

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**Protocolo de mantenimiento para redes inalámbricas de
medidores de energía eléctrica.**

PRESENTADO POR:

CAMILO ERNESTO ARTEAGA HERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR :

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

Protocolo de mantenimiento para redes inalámbricas de medidores de energía eléctrica.

Presentado por :

CAMILO ERNESTO ARTEAGA HERNÁNDEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. CARLOS EUGENIO MARTÍNEZ CRUZ

San Salvador, Julio de 2016.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. CARLOS EUGENIO MARTÍNEZ CRUZ

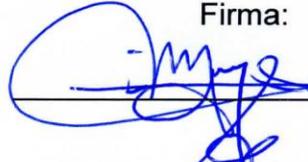
ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 1 de julio de 2016, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 8:30 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

Firma:



Firma:



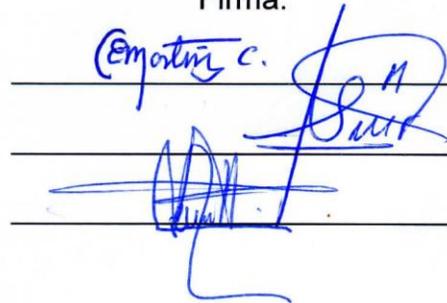
Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

1- Dr. Carlos Eugenio Martínez Cruz

2- MSc. Salvador de Jesús German

3- MSc. Jorge Alberto Zetino Chicas

Firma:



Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

Protocolo de mantenimiento para redes inalámbricas de medidores de energía eléctrica.

A cargo del Bachiller:

Arteaga Hernández Camilo Ernesto

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 86

(OCHO PUNTO SEIS)

Agradecimientos.

A Dios y a Jesucristo ante todo por las bendiciones recibidas durante toda mi vida y permitirme alcanzar este logro.

A mi padre José Armando Arteaga *pancho* (Q.D.D.G) quien ofreció su vida colaborando al cambio social en el país. Consecuencia de ello pude realizar mis estudios universitarios en la Universidad de El Salvador bajo condiciones más favorables que en épocas del militarismo y conflicto armado.

A mi tía Inés Alicia Sermeño Arteaga que realizo la función de madre sustituta desde mi nacimiento a causa de la situación política de la época. Y que actualmente con sus 94 años sigue conmigo, con dificultades y todo lo que significa tener esa edad.

Al Ing. Walter Zelaya por haberme brindado su apoyo al reinicio de los estudios después de una larga ausencia, con paciencia y dedicación en compañía de Jehová su Dios.

Al MSc. Zetino Chicas por haberme transmitido conocimientos significativos, siendo un guía que me brindo su ayuda siempre que fue solicitada. Por ser un docente de los cuales se les recuerda siempre por su buen desempeño empresarial, académico y humano.

Al Dr. Carlos Martínez por la orientación y apoyo en esta etapa final, con sabiduría y dedicación mostrando la calidad humana que posee.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura que colaboraron con mi formación académica profesional y en especial a los de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Al personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica especialmente a la Sra. Reina Isabel Vides y los Técnicos del Laboratorio Sr. Salvador posada y Sr. Juan Olano.

A mis amigos y compañeros de la escuela de Ingeniería Eléctrica, gracias por el apoyo brindado tanto emocional como académico.

Finalmente aprovecho para agradecer a la Universidad de El Salvador y todo el personal que en ella labora, por encaminar a cada uno de sus estudiantes hacia la excelencia.

Que Dios los bendiga siempre.

Camilo Ernesto Arteaga Hernández.

Acrónimos.

TCP/IP:	Transmission Control Protocol (TCP) and the Internet Protocol (IP).
WIFI:	Wireless Fidelity.
ANSI:	Instituto Nacional Americano de Normas, por sus siglas en inglés, American National Standards Institute.
ASTM:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés, American Society for Testing and Materials.
VoIP:	Voice over Internet Protocol.
LAN:	Local Area Network.
NFPA:	Asociación Nacional de Protección Contra Incendios, por sus siglas en inglés, National Fire Protection Association.
UES:	Universidad de El Salvador.
MT:	Mediana tensión.
E_r:	Error relativo.
NEMA:	National Equipment Manufacturers Association.
NESC:	National Electrical Safety Code.
FODA:	Fortalezas Oportunidades Debilidades y Amenazas.
URL:	Localizador de Recursos, por sus siglas en inglés, uniforme Uniform Resource Locator.
UTP:	Unshielded Twisted Pair, lo que puede traducirse como “Par trenzado no blindado”.
RJ45:	Registered Jack 45, o Conector 45 registrado.
RJ11:	Registered Jack, Siendo el conector más utilizado para líneas telefónicas.

Índice.

Capítulo I: Introducción.	1
1.1 Necesidad del protocolo de mantenimiento.	2
1.2 Antecedentes.	2
1.3 Motivación para realizar el proyecto.....	4
1.4 Objetivos.	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.	4
1.5 Organización.	5
1.6 Planteamiento del problema.	5
1.6.1 Prácticas inseguras de trabajo.....	6
1.6.2 Problemas en algunos medidores.....	8
1.6.3 Falta de apoyo institucional.	8
1.6.4 Hallazgos significativos.....	8
1.7 Prueba piloto de mantenimiento.....	10
1.8 Resultados de la prueba piloto de mantenimiento.	13
1.9 Propuesta de mantenimiento.	18
Capítulo II: Seguridad en el mantenimiento de medidores	19
2.1 Exigencias generales.	20
2.1.1 Exigencias para ejecutar mantenimiento en proximidad de conductores o circuitos eléctricos.	21
2.1.2 Exigencias de procedimiento para lograr condiciones eléctricas seguras al hacer cortes de energía.	21
2.1.3 Desconexión y conexión de circuitos eléctricos de potencia.	22
2.1.4 Distancia de seguridad a partes energizadas.	22
2.1.5 Instructivo de mantenimiento.	22
2.2 Exigencias para trabajar cerca de líneas aéreas no aisladas.	23
2.2.1 Trabajo cerca de líneas aéreas no aisladas y energizadas.	23
2.2.2 Acción de corte de energía eléctrica.....	23
2.2.3 Responsabilidad del supervisor encargado y del ejecutor.	24

2.3 Exigencias sobre la formación en seguridad de los ejecutores.....	24
2.3.1 Condición de alerta ante cualquier indicio de peligro.....	24
2.3.2 Recomendaciones respecto a las prendas.....	25
2.3.3 Conocimiento sobre herramientas y equipos aislados.....	25
2.3.4 Realización de limpieza de manera segura.....	25
2.3.5 Capacitación en materia de falla.....	26
2.4 Exