rangos normales de medición, esta verificación ayudará a intervenir en caso de que la medición sea incorrecta (Santiago, 2015).

Tarea tipo 3. Verificación del correcto funcionamiento de los equipos, apoyándose de instrumentos externos, esta actividad se la hace con el fin de revisar si el equipo cumple con las especificaciones prefijadas, esto se lo puede realizar haciendo uso de otro equipo de medición haciéndole realizar la misma tarea, se comparan los datos y se analizará cual es la falla que pueda presentar este equipo. (Santiago, 2015).

1.2.4. Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se refiere al daño en equipos, debido a que se lo realiza al notar un fallo en el sistema o una avería en algún elemento del equipo, generalmente este

tipo de mantenimientos son para equipos que sufren averías espontaneas con facilidad y que es muy complicado realizar un plan de mantenimiento preventivo (García, 2018).

Para realizar este tipo de mantenimiento en situaciones en las que más de un equipo ha sufrido una avería espontanea es necesario realizar dos tipos de análisis:

Orden de importancia de los equipos

Con los resultados obtenidos previo al estudio de la situación actual de los equipos, se puede identificar de mayor a menor el orden de importancia que tiene cada equipo con respecto al impacto que tiene la falla de este con los resultados de la empresa. Un método muy utilizado para realizar la jerarquización de los equipos es el análisis de criticidad el cual estudia las prioridades de un equipo generando una metodología que ayuda a la toma de decisiones direccionando el recurso técnico, humano y económico en el mantenimiento del equipo con mayor prioridad (Viveros et al., 2013).

El análisis de criticidad según (Moubray, 2019), se lo realiza utilizando técnicas cualitativas-cuantitativas, solo cualitativas o cuantitativas, de este modo se puede clasificar a un equipo con los siguientes niveles:

- Nivel crítico (C)
- Nivel semi-critico (SC)
- Nivel no critico (NC)

Estos niveles son basados en la evaluación probabilística del riesgo, para identificar a que nivel corresponde cada equipo que se va a someter al estudio para un previo mantenimiento se puede utilizar opiniones o criterios técnicos de especialistas los cuales se utilizarán para la jerarquización de los equipos.

Análisis de los equipos de alto impacto

Una vez identificado los equipos en los cuales el nivel de riesgo es crítico, semi-crítico y no crítico, el estudio de esta actividad se centrará en inspeccionar todos los equipos señalados con nivel de riesgo (C) y (SC), la inspección deberá realizarse a detalle tanto del funcionamiento, procesos de instalación, procesos de desinstalación (para equipos analizadores de red) y lugar de trabajo. Esto ayudara a conocer el estado actual de operación de los equipos de la misma manera se podrá levantar la información sobre deficiencias en su funcionamiento y toda información que pueda utilizarse para realizar su respectivo mantenimiento. La información que se pueda obtener de la inspección de los equipos debe ser complementada con la información que puedan aportar los operarios (Viveros et al., 2013).

Al momento de realizar el análisis de los equipos, se llegará a identificar los puntos débiles que presenten, esta información puede ser analizada mediante el método de causa raíz o por sus siglas (ACR), el cual según (Rausand, 2018)¹consisten en “identificar las causa-raíz primarias de las fallas, para aplicar posteriormente soluciones que las eliminen de forma definitiva”. Para la realización de este análisis es necesario clasificar las causas por las cuales aparecen las fallas:

- Causa física
- Causa humana
- Causa latente u organizacional

Cada una de estas tres causas están conectadas una con la otra, de esta manera, para que un equipo falle debido a una causa física, previamente tuvo que haber existido una causa humana que pudo provenir de la realización de una incorrecta ejecución en el proceso de uso del equipo, pero generalmente las causas humanas se dan debido a deficiencias organizacionales y de gestión. Es necesario identificar y atacar la causa de la falla con el objetivo de eliminarla o controlarla.

Una vez descrito los conceptos de cada tipo de mantenimiento y conforme al tema de trabajo de grado, se llegó a la conclusión de que el mantenimiento óptimo para realizar en los equipos analizadores de red con los que actualmente cuenta la empresa EMELNORTE S.A. debe ser el mantenimiento preventivo, ya que se procura evitar que los equipos lleguen a dañarse debido a su alto costo y la necesidad de que cada uno de ellos se encuentre trabajando, es por ello que se descarta el uso de un mantenimiento correctivo, predictivo y overhaul, sin embargo para la elaboración del manual de mantenimiento no se descartó la utilización de métodos o análisis de estos tipos de mantenimiento debido a que los equipos analizadores de red cuenta también con componentes los cuales la implementación de un mantenimiento correctivo, predictivo o overhaul no afecta al funcionamiento del equipo.

CAPÍTULO 2

Levantamiento de información, diagnóstico del estado de los equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje

La elaboración del manual de mantenimiento conlleva a recopilar información de los equipos analizadores de red, esta se presenta por medio de historial de fallas, manuales de funcionamiento, informes de mantenimientos y contrastación e los equipos, catálogo de repuestos, personal que realiza el mantenimiento, personal que opera los equipos y proveedores de los repuestos. Esta información es necesaria para el análisis del estado de los equipos analizadores de red pertenecientes al departamento de calidad de energía de la empresa EMLENORTE S.A., es así como en este capítulo se describe el proceso y la información necesaria para la elaboración del manual de mantenimiento.

2.1. Descripción del Departamento de Calidad de Energía

El departamento de calidad de energía forma parte de la Dirección de Planificación de la empresa eléctrica EMELNORTE.S.A., la cual cumple la función de dirigir y administrar los procesos y sistemas de control de gestión, así como desarrollar proyectos y estudios necesarios para apoyar a la toma de decisiones, de la misma manera uno de los principales objetivos es “Garantizar el suministro de energía con calidad, oportunidad, continuidad y seguridad” (Jaramillo, 2021). Para que el suministro de energía eléctrica sea de calidad, la Dirección de Planificación conjuntamente con el Departamento de calidad de energía realiza el análisis de indicadores de calidad de producto los cuales son: nivel de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker), distorsión armónica de voltaje y desequilibrio de voltaje, para la realización de las mediciones se cuenta con equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje, el personal encargado del uso y mantenimiento de equipos consta de un ingeniero el cual procesa la información recogida por los analizadores de red, dos linieros los cuales realizan la planificación, instalación, desinstalación y mantenimientos de los equipos y un chofer encargado del transporte de los operarios a las zonas de instalación.

2.1.1. Ubicación Geográfica

Las oficinas del departamento de calidad de energía se encuentran ubicadas en las calles Eusebio Borrero 8-73 y Chica Narváez el edificio antiguo de la empresa eléctrica EMELNORTE S.A. en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura.

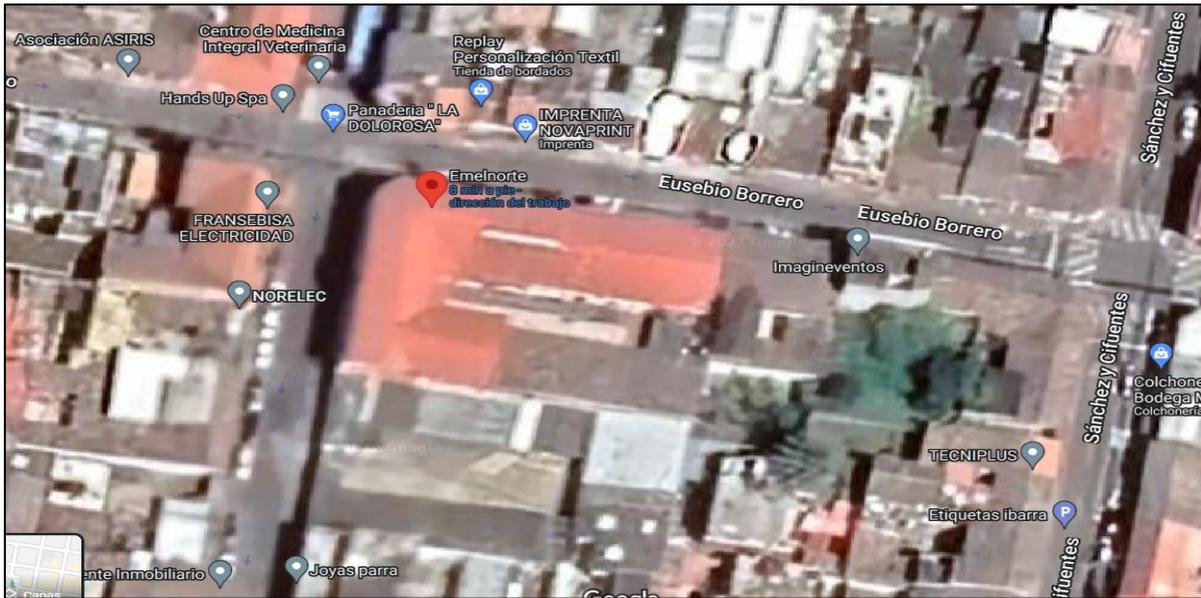


Fig.2. Ubicación geográfica sucursal empresa eléctrica EMELNORTE S.A.

Fuente. Google Maps 2021

La planificación que se realiza por parte de los linieros sobre en qué lugares debe realizarse la instalación de los equipos, se lo ejecuta en las oficinas de calidad de energía, la descarga de información y el almacenamiento de los equipos analizadores de red se lo realiza en una oficina adjunta la cual cuenta con unas dimensiones de 6,70 m de largo, 3,50 m de ancho y 3 m de alto el cual es un espacio adecuado para poder realizar las actividades con todos los equipos.

2.1.2. Lugares de instalación de los equipos

Los sitios en los cuales se realiza la instalación de los equipos se obtienen mediante el sistema ArcGIS, el cual selecciona puntos aleatorios en base a cinco grupos de análisis los cuales son: Barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV, Clientes en alto voltaje (grupo 1 y grupo 2), Transformadores públicos, Clientes de medio voltaje y Clientes de bajo voltaje. El número de puntos de selección para los transformadores de públicos se lo realiza en base al 0,15% del total, para los clientes de medio y bajo voltaje se lo realiza en base al 0,5% y 0,1% respectivamente del total de consumidores. En el caso de las barras de salida de las subestaciones el número de puntos será el total de las barras de salida y para los clientes de alto voltaje serán todos los consumidores que se encuentren con ese servicio.

En la siguiente tabla se muestra la información que contiene cada punto de instalación dependiendo del grupo de análisis al que pertenece.

TABLA 2.1

Grupos de análisis correspondiente a Calidad de Producto.

Grupos de análisis	Información que contiene el cronograma
Barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV	<ul style="list-style-type: none"> — Identificación de Barra — Alimentador — Subestación — Provincia — Cantón — Coordenadas UTM X — Coordenadas UTM Y — Mes
Clientes en alto voltaje (grupo 1 y grupo 2)	<ul style="list-style-type: none"> — Código Único Eléctrico Nacional Subestación — Provincia — Cantón — Coordenadas UTM X — Coordenadas UTM Y — Mes
Transformadores de públicos	<ul style="list-style-type: none"> — Código de transformador — "Tipo Urbano / Rural" — Alimentador — Subestación — Provincia — Cantón — Coordenadas UTM X — Coordenadas UTM Y — Mes
Clientes de medio voltaje y bajo voltaje	<ul style="list-style-type: none"> — Código Único Eléctrico Nacional — Alimentador — Subestación — Provincia — Cantón — Coordenadas UTM X — Coordenadas UTM Y — Mes

Fuente. (ARCERNNR, 2020)

Como se observa en la Tabla 2.1, la información que contiene el cronograma es sumamente necesaria para facilitar la búsqueda del usuario o transformador en el cual se va a realizar la instalación de los equipos analizadores de red.

Los sitios de instalación de los equipos analizadores de red pueden ser cámaras de transformación que se encuentran en fábricas, edificios o condominios habitacionales y postes, las condiciones climáticas varían entre clima templado húmedo, clima seco, clima frío y climas templados esto debido a que la empresa eléctrica EMELNORTE S.A. tiene la concesión del servicio eléctrico en diferentes ciudades del país.

2.2. Metodología

Los procedimientos necesarios para la elaboración del manual parte del levantamiento de información de los equipos, debido a que es necesario conocer las características de cada uno de ellos, el trabajo que realizan y las horas de trabajo. El recopilar toda esta información nos sirve para pasar al siguiente procedimiento el cual es el análisis del estado de los equipos y componentes, este se lo realiza por medio de métodos como el análisis de modos y efectos de falla en trabajos que se realizan, una vez se tenga la información de los fallos que ocurren en cada componente del equipo, se procede a identificar qué proceso de mantenimiento es el más adecuado, los procesos no solo se trata de cambios o reparaciones de alguna pieza si no también involucra un procesos de gestión de repuestos, saber el personal que hará los trabajos, analizar si los repuestos existen en bodega caso contrario involucra la gestión de los proveedores de las piezas de repuesto, finalizado este procedimiento se formula el plan de mantenimiento que se usara en el análisis, este va estructurado de acuerdo a todos los procedimientos que se identificaron en los procesos para finalizar incorporándolas en el manual, el cual contiene la información de las actividades a realizar en el mantenimiento de cada equipo o componente, además de las actualizaciones que se deben hacer a los procedimientos cuando existan equipos nuevos, para finalizar con la forma correcta de la planificación de actividades, instalación y desinstalación de los equipos analizadores de red y la descarga de la información recolectada.

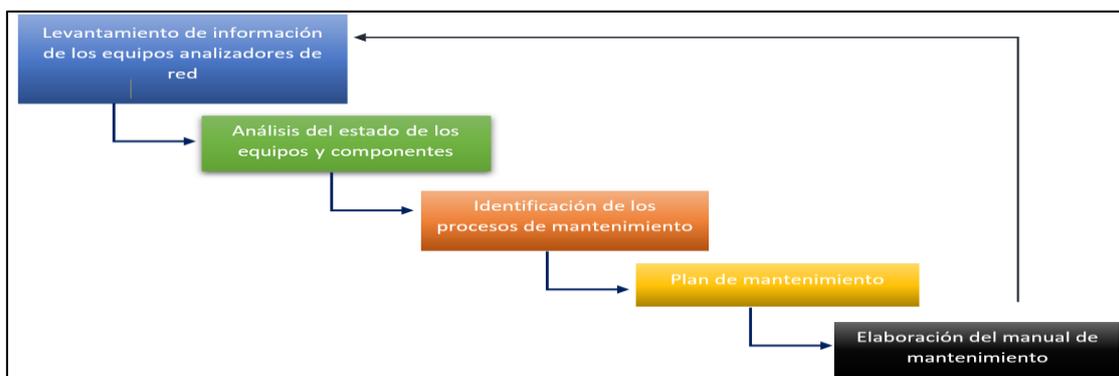


Fig.3. Metodología por seguir para la elaboración de un manual de mantenimiento preventivo.

Fuente. Elaboración propia

2.3. Sistema de medición de parámetros de calidad de energía de la Empresa Eléctrica Regional EMELNORTE S.A.

El sistema de medición de parámetros de calidad de energía se divide en la planificación de la fecha y los lugares en los que se van a realizar las mediciones, instalación de los equipos, entrada en funcionamiento de los equipos, desinstalación de los equipos, descarga de la información recolectada y evaluación de la información. Estas actividades se

realizan de acuerdo con el plan anual de campañas de medición, debido a eso los equipos analizadores de red trabajan alrededor de 21 días por mes.

TABLA 2.2

Equipos analizadores de red con los que cuenta actualmente la empresa eléctrica EMELNORTE S.A.

Tipo de red que analizan	Marca	Modelo	Número de equipos		
			Total	Funcionales	Averiadados
Bajo Voltaje	Fluke	1744	15	11	4
	Fluke	1748	10	6	4
	Fluke	1760	1	1	0
	AEMC	8335	5	0	5
	LEM	Topas 1000	1	1	0
Medio Voltaje	KRON	RM-960-PQ	3	3	0
Total de equipos			35	22	13

Fuente. Elaboración Propia

Como se observa en la Tabla 2.2, existen un total de 35 equipos analizadores de red en medio y bajo voltaje de los cuales los equipos funcionales de la marca fluke 1744, 1748 , AEMC 8335 son utilizados para el análisis de calidad de producto de clientes de bajo voltaje y transformadores públicos, los equipos Kron RM-960-PQ para el análisis de clientes de medio voltaje y finalmente los equipos Fluke 1760 y LEM Topas 1000 debido a su alto costo se utilizan para casos especiales en los cuales se necesite una mayor precisión en la información recopilada y existan las condiciones de seguridad adecuadas.

2.3.1. Equipos analizadores de red de bajo voltaje

Como se identificó en la Tabla 2.2, existen 6 modelos de equipos analizadores de red, cada uno tiene especificaciones distintas en cuanto al trabajo que realizan, componentes que se utilizan, normas de seguridad que tienen. La identificación de los componentes externos que cada equipo tiene ayuda en la elaboración del diagnóstico del estado actual de cada uno de ellos.

Registrador de calidad eléctrica Fluke 1744

El analizador de red o registrador de calidad eléctrica son equipos diseñados y utilizados para analizar y solucionar inconvenientes que se encuentren relacionados con la calidad de entrega del suministro eléctrico, entre las principales aplicaciones se tiene:

- Estudios de carga
- Evaluación de potencia y calidad de energía

- Estudios relacionados a la calidad de la energía eléctrica
- Análisis de perturbaciones

La serie 1740 Fluke tienen un grado de protección IP65, lo que quiere decir que el equipo es hermético al polvo y estará protegido contra el agua proyectada, el fabricante recomienda para que el equipo tenga un buen funcionamiento, las condiciones ambientales no deben bajar de los -10 °C y no sobrepasarse los 55°C, de la misma manera señala que el rango de temperatura de funcionamiento fiable va desde los 0°C a 35°C (Fluke Corporation, 2006). Según el manual de funcionamiento recomienda que el intervalo de recalibración no supere los 2 años, debido a que puede existir fallas en las mediciones que se realicen posteriormente, de la misma manera la serie 1744 cuenta con una exigencia de seguridad tanto para el equipo como para el usuario que lo maneja la cual es la IEC/EN 61010-1 CAT II 600V y CAT IV 300V, lo que quiere decir que al ser equipos categoría III y IV pueden ser utilizados para mediciones de red eléctrica y el límite de tensión de 600V se refiere a la tensión de trabajo que para una categoría III con tensión de trabajo 600V el equipo puede soportar un pico de impulso de sobrecarga de voltaje de 6000V y la fuente tendrá una resistencia de 2 Ohmios (UNE-EN 61010, 2020).



Fig.4. Equipo analizador de red Fluke 1744.
Fuente. Elaboración propia

Adicionalmente el analizador de red Fluke 1744 cuenta con algunos componentes utilizados para su correcto funcionamiento, estos componentes serán los utilizados en el análisis del FMECA debido a que son los accesorios que más se llegan a dañar.

Equipo estándar:

- Cable RS232
- Sondas 3000A/6000A Flex 4 AC Current Probes
- Sondas 15A/1500A Flex 4 AC Curen Probes
- Current Clamp Set Fluke 5A/50^a
- Cable de prueba TLS-430

— Pinza tipo lagarto AC285

Registrador de calidad eléctrica Fluke 1748

El analizador de red o registrador de calidad eléctrica fluke 1748 cuenta con las aplicaciones del 1744 sin embargo al ser una versión más actualizada viene con conexión inalámbrica mediante WiFi esta característica es muy importante debido a que se puede consultar de manera remota el funcionamiento y las mediciones que realice el equipo.



Fig. 5. Equipo analizador de red Fluke 1748.
Fuente. Elaboración propia

Entre sus especificaciones más importantes tenemos que cuenta con una protección IP65 contra el polvo y el agua proyectada, según el fabricante el rango de la temperatura de funcionamiento adecuado para el equipo va desde los -25°C hasta los 50°C , su categoría de seguridad de medición supera al equipo 1748 al ser 1000V CAT III o 600V CAT IV, lo que quiere decir que su tensión de trabajo será de 1000V y el equipo podrá soportar un pico de impulso de sobrecarga de voltaje de 8000V, lo que beneficia en la seguridad para el operador del equipo, al ser un equipo más actual cuenta con una batería la cual le da una autonomía de 4 horas siempre y cuando no esté en conexión directa a la fuente, además a parte de conexión WiFi cuenta con conexión Bluetooth la cual permite realizar una lectura de datos de medida. Al igual que los equipos 1744, se recomienda realizar una calibración cada 2 años para mantener la fiabilidad de las mediciones del equipo (Fluke Corporation, 2020).

Entre los componentes adicionales que tiene el equipo tenemos:

- Sondas de corriente Fluke-17xx IP65 iFlexi de 1,5 kA y 24 pulg./60 cm
- Sondas de corriente Fluke-17xx IP65 iFlexi de 3 kA y 24 pulg./60 cm
- Cable plano 3PHVL-17xx para medida de baja tensión
- IP65 Adapter set Fluke 174x Power Quality Logger
- MP1-3R Magnet Probe Set

- Pinza tipo lagarto AC285

El equipo Fluke 1748 a diferencia del 1744, no cuenta con una pantalla digital para la verificación de procesos debido a que cuenta con conexión Wifi que le permite controlarlo de manera remota, el limitante de la pantalla digital beneficia al rendimiento de la batería en caso de que el equipo se quede sin alimentación externa (Fluke Corporation, 2020).

Registrador de calidad eléctrica Fluke 1760

El equipo analizador de red 1760 es de los más avanzados para el análisis de calidad de potencia y pruebas de cumplimiento constantes, al igual que los analizadores de red anteriores está diseñado para el uso en sistemas industriales y sistemas de distribución de energía eléctrica entre las aplicaciones principales tenemos:

- Análisis detallado de perturbaciones
- Estudios de cargas eléctricas y calidad de potencia
- Realización de mediciones en sistemas eléctricos diferentes
- Utilización de GPS para detectar donde ocurrió una primera falla.

Entre las principales características del equipo se tiene que el rango de temperatura de trabajo va de 0°C a +50°C, además cuenta con una categoría de seguridad de medición CAT III 300V, en cuanto al funcionamiento del equipo en caso de falla en la alimentación primaria, cuenta con un paquete de baterías el cual ayuda al funcionamiento del equipo por 40 min, pasado ese tiempo el operador deberá sustituir la batería para que el equipo siga realizando las mediciones programadas. De la misma manera que el analizador de red 1748 no cuenta con pantalla, sin embargo, viene incluido indicadores LED para el estado de los 8 canales, cuenta con 8 entradas con aislamiento galvánico para las mediciones de voltaje y corriente (Fluke, 2006).



Fig. 6. Equipo analizador de red Fluke 1760.
Fuente. Elaboración propia

Este equipo también contiene componentes adicionales entre los cuales tenemos:

- Sonda de corriente flexible TPS FLEX 24, 1000A con conector hembra Amphenol macho C16-3 con grado de protección IP65.
- TPS-VOLTPROBE, 600V, 400V, con conector hembra Amphenol macho C016-3 con grado de protección IP65.
- Pinzas tipo lagarto AC285
- Cable main connection power

Registrador de calidad eléctrica AEMC 8335

El equipo analizador de red es utilizado para el estudio de redes trifásicas además que cuenta con una visualización grafica a color y con una batería externa recargable. Al ser un equipo analizador de red es utilizado para mediciones de tensiones RMS, mediciones de corriente RMS, mediciones directas de tensión y corriente, mediciones de frecuencia, relaciones de TC y TP, mediciones de corriente de Inrush, también es utilizado para realizar cálculo de factores de cresta, factor K para transformadores, cálculo de flicker y desequilibrio de tensiones trifásicas. El equipo 8335, cuenta con un almacenamiento de datos de un máximo de 2GB, además cuenta con su propia fuente de alimentación por medio de baterías de NiMH recargables y una fuente de alimentación externa directa al equipo, para condiciones favorables tiene una autonomía de 8h con su pantalla encendida y hasta 35h en registro de datos con pantalla apagada, en cuanto a su clasificación de seguridad cuenta con una categoría CAT IV, 600V y su rango de temperatura de funcionamiento óptimo para el equipo va desde los 0°C a 45°C (Arnoux, 2012).



Fig. 7. Equipo analizador de red AEMC 8335. Fuente. Elaboración propia

Entre los componentes principales externos del equipo tenemos:

- Power Adapter Model PA30W

- Pinzas de corriente MN193 5A – 100A
- Sondas de corriente 10A a 6500A AC
- ID codificado de conductores Aemc 2140.45
- Conductor nominal AEMC 2140.44 con clasificación de seguridad para mediciones CAT IV 600V- 10A

Registrador de calidad eléctrica LEM Topas 1000

El equipo analizador de red fabricado por la empresa LEM tiene en sus principales funciones el análisis de armónicos, THD y análisis de transitorios, la toma de mediciones la realiza por medio de sus 8 canales de entrada situados a los lados del equipo, la distribución de esos canales puede ser cuatro para pinzas de voltaje y cuatro para pinzas de corriente, o también puede ser utilizado las ocho entradas para pinzas de voltaje, también cuenta con una entrada para la alimentación y LEDs indicadores de los canales de entrada conectados, además, el equipo cuenta con un grado de protección IP65 que lo protege del polvo y agua. En su interior cuenta con un almacenamiento de datos de 1 GigaByte de la misma manera cuenta con un Modem GSM el cual ayuda a los linieros a revisar la información que se está analizando en tiempo real sin necesidad de estar conectado por medio de cables de datos (Gmbh & Liebermannstrasse, 2003).



Fig. 8. Equipo analizador de red LEM TOPAS 1000.
Fuente. Elaboración propia

Entre los componentes principales externos que tiene el equipo tenemos:

- Sonda de corriente flexible tipo LEMFLEX 10-1000A, 600V con protección CAT III, con conector Amphenol macho C16-3 con grado de protección IP65
- Topas 1000 Voltage Probe 400V, 600V CAT III con conectores tipo Amphenol hembra C16-3
- Pinzas tipo lagarto AC285
- Cable RS-232 DB-9 para comunicación con el ordenador

- Cable de alimentación con conector tipo Amphenol macho C016 con grado de protección IP65

Registrador de calidad eléctrica de medio voltaje KRON RM-960-PQ

El analizador de la empresa KRON, es utilizado para la medición de parámetros de calidad de energía en redes de distribución de medio voltaje, al ser un equipo que realiza mediciones continuas durante varios días, contiene una carcasa la cual facilita la instalación al poste con la ayuda de una abrazadera, también cumple la función de proteger al medidor y sensor del polvo, sol y agua ya que cuenta con una protección IP65. El equipo permite al operador visualizar en tiempo real mediante la utilización del software Nexus gráficos y datos como el historial de mediciones, pruebas de pulso y análisis de formas de onda. Entre las principales aplicaciones que se pueden dar al equipo tenemos:

- Análisis de calidad de energía en medio voltaje
- Multimetro de energía
- Grabación de magnitudes eléctricas
- Detección de fraude en redes eléctricas
- Generación de curva de carga e historial de un circuito eléctrico

Todas las mediciones y análisis que realice el equipo, la almacena en una memoria de 1GB, de la misma manera el medidor cuenta con la función de realizar 1024 muestras por ciclo y su temperatura de operación varía entre los -40°C hasta los 70°C . El equipo analizador de red en su parte externa cuenta con 4 conectores en la parte inferior de los cuales 3 son utilizados para los sensores que se instalarán en las líneas de medio voltaje y uno utilizado para la alimentación del equipo, además cuenta con un conector en el parte frontal utilizado para la comunicación del equipo analizador de red con el ordenador del operador (Kron Instrumentos Eléctricos Ltda., 2020).



Fig. 9. Equipo analizador de red de MV KRON RM- 960-PQ
Fuente. Elaboración propia

Entre los componentes del equipo tenemos los 3 sensores para línea viva con protección IP65, con rangos de medición de hasta 1000A – 35kV (F-F) con una precisión de

tensión de 1% y de corriente 2%. Además del cable de comunicación con conector macho RJ45 y el conductor que alimenta el equipo el cual contiene en sus extremos pinzas tipo lagarto AC285 para acoplarlo a la línea de bajo voltaje (Kron Instrumentos Eléctricos Ltda., 2020).

2.3.2. Proceso actual de instalación de los equipos analizadores de red de bajo voltaje

- a) Por medio de la selección de puntos de instalación que realiza el sistema ArcGIS, el departamento de calidad de energía elabora el cronograma anual de mediciones, el cual consta del número de mediciones que deben realizarse cada mes y las ubicaciones de instalación de los equipos analizadores de red.
- b) Con la información proporcionada en el cronograma, el grupo de linieros realiza la planificación del recorrido que se hará y el tiempo necesario para cada instalación, generalmente se estima que serán de 1 a 2 días.
- c) El día de instalación se montan los equipos al balde de la camioneta asignada para el departamento de calidad de energía, los equipos van sin ninguna protección a parte de su carcasa de instalación a poste, debido al movimiento de la camioneta sufren golpes entre ellos o con el balde de la camioneta.
- d) Cuando se llega al sitio de instalación, los linieros escogen el equipo que se va a utilizar en ese poste, de la misma manera se preparan con su equipo de seguridad y sus herramientas de trabajo, entre las cuales tenemos:
 - Casco de seguridad
 - Guantes de aislamiento
 - Cinturón de liniero
 - Soga de yute de 20m
 - Llave de plástico con la cual se abre la carcasa de instalación al poste en la cual está el equipo
 - Escalera de fibra de vidrio con apoya poste
- e) Para la instalación, el operador coloca la escalera en el poste y por medio de una vincha que se encuentra en la parte superior de la escalera se encarga de engancharla al poste, una vez apoyada, el operador se encarga con una cuerda que se encuentra en la parte inferior de sujetar la escalera al poste esto con el fin de evitar que la escalera pueda irse para atrás debido al peso del operador, la altura de la escalera dependerá del sitio de instalación del equipo.
- f) Una vez colocada la escalera, el operador se ajusta el cinturón de liniero, se coloca los guantes de aislamiento y el casco de seguridad, en el cinturón el operador amarra una

soga de yute y empieza a subir hasta la altura necesaria, una vez el operador se encuentre posicionado en el poste, este se engancha por medio de una correa al poste con el objetivo de tener más comodidad a la hora de instalación y para evitar que pueda caerse para atrás debido a su peso.

- g) Cuando el operador ya se encuentra en posición y con las medidas de seguridad que el cree necesarias, avisa a su otro compañero para que enganche la carcasa a la soga de yute, este enganche se lo realiza solamente por medio de un nudo, una vez ajustada el operador que se encuentra en el poste empieza a jalar la soga con el objetivo de llevar el equipo a la parte superior, este procedimiento conlleva el riesgo de que el nudo pueda zafarse y el equipo caerse y causar un accidente laboral o el daño del equipo.
- h) Cuando el equipo se encuentra ya con el operador que está en el poste, este procede a zafar el nudo para poder manipular el equipo e instalarlo al poste, como se mencionó en el apartado anterior la carcasa que utilizan para la instalación del equipo al poste cuenta con la abrazadera integrada, sin embargo solo se utiliza la mitad de la abrazadera y la otra mitad se utiliza una soga ajustable, según los linieros se realizó esta modificación para agilizar el trabajo de instalación y desinstalación. Una vez ya el operador tenga el equipo, engancha la carcasa al poste y lo sujeta solo con la soga ajustable, cuando el equipo ya está sujeto, el operador se encarga de realizar la conexión del equipo a la línea.
- i) Cuando el equipo ya se encuentra conectado según las necesidades de medición que se requiera, se prende el equipo y se verifica que este trabajando correctamente, una vez hecha la verificación, el operador procede a cerrar la puerta de la carcasa y con la llave de plástico asegura la carcasa.
- j) Cuando ya está instalado el equipo y cerrada la carcasa, el operador procede a desengancharse del poste para descender, una vez abajo se empieza a retirar la escalera volviéndola a su posición normal y quitando el seguro que engancho la escalera al poste.
- k) Finalmente, el operador procede a guardar la escalera en la camioneta y a quitarse los implementos de seguridad y herramientas utilizadas para proceder a la siguiente ubicación para la instalación de otro equipo.

2.3.3. Proceso actual de obtención de datos

- a) Una vez el equipo conectado y puesto en marcha para funcionar contará con una fuente de alimentación que vendrá directa del poste o de la fuente en la que se instalará dicho equipo, en caso de que esa fuente falle, cada equipo tiene su propia batería interna la cual, para el equipo Fluke 1744 tiene un condensador que le brinda una autonomía de 3 segundos para el funcionamiento, con respecto al Fluke 1748 su batería le brinda 4 horas de funcionamiento, para Fluke 1760 podrá estar operando durante 40 minutos con el

empleo de su batería, en caso del AEMC 8335 tendrá 8 horas de funcionamiento si el display está encendido y se aumentará a 35 horas si el display se encuentra apagado, y finalmente para el LEM Topas 1000 su autonomía de funcionamiento solo es de 5 minutos.

- b) El equipo estará recolectando datos durante 7 días continuos en intervalos de 10 minutos, lo que se simplifica en que la empresa eléctrica EMELNORTE.S.A. deberá entregar 1008 mediciones por cada punto seleccionado.

2.3.4. Proceso actual de desinstalación de los equipos analizadores de red

- a) Una vez pasado los días en las que el equipo registra toda la información necesaria el personal del departamento de calidad de energía procede a desinstalar todos los equipos.
- b) El proceso de desinstalación de los equipos se lo realiza en un día o dos, dependiendo la planificación que tengan los linieros.
- c) Los linieros se movilizan en la camioneta que pertenece al departamento de calidad de energía, una vez llegan a la ubicación en donde se encuentra los equipos, los linieros proceden a realizar el mismo procedimiento de los literales e), f) ,g) del proceso de instalación explicado anteriormente.
- d) Una vez el operador se encuentre en la parte superior del poste procede a abrir la puerta de la carcasa de seguridad del equipo que se encuentra en operación, el operador revisa que el equipo haya obtenido los datos necesarios en los días programados, una vez se haya cumplido esto, el operador procede a desconectar el equipo de las líneas de baja tensión, cierra la puerta de seguridad de la carcasa y por medio de la soga de yute procede a realizar un nudo en la carcasa del equipo para poder bajarlo y entregarlo al trabajador que se encuentra en la parte inferior.
- e) Cuando el operador de la parte inferior recibe el equipo, procede a quitar el nudo y envolver los cables de conexión en la carcasa, una vez envueltos el operador procede a guardar el o los equipos en el balde de la camioneta y al igual que en el procesos de instalación, el equipo puede sufrir golpes mientras la camioneta está en movimiento, además los problemas de seguridad son mayores ya que al estar solo en el balde de la camioneta sufren el riesgo de que puedan sustraérselos ya que no se encuentran asegurados con ningún mecanismo.
- f) Al momento que el operador ya ha retirado todos los equipos que se encuentran en el poste, proceden a realizar los literales k) y l) del proceso de instalación.

2.3.5. Proceso actual de descarga de datos de los equipos analizadores de red

- a) Cuando todos los equipos hayan sido desinstalados, se programa inmediatamente el siguiente día para poder descargar toda la información de los equipos analizadores de

red, esto con el objetivo de levantar un informe que será entregado posteriormente a la ARCENNR.

- b) Para la descarga de información, los linieros ponen los equipos en una habitación amplia con el fin de tener la facilidad de llegar a todos y poder descargar la información de manera más rápida, para los equipos Fluke 1744 los linieros utilizan el programa PQLog v2.2.3 para el equipo Fluke 1748 se utiliza el programa Fluke Energy Analyze Plus v3.10.0 para los AEMC 8335 se utiliza el software PAT (Power Analyser Transfer), para el equipo Fluke 1760 se utiliza el programa PQ Analyze v1.9.4, para el LEM TOPAS 1000 se utiliza el software topas 1000 y finalmente para los equipos KRON RM-960-PQ se utiliza el software Nexus 1450.
- c) La descarga de información se la realiza mediante un cable RS-232 este sirve para el traspaso de datos binarios serie entre un equipo terminal de datos o traspaso de información de estos equipos a un programa de computadora.
- d) Una vez se haya descargado toda la información de los equipos, se procede a redactar el informe que será entregado a la entidad de control correspondiente para que pueda corroborar la información de que EMELNORTE cumple con los parámetros de calidad de energía dispuestos en la regulación ARCERNNN 002/20.

2.4. *Desarrollo de la ficha de modos, efectos y criticidad de fallos de los equipos analizadores de red*

Para iniciar con la elaboración de la ficha FMECA, es necesario utilizar la Tabla 6, en la cual se encuentran clasificados el total de equipos según su modelo, esta información nos ayuda a identificar el número de fichas que se realizará, debido a que actualmente el departamento de calidad de energía cuenta con 44 equipos analizadores de red tanto en medio como en bajo voltaje se decidió realizar 5 fichas FMECA una por cada modelo, la razón por la que no se realiza una tabla FMECA por cada equipo existente es debido a que todos los equipos que se encuentren dentro de la misma marca contienen los mismos componentes entre ellos.

Con la identificación del modelo y marca de cada equipo, se procede a la elaboración de la ficha en la cual la caracterización de los contenidos se la realizó en el apartado 1.2.1. Mantenimiento preventivo, para identificar la información que corresponde a los modos de falla, efecto de falla, causa de falla y medio de detección se utiliza el historial de fallas, identificación visual de daños en los componentes, experiencias de los linieros y tareas de mantenimiento.

2.4.1. Adecuación de las tablas de severidad, ocurrencia y detección de falla

Es necesario realizar ajustes de la Tabla 1.1, 1.2 y 1.3 que corresponde a los criterios de severidad, ocurrencia y detección de fallas, ya que como el propio autor mencionaba, cada tabla se adecuará dependiendo las condiciones y equipos a los que se les vaya a realizar el análisis.

Ajuste de la tabla de severidad de los efectos de falla

Los criterios y el ranking de la tabla de severidad se los realizaron en coordinación con los linieros que manipulan los equipos analizadores de red, debido a que es necesario información basada en el conocimiento del funcionamiento de los equipos. Para ellos se decidió clasificarlos en 5 criterios: Efectos irrelevantes, bajos, moderados, altos y muy altos.

Al ser el análisis de severidad un análisis cuantitativo es necesario darle un valor número a cada criterio es por ello por lo que se decidió que sea el ranking del 1 al 10, siendo 1 un valor designado para un criterio de falla irrelevante y 10 un criterio de severidad o gravedad de la falla muy alto.

TABLA 2.3

Tabla ajustada de severidad de efectos de falla

Severidad de los efectos de la falla	Ranking
Irrelevante: La falla no conlleva a problemas en la obtención de datos. El equipo probablemente no sentirá la falla.	1
Baja: El equipo sentirá probablemente leves variaciones en las mediciones de parámetros de calidad de energía que se obtengan de la línea.	[2,3]
Moderada: El equipo sentirá variaciones considerables en la toma de mediciones de parámetros de calidad de energía. El operador notara bajo desempeño del equipo.	[4-6]
Alta: Inconsistencias en las mediciones realizadas por el equipo. El equipo se torna inoperable para la toma de mediciones.	[7-9]
Muy alta: El equipo llega a detenerse o reiniciar la toma de mediciones. La falla puede provocar accidentes laborales a los linieros por lo tanto existe riesgos a la operación segura del sistema y/o incumplimiento de requisitos legales.	10

Fuente: Elaboración propia

Ajustes de la tabla de probabilidad de ocurrencia

Para determinar los criterios que se utilizaron en la tabla de probabilidad de ocurrencia fue necesario la experiencia del operador y la información de mantenimientos que se han realizado a los equipos analizadores de red, con esa información se logró clasificar en 3 criterios de falla: baja, moderada y alta.

Al ser un análisis cuantitativo es necesario dar un valor numérico como guía, en este caso se divide en tasa de falla y ranking, en el caso de la tasa de falla se valorará el número de veces que el equipo o un componente fallo al año, se toma este dato debido a que según la información proporcionada por los linieros la mayoría de los fallos en los equipos o componentes no se dan en 1 mes si no en el transcurso del año. De esta manera se decidió que de 1 a 3 fallas que hayan ocurrido en un equipo o componente en el año se le categorizará con probabilidad de ocurrencia baja y el ranking irá de 1 a 3 progresivamente, se categorizara con criterio moderado a: N° fallas ≥ 4 y ≤ 6 , de la misma manera para el ranking se dará un valor de 4 a 6 respectivamente y para finalizar se dará un criterio de probabilidad de ocurrencia alta al número de fallas que vaya desde 7 a ≥ 10 .

TABLA 2.4

Ajustes de la tabla del índice de ocurrencia de una falla.

Índice de ocurrencia de una falla		
	Tasa de falla	Ranking
Baja: Relativamente pocas fallas	1 en 1 año	1
	2 en 1 año	2
	3 en 1 año	3
Moderada: Fallas ocasionales	4 en 1 año	4
	5 en 1 año	5
	6 en 1 año	6
Alta: Fallas repetitivas	7 en 1 año	7
	8 en 1 año	8
	9 en 1 año	9
	≥ 10 en 1 año	10

Fuente. Elaboración propia

Ajustes de la tabla de probabilidad de detección de una falla

Para determinar los criterios de la tabla de probabilidad de detección de falla, fue necesario utilizar la información proporcionada de la experiencia de los linieros ya que ellos pueden conocer si existen o no métodos de detección de fallas.

Entre los criterios de probabilidad de detección de una falla que se analizaran tenemos: Indetectable, remoto, muy baja, baja, moderado, alto, muy alto y completamente

seguro. Se decidió que sean 8 criterios debido a que, al ser equipos diferentes, pueden tener diferentes mecanismos de detección de falla. En lo que concierne a la división del valor cuantitativo que se dará a cada criterio en el ranking se decidió que vaya desde el Número 1 para una probabilidad de detección completamente segura al número 10 para una incertidumbre absoluta en la capacidad de detección. Es así como la tabla de probabilidad de detección queda de la siguiente manera:

TABLA 2.5

Ajustes de la tabla de probabilidad de detección.

Detección	Criterio: Probabilidad de detección.	Ranking
Indetectable	El equipo no cuenta con alerta que advierta de una falla, los trabajos realizados por el operador imposibilitan detectar una causa o modo de falla.	10
Remoto	Existe una posibilidad remota de que el operador detecte una falla en los equipos.	[8,9]
Muy bajo	Muy baja probabilidad que el operador detecte una causa de falla.	7
Bajo	Probabilidad baja de que el operador detecte una causa de falla.	6
Moderado	Probabilidad moderada de que el operador detecte una causa de falla.	[4,5]
Alto	El equipo no cuenta con modos de detección de fallas, sin embargo, existe controles o revisiones del funcionamiento de los equipos realizados por el operador.	3
Muy alto	El equipo cuenta con modos de detección de falla, sin embargo, no existe controles o revisiones del funcionamiento de los equipos de parte del operador.	2
Completamente seguro	El equipo cuenta con un modo de aviso al operador de que existe una falla en el mismo o en algún componente. Los controles que realiza el operador permiten detectar una falla al instante que se presente.	1

Fuente. Elaboración propia

2.5. Número de prioridad de riesgo (RPN) en base al número de causa de falla de los equipos analizadores de red.

Los valores que se encuentran en la ficha FMECA de severidad, ocurrencia y detección de una falla, se los utiliza para el cálculo del número de prioridad de riesgo el cual consiste en el producto del valor asignado a cada uno de ellos.

Cada causa de falla de los componentes del equipo tendrá su valor de riesgo el cual con la ayuda del gráfico de líneas de marcadores se puede identificar de forma visual que causa de falla contiene un valor de alto riesgo, a continuación, se identifica el RPN

correspondiente de los análisis de modos efectos y criticidad realizado en los modelos de los equipos analizadores de red mencionados en la Tabla 2.2.

2.5.1. Número de prioridad de riesgo del equipo Fluke 1744

Como se observa en la Figura 10, se tiene 22 causas de falla para el equipo de la marca Fluke modelo 1744, entre las cuales la causa número 15,16,17 y 20 son las que tienen un RPN alto, según la ficha correspondiente en el Anexo A, esos valores pertenecen a fallas debido a roturas de resortes internos, defectos de calidad y desconexión entre el equipo analizador de red y la línea a prueba, estas fallas corresponden al componente tipo lagarto AC285.

Con respecto a la causa de falla número 20 que tienen un valor de prioridad de riesgo de 2880, es debido a falla en las mediciones de los equipos Fluke 1744 y su valor de riesgo es elevado por su alta ocurrencia que existe de esta falla en el año.

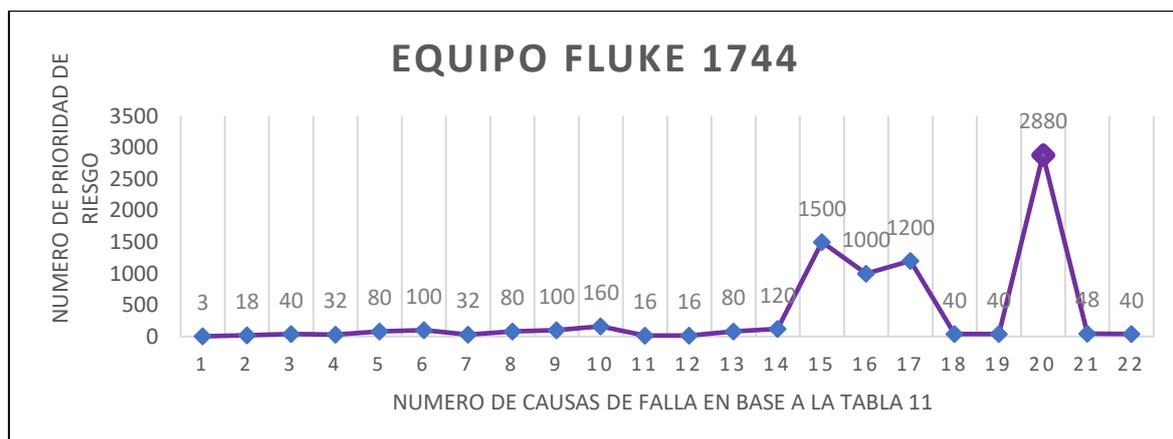


Fig. 10. Gráfico de líneas del número de prioridad de riesgo con respecto al número de causa.
Fuente. Elaboración propia

2.5.2. Número de prioridad de riesgo del equipo Fluke 1748

Con respecto a los equipos Fluke 1748 que se encuentra en el Figura 11, se tiene 21 causas de falla entre las cuales 6 corresponden a valores altos de prioridad de riesgo, de ellos la causa de falla 12 es según el Anexo B debido al exceso de tensión que ejerce el equipo al cable plano 3PHVL lo cual provoca una desconexión de la línea y por consecuencia falla en las mediciones.

La causa de falla número 14 corresponde a la desconexión del adaptador IP65 Set Fluke PQL, debido al exceso de tensión que existe en el cable que se conecta en el adaptador, según su valor de ocurrencia no indica que esta falla es muy repetitiva y el método de detección es nulo, debido a que no existe maneras de revisar de manera remota si el equipo deja de tomar mediciones.

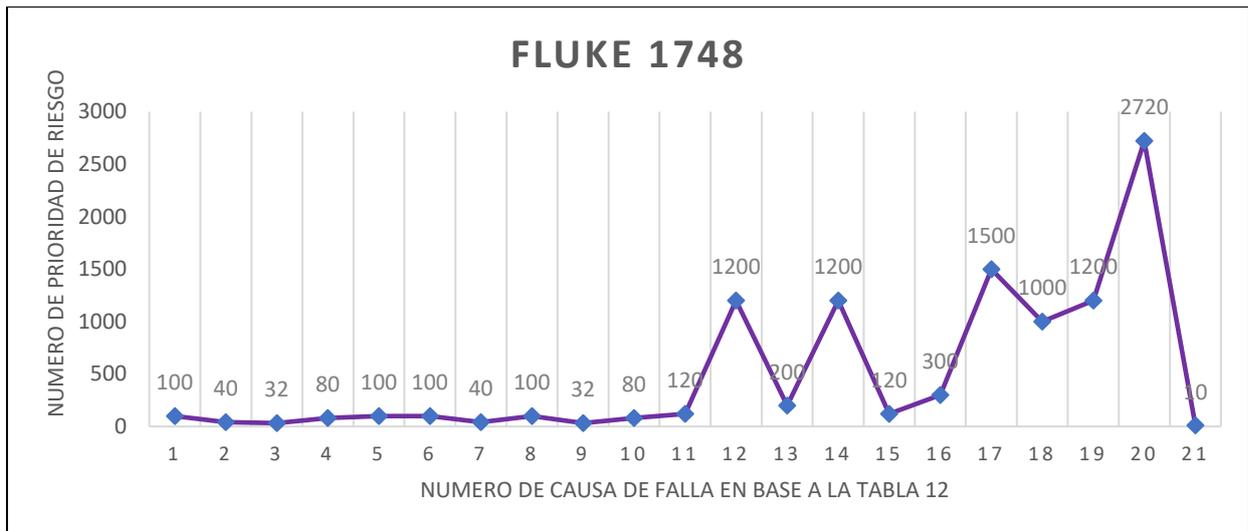


Fig.11. Gráfico de líneas del número de prioridad de riesgo con respecto al número de causa.

Fuente. Elaboración propia

Las causas de falla número 17, 18 y 19 son debido a rotura de resorte, defectos de calidad y desconexión de las pinzas tipo lagarto AC285, sus valores de riesgos son altos debido al valor de ocurrencia que tienen estos componentes en este modelo específico. Para finalizar con la causa de falla número 20 que es la que tiene el valor de prioridad de riesgo más alto encontramos que es en base a problemas directos en las mediciones en los equipos 1748 causado por la falta de un mantenimiento interno.

2.5.3. Número de prioridad de riesgo del equipo Fluke 1760

Para el equipo Fluke 1760 debido a que solo existe uno en el departamento de calidad de energía, solo tiene 12 causa de falla como se observa en la Figura 12, de las cuales las fallas número 9, 10 y 11 corresponde según el Anexo C, a desconexiones que existen de las pinzas tipo lagarto que están conectadas en los conductores tipo TPS- Voltprobe que son los encargados de transmitir los parámetros de voltaje al equipo.

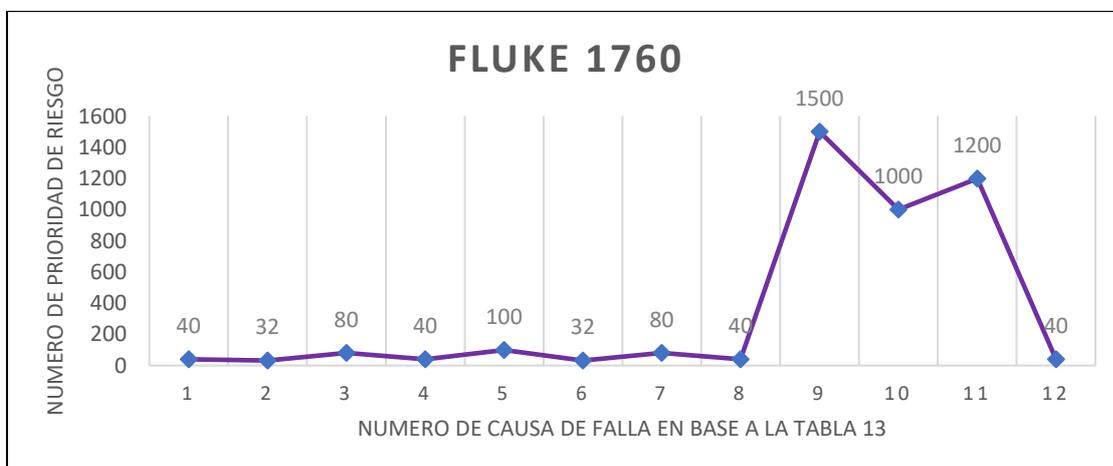


Fig.12.Gráfico de líneas del número de prioridad de riesgo con respecto al número de causa.

Fuente. Elaboración propia

2.5.4. Número de prioridad de riesgo del equipo AEMC 8335

Para los equipos AEMC 8335, el número de causas de falla según la Figura 13. Corresponde a 16 de las cuales la causa número 14 que tiene un valor de riesgo de 1200 corresponde según el Anexo D, a desconexiones en el conductor nominal que conectan al equipo con las pinzas tipo lagarto que se enganchan a la línea de bajo voltaje, esto ocurre debido al exceso de tensión que ejerce el equipo al conductor debido a la mala sujeción al poste de la carcasa de aislamiento.

En lo correspondiente a la causa de falla número 15 y 16, es debido a problemas internos del equipo, entre los cuales tenemos reinicios espontáneos a causa de falla en la placa interna del equipo y fallas de las mediciones debido a la falta de mantenimiento interno al equipo de medición.

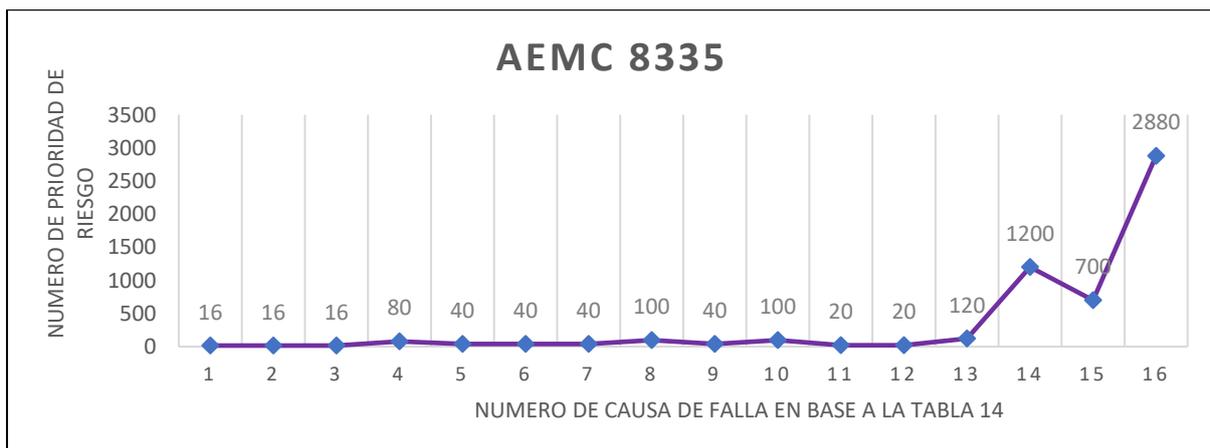


Fig.13.Gráfico de líneas del número de prioridad de riesgo con respecto al número de causa.

Fuente. Elaboración propia

2.5.5. Número de prioridad de riesgo del equipo LEM Topas 1000

El equipo LEM Topas 1000 al igual que el equipo Fluke 1760, son utilizados para trabajos especiales y no salen con frecuencia para trabajos en exteriores, debido a eso el número de causas de falla es solo de 10 y el valor máximo de prioridad de riesgo no supera los 100 puntos, sin embargo, al ser un equipo más costoso que los demás es necesario identificar esa falla.

Basados en la información de la Figura 14, nos indica que es la causa número 8, la cual, en base al Anexo E, se refiere a desconexiones en las sondas de corriente de 1000 A

que se da debido a fallos en el bloqueo de seguridad magnético lo que causa el desprendimiento de la sonda de la línea de medición.

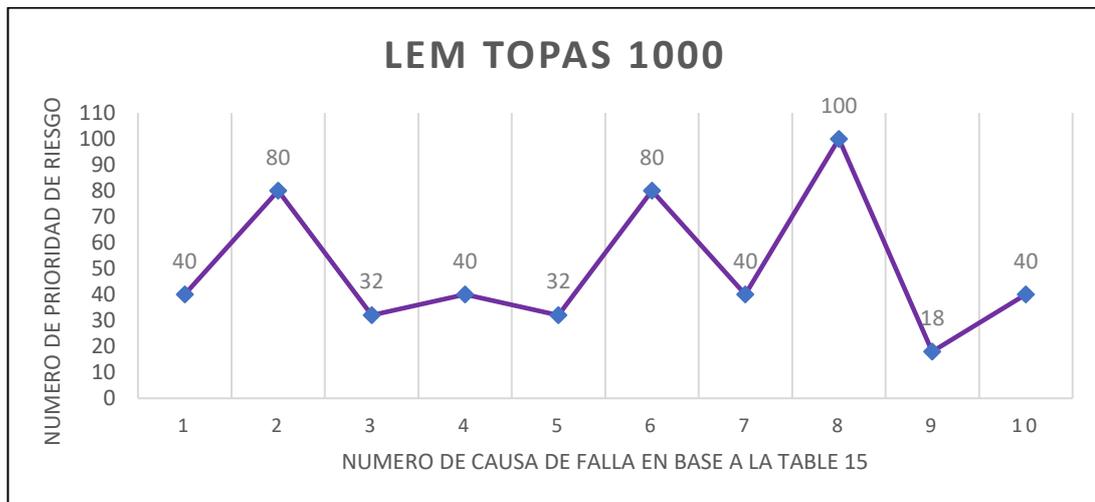


Fig.14. Gráfico de líneas del número de prioridad de riesgo con respecto al número de causa.

Fuente. Elaboración propia

El levantamiento de información y diagnóstico realizado a los equipos analizadores de red de la empresa eléctrica EMELNORTE.S.A. Por medio de las fichas FMECA, sirvió para identificar las fallas que tienen mayor ocurrencia en los equipos o componentes, de tal modo que con esa información y con el empleo de la tabla del número de prioridad de riesgo se puede determinar las frecuencias de actividades de mantenimiento que se deben realizar y de este modo se identifica que tipo de actividad preventiva se debe realizar para cada causa de falla. Esta información forma parte del plan de mantenimiento preventivo el cual se incorpora al manual de mantenimiento que se desarrolla en el Capítulo 3.

CAPITULO 3

Manual de mantenimiento preventivo para equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje

Como se identificó en la metodología, la recolección de datos de los equipos analizadores de red lleva a la creación de un plan de mantenimiento en el cual se incluye el resultado del análisis de los modos, efectos y criticidad de fallas de los equipos analizadores de red y sus componentes, información necesaria para la elaboración del manual de procesos de mantenimiento. De la misma manera en el manual se incorpora información de proveedores internos y externos de repuestos y servicios, formatos para la elaboración de ordenes de trabajo, proceso correcto de instalación, desinstalación y descarga de datos de los equipos, tareas de mantenimiento, responsables de los trabajos, herramientas y equipos necesarios para los trabajos de mantenimiento, formatos de informe de averías de los equipos e inspecciones a realizar dependiendo la frecuencia de mantenimientos.

3.1. Plan de mantenimiento preventivo para equipos analizadores de red

Para llevar una correcta planificación de las actividades que se deben desarrollar en el plan de mantenimiento, es necesario analizar los resultados de las causas de falla de los equipos, con la información obtenida se procede a identificar y ordenar las frecuencias en las que se desarrollaran las actividades de mantenimiento preventivas. El resultado será los trabajos para realizar, su continuidad y el beneficio obtenido.

3.1.1. Adecuaciones de la tabla de Número de Prioridad de Riesgo

Como se indicó en el capítulo 1, la tabla de RPN se elaborará de acuerdo con los resultados del producto del criterio de Severidad, Ocurrencia y Detección de una falla. Según el análisis realizado en las 5 tablas FMECA tenemos que para el equipo 1744 existe una causa de falla que el valor de riesgo es de 2880 puntos, por ello juntamente con los linieros del departamento de calidad de energía se determinó poner como rango máximo los 3000 puntos y se dividirá de la siguiente manera. Las causas de falla que tengan un RPN de 1 a 99 se valorará con criterio de riesgo bajo y las actividades de mantenimiento o revisión de los componentes que se realicen serán trimestralmente, las causas de falla que tengan un RPN de 100 a 500 se valorará con criterio de riesgo moderado y las actividades de mantenimiento o revisión de los componentes que se realicen serán mensualmente y finalmente para las causas de falla que tengan un RPN de mayor a 500 se valorará con criterio de riesgo alto y las actividades de mantenimiento o revisión de los componentes que se realicen deberá ser semanalmente.

TABLA 3.1

Adecuaciones de la tabla de número de prioridad de riesgo (RPN)

Nivel de Riesgo	Rangos de RPN	Frecuencia de actividades
Alto: La falla del equipo o componente impide al analizador de red realizar las mediciones, aumenta el riesgo de sufrir un accidente laboral en los trabajadores.	≥501	Semanal
Moderado: La falla en el equipo o componente genera algunos valores de medición incorrectos, la seguridad el operador no se encuentra comprometida.	100 a 500	Mensual
Bajo: Las mediciones se realizan correctamente, sin embargo, el descuido de mantenimiento en esa actividad provocará un nivel de riesgo Moderado o Alto.	1 a 99	Trimestral

Fuente. Elaboración propia

Con la ayuda de la tabla 3.1, se identifica la frecuencia de inspección o mantenimiento de todas las causas de falla que se estudiaron previamente en las fichas FMECA de los equipos analizadores de red que cuenta la empresa EMELNORTE S.A. La información utilizada para la elaboración de la tabla de frecuencia de inspección o mantenimiento se obtiene de la ficha FMECA, el número de causa de falla corresponde al N° CF de cada componente del equipo analizador de red estudiado y el número de prioridad de riesgo corresponde al cálculo realizado anteriormente entre los índices de severidad, ocurrencia y detección de las fallas.

a) Frecuencia de inspección o mantenimiento del equipo analizador de red Fluke 1744

TABLA 3.2

RPN, causa de falla y frecuencia de mantenimiento equipo fluke 1744

EQUIPO FLUKE 1744							
Numero causa de falla	RPN	Nivel de riesgo	Frecuencia de actividades	Numero causa de falla	RPN	Nivel de riesgo	Frecuencia de actividades
1	3	Bajo	Trimestral	12	16	Bajo	Trimestral
2	18	Bajo	Trimestral	13	200	Moderado	Mensual
3	40	Bajo	Trimestral	14	120	Moderado	Mensual
4	32	Bajo	Trimestral	15	1500	Alto	Semanal

5	100	Moderado	Mensual	16	1000	Alto	Semanal
6	100	Moderado	Mensual	17	1200	Alto	Semanal
7	32	Bajo	Trimestral	18	40	Bajo	Trimestral
8	120	Moderado	Mensual	19	40	Bajo	Trimestral
9	100	Moderado	Mensual	20	2880	Alto	Semanal
10	700	Alto	Semanal	21	200	Moderado	Mensual
11	16	Bajo	Trimestral	22	40	Bajo	Trimestral

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 3.2, para los equipos y componentes del analizador de red Fluke 1744 las causas de falla analizadas previamente contienen las tres categorías de nivel de riesgo. Eso quiero decir que las actividades de mantenimiento que se propongan se van a realizar tanto semanal, mensual y trimestralmente según corresponda a su causa de falla. El tipo de actividad que se realice para la prevención de las fallas se identificará en la sección siguiente que corresponde al plan de mantenimiento.

b) Frecuencia de inspección o mantenimiento del equipo analizador de red Fluke 1748

TABLA 3.3

RPN, causa de falla y frecuencia de mantenimiento equipo Fluke 1748

EQUIPO FLUKE 1748							
Numero causa de falla	RPN	Nivel de riesgo	Frecuencia de actividades	Numero causa de falla	RPN	Nivel de riesgo	Frecuencia de actividades
1	100	Moderado	Mensual	12	1200	Alto	Semanal
2	40	Bajo	Trimestral	13	200	Moderado	Mensual
3	32	Bajo	Trimestral	14	1200	Alto	Semanal
4	80	Bajo	Trimestral	15	120	Moderado	Mensual
5	100	Moderado	Mensual	16	300	Moderado	Mensual
6	100	Moderado	Mensual	17	1500	Alto	Semanal
7	40	Bajo	Trimestral	18	1000	Alto	Semanal
8	100	Moderado	Mensual	19	1200	Alto	Semanal
9	32	Bajo	Trimestral	20	2720	Alto	Semanal
10	80	Bajo	Trimestral	21	10	Bajo	Trimestral
11	120	Moderado	Mensual				

Fuente. Elaboración propia

De la misma manera se procede a identificar las frecuencias de mantenimiento para el equipo Fluke 1748, cabe señalar que a diferencia del equipo anterior se nota un incremento en el tipo de nivel de riesgo, ya que ahora prioriza el nivel de riesgo moderado y alto, este aumento del número de prioridad de riesgo en las diferentes causas de falla puede deberse a un déficit en los métodos que los linieros tienen para la detección de una falla, a una mayor probabilidad de que ocurra una falla o al tipo de daño que causa estas fallas en el funcionamiento del equipo.

c) Frecuencia de inspección o mantenimiento del equipo analizador de red Fluke 1760

TABLA 3.4

RPN, causa de falla y frecuencia de mantenimiento equipo Fluke 1760

EQUIPO FLUKE 1760			
Numero causa de falla	RPN	Nivel de riesgo	Frecuencia de actividades
1	40	Bajo	Trimestral
2	32	Bajo	Trimestral
3	80	Bajo	Trimestral
4	40	Bajo	Trimestral
5	100	Moderado	Mensual
6	32	Bajo	Trimestral
7	80	Bajo	Trimestral
8	40	Bajo	Trimestral
9	1500	Alto	Semanal
10	1000	Alto	Semanal
11	1200	Alto	Semanal
12	40	Bajo	Trimestral

Fuente. Elaboración propia

Para el equipo Fluke 1760, la primera característica que se observa es que las causas de falla identificadas son muy reducidas en comparación a los otros dos equipos, esto puede ocurrir debido al tipo de uso que se da a este equipo a diferencia de los demás, o la poca información que se tenga de un historial de fallas. De la misma manera se puede observar que prima un nivel de riesgo bajo para sus causas de falla, lo que puede deberse a una correcta forma de detección de fallas, baja probabilidad que exista un percance en el equipo o componentes, o que los daños que puedan presentarse no comprometan el correcto funcionamiento del equipo.

d) Frecuencia de inspección o mantenimiento del equipo analizador de red AEMC 8335

TABLA 3.5

RPN, causa de falla y frecuencia de mantenimiento equipo Aemc 8335

EQUIPO AEMC 8335							
Numero causa de falla	RPN	Nivel de riesgo	Frecuencia de actividades	Numero causa de falla	RPN	Nivel de riesgo	Frecuencia de actividades
1	16	Bajo	Trimestral	9	120	Moderado	Mensual
2	16	Bajo	Trimestral	10	100	Moderado	Mensual
3	16	Bajo	Trimestral	11	20	Bajo	Trimestral
4	550	Alto	Semanal	12	20	Bajo	Trimestral
5	600	Alto	Semanal	13	120	Moderado	Mensual
6	1200	Alto	Semanal	14	1200	Alto	Semanal
7	700	Alto	Semanal	15	700	Alto	Semanal
8	100	Moderado	Mensual	16	2880	Alto	Semanal

Fuente. Elaboración propia

Para los equipos AEMC 8335 ocurre lo mismo que con el equipo anterior, sin embargo, contiene un número más elevado de causas de fallas registradas, de la misma manera se puede observar que prima un nivel de riesgo bajo para sus causas de falla, lo que puede deberse a una correcta forma de detección de fallas, baja probabilidad que exista un percance en el equipo o componentes, o que los daños que puedan presentarse no comprometan el correcto funcionamiento del equipo. Cabe recalcar que, aunque los niveles de riesgo sean bajos, existe la causa de falla N° 16 la cual contiene un RPN muy elevado lo cual se tiene mucho en cuenta al momento de realizar el plan de mantenimiento.

e) Frecuencia de inspección o mantenimiento del equipo analizador de red LEM Topas 1000

TABLA 3.6

RPN, causa de falla y frecuencia de mantenimiento equipo LEM Topas 1000

EQUIPO LEM Topas 1000			
Numero causa de falla	RPN	Nivel de riesgo	Frecuencia de actividades
1	40	Bajo	Trimestral
2	550	Alto	Semanal
3	32	Bajo	Trimestral
4	120	Moderado	Mensual
5	32	Bajo	Trimestral
6	80	Bajo	Trimestral
7	200	Moderado	Mensual
8	700	Alto	Semanal
9	18	Bajo	Trimestral
10	100	Moderado	Mensual

Fuente. Elaboración propia

El equipo LEM Topas 1000 tiene la misma característica que el Fluke 1760, la cual se observa es que las causas de falla identificadas son muy reducidas en comparación a los otros equipos. De la misma manera se puede observar que prima un nivel de riesgo bajo para sus causas de falla, lo que puede deberse a una correcta forma de detección de fallas, baja probabilidad que exista un percance en el equipo o componentes, o que los daños que puedan presentarse no comprometan el correcto funcionamiento del equipo.

3.1.2. Planes de mantenimiento, semanal, mensual y trimestral de los equipos analizadores de red en base a sus causas de falla.

Una vez que se realizó el estudio de las causas de falla de los componentes y equipos analizadores de red, se procedió a identificar las frecuencias de mantenimiento para cada falla presentada, esta información es necesaria para plantear las tareas de mantenimiento que se deben realizar tanto a los equipos como a sus componentes, la tabla de tareas se divide en diferentes apartados los cuales son: El quipo en el cual se aplicaran las tareas de mantenimiento, el tipo de mantenimiento especificando su frecuencia, el número de actividad correspondiente y la tarea de mantenimiento que se va a realizar.

1744, 1

Para identificar a que causa de falla corresponde cada una de las tareas de mantenimiento, se vio pertinente utilizar una nomenclatura especial la cual consta del modelo general del equipo identificado en el ejemplo con el color rojo y el número de causa de falla obtenido de la tabla de frecuencia de inspecciones o en la tabla FMECA del Anexo 1.A, la cual en el ejemplo es de color negro. Esto con el fin de mejorar la comprensión y la identificación de cada causa de falla.

TABLA 3.7

Plan de mantenimiento del equipo Fluke 1744

Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	FLUKE 1744	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo semanal	
	Causa de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Rotura de resortes internos del AC285	Revisar el cierre y apertura de los lagartos, limpieza de polvo y agua en los resortes.	1744, 15
	Defecto en la calidad del producto del AC285	Revisar las condiciones de la estructura de plástico y dientes de aluminio, en caso de que se encuentren fisuras en la carcasa o que los dientes metálicos se encuentren oxidados, realizar el cambio inmediato del componente.	1744, 16
	Desconexión de la pinza tipo lagarto debido al exceso de tensión	Revisar la correcta conexión de los lagartos a la línea de bajo voltaje, el equipo analizador de red al que se encuentre conectado debe estar correctamente empotrado al poste y no debe existir tensión en los cables que conectan a los lagartos.	1744,17
2	Falla en las mediciones que realiza el equipo	Revisar la última fecha de recalibración del equipo, para el equipo Fluke 1744 no puede superar los 2 años de su última recalibración, el rango de temperatura aceptable para mediciones correctas va de 0 °C a 35 °C.	1744,20
Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	FLUKE 1744	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo mensual	
	Causa de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Falla en el bloqueo de seguridad Sonda de corriente Flex 1500 A / 3000 A	Revisar que no existan desprendimientos de la bobina que actúa como imán para el bloqueo de seguridad de las sondas de corriente, eliminar las impurezas que se encuentren en el interior de la bobina.	1744, 6

2	Falla en el bloqueo de seguridad Sonda de corriente Flex 15 A / 1500 A	Limpieza de polvo y agua que se encuentren en el imán para el bloque de seguridad de las sondas.	1744, 9
	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	Revisar desgaste o rotura en el aislante de las sondas o en el plástico protector del bloqueo de seguridad, las sondas de corriente solo se las debe conectar al equipo previo a su instalación en la línea, verificar el método de transporte y manipulación de las sondas.	1744, 10
3	Rozamiento del aislante del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica	Revisar el estado del aislante del conductor eléctrico de los TLS-430, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente, el número de aperturas cubiertas por el aislante no debe superar las 2, para prevenir accidentes laborales o daños en el equipo. Verificar que la carcasa de protección del equipo no tenga elementos filudos que hagan contacto con el cable.	1744, 14
Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	FLUKE 1744	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo trimestral	
	Causa de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Daño en el conector RS232 macho	Revisar el estado del aislante del cable RS232, en caso de rotura o desgaste, sustituir inmediatamente para prevenir daños en el conector hembra del equipo.	1744, 1
	Daño interno en el puerto RS232	Revisar el estado de los pines del conector, en caso de daño utilizar otro cable que corresponda a la misma clase del equipo.	1744, 2
2	Rotura en la horquilla de ajuste de la sonda Flex 1500 A / 3000 A	Revisar fisuras o roturas en la horquilla de plástico, en caso de existir se deberá sustituir inmediatamente la sonda de corriente.	1744, 3
	Rozamiento del aislante del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica	Verificar que la carcasa de protección del equipo no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor.	1744,4
	Desgaste de la cubierta protectora y aislante del conductor de la sonda Flex 1500 A / 3000 A	Revisar el estado del aislante del conductor de la sonda de corriente, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente, el número de aperturas cubiertas por el aislante no debe superar las 2, para prevenir accidentes laborales, daños en el equipo o fallas en las mediciones.	1744,5

3	Rozamiento del aislante del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica	Verificar las aperturas para salidas de cables de la carcasa de protección del equipo, Revisar que no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor. En caso de existir elementos que dañen el conductor, limar o lijar los bordes de la carcasa hasta eliminar las partes filudas.	1744, 7
	Desgaste de la cubierta protectora y aislante del conductor de la sonda Flex 15 A / 1500 A	Revisar el estado del aislante del conductor de la sonda de Flex 4 de corriente, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente. En caso de rotura de cable, NO soldar ni empalmar para unir, esta acción afecta la fiabilidad de los datos medidos.	1744, 8
4	Desgaste del aislante debido al exceso de tensión que ejerce el equipo al estar suspendido en el aire	Inspeccionar que no exista tensión en el cable, revisar que la carcasa protectora este empotrada al poste a una altura correcta.	1744, 11
	Rozamiento del aislante del conductor de las pinzas Set Fluke 5 A / 50 A con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica	Revisar el estado del aislante del conductor de las pinzas de corriente. Verificar que la carcasa de protección del equipo no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor.	1744, 12
	Desgaste de la cubierta protectora y aislante del conductor de la pinza Set Fluke 5 A / 50 A	Revisar el estado del aislante del conductor de la pinza de corriente, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante. En caso de rotura, reemplazar inmediatamente con una pinza nueva.	1744, 13
5	Defecto en la calidad	Inspeccionar que cada conductor cuente con su respectiva bincha para codificación por color. Revisar estado de cada bincha.	1744, 18
	Desgaste de la tinta debido a la exposición de diversas condiciones climáticas	Revisar que sea visible el color de cada bincha, en caso de que exista una decoloración, realizar el cambio.	1744, 19
6	Fusible del equipo fundido	Revisar el estado del fusible del equipo, en caso de que se haya roto el filamento, realizar el cambio inmediatamente antes de usarlo.	1744, 21
	Desgaste del conductor de voltaje debido a una utilización de una carcasa no apropiada para el equipo	Revisar el estado del aislante del conductor de alimentación del equipo, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente.	1744, 22

Fuente. Elaboración propia

Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	FLUKE 1748	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo semanal	
	Causa de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Exceso de tensión en el cable plano 3PHVL debido a que está suspendido en el aire	Inspeccionar que no exista tensión en el cable, revisar que la carcasa protectora este empotrada al poste a una altura correcta.	1748, 12
2	Exceso de tensión en el cable del adaptador magnético IP65 PQL Power Quality Logger	Revisar que el adaptador PQL no se desajuste al momento de empotrar la carcasa del equipo al poste. Inspeccionar que no exista tensión en el cable que conecta el equipo con el adaptador.	1748, 14
3	Rotura de los resortes internos del lagarto AC285	Revisar el cierre y apertura de los lagartos, limpieza de polvo y agua en los resortes	1748, 17
4	Defecto en la calidad del plástico de los resortes internos del lagarto AC285	Revisar las condiciones de la estructura de plástico y dientes de aluminio, en caso de que se encuentren fisuras en la carcasa o que los dientes metálicos se encuentren oxidados o rotos, realizar el cambio inmediato del componente.	1748, 18
5	Desconexión entre el equipo y la línea de voltaje debido al exceso de tensión que se ejerce en el AC285	Revisar que la carcasa del equipo analizador de red se encuentre empotrada a la altura correcta para que no exista tensión en los conductores de conexión a la línea.	1748, 19
6	Falla en las mediciones	Revisar la última fecha de recalibración del equipo, para el equipo Fluke 1748 su ciclo de recalibración es cada 2 años, el rango de temperatura aceptable para mediciones correctas va de -25 °C a 50 °C, en caso de someterlo a otras condiciones de temperatura utilizar el coeficiente 0,05% de lectura / °C.	1748, 20
Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	FLUKE 1748	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo mensual	
	Causa de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Rotura de la horquilla del ajuste de la sonda de corriente iFlex 1,5 kA	Revisar fisuras o roturas en la horquilla de plástico, en caso de existir se deberá sustituir inmediatamente la sonda de corriente por una nueva.	1748, 1
	Falla en el bloqueo de seguridad de la sonda de corriente iFlex 1,5 kA	Revisar que no existan desprendimientos de la bobina que actúa como imán para el bloqueo de seguridad de las sondas de corriente, eliminar las impurezas que se encuentren en el interior de la bobina.	1748, 5

2	Rotura en la horquilla del ajuste de sonda de corriente iFlex 3 kA	Revisar fisuras o roturas en la horquilla que impidan la sujeción de la sonda de corriente, en caso de daño, sustituir la sonda con una nueva para evitar fallas en las mediciones de parámetros de calidad de energía.	1748, 6
			1748, 8
3	Rozamiento del aislante del cable plano 3PHVL -17XX con la abertura para salida de cables de la carcasa	Revisar el estado del aislante del conductor y conectores macho, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante. En caso de rotura, reemplazar inmediatamente con un nuevo cable 3PHVL.	1748, 11
4	Falla en el ajuste entre el conductor y los lagartos del adaptador 3PHVL – 17XX	Inspeccionar que el adaptador PQL se ajuste correctamente al equipo y del adaptador hacia la línea de bajo voltaje. En caso de problemas en su sujeción se deberá sustituir por otro adaptador para evitar problemas en las mediciones que realice el equipo.	1748, 13
5	Rozamiento del aislante del adaptador IP65- PQL con la abertura para salida de cables de la carcasa	Verificar las aperturas para salidas de cables de la carcasa de protección del equipo, revisar que no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor. En caso de existir elementos que dañen el conductor, limar o lijar los bordes de la carcasa hasta eliminar las partes filudas.	1748, 15
6	Falla del ajuste magnético del accesorio MP1 – 3R Magnet Probe Set	Revisar que no existan objetos que interrumpan la conexión magnética entre el conductor o el conector. Limpiar el conector de impurezas que se encuentren acopladas.	1748, 16
Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	FLUKE 1748	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo trimestral	
	Causa de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	Revisar desgaste o rotura en el aislante de las sondas o en el plástico protector del bloqueo de seguridad, las sondas de corriente solo se las debe conectar al equipo previo a su instalación en la línea, verificar el método de transporte y manipulación de las sondas.	1748, 2
2	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor iFlex 1,5 kA con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	Verificar las aperturas para salidas de cables de la carcasa de protección del equipo, revisar que no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor. En caso de existir elementos que dañen el conductor, limar o lijar los bordes de la carcasa hasta eliminar las partes filudas.	1748, 3

3	Desgaste de la cubierta protectora y del aislante del conductor de la sonda de corriente iFlex 1,5kA y 3kA	Revisar el estado del aislante del conductor de la sonda de iFlexi de corriente, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente. En caso de rotura de cable, NO soldar ni empalmar para unir, esta acción afecta la fiabilidad de los datos medidos.	1748, 4
			1748, 9
			1748,10
4	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	Revisar la manipulación de los equipos, cada equipo y cada componente debe ir por separado al momento de su transporte. Utilizar los bolsos cualificados para transporte de componentes y equipos.	1748, 7
5	Falla en la comunicación de conexión serial	Identificar en el manual de uso del equipo, la correcta velocidad de comunicación que debe tener el equipo con el computador al cual se le quiere transferir los datos recopilados.	1744, 21

Fuente. Elaboración propia

TABLA 3.9

Plan de mantenimiento del equipo Fluke 1760

Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	FLUKE 1760	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo semanal	
	Causa de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Rotura de los resortes internos de los lagartos AC285	Revisar el cierre y apertura de los lagartos, limpieza de polvo y agua en los resortes.	1760, 9
2	Defecto en la calidad de los lagartos AC285	Revisar las condiciones de la estructura de plástico y dientes de aluminio, en caso de que se encuentren fisuras en la carcasa o que los dientes metálicos se encuentren oxidados, realizar el cambio inmediato del componente.	1760, 10
3	Desconexión entre el equipo analizador de red y la línea de voltaje debido al exceso de tensión que ejerce el equipo	Revisar la correcta conexión de los lagartos a la línea de bajo voltaje, el equipo analizador de red al que se encuentre conectado debe estar correctamente empotrado al poste y no debe existir tensión en los cables que conectan a los lagartos.	1760, 11
Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	FLUKE 1760	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo mensual	
	Causa de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Falla en el bloqueo de seguridad de la sonda TPS Flex 24, 1000 A	Revisar que no existan desprendimientos de la bobina que actúa como imán para el bloqueo de seguridad de las sondas de corriente, eliminar las impurezas que se encuentren en el interior de la bobina.	1760, 5
Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	FLUKE 1760	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo trimestral	
	Causa de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Rotura en la horquilla de ajuste de la Sonda TPS 24, 1000 A	Revisar fisuras o roturas en la horquilla, en caso de existir se deberá sustituir inmediatamente la sonda de corriente por una nueva.	1760, 1

2	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor de la sonda TPS Flex 24, 1000 A y TPS Voltaje Probe, 600V, 400V con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica	Verificar las aperturas para salidas de cables de la carcasa de protección del equipo, revisar que no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor. En caso de existir elementos que dañen el conductor, limar o lijar los bordes de la carcasa hasta eliminar las partes filudas.	1760, 2
			1760, 6
3	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor de la sonda de corriente TPS Flex 24, 1000 A	Revisar el estado del aislante del conductor de la sonda TPS Flex, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente. En caso de rotura de cable, NO soldar ni empalmar para unir, esta acción afecta la fiabilidad de los datos medidos.	1760, 3
4	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo y sus accesorios	Revisar la manipulación de los equipos, cada equipo y cada componente debe ir por separado al momento de su transporte. Utilizar los bolsos cualificados para transporte de componentes y equipos.	1760, 4
			1760, 8
5	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor de los conectores de voltaje TPS Voltage Probe, 600V, 400V	Revisar el estado del aislante del conductor y conector DIN C16-3, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente. En caso de rotura de cable, NO soldar ni empalmar para unir, esta acción afecta la fiabilidad de los datos medidos.	1760, 7
6	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor de los conectores de alimentación connection power	Revisar el estado del aislante del conductor y conector de plástico, en caso de ruptura o daño, reemplazar inmediatamente con un nuevo, debido a que este conductor es el encargado de la alimentación del equipo, cualquier falla que ocurra por un mal empalme puede afectar al equipo.	1760, 12

Fuente. Elaboración propia

TABLA 3.10

Plan de mantenimiento del equipo AEMC 8335

Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	AEMC 8335	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo semanal	
	Modo de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Exceso de tensión que ejerce el equipo al conductor nominal AEMC 2140.44 – 600V debido a que está suspendido en el aire	Revisar que la carcasa del equipo analizador de red se encuentre empotrada a la altura correcta para que no exista tensión en los conductores de conexión a la línea.	8335, 14
2	Falla en la placa interna del equipo	Si llega a fallar componentes internos del equipo, placa interna, display, memoria, etc. Esos tipos de mantenimiento deben realizarse directamente con personal cualificado, debido a que son componentes caros y difíciles de reemplazar, en caso de daños parecidos, de deber llenar un formato para enviar el equipo a mantenimiento.	8335, 15
3	Falla en las mediciones	Revisar la última fecha de recalibración del equipo, para el equipo AEMC no puede superar los 2 años de su última calibración, el rango de temperatura aceptable para mediciones correctas va de 0 °C a 50 °C.	8335, 16
Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	AEMC 8335	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo mensual	
	Modo de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Rotura en la horquilla del ajuste de la sonda de corriente 10 A – 6500A AC	Revisar fisuras o roturas en la horquilla, en caso de existir se deberá sustituir inmediatamente la sonda de corriente por una nueva.	8335, 8
2	Falla en el bloqueo de seguridad de las sondas de corriente 10 A – 6500A AC	Limpieza de polvo y agua que se encuentren en el imán para el bloque de seguridad de las sondas.	8335, 10
3	Rozamiento del aislante del conductor nominal AEMC 2140.44-600V con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica	Verificar las aperturas para salidas de cables de la carcasa de protección del equipo, revisar que no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor. En caso de existir elementos que dañen el conductor, limar o lijar los bordes de la carcasa hasta eliminar las partes filudas.	8335, 13

Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	AEMC 8335	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo trimestral	
	Modo de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Falla en el equipo debido a golpes por mala maniobrabilidad en el transporte de los accesorios: Power Adapter Model PA30W, Pinzas de corriente MN193 y sondas de corriente 10A	Revisar la manipulación de los equipos, cada equipo y cada componente debe ir por separado al momento de su transporte. Utilizar los bolsos cualificados para transporte de componentes y equipos.	8335, 1
			8335, 7
			8335, 9
2	Desgaste del aislante de las pinzas de corriente MN193 debido al exceso de tensión al estar suspendido en el aire	Inspeccionar que no exista tensión en el cable, revisar que la carcasa protectora esta empotrada al poste a una altura correcta.	8335, 2
3	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor de las pinzas de corriente MN193 con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica	Verificar las aperturas para salidas de cables de la carcasa de protección del equipo, revisar que no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor. En caso de existir elementos que dañen el conductor, limar o lijar los bordes de la carcasa hasta eliminar las partes filudas.	8335, 3
4	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor de las pinzas de corriente MN193	Revisar el estado del aislante del conductor y de la pinza MN193, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente. En caso de rotura de cable, NO soldar ni empalmar para unir, esta acción afecta la fiabilidad de los datos medidos.	8335, 4
5	Falla en el selector de 5 A y 100 A de las pinzas de corriente	Inspeccionar que la carcasa de la pinza y el botón del selector de 5 A o 100 A se encuentren en buenas condiciones, en caso de desprendimiento o rotura, la pinza de corriente deberá ser sacada de funcionamiento hasta que sea reparada por personal cualificado.	8335, 5
			8335, 6
7	Defecto en la calidad de las binchas de identificación	Inspeccionar que cada conductor cuente con su respectiva bincha para codificación por color. Revisar estado de cada bincha.	8335,11
	Desgaste de la tinta debido a la exposición prolongada a diversas condiciones climáticas	Revisar que sea visible el color de cada bincha, en caso de que exista una decoloración, realizar el cambio.	8335,12

Fuente. Elaboración propia

Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	LEM TOPAS 1000	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo mensual	
	Modo de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Falla en el bloqueo de seguridad de las sondas de corriente topas 1000 LEMFLEX 1000 A, 600V	Revisar que no existan desprendimientos de la bobina que actúa como imán para el bloqueo de seguridad de las sondas de corriente, eliminar las impurezas que se encuentren en el interior de la bobina.	TOPAS 1000, 8
Numero de actividad	Tipo de equipo analizador de red	LEM TOPAS 1000	Identificador de causa de falla
	Tipo de mantenimiento	Mantenimiento preventivo trimestral	
	Modo de falla	Acción preventiva – recomendación	
1	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	Revisar la manipulación de los equipos, cada equipo y cada componente debe ir por separado al momento de su transporte. Utilizar los bolsos cualificados para transporte de componentes y equipos.	TOPAS 1000, 1
	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor de los cables de voltaje Topas 100 Voltaje Probe 400V	Revisar el estado del aislante del conductor, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente. En caso de rotura de cable, NO soldar ni empalmar para unir, esta acción afecta la fiabilidad de los datos medidos.	TOPAS 1000, 2
	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor Topas 100 Voltaje Probe 400V con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica	Verificar las aperturas para salidas de cables de la carcasa de protección del equipo, revisar que no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor. En caso de existir elementos que dañen el conductor, limar o lijar los bordes de la carcasa hasta eliminar las partes filudas.	TOPAS 1000, 3
2	Rotura en la horquilla de ajuste de la sonda de corriente topas 1000 LEMFLEX 1000 A	Revisar fisuras o roturas en la horquilla, en caso de existir se deberá sustituir inmediatamente la sonda de corriente por una nueva.	TOPAS 1000, 4
3	Rozamiento de la cubierta protectora de la sonda de corriente topas 1000 LEMFLEX 1000 A con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica	Revisar el estado del aislante del conductor, en caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente. En caso de rotura de cable, NO soldar ni empalmar para unir, esta acción afecta la fiabilidad de los datos medidos.	TOPAS 1000, 5
			TOPAS 1000, 6
4	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo y sus accesorios	Revisar la manipulación de los equipos, cada equipo y cada componente debe ir por separado al momento de su transporte. Utilizar los bolsos cualificados para transporte de componentes y equipos.	TOPAS 1000, 7

5	Daño interno en el puerto RS232 del cable de envío de datos	Revisar el estado de los pines del conector, en caso de daño utilizar otro cable que corresponda a la misma clase del equipo.	TOPAS 1000, 9
6	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor del cable de alimentación Amphenol Ecomate Plastic 4 suave C016 debido al rozamiento con la carcasa metálica	El conductor de la causa de falla 10 no puede ser cubierto con cinta aislante debido a que es el que alimenta al equipo, cualquier inconveniente en el cubrimiento puede comprometer el equipo. En caso de daño se debe reemplazar inmediatamente.	TOPAS 1000,10

Fuente. Elaboración propia

3.2. Formatos para la estructura del manual de mantenimiento

Dentro de la estructura del manual de mantenimiento tenemos formatos que sirven de apoyo para los linieros, en estos se puede llevar un registro de equipos, componentes y herramientas utilizadas en las tareas de mantenimiento, de la misma manera se utiliza formatos de inspección visual para que el operador pueda realizar un correcto levantamiento del estado actual de los equipos, también listado de repuestos, proveedores, personal responsable de las tareas de mantenimiento, emisiones de ordenes de trabajo, informes de avería y formato de hoja de vida de cada equipo. En el siguiente apartado se detalla la función de cada formato y se propone una estructura la cual puede ser utilizada junto con el manual de mantenimiento.

3.2.1. Registro de los equipos analizadores de red de medio y bajo voltaje

Una correcta gestión de equipos ayuda al departamento de calidad de energía a mantener una organización del total de equipos disponibles, con averías e inhabilitados. Esta información ayuda a planificar que equipos se utilizará mensualmente para la toma de mediciones a usuarios, que equipos se pueden mandar a realizar la calibración, el mínimo de equipos que se deben tener hábiles para no afectar la toma de mediciones e identificar características generales de cada modelo.

El formato que tiene el registro de equipos se divide en 2 partes:

Primero, tenemos la zona de control de la ficha, en la cual encontramos el título que ayuda a la identificación, numero de actualizaciones que se han realizado al contenido, última fecha de modificación y el logo de la institución a la que pertenece el departamento responsable.

En la siguiente zona encontramos la identificación de las características de cada equipo analizador de red con los que cuenta la empresa Emelnorte S.A., inicia desde una celda para el coteo del número de equipos registrados, a continuación, la marca de la empresa fabricante, el modelo, la serie del equipo, una característica general de ese modelo y la fecha de adquisición del equipo. La ficha de registro de equipos lo encontramos en el Anexo 2.A.

3.2.2. Codificación de equipos analizadores de red de bajo y medio voltaje.

Luego de realizar un levantamiento y registro de equipos existentes en el departamento de calidad de energía, es necesario desarrollar una codificación la cual será única para cada equipo, esto ayudará al operador a llevar un orden de los equipos y una fácil identificación. Para el caso de los equipos analizadores de red de la empresa EMLENORTE.S.A. Se vio necesario utilizar una codificación funcional debido a su alto

número de equipos y su variación entre diferentes marcas y modelos. La información que contiene la codificación deberá ser: el tipo de trabajo que desempeña, su marca, modelo y serie. No se vio necesario utilizar una codificación para mencionar el área a la que pertenecen los equipos debido a que todos corresponden al departamento de calidad de energía y estudios eléctricos.

TABLA 3.12

Modelo de codificación de equipos analizadores de red de bajo y medio voltaje.

Aplicación	Abreviatura	Criterios de codificación						Ejemplo
		Marca	Abreviatura	Modelo	Abreviatura	Serie	Abreviatura	
Mediciones parámetros de energía en <u>B</u> ajo <u>V</u> oltaje	BV	<u>A</u> EMC	AE	<u>8</u> <u>3</u> <u>3</u> <u>5</u>	83	<u>21</u> <u>30</u> <u>91</u> 5:8	2191	BVAE-85-2191
		<u>L</u> EM	LE	<u>T</u> OPAS <u>100</u> <u>0</u>	T0	<u>95</u> <u>5410</u> <u>GB</u>	95GB	BVLE-T0-95GB
		<u>F</u> LUKE	FL	<u>1</u> <u>7</u> <u>4</u> <u>4</u>	14	<u>V7</u> -208 <u>24</u>	V724	BVFL-14-V724
				<u>1</u> <u>7</u> <u>4</u> <u>8</u>	18	<u>G8</u> -209 <u>10</u>	G810	BVFL-18-G810
		<u>1</u> <u>7</u> <u>6</u> <u>0</u>	10	<u>XD</u> -604 <u>69</u>	XD69	BVFL-10-XD69		
Mediciones parámetros de energía en <u>M</u> edio <u>V</u> oltaje	MV	<u>K</u> RON	KR	<u>R</u> M-960- <u>PQ</u>	RQ	<u>DA</u> S546 <u>86</u>	DA86	MVCR-RQ-DA86

Fuente. Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 3.12, los parámetros de identificación son cuatro, para el primero se decidió utilizar la primera letra de cada palabra en su abreviatura, para el segundo el cual corresponde a la marca se utiliza la primera y segunda letra, para el tercero, se decidió el primer y último número o letra según sea la identificación del modelo y para el último parámetro, se decidió utilizar los dos primeros números o letras y los dos últimos. Esta selección se la hizo en base a las reglas que debe seguir una correcta codificación, primordialmente a que a que cada código de los equipos debe ser único y fácil de entender para los linieros. La codificación de cada equipo se encuentra en el Anexo 2.A.

3.2.2. Registro de evaluación visual del área de trabajos de mantenimiento

El lugar donde se van a realizar las tareas de mantenimiento debe ser un lugar amplio debido a la cantidad de equipos con los que cuenta la empresa, la evaluación visual del área de trabajo ayuda a los operarios a identificar zonas en las que se debe realizar limpieza o arreglos y planificar fechas para la mantención de la zona. La ficha para realizar el levantamiento de esa información se divide en dos apartados. En el primero se identifica el título, el número de ficha realizada, la fecha de la inspección visual y el logo de la institución.

En el segundo apartado tenemos una identificación del número de la zona a la que se va a realizar la inspección, el problema que el operador observa, la solución propuesta y

termina con una imagen de validación de la situación. La ficha de registro de evaluación visual la encontramos en el Anexo 2.B.

3.2.3. Registro de información técnica de cada equipo

En esta ficha se identificará detalles técnicos generales de cada equipo, el estado en el que está el equipo, los componentes necesarios para que funcione correctamente, fecha de adquisición, fecha de la última recalibración, conteo de calibraciones y una foto del equipo. Esta información ayuda al operador a tener una descripción general del equipo sin necesidad de revisar el manual de mantenimiento, la ficha de información técnica de cada equipo la encontramos en el Anexo 2.C.

3.2.4. Registro de la función de las partes del equipo, instrucciones, acciones y frecuencia de las tareas de mantenimiento

La ficha de registro de instrucciones de mantenimiento utiliza la información recopilada y resultados obtenidos con el análisis FMECA, para simplificarla en las tareas de mantenimiento que se deben realizar al equipo o componentes, de esta manera esta plantilla contiene la información general del equipo como es: marca, modelo y número de serie.

Además, contiene la fecha de elaboración de la plantilla, última fecha de modificación, persona que la elaboró, personal que la revisó y personal que aprobó el contenido. En la segunda parte contiene: las partes del equipo en las cuales existe un conteo del número de componentes que conforma el equipo, su nombre, la función de cada uno y una imagen que identifica cada componente descrito.

El siguiente apartado señala las instrucciones para el mantenimiento en las cuales se señala el componente inspeccionado, la característica para un óptimo funcionamiento, método de inspección del estado actual, la tarea de mantenimiento a realizar, la frecuencia del mantenimiento y el personal responsable de la ejecución de las tareas. La ficha de registro de trabajos de mantenimiento la encontramos en el Anexo 2.D.

3.2.5. Registro de la gestión de trabajo del personal del departamento

Esta ficha puede ser utilizada o no por el ingeniero encargado de las tareas de mantenimiento, el objetivo de realizar un registro de la gestión del personal es para verificar cualitativamente el trabajo que realiza cada operador en las tareas de mantenimiento. Esta plantilla se divide en dos apartados, el apartado superior en el cual se identifica el número de ficha, la fecha de elaboración, nombre del operador evaluado y el departamento al que pertenece.

En el segundo apartado se identifica diferentes criterios de evaluación de eficiencia y efectividad para los trabajos de mantenimiento encargados, de esta manera describiendo si

el trabajo realizado es óptimo, bueno, regular o insuficiente. Esta información sirve de apoyo para el ingeniero encargado del departamento para realizar cambios, capacitaciones o charlas motivacionales para mejorar el desempeño de sus trabajadores. La ficha de registro de gestión de los trabajos del personal la encontramos en el Anexo 2.E.

3.2.6. Registro del control de los proveedores

La gestión de los proveedores simplemente ayuda a mantener un registro de la información de contacto general de todos los proveedores, el contenido de esta ficha empieza con el nombre de las empresas, numero de contacto, ubicación de la empresa, tipo de servicio que ofrece y correo electrónico de contacto. La ficha de registro del control de proveedores la encontramos en el Anexo I.

3.2.7. Formato de órdenes de trabajo de tareas de mantenimiento

Las ordenes de trabajo ayudan a tener un registro del personal que realiza las actividades de mantenimiento, el tipo de actividad que realiza, tiempo empleado por actividad, comentarios generales de la actividad. Con el empleo de órdenes de trabajo los linieros del departamento de calidad de energía pueden iniciar con la elaboración de un informe de inspección o averías de un equipo o componte. Este formato viene acompañado de la ficha de órdenes de compra y la del retiro de bodega de equipos o componentes, cada una de ellas se la usará en caso de que la actividad de mantenimiento lo amerite. La ficha de órdenes de trabajo la encontramos en el Anexo F, Anexo G y Anexo H.

3.2.8. Registro de averías de un equipo o componente

El registro de averías se lo realiza cuando ocurre fallas inesperadas en el equipo, se debe inmediatamente emitir una orden de trabajo para realizar la inspección y corrección de las fallas, en la plantilla de informe de averías existe la fecha de la avería, persona responsable de la inspección y corrección de la falla, modelo del equipo o componente, modelo, marca y número de serie, tipo de avería presentada, consecuencia de la avería, método de detección que se utilizó para la identificación, causa de la avería y la propuesta de solución que implemento el operador. La ficha de registro de averías la encontramos en el Anexo J.

3.2.9. Hoja de vida de cada equipo

Para finaliza con la estructura de los formatos de un plan de mantenimiento tenemos la hoja de vida que se debe llenar cada vez que pase una avería en el equipo o sus componentes, cuando existe algún mantenimiento programado, cuando el equipo se mandó a recalibración, modificaciones que se hayan realizado internamente al equipo, daños irreparables pero que no afecten el funcionamiento del equipo, etc. Esta información ayuda a tener un registro general de las actividades que se han llevado a cabo, así se puede identificar

si es necesario el reemplazo, la inhabilitación o el cuidado especial que se debe dar al equipo en específico. En esta plantilla se indicará el modelo, marca, serie, año de adquisición, última fecha de modificación y el personal responsable de llevar el registro. La ficha de hoja de vida la encontramos en el Anexo K.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo de las actividades a realizar al momento de la aparición de una falla, como se observa, conlleva muchos procesos que se debe llevar a cabo dependiendo la situación en la que se encuentre el operador, cada proceso utiliza los formatos antes mencionados los cuales se encuentran en los anexos.

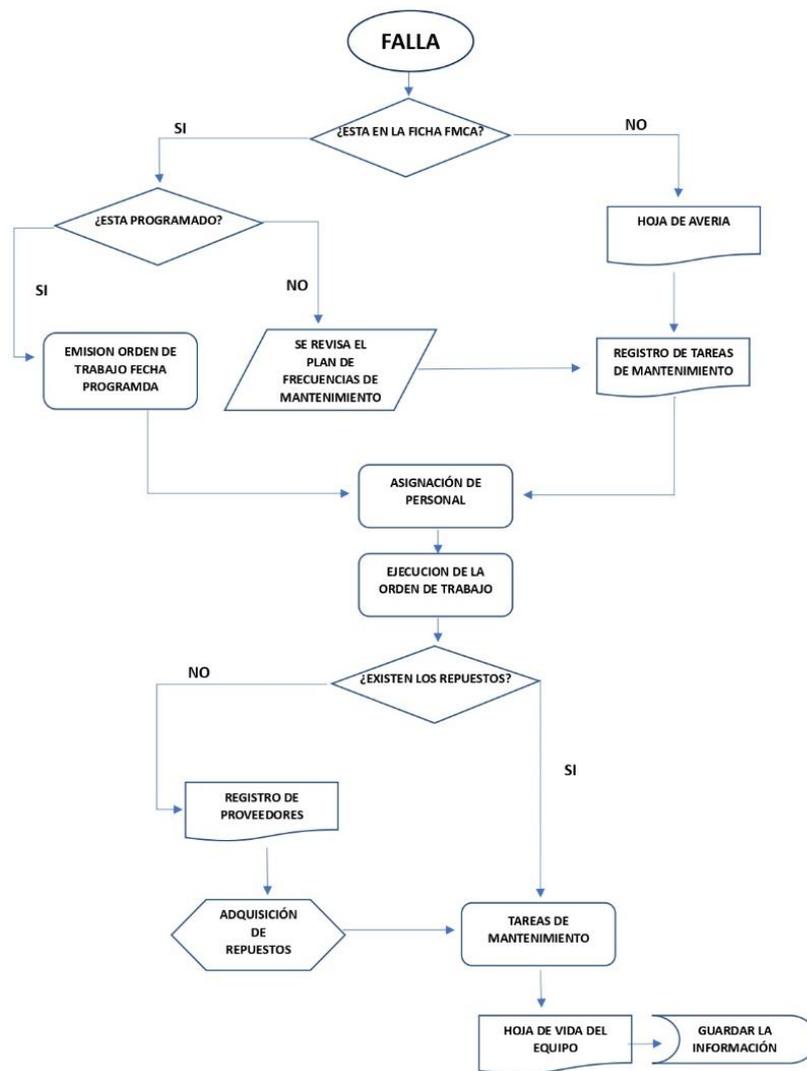


Fig.15. Diagrama de flujo de las actividades a realizar por aparición de una falla

Fuente. Elaboración propia

Conclusiones

- La descripción de varios tipos de mantenimiento ayudo a la identificación de la metodología FMECA la cual fue adaptada a la información recopilada sobre los equipos analizadores de red con los que cuenta el departamento de calidad de la energía para la elaboración de la propuesta de un manual de mantenimiento preventivo.
- Mediante la implementación de la metodología FMECA se realizó un análisis cualitativo en el cual se detalló la forma en la que falla un equipo o componente para luego identificar la razón de la falla y la consecuencia en la recopilación de datos por parte del equipo, así también mediante un analisis cuantitativo se desarrolló tablas que describen los criterios de severidad, ocurrencia y detección en los cuales se propuso valores numéricos para identificar la gravedad, la repetición y método de detección para una falla, toda esta información sirvió de sustento para determinar la frecuencia de inspecciones visuales al momento de la instalación, inspecciones en los laboratorios o las labores de mantenimiento preventivo para cada equipo o componente en específico.
- Un manual de procesos de mantenimiento preventivo no solo debe contener las acciones a tomar para evitar daños en equipos o accesorios, si no también tiene brindar herramientas e información adicional a los linieros, es así como se agregó información técnica de cada equipo, proceso correcto de transporte, instalación y desinstalación y también se vio oportuno y necesario el desarrollo de fichas de apoyo para el registro. Toda esta información en conjunto forma un proceso el cual facilita al operador en la organización, planificación y operación de las acciones de mantenimiento que debe realizar a los equipos analizadores de red.

Recomendaciones

- Se recomienda que los registros realizados del total de número de equipos y sus características, así como las ordenes de trabajo, instrucciones de mantenimiento, hojas de vida de los analizadores de red y las evaluaciones del personal o del sitio de trabajo, sea automatizada, de esta manera facilitará el análisis de la información de reparaciones o mantenimientos de los equipos y ayudará a tener una base de datos de los repuestos existentes en bodega, equipos o accesorios dañados y las labores de inspección o mantenimiento que se deben realizar.
- Mediante el uso de la metodología FMECA y las adecuaciones realizadas en esta tesis, se puede diseñar manuales de mantenimiento preventivo, procesos de instalación y desinstalación para equipos con similares características que los analizadores de red, como son seccionadores o medidores monofásicos, trifásicos, bidireccionales y totalizadores.
- Se recomienda realizar actualizaciones periódicas al manual de mantenimiento, debido a que la tecnología empleada en los equipos analizadores de red y las prácticas de mantenimiento evolucionan constantemente de este modo podremos reflejar los avances más recientes aplicables a las labores de mantenimiento.

Referencias

- ARCERNNR. (2020). *Regulacion-002-20.pdf* (p. 36).
- Arciniegas, P. (2019). *Plan operativo anual -2019- EMELNORTE* (Issue Dci, p. 10). <http://angamarca.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2016/02/POA-2016.pdf>
- ARCERNNR. (2020). *Regulacion-002-20.pdf* (p. 36).
- ARIAS, E. (2016). *EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL TPM Y LA IMPORTANCIA DEL RECURSO HUMANO PARA SU EXITOSA IMPLEMENTACIÓN* (Número July). PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- Arnoux, C. (2012). *Manual de instrucciones de analizador de redes eléctricas trifásicas. 1*, 116. <http://www.chauvin-arnoux.com>
- Ary, J. (2018). *NORMA AFNOR NF X 60 010*. AFNOR - Asociación Francesa de Normalización. https://www.academia.edu/9553128/NORMA_AFNOR_NF_X_60_010
- Castro, G. A. M. (2014). *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA LÍNEA NID MOGUL M 201 – S DE LA EMPRESA CALAF S. A . – PLANTA TALCA*. UNIVERSIDAD DE TALCA.
- Chrysler, & Corporation, Ford Motor Company, G. M. C. (2021). SAE J1739 Potencial Failure Mode And Effects Analysis (FMEA). *SAE International, Second*(February), 68. https://doi.org/https://doi.org/10.4271/J1739_202101
- Fluke. (2006). *Users Manual Fluke Topas 1760. 1*(June), 1–198.
- Fluke Corporation. (2006). *Manual de uso-Fluke 1744/1743 Power Quality Logger*. http://www.cedesa.com.mx/pdf/fluke/fluke-1744_1743_user_manual.pdf
- Fluke Corporation. (2020). *Manual de uso - Equipos Fluke 1742/1746/1748. Fluke, 1*(October 2017), 70.
- García, S. (2017). *Determinacion de la frecuencia con la que se debe llevarse a cabo cada tarea de mantenimiento*. <http://mantenimiento.renovetec.com/plan-de-mantenimiento>
- García, S. (2018). *Tipos de Mantenimiento*. Manual del jefe de mantenimiento. <http://www.renovetec.com/index.php/mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>
- GmbH, L. E. M. N., & Liebermannstrasse, F. (2003). *Power Quality Analyser TOPAS 1000. 0*, 43.

- Jaramillo, C. (2021). *Plan Operativo Emelnorte S.A.*
- Kron Instrumentos Eléctricos Ltda. (2020). *KRON RM960PQ. 1.3, 2–3.*
- Moubray, J. (2019). *Reliability-Centred Maintenance* (I. Press (ed.); 2nd ed.).
- Park, A. (2016). *Manual del ingeniero de Mantenimiento. 281.*
- Rausand, M. (2018). Reliability Centered Maintenance. *Reliability Engineering and System Safety, 60*(2), 121–132. <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2003.10.071>
- SAE J1739, Pub. L. No. J1739, 68 (2021).
- Santiago, G. (2015). Organizacion y gestion integral de mantenimiento. En Doña Juana I de Castilla (Ed.), *Diaz de Santos* (Diaz de Sa, Vol. 1). Diaz de Santos, S.A.
https://www.academia.edu/41042547/Organizacion_y_gestion_integral_de_mante
- UNE-EN 61010. (2020). *Requisitos de seguridad de equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio.* UNE. <https://axiomet.eu/es/es/page/1969/Norma-EN61010-como-soporte-a-la-hora-de-escoger-el-equipamiento/>
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 21*(1), 125–138.
<https://doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011>

Anexos

**ANEXO 1
FICHAS FMECA DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED**

Anexo 1.A: Fichas FMECA de los equipos Fluke 1744

Análisis de modo, efecto y criticidad de fallas																				
Departamento responsable del análisis:		Departamento de calidad de energía y estudios eléctricos		Equipo sometido al análisis	FLUKE		Numero de ficha:			1										
Personal responsable del análisis:		Oldrichs Ponce		Modelo:	1744		Tipificación:			Proceso										
Personal responsable del mantenimiento:				Código:	20824AA/V7- 20089DA/B7-															
Fecha de elaboración (dd/mm/aaaa):		23/11/2022																		
N° CF	Item	Componente	Función	Modo de falla	Efecto de falla	S	Causa de falla	O	Medio de detección	D	RPN	Acciones Preventivas/ Correctivas								
1	Analizador de red 1744	Cable RS232	Utilizado para conectar dispositivos terminales en serie en distancias cortas y medias	No se puede descargar la información del equipo	Inconvenientes en la planificación para la instalación de los equipos	1	Daño en el conector RS232 macho	1	Revisión en taller	3	3									
2							3	Daño interno en el puerto RS232	1	Revisión interna del puerto	6	18								
3		Sondas 1500A/3000A Flex 4 AC Current Probes (rojas)	Estas sondas son de corriente alterna las cuales utilizan el principio de Rogowski. Se pueden usar para medir corriente CA hasta 1500A y hasta 3000A respectivamente	Desajuste en el bloqueo de la bobina a la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de corriente no se realizan	10	Rotura en la horquilla de ajuste de la pinza	1	Revisión externa del componente	4	40									
4												Rotura de la cubierta protectora del cable que conectan las sondas de corriente al equipo 1744	Degradación del aislante del conductor	4	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	2	Inspección visual	4	32	
5																				Ruptura del conductor eléctrico

6				Desconexión de la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de corriente no se realizan	10	Falla en el bloqueo de seguridad	1	Inspección en terreno	10	100	
7				Rotura de la cubierta protectora del cable que conectan las sondas de corriente al equipo 1744	Degradación del aislante del conductor	4	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	2	Inspección visual	4	32	
8		Sonda 15A / 1500A Flex 4 AC Current Probe (amarillas)	Estas sondas son de corriente alterna las cuales utilizan el principio de Rogowski. Se pueden usar para medir corriente CA hasta 15A y hasta 1500A respectivamente		Ruptura del conductor eléctrico	10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor	3	Revisión en taller	4	120	
9					Desconexión de la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de corriente no se realizan	Falla en el bloqueo de seguridad	1	Inspección en terreno	10	100	
10					Desprendimiento del bobinado interno		10	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	7	Revisión en taller	10	700
11		Current Clamp Set Fluke 5A/50A	El juego de pinzas amperimétricas realiza mediciones de corrientes CA precisas y sin interferencias. Al utilizar la		Rotura de la cubierta protectora del cable que conectan las pinzas de corriente al equipo 1744	Degradación del aislante del conductor	4	Desgaste del aislante debido al exceso de tensión que ejerce el equipo al estar suspendido en el aire	1	Inspección visual	4	16

12		tecnología más avanzada (memoria integrada para datos de calibración), la pinza le brinda rangos de corriente de 0.125 A 50 A en un rango de frecuencia de 40 Hz a 5 kHz.			4	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	1	Inspección visual	4	16
13				Ruptura del conductor eléctrico	10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor	5	Revisión en taller	4	200
14	Cables de prueba TLS-430	Cables de prueba de seguridad siliconados utilizados para medir parámetros de voltaje	Rotura del aislante que une a la línea de baja tensión con el equipo 1744	Ruptura del conductor eléctrico	10	Rozamiento del aislante del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	3	Revisión en taller	4	120
15	Pinza tipo lagarto AC285	Utilizados para ajustarse a cables de calibre finos hasta un tornillo de 20 mm	Mala sujeción de los lagartos	Desprendimiento del lagarto de la línea	10	Rotura de los resortes internos	15	Revisión externa del componente en taller	10	1500
16					10	Defecto en la calidad	10	Inspección visual	10	1000

17			Desajuste entre los lagartos y los cables de prueba	Las mediciones de la línea se verán afectadas	10	Desconexión entre el equipo analizador de red y la línea a prueba debido al exceso de tensión que ejerce el equipo analizador de red al estar suspendido en el aire	12	Inspección en terreno	10	1200	
18					5	Defecto en la calidad	2	Inspección visual	4	40	
19	Codificación por color de pinzas de cable	Utilizados para la identificación de las sondas de corriente y cables de prueba	Se borra la codificación por color de los conductores	Imposibilidad de identificar donde conectar cada cable	5	Desgaste de la tinta debido a la exposición prolongada a diversas condiciones climáticas	2	Inspección visual	4	40	
20		Es un equipo que cumple la función del análisis de la calidad del suministro eléctrico, entre las principales aplicaciones se tiene: estudios de carga, evaluación de potencia y calidad de energía y análisis de perturbaciones.	El equipo realiza mediciones incorrectas	Inconvenientes en el cumplimiento de los parámetros de calidad de energía	8	Falla en las mediciones	36	Revisión de los datos obtenidos	10	2880	
21	Equipo		El equipo se queda sin la protección adecuada	El equipo puede llegar a quemarse debido a la falta de protección	5	Fusible del equipo fundido	4	Revisión interna del equipo en taller	10	200	
22			Rotura en los cables de alimentación y cables de prueba para la medición de tensión	Las mediciones que utilizan parámetros de tensión no se realizan	10	Desgaste del conductor debido a la utilización de una carcasa para instalación al poste no apropiada para el equipo	1	Inspección visual	4	40	

Anexo 1.B: Fichas FMECA de los equipos Fluke

Análisis de modo, efecto y criticidad de fallas												
Departamento responsable del análisis:		Departamento de calidad de energía y estudios eléctricos		Equipo sometido al análisis	FLUKE		Numero de ficha:			1		
Personal responsable del análisis:		Oldrichs Ponce		Modelo:	1748		Tipificación:			Proceso		
Personal responsable del mantenimiento:				Código:	21340CA/XD-20069DA/B6							
Fecha de elaboración (dd/mm/aaaa):		23/11/2022										
N° CF	Item	Componente	Función	Modo de falla	Efecto de falla	S	Causa de falla	O	Medio de detección	D	RPN	Acciones Preventivas/Correctivas
1	Analizador de red 1748	Sondas de corriente Fluke-17xx IP65 iFlexi de 1,5 kA y 24 pulg./60 cm	Estas sondas son de corriente alterna las cuales utilizan el principio de Rogowski. Se pueden usar para medir corriente CA hasta 1500A respectivamente	Desajuste en el bloqueo de la bobina a la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de corriente no se realizan	10	Rotura en la horquilla de ajuste de la pinza	1	Revisión externa del componente	10	100	
2				Rotura de la cubierta protectora de la conexión entre el conductor y el conector de 4 vías de la sonda	Desprendimiento del conector de 4 vías	10	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	1	Revisión externa del componente	4	40	
3				Rotura de la cubierta protectora del cable que conectan las sondas de corriente al equipo 1748	Degradación del aislante del conductor	4	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	2	Inspección visual	4	32	
4				Ruptura del conductor eléctrico	10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor	2	Revisión en taller	4	80		
5				Desconexión de la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de corriente no se realizan	10	Falla en el bloqueo de seguridad	1	Inspección del componente en terreno	10	100	

6	Sondas de corriente Fluke-17xx IP65 iFlexi de 3 kA y 24 pulg./60 cm	Estas sondas son de corriente alterna las cuales utilizan el principio de Rogowski. Se pueden usar para medir corriente CA hasta 3000A respectivamente	Desajuste en el bloqueo de la bobina a la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de corriente no se realizan	10	Rotura en la horquilla de ajuste de la pinza	1	Revisión externa del componente	10	100	
7			Rotura de la cubierta protectora de la conexión entre el conductor y el conector de 4 vías de la sonda	Desprendimiento del conector de 4 vías	10	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	1	Revisión externa del componente	4	40	
8			Desconexión de la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de corriente no se realizan	10	Falla en el bloqueo de seguridad	1	Inspección del componente en terreno	10	100	
9			Rotura de la cubierta protectora del cable que conectan las sondas de corriente al equipo 1748	Degradación del aislante del conductor	4	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	2	Inspección visual	4	32	
10				Ruptura del conductor eléctrico	10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor	2	Inspección visual	4	80	
11			Cable plano 3PHVL-17XX para medida de baja tensión	Cables de prueba de seguridad siliconados utilizados para medir parámetros de voltaje	Rotura del aislante que une a la línea de baja tensión con el equipo 1748	Ruptura del conductor eléctrico	10	Rozamiento del aislante del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	3	Revisión en taller	4
12	Desconexión del cable 3PHVL de los lagartos que se conectan a la línea	Las mediciones que se realizan con el cable 3PHVL no se realizan			10	Exceso de tensión que ejerce el equipo al conductor debido a que está suspendido en el aire	12	Inspección del componente en terreno	10	1200	

13	IP65 Adapter Set FLUKE 174X Power Quality Logger	Adaptador utilizado para ampliar los puertos del equipo 1748	Desconexión de los cables del adaptador con los lagartos que se conectan a la línea de baja tensión	El equipo queda sin su alimentación para su funcionamiento	10	Falla en el ajuste entre el conductor y los lagartos	2	Inspección del componente en terreno	10	200	
14			Las mediciones que se realizan son defectuosas	Las mediciones dejan de realizarse	10	Exceso de tensión en el cable del adaptador que se conectan a los lagartos	12	Revisión de los datos obtenidos	10	1200	
15			Rotura del aislante que une a la línea de baja tensión con el adaptador	Ruptura del conductor eléctrico	10	Rozamiento del aislante del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	3	Revisión en taller	4	120	
16	MP1-3R Magnet Probe Set	Es un accesorio con una punta magnética para cables de prueba de seguridad de 4 mm. La punta magnética proporciona contacto con una superficie de metal ferromagnético en áreas con acceso limitado como los tornillos de acero al carbono en RCD o disyuntores.	El conector se desconecta del conductor	Las mediciones que utilizan el conector dejan de realizarse	10	Falla en el ajuste magnético que existe entre el conector y el conductor	3	Inspección del componente en terreno	10	300	

17		Pinza tipo lagarto AC285	Utilizados para ajustarse a cables de calibre finos hasta un tornillo de 20 mm	Mala sujeción de los lagartos	Desprendimiento del lagarto de la línea	10	Rotura de los resortes internos	15	Revisión externa del componente en taller	10	1500	
18							10	Defecto en la calidad	10	Inspección visual	10	1000
19				Desajuste entre los lagartos y los cables de prueba	Las mediciones de la línea se verán afectadas	10	Desconexión entre el equipo analizador de red y la línea a a prueba debido al exceso de tensión que ejerce el equipo analizador de red al estar suspendido en el aire	12	Inspección en terreno	10	1200	
20		Equipo	Es un equipo que cumple la función del análisis de la calidad del suministro eléctrico, entre las principales aplicaciones se tiene: estudios de carga, evaluación de potencia y calidad de energía y análisis de perturbaciones.	El equipo realiza mediciones incorrectas	Inconvenientes en el cumplimiento de los parámetros de calidad de energía	8	Falla en las mediciones	34	Revisión de los datos obtenidos	10	2720	
21				El equipo no permite descargar los datos	Inconvenientes en la planificación para la instalación de los equipos	5	Falla en la comunicación por medio de conexión serial	1	Revisión interna en taller	2	10	

Anexo 1.C: Fichas FMECA del equipo Fluke 1760

Análisis de modo, efecto y criticidad de fallas												
Departamento responsable del análisis:		Departamento de calidad de energía y estudios eléctricos		Equipo sometido al análisis	FLUKE			Numero de ficha:		1		
Personal responsable del análisis:		Oldrichs Ponce		Modelo:	1760			Tipificación:		Proceso		
Personal responsable del mantenimiento:				Código:	60469MC/XD							
Fecha de elaboración (dd/mm/aaaa):		23/11/2022										
N° CF	Item	Componente	Función	Modo de falla	Efecto de falla	S	Causa de falla	O	Medio de detección	D	RPN	Acciones Preventivas/Correctivas
1	Analizador de red 1760	Sonda de corriente flexible TPS FLEX 24, 1000A	Estas sondas son de corriente alterna las cuales utilizan el principio de Rogowski. Se pueden usar para medir corriente CA hasta 1500A respectivamente	Desajuste en el bloqueo de la bobina a la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de corriente no se realizan	10	Rotura en la horquilla de ajuste de la pinza	1	Revisión externa del componente	4	40	
2				Rotura de la cubierta protectora del cable que conectan las sondas de corriente al equipo 1760	Degradación del aislante del conductor	4	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	2	Inspección visual	4	32	
3				Ruptura del conductor eléctrico	10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor	2	Revisión en taller	4	80		
4				Rotura de la cubierta protectora de la conexión entre el conductor y el conector de la sonda	Desprendimiento del conector de 6 vías	10	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	1	Revisión externa del componente	4	40	
5				Desconexión de la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de tensión no se realizan	10	Falla en el bloqueo de seguridad	1	Inspección del componente en terreno	10	100	

6	TPS-VOLTPROBE, 600V, 400V CON CONECTOR DIN HEMBRA C16-3	Sonda de prueba de voltaje para grabadora de calidad de potencia 1760 de 3 fases con un voltaje de funcionamiento CAT IV de 600 V y un máximo continuo 1000 V con un error intrínseco: mayor de 0.15%	Rotura de la cubierta protectora de la conexión entre el conductor y el conector a los lagartos	Degradación del aislante del conductor	4	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	2	Inspección visual	4	32	
7			Ruptura del conductor eléctrico	10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor	2	Revisión en taller	4	80		
8			Rotura de la cubierta protectora entre el conductor y el conector Amphenol	10	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	1	Revisión externa del componente	4	40		
9	Pinza tipo lagarto AC285	Utilizados para ajustarse a cables de calibre finos hasta un tornillo de 20 mm	Mala sujeción de los lagartos	Desprendimiento del lagarto de la línea	10	Rotura de los resortes internos	15	Revisión externa del componente en taller	10	1500	
10				Defecto en la calidad	10	Inspección visual		10	1000		
11			Desajuste entre los lagartos y los cables de prueba	10	Las mediciones de la línea se verán afectadas	12	Inspección en terreno	10	1200		
12	Cable de Mains connection power	Cable utilizado para alimentar el equipo	Rotura de la cubierta protectora del cable	El equipo quedaría sin alimentación para su funcionamiento	10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor debido al rozamiento con la carcasa metálica	1	Inspección visual	4	40	

Anexo 1.D: Fichas FMECA de los equipos AEMC

Análisis de modo, efecto y criticidad de fallas												
Departamento responsable del análisis:		Departamento de calidad de energía y estudios eléctricos		Equipo sometido al análisis		AEMC		Numero de ficha:			1	
Personal responsable del análisis:		Oldrichs Ponce		Modelo:		8335		Tipificación:			Proceso	
Personal responsable del mantenimiento:				Código:		106500KEDV-106503KEDV-106502KEDV-106504KEDV-106501KEDV						
Fecha de elaboración (dd/mm/aaaa):		23/11/2022										
Nº CF	Item	Componente	Función	Modo de falla	Efecto de falla	S	Causa de falla	O	Medio de detección	D	RPN	Acciones Preventivas/ Correctivas
1	Analizador de red 8335	Power Adapter Model PA30W	Cargar el equipo AEMC 8335	El cargador no enciende	El equipo se quedaría sin alimentación de respaldo para su funcionamiento	4	Falla en el equipo debido a golpes por mala maniobrabilidad en el transporte	2	Revisión interna del componente en taller	2	16	
2		Pinzas de corriente MN193 5A - 100A	El juego de pinzas amperimétricas realiza mediciones de corrientes CA precisas y sin interferencias. Al utilizar la tecnología más avanzada (memoria integrada para datos de calibración), la pinza le brinda rangos de corriente de 5 A 100 A.	Rotura de la cubierta protectora del cable que conectan las pinzas de corriente al equipo 8335	Degradación del aislante del conductor	4	Desgaste del aislante debido al exceso de tensión que ejerce el equipo al estar suspendido en el aire	1	Inspección visual	4	16	
3						4	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	1	Inspección visual	4	16	
4						10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor	9	Revisión en taller	6	540	

5			La pinza no permite seleccionar la corriente de trabajo	Imposibilidad de obtener los parámetros de calidad de energía que utilizan la corriente para su análisis	10	Falla en el selector de 5A	6	Revisión interna del componente en taller	10	600	
6					10	Falla en el selector de 100A	24	Revisión interna del componente en taller	5	1200	
7			Rotura de la cubierta protectora de la conexión entre el conductor y el conector de 4 vías de la sonda	Desprendimiento del conector de 4 vías	10	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	10	Revisión externa del componente	7	700	
8			Desajuste en el bloqueo de la bobina a la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de corriente no se realizan	10	Rotura en la horquilla de ajuste de la pinza	1	Revisión externa del componente	10	100	
9		Estas sondas son de corriente alterna las cuales utilizan el principio de Rogowski. Se pueden usar para medir corriente CA hasta 3000A y hasta 6000A respectivamente	Rotura de la cubierta protectora de la conexión entre el conductor y el conector de 4 vías de la sonda	Desprendimiento del conector de 4 vías	10	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	3	Revisión externa del componente	4	120	
10			Desconexión de la sonda de corriente	Las mediciones que utilizan los parámetros de corriente no se realizan	10	Falla en el bloqueo de seguridad	1	Inspección en terreno	10	100	
11					5	Defecto en la calidad	2	Inspección visual	2	20	
12		ID de codificador para conductores nominales AEMC 2140.45	Utilizados para la identificación de las sondas de corriente y cables de prueba	Se borra la codificación por color de los conductores	Imposibilidad de identificar donde conectar cada cable	5	Desgaste de la tinta debido a la exposición prolongada a diversas condiciones climáticas	Inspección visual	2	20	

13	Conductor nominal AEMC 2140.44- 600 V CAT IV 10 A	Cables de prueba de seguridad siliconados utilizados pares medir parámetros de voltaje	Rotura del aislante que une a la línea de baja tensión con el equipo 8335	Ruptura del conductor eléctrico	10	Rozamiento del aislante del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	3	Revisión en taller	4	120	
14			Desconexión del conductor nominal de los lagartos que se conectan a la línea	Las mediciones que se realizan con conductor nominal no se realizan	10	Exceso de tensión que ejerce el equipo al conductor debido a que está suspendido en el aire	12	Inspección del componente en terreno	10	1200	
15		Es un equipo que cumple la función del análisis de la calidad del suministro eléctrico, entre las principales aplicaciones se tiene: estudios de carga, evaluación de potencia y calidad de energía y análisis de perturbaciones.	Reinicios espontáneos mientras estaba en operación	Inconvenientes en el cumplimiento de las mediciones parámetros de calidad de energía	10	Falla en la placa interna del equipo	7	Revisión interna del equipo en taller	10	700	
16			El equipo realiza mediciones incorrectas		8	Falla en las mediciones	36	Revisión de los datos obtenidos	10	2880	

Anexo 1.E: Fichas FMECA del equipo LEM TOPAS 1000

Análisis de modo, efecto y criticidad de fallas												
Departamento responsable del análisis:		Departamento de calidad de energía y estudios eléctricos		Equipo sometido al análisis	LEM		Numero de ficha:			1		
Personal responsable del análisis:		Oldrichs Ponce		Modelo:	TOPAS 1000		Tipificación:			Proceso		
Personal responsable del mantenimiento:				Código:	DX346ILK-3456							
Fecha de elaboración (dd/mm/aaaa):		23/11/2022										
N° CF	Item	Componente	Función	Modo de falla	Efecto de falla	S	Causa de falla	O	Medio de detección	D	RPN	Acciones Preventivas/ Correctivas
1	Analizador de red LEM Topas 1000	Topas 1000 Voltaje Probe 400V, 600V CAT III	Sonda de prueba de voltaje para grabadora de calidad de potencia con un voltaje de funcionamiento CAT III de 400 V	Rotura de la cubierta protectora entre el conductor y el conector Amphenol	Desprendimiento del conector de 6 vías	10	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	1	Revisión externa del componente	4	40	
2				Ruptura del conductor eléctrico	10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor	18	Revisión en taller	3	540		
3				Degradación del aislante del conductor	4	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	2	Inspección visual	4	32		
4				Desajuste en el bloqueo de la bobina a la sonda de corriente	10	Las mediciones que utilizan los parámetros de	3	Revisión externa del componente	4	120		

			de Rogowski. Se pueden usar para medir corriente CA hasta 1000A , además cuenta con protección CAT III		corriente no se realizan						
5					Degradación del aislante del conductor	4	Rozamiento de la cubierta protectora del conductor con la abertura para salida de cables de la carcasa metálica de instalación al poste	2	Inspección visual	4	32
6					Ruptura del conductor eléctrico	10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor	2	Revisión en taller	4	80
7					Rotura de la cubierta protectora de la conexión entre el conductor y el conector de la sonda	10	Mala maniobrabilidad en el transporte del equipo	5	Revisión externa del componente	4	200
8					Desconexión de la sonda de corriente	10	Las mediciones que utilizan los parámetros de tensión no se realizan	7	Inspección del componente en terreno	10	700
9		Cable de transmisión de datos con conector RS232 DB9	Utilizado para conectar dispositivos terminales en serie en distancias cortas y medias	No se puede descargar la información del equipo	Inconvenientes en la planificación para la instalación de los equipos	3	Daño interno en el puerto RS232	1	Revisión interna del puerto	6	18
10		Cable de alimentación Amphenol Ecomate Plastic 4 suave C016	Alimentación del equipo, el conector se utiliza para aplicaciones de medición y control, así como para tecnología de suministro de energía.	Rotura de la cubierta protectora del cable	El equipo quedaría sin alimentación para su funcionamiento	10	Desgaste de la cubierta protectora y el aislante del conductor debido al rozamiento con la carcasa metálica	5	Inspección visual	2	100

ANEXO 2

REGISTRO DE FORMATOS PARA LA ESTRUCTURA DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO

Anexo 2.A: Registro y codificación de equipos analizadores de red de bajo y medio

						
REGISTRO DE EQUIPOS ANALIZADORES DE RED				N° de ficha	1	
				Fecha de modificación		
N° de equipos	Marca	Modelo	Serie	Características	Año de adquisición	Codificación
1	FLUKE	1744	Y1-21358 CA	Equipo inhabilitado	2009	BVFL-14-Y158
2	FLUKE	1744	V7-20824 AA	Equipo en funcionamiento	2008	BVFL-14-V724
3	FLUKE	1744	V7-20803 AA	Equipo inhabilitado	2008	BVFL-14-V703
4	FLUKE	1744	V7-20810 AA	Equipo en funcionamiento	2008	BVFL-14-V710
5	FLUKE	1744	V6-20753 AA	Equipo en funcionamiento	2008	BVFL-14-V653
6	FLUKE	1744	B7-20089 DA	Equipo en funcionamiento	2011	BVFL-14-B789
7	FLUKE	1744	B6-20072 DA	Equipo en funcionamiento	2011	BVFL-14-B672
8	FLUKE	1744	B2-20013 DA	Equipo inhabilitado	2011	BVFL-14-B213
9	FLUKE	1744	W8-21028 CA	Equipo en funcionamiento	2008	BVFL-14-W828
10	FLUKE	1744	B2-20012 DA	Equipo en funcionamiento	2011	BVFL-14-B212
11	FLUKE	1744	XN- 21334 CA	Equipo inhabilitado	2009	BVFL-14-XN34
12	FLUKE	1744	XD-21340 CA	Equipo en funcionamiento	2009	BVFL-14-XD40
13	FLUKE	1744	B7-20087 DA	Equipo en funcionamiento	2011	BVFL-14-B787
14	FLUKE	1744	B6-20065 DA	Equipo inhabilitado	2011	BVFL-14-B665
15	FLUKE	1744	B6-20084 DA	Equipo en funcionamiento	2011	BVFL-14-B684
16	FLUKE	1744	B7-20085 DA	Equipo inhabilitado, tarjeta original dañada	2011	BVFL-14-B785
17	FLUKE	1744	B6-20082 DA	Equipo en funcionamiento	2011	BVFL-14-B682
18	FLUKE	1744	B6-20069 DA	Equipo en funcionamiento	2011	BVFL-14-B669
19	FLUKE	1744	B2-20002 DA	Equipo inhabilitado	2011	BVFL-14-B202
20	FLUKE	1744	B6-20083 DA	Equipo en funcionamiento	2011	BVFL-14-B683
21	FLUKE	1744	V3-20160 CA	Equipo en funcionamiento	2008	BVFL-14-V360
22	FLUKE	1744	FD 20969 DA	Equipo en funcionamiento	2009	BVFL-14-FD69
23	FLUKE	1744	Y1-21365 CA	Equipo inhabilitado, carcasa sin uso, la tarjeta se utilizo como repuesto.	2016	BVFL-14-Y165
24	FLUKE	1744	G1-20984 DA	Equipo en funcionamiento	2016	BVFL-14-G184
25	FLUKE	1748	AS3141	Equipo en funcionamiento		BVFL-18-AS41
26	FLUKE	1748	FD2312	Equipo en funcionamiento		BVFL-18-FD12
27	FLUKE	1748	GF3452	Equipo en funcionamiento		BVFL-18-GF52
28	FLUKE	1748	GXD656	Equipo en funcionamiento		BVFL-18-GX56
29	FLUKE	1748	GH5365	Equipo en funcionamiento		BVFL-18-GH65
30	FLUKE	1748	KJ6476	Equipo en funcionamiento		BVFL-18-KJ76
31	FLUKE	1748	JH6476	Equipo en funcionamiento		BVFL-18-JH76
32	FLUKE	1748	DG7648	Equipo en funcionamiento		BVFL-18-DG48
33	FLUKE	1748	KJ6756	Equipo en funcionamiento		BVFL-18-KJ56
34	FLUKE	1748	LJ7647	Equipo en funcionamiento		BVFL-18-LJ47
35	FLUKE	1760	XD-60469 MC	Equipo en funcionamiento	2009	BVFL-10-XD69
36	AEMC	8335	213091 5:8	Equipo inhabilitado	2012	BVAE-85-2191
37	AEMC	8335	213139 5:8	Equipo inhabilitado	2012	BVAE-85-2139
38	AEMC	8335	213105 5:8	Equipo inhabilitado	2012	BVAE-85-2105
39	AEMC	8335	213152 5:8	Equipo inhabilitado	2012	BVAE-85-2152
40	AEMC	8335	213143 5:8	Equipo inhabilitado	2012	BVAE-85-2143
41	LEM	TOPAS 1000	955410GB	Equipo en funcionamiento	2001	BVLE-T0-95GB
42	KRON	RM-960-PQ		Equipo en funcionamiento	2019	MVKKR-RQ
43	KRON	RM-960-PQ		Equipo en funcionamiento	2019	MVKKR-RQ
44	KRON	RM-960-PQ		Equipo en funcionamiento	2019	MVKKR-RQ

Anexo 2.B: Registro de evaluación visual del área de trabajos de mantenimiento



REGISTRO DE EVALUACION VISUAL DEL AREA DE TRABAJOS DE MANTENIMIENTO		N° Ficha	1
		Fecha de inspección	
N° de zona	Problema	Solucion propuesta	Imagen
1	Desorden en la ubicación de las cajas de los equipos de medio voltaje	Utilizar solo una caja metalica para guardar solo los equipos de medio voltaje, en otra caja guarda los accesorios y utilizar la tercera caja para guardar los demas equipos de bajo voltaje.	
2	Desorden en las herramientas	Utilizar los anaqueles y escritorios para ordenar las herramientas correctamente	
	Mala distribucion del lugar	Botar las carcassas rotas, las cajas vacias utilizarlas para guardar accesorios de repuesto, asi se obtendra mas espacio para organizar las herramientas.	
3	Carcassas y equipos de medio voltaje se encuentran en el piso obstaculicando el paso a los operadores	Utilizar los anaqueles disponibles en la zona 3 para guardar solo los equipos, las carcassas se las puede colgar en la pared y solo se las bajaran para las labores de mantenimiento o para usarlas en los sitios de medición.	
4	El armario tiene problemas de estabiliidad, puede provocar un accidente a los operadores si este llegase a ceder.	Revisar los ajustes del armario para correguir la estabilidad y poder utilizarlo para guardar herramientas y accesorios de los equipos analizadores de red, caso contrario ingresar el armario en bodega, para evitar problemas de seguridad.	
	En el interior del armario se encuentran guardadas sin ningun uso los bolsos especiales para el traslado de los equipos a los sitios de medición	Las bolsas especiales pueden servir para guardar los equipos si no estan en uso y para el traslado a los sitios de medicion. Este beneficiaria a reducir muchas causas de falla que se producen por la mala maniobrabilidad al momento de movilizar los equipos de un sitio a otro.	

Anexo 2.C: Registro de información técnica de cada equipo



REGISTRO DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED DE BAJO VOLTAJE				N° Ficha	1	Imagen	
Nombre del equipo	FLUKE	Fecha de adquisición	2008	Numero de recalibraciones	1		
Modelo	1744	Fecha de recalibracion	03/10/2018	Fecha de contratacion de servicios de mantenimiento	No cuenta con mantenimientos		
Numero de Serie	V7-20824 AA	Estado actual del equipo	Nuevo	Usado	Dañado		
Periodo de calibración	cada 2 años			X			
Detalle tecnicos							
Tipo de alimentación	Eléctrica	Voltaje de operación	88 V - 265 V CA	Tipo de protección	IP65, EN 60529		
Voltaje de prueba	5,2 kV rms, 50 Hz / 60hz	Autonomia	3 Seg	Fusible	Si		
Medicion de voltaje y corriente							
Voltaje de alimentación		Entrada de corriente con sondas flexibles		Entrada de corriente para pinzas			
Rango de entrada F-N	max. 480 V CA	Rangos de entrada L1,L2,L3,N	15A / 150A / 1500A / 3000A CA	Rangos de entrada L1,L2,L3,N	0,5 V nominal		
Rango de entrada F-F	max. 830 V CA	Incertidumbre intrínseca	menor al 2% de II	Incertidumbre intrínseca	menor al 0,3% de II		
Incertidumbre intrínseca	0,1% de VI	Coefficiente térmico	menor al 0,05% / K	Resistencia de entrada	Aproximadamente 8,2 kOhms		
Componentes o accesorios							
Cable RS232	Sondas	Sonda 15A / 1500A	Current Clamp Set Fluke	Cables de prueba TLS-	Pinza tipo lagarto AC285		
Codificación por color de pinzas de cable	1500A/3000A Flex 4 AC Current	Flex 4 AC Current Probe (amarillas)	5A/50A	430			

REGISTRO DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED DE BAJO VOLTAJE				Nº Ficha	1	Imagen
Nombre del equipo	FLUKE	Fecha de adquisición		Fecha de inspección		
Modelo	1748	Fecha de recalibración		Numero de recalibraciones	0	
Numero de Serie		Estado actual del equipo	Nuevo	Fecha de contratación de servicios de mantenimiento	No cuenta con mantenimientos	
Periodo de calibración	cada 2 años		Usado	Dañado		
				Periodo de calibración	X	
Detalle técnicos						
Tipo de alimentación	Eléctrica	Voltaje de operación	100 V - 500 V CA	Autonomia	4 horas	
Medición de voltaje y corriente						
Entradas de voltaje		Entrada de corriente		Parametros de medición		
Numero de entradas	3 fases y neutro	Numero de entradas	3 fases y neutro	Intervalo basico	Tension, corriente, frecuencia TDH V, TDH A, potencia, FP, potencia fundamental, DPF, energia	
Voltaje de entrada	max. 1000 Vrms	Voltaje de entrada	500mV rms / 50 mV rms para pinzas	Intervalo de demanda	Energia (Wh, Varh, Vah), FP, demanda maxima, coste de energia	
Impedancia de entrada	10 MOhms		150mVrms / 15 mVrms para sondas de corriente	Mediciones de calidad de energía	Tension, frecuencia, desequilibrio, armonicos de tension, TDH V, corriente , TDH A, TDD	
Componentes o accesorios						
Pinza tipo lagarto AC285	Sondas de corriente Fluke-17xx IP65 iFlexi de 1,5 kA y 24 pulg./60 cm	IP65 Adapter Set FLUKE 174X Power Quality Logger	MP1-3R Magnet Probe Set	Cable plano 3PHVL-17XX para medida de baja tensión	Sondas de corriente Fluke-17xx IP65 iFlexi de 3 kA y 24 pulg./60 cm	

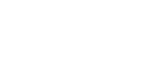
REGISTRO DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED DE BAJO VOLTAJE				Nº Ficha	1	Imagen	
Nombre del equipo	FLUKE	Fecha de adquisición	2009	Fecha de inspección			
Modelo	1760	Fecha de recalibración	No cuenta con recalibraciones	Numero de recalibraciones	0		
Numero de Serie	XD-60469 MC	Estado actual del equipo	Nuevo	Fecha de contratación de servicios de mantenimiento	No cuenta con mantenimientos		
Periodo de calibración	cada año			Usado	Dañado		
Detalle tecnicos							
Tipo de alimentación	Eléctrica	Voltaje de operación	83V A 264V CA	Sistema de calidad	ISO 9001: 2000		
Frecuencia de alimentación	50Hz/60Hz	Promedio	Intervalos de 10 min	Inmunidad	IEC /EN 61326-1		
Medicion de voltaje y corriente							
Entradas de voltaje		Entrada de corriente		Parametros de medición			
Numero de entradas	4 Entradas para voltaje	Numero de entradas	4 entradas para corriente	Registro continuo	Voltaje, corriente P,Q,S, FP, Energia, Parpadeo de voltaje, Desequilibrios, Frecuencia, Armonicos		
Voltaje nominal	100mV	Voltaje de entrada sensor 1000 V	600 V F-N				
Resistencia de entrada	1MOhms	Rango	0 a1200 V rms				
Capacidad de sobrecarga	1000V continuamente	Voltaje de entrada sensor 600V	480 V F-N	Registros disparados	Valor eficaz, Osciloscopio		
Valor pico	280mV	Rango	0 a 960 V	Rango de temperatura de trabajo	de 0° C a +50 C		
Componentes o accesorios							
Sonda de corriente flexible TPS FLEX 24, 1000A		TPS-VOLTPROBE, 600V, 400V CON CONECTOR DIN HEMBRA C16-3		Pinza tipo lagarto AC285	Cable de Mains connection power		

REGISTRO DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED DE BAJO VOLTAJE				Nº Ficha	1	Imagen
Nombre del equipo	AEMC	Fecha de adquisición	2012	Fecha de inspección		
Modelo	8335	Fecha de recalibración	No cuenta con recalibraciones	Numero de recalibraciones	0	
Numero de Serie	213091 5:8	Estado actual del equipo	Nuevo	Fecha de contratación de servicios de mantenimiento	No cuenta con mantenimientos	
Periodo de calibración	cada 2 años			Usado	Dañado	
Detalle técnicos						
Tipo de alimentación	Eléctrica	Rango de uso	120V +/- 10%	Indice de protección	IP 50- IEC 60529	
Frecuencia de alimentación	50Hz/60Hz	Potencia de entrada máxima	65 VA	Autonomía de la batería	10 horas con la pantalla activa, 25 horas con la pantalla apagada	
Medición de voltaje y corriente relativas						
Voltaje RMS		Corriente RMS		Funciones de medida		
Simple	5V a 1200V	Pinza MN93	0,2A A 240A	Valores eficaces, valor continuo de voltaje y corriente, valores pico de V y A, frecuencia de las redes, factor de pérdidas, factor de cresta, calculo del factor K, distorsión armónica, Potencias, FP, valores rms deformantes, Flicker de corta duración y larga duración, potencias aparentes, armónicos para corrientes, corrientes de inserción.		
Compuesta	5V a 2400V	Sonda AmpFLEX	10A 6500A			
Voltaje continuo		Corriente continua				
Simple	5V a 1697V	Pinza PAC	1A 1200A			
Compuesta	5V a 3394V	Pinza E3N	0,01A a 16,97A			
Componentes o accesorios						
ID de codificador para conductores nominales AEMC 2140.45	Power Adapter Model PA30W	Pinzas de corriente MN193 5A - 100A	Sondas de corriente 10A to 6500AAC	Conductor nominal AEMC 2140.44- 600 V CAT IV 10 A		

REGISTRO DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED DE BAJO VOLTAJE				Nº Ficha	1	Imagen	
				Fecha de inspección			
Nombre del equipo	LEM	Fecha de adquisición	2001	Numero de recalibraciones	0		
Modelo	TOPAS 1000	Fecha de recalibracion	No cuenta con recalibraciones	Fecha de contratacion de servicios de matenimiento	No cuenta con mantenimientos		
Numero de Serie	955410 GB	Estado actual del equipo	Nuevo	Usado	Dañado		
Periodo de calibración	cada año			X			
Detalle tecnicos							
Tipo de alimentación	Eléctrica	Voltaje de operación	100 V a 375 V	Tipo de protección	IP 65		
Frecuencia de alimentación	50Hz/60Hz	Promedio	Intervalos de 10 min	Temperatura de operaci	0 °C a 40 °C		
Medicion de voltaje y corriente							
Sensores de voltaje 400V		Sondas de corriente		Parametros de medición			
Rango de medición	4 a 680V	Rango de medición LemFlex 10A /1000A	10A a 2200 A	Registro continuo	Valores rms, max, nivel de parpadeo, huecos de voltaje, sobrevoltajes, cortes de suministro corto y largo plazo, armonicos, interarmonicos, THD, desequilibrio de voltaje, voltajes de señal, potencia armonica por magnitud y fase, analisis de señal de odulacion transitorio.		
Raango de linealidad	0,15%	Rango de medición LemFlex 100A /6000A	100A a 12,2kA				
Sensore de voltaje 100V		Pinzas de corriente 5A /1A	50mA a 14A				
Rango de medición	1 a 170V						
Raango de linealidad	0,15%	Pinzas de corriente 100A / 10A	100mA a 120A				
Componentes o accesorios							
Cable de transmisión de datos con conector RS232 DB9		Cable de alimentación Amphenol Ecomate Plastic 4 suave C016		Topas 1000 Voltaje Probe 400V, 600V CAT III	Topas 1000 LEMFLEX 1000 A, 600V CAT III		

REGISTRO DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED DE MEDIO VOLTAJE				Nº Ficha	1	Imagen	
Nombre del equipo	KRON	Fecha de adquisición	2019	Fecha de inspección			
Modelo	TOPAS 1000	Fecha de recalibración	No cuenta con recalibraciones	Numero de recalibraciones	0		
Numero de Serie	RM-960-PQ	Estado actual del equipo	Nuevo	Fecha de contratación de servicios de mantenimiento	No cuenta con mantenimientos		
Periodo de calibración	cada año		X	Usado	Dañado		
Detalle técnicos							
Tipo de alimentación	Eléctrica	Voltaje de operación	20Vac a 700 Vac	Tipo de protección	IP 30 - IP 65 la carcasa		
Capacidad de memoria	1GB	Muestreo	1024 por ciclo	Temperatura de operación	DE -25 °C a 70 °C		
Medición de voltaje y corriente							
Voltaje		Corriente		Parametros de medición			
Rango de trabajo	20Vac a 700 Vac	Rango de trabajo	0,025A a 20A	Registro continuo	Corriente, voltaje, frecuencia, potencia activa, reactiva, aparente, por fase y trifásica, registros mínimos y máximos, parametros acumulativos y de periodo, Flicker, PST Y PLT, Armonicos, FP		
Frecuencias- rango de trabajo	42,5 Hz a 69,5Hz	Sobrecarga de corriente	100A a 10 seg				
Aislamiento	2500 Vac	Consumo interno	Max 20 VA				
Precisión de la medida de frecuencia	0,001Hz						
Precisión de W, Va, Var, Fp, Energia, THD	0,15%; 0,06%; 0,15%; 0,15%; 0,2% - IEC/ANSI; 2,5% respectivamente						
Componentes o accesorios							
3 sensores para línea viva con protección IP65, con rangos de medición de hasta 1000A – 35kV (F-F) con una precisión de tensión de 1% y de corriente 2%.				Cable de comunicación con conector RJ45			

Anexo 2.D: Registro de la función de las partes del equipo, instrucciones, acciones y frecuencia de las tareas de mantenimiento.

									
REGISTRO PARTES, COMPONENTES E INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED								Nº de pagina	1 de 5
Marca	FLUKE	Serie	V7-20824 AA	Fecha de Elaboración	01/02/2023	Elaborado:	Oldrichs Ponce	Aprobado:	
Modelo	1744	Nº de ficha	1	Fecha de Actualización		Revisado:		Area o departamento	
Equipo analizador de red y sus componentes									
Nº	Accesorio	Función			Imagen				
1	Cable RS232	Traspasa la informacion recolectada por los equipos			  				
2	Sondas 1500A/3000A Flex 4 AC Current Probes (rojas)	Utilizadas para medir parametros de corriente			  				
3	Sonda 15A / 1500A Flex 4 AC Current Probe (amarillas)	Utilizadas para medir parametros de corriente			  				
4	Current Clamp Set Fluke 5A/50A	Utilizadas para medir parametros de corriente			  				
5	Cables de prueba TLS-430	Utilizados para medir parametros de voltaje							
6	Pinza tipo lagarto AC285	Realiza el acople del equipo a las lineas de análisis							
7	Codificador para cables	Utilizados para la identificación de las sondas de corriente y cables de prueba							
8	Carcasa metalica	Utilizada como protección e instalacion del equipo al poste							
9	Equipo	Es un equipo que cumple la función del análisis de la calidad del suministro eléctrico.							

REGISTRO PARTES, COMPONENTES E INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED

Nº de pagina 2 de 5

Marca	FLUKE	Serie	V7-20824 AA	Fecha de	01/02/2023	Elaborado:	Oldrichs Ponce	Aprobado:	
Modelo	1744	Nº de ficha	1	Fecha de Actualización		Revisado:		Area o departamento	

Tareas de mantenimiento

Nº de componente	Nombre	Correcto funcionamiento	Accion preventiva	Accion correctiva	Frecuencia de mantenimiento	Personal
1	Cable RS232	Transfiere datos sin interrupciones	Revisar el estado del aislante del cable RS232.	En caso de rotura del conectar, desgaste del aislante, sustirur por uno nuevo	Trimestral	Operador
			Revisar el estado de los pines del conector.	En caso de daño utilizar otro cable que corresponda a la misma clase del equipo.	Trimestral	Operador
2 y 3	Sondas 1500A/3000A Flex 4 AC Current Probes (rojas), Sonda 15A / 1500A Flex 4 AC Current Probe (amarillas)	Mediciones de parametros de corriente correctas, sin interrupciones	Revisar fisuras o roturas en la horquilla de plástico.	Si existe fisuras cambio la sonda de corriente por una nueva.	Trimestral	Operador
			Verificar que la carcasa de protección del equipo no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor.		Trimestral	Operador
			Revisar el estado del aislante del conductor de la sonda de corriente.	Al encontrar desgaste o roturas, cubrir con cinta aislante, el número de aperturas cubiertas por el aislante no debe superar las 2, para prevenir accidentes laborales, daños en el equipo o fallas en las mediciones.	Trimestral	Operador
			Revisar que no exista desprendimientos de la bobina que actúa como imán para el bloqueo de seguridad de las sondas de corriente.	Eliminar las impurezas que se encuentren en el interior de la bobina, cambio del accesorio para el bloqueo, si esta roto, se deberá sustituir la sonda.	Mensual	Operador

REGISTRO PARTES, COMPONENTES E INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED

Nº de pagina

3 de 5

Tareas de mantenimiento

Nº de componente	Nombre	Correcto funcionamiento	Accion preventiva	Accion correctiva	Frecuencia de mantenimiento	Personal
4	Current Clamp Set Fluke 5A/50A	Mediciones de parametros de corriente correctas, sin interrupciones	Inspeccionar que no exista tensión en el cable, revisar que la carcasa protectora este empotrada al poste a una altura correcta.	En caso de rotura del cable debido a la tension, se debera sustituir la pinza por una nueva .	Trimestral	Operador
			Revisar el estado del aislante del conductor de las pinzas de corriente.	Al encontrar desgaste o roturas, cubrir con cinta aislante, el número de aperturas cubiertas por el aislante no debe superar las 2, para prevenir accidentes laborales, daños en el equipo o fallas en las mediciones.	Trimestral	Operador
			Verificar que la carcasa de protección del equipo no tenga elementos filudos que hagan contacto permanente con el cable conductor.	Si existe fisuras cambio la sonda de corriente por una nueva.	Trimestral	Operador
5	Cables de prueba TLS-430	Mediciones de parametros de voltaje correctas, sin interrupciones	Revisar el estado del aislante del conductor eléctrico de los TLS-430.	Al encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente, el número de aperturas cubiertas por el aislante no debe superar las 2, para prevenir accidentes laborales o daños en el equipo.	Mensual	Operador

REGISTRO PARTES, COMPONENTES E INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED

N° de pagina

4 de 5

Tareas de mantenimiento

N° de componente	Nombre	Correcto funcionamiento	Accion preventiva	Accion correctiva	Frecuencia de mantenimiento	Personal
6	Pinza tipo lagarto AC285	Correcta sujeción a la línea, por el tiempo previsto	Revisar el cierre y apertura de los lagartos, limpieza de polvo y agua en los resortes	En caso de daños en los resortes, sustituir por una pinza nueva	Semanal	Operador
			Revisar las condiciones de la estructura de plástico y dientes de aluminio.	En caso de que se encuentren fisuras en la carcasa de plástico o que los dientes metálicos se encuentren oxidados, realizar el cambio inmediato del componente.	Semanal	Operador
			Revisar la correcta conexión de los lagartos a la línea de baja voltaje, el equipo analizador de red al que se encuentre conectado debe estar correctamente empotrado al poste y no debe existir tensión en los cables que conectan a los lagartos.	Volver a realizar la conexión de los lagartos a la línea y evita que el conductor este tensionado.	Semanal	Operador
7	Codificador para cables	Se identifica claramente los colores, simbolos o letras de identificación	Inspeccionar que cada conductor cuente con su respectiva bincha para codificación por color. Revisar estado de cada bincha.	Colocar su respectiva identificación sea por color o por letra a cada conductor	Trimestral	Operador
			Revisar que sea visible el color, simbolo o letra de cada bincha.	En caso de que exista una decoloración o que las letras de identificación no sean visibles realizar el cambio por unos nuevos.	Trimestral	Operador

REGISTRO PARTES, COMPONENTES E INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED

Nº de pagina

5 de 5

Tareas de mantenimiento

Nº de componente	Nombre	Correcto funcionamiento	Accion preventiva	Accion correctiva	Frecuencia de mantenimiento	Personal
8	Carcasa metalica	Aisla al equipo del polvo y el agua, correcta sujeción al poste y correcto bloqueo de seguridad	Limpieza interna de polvo y revisión de filtraciones de agua de la carcasa.	Tapar las filtraciones de agua, siempre y cuando no sea muy extensas, caso contrario se debera realizar el cambio de carcasa.	Mensual	Operador
			Revisión del seguro de la puerta metalica de la carcasa.	En caso de daño del seguro, se debera sustituir por uno nuevo, y la carcasa se deberá mantener sin uso hasta su cambio.	Mensual	Operador
9	Equipo	Realiza las mediciones según lo programado por el operador, sin interrupciones.	Revisar la última fecha de recalibración del equipo, el rango de temperatura aceptable para mediciones correctas va de 0 °C a 35 °C.	En caso de superar el tiempo de ultima recalibración se deberá planificar el envio del equipo a los laboratorios de calibración, precautelando que no exista desabastecimiento de equipos para las mediciones mensuales.	Trimestral	Operador
			Revisar el estado del fusible del equipo.	En caso de que se haya roto el filamento, realizar el cambio inmediatamente antes de usarlo.	Mensual	Operador
			Revisar el estado del aislante del conductor de alimentación del equipo.	En caso de encontrar desgaste o aperturas, cubrir con cinta aislante inmediatamente. En caso de rotura de cable, NO soldar ni empalmar, esta acción afecta el funcionamiento del equipo.	Trimestral	Operador

Anexo 2.E: Registro de la gestión de trabajo del personal del departamento

			
REGISTRO DE EVALUACIÓN AL PERSONAL ENCARGADO DE LAS LABORES DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE RED			
Área o departamento al que pertenece:	Calidad de la energía y estudios eléctricos	N° Ficha	1
Nombre del operador evaluado:		Fecha de evaluación	
Parámetros de evaluación			
Organización	Bueno	Regular	Insuficiente
Organiza los equipos que no utiliza.			
Organiza las herramientas que ya no utiliza.			
Lleva control de los trabajos de mantenimiento realizados.			
El trabajador es organizado al momento de realizar la descarga de información de los equipos.			
Lleva un control de las inspecciones realizadas a los equipos.			
Seguridad	Bueno	Regular	Insuficiente
Cumple con las normas de seguridad al momento de instalar y desinstalar los equipos.			
Cumple con las normas de seguridad al momento de realizar mantenimiento a los equipos.			
El trabajador insta a sus compañeros para que cumplan con las normas de seguridad establecidas.			
Eficiencia	Bueno	Regular	Insuficiente
Entrega los informes requeridos.			
Cumple con el número de mediciones programadas al mes.			
Cumple con las ordenes de trabajo en el tiempo estipulado.			
Se desenvuelve correctamente en los trabajos designados.			
Responsabilidad	Bueno	Regular	Insuficiente
Cumple con los horarios de ingreso y salida.			
Participa en los cursos, talleres charlas de inducción para equipos o accesorios.			
El trabajador cuida de los bienes encargados por la empresa.			
Llena los informes de averías y hoja de vida de los equipos.			
Realiza inspecciones visuales a los equipos o accesorios conforme esta en el plan de mantenimiento.			
Comunicación	Bueno	Regular	Insuficiente
Colabora en actividades laborales con los compañeros de trabajo.			
Comunica oportunamente de fallas suscitadas en los equipos.			
Entrega la información solicitada o no por parte de los compañeros.			

			
ORDENES DE TRABAJO			
Área o departamento:			
Fecha de elaboración		Nº Ficha	
Formulario de actividades			
Actividad a realizar:		Fecha de inicio:	
Persona responsable:		Fecha de fin:	
Nº de actividad	Descripción detallada de actividades		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
Evaluación de las actividades realizadas			
		Si	No
¿El operador desarrollo todos los trabajos asignados ?			
Indique el número de actividad no desarrollada:			
¿El operador cumplió con las fechas establecidas?			
Indique el tiempo en el que el operador finalizó las actividades:			

						
ADQUISICIÓN DE EQUIPOS O COMPONENTES						
Área o departamento solicitante:		Calidad de la energía y estudios eléctricos				
Elaborado por:		Fecha de elaboración		N° de orden		
Autorizado por:		Recibido por:				
Información del pedido						
Empresa proveedora:		Fecha del pedido		Fecha de entrega		
Dirección:		Observaciones				
Contacto:						
Información general del equipo						
N°	Marca	Modelo	Observación	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Información general de los accesorios o componentes						
N°	Accesorio	Observación	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
Costos adicionales						
N°	Actividad			Cantidad	Precio unitario	Precio total
					Subtotal	
					IVA	
					Total	



ORDENES DE RETIRO DE BODEGA DE EQUIPOS O ACCESORIOS

Área o departamento solicitante:		Calidad de la energía y estudios eléctricos			
Elaborado por:		Fecha de elaboración		N° de orden	
Autorizado por:		Recibido por:			
Información del pedido					
Fecha del pedido		Fecha de entrega		Firma	
Persona responsable		N° de cedula			
Observaciones					
Información general del retiro de equipos					
N° de ítem	Marca	Modelo	Serie	Cantidad	Observación
Información general del retiro de accesorios o componentes					
N° de ítem	Accesorio			Cantidad	Observación

Anexo 2.I: Registro del control de los proveedores.



REGISTRO DEL CONTROL DE PROVEEDORES DE BIENES Y SERVICIOS

Área o departamento:	Calidad de la energía y estudios eléctricos	N° Ficha	1
Elaborado :		Aprobado:	
		Fecha de elaboración	

Registro de empresas que proveen de los equipos, componentes y accesorios de los analizadores de red

Empresa	Contacto	Ubicación	Dirección	Equipos o accesorios que provee	Correo electrónico

Registro de empresas que proveen de servicios

Empresa	Contacto	Ubicación	Dirección	Servicios que provee	Correo electrónico

Anexo 2.J: Registro de averías de un equipo o componente



REGISTRO DE AVERIAS DE EQUIPOS O ACCESORIOS

Elaborado:		Fecha de registro		Nº de pagina	
Identificación del equipo o accesorio					
Equipo					
Marca		Función			
Modelo		Serie			
Componente					X
Nombre de componente		Función			
Identificación de la falla					
Descripción de la falla	1.-				
	2.-				
Causas de la falla	1.-				
	2.-				
Consecuencias de la falla	1.-				
	2.-				
Soluciones empleadas					
Nº de causa de falla					
1					
2					
Acciones preventivas					
1					
2					
Revisado por:					

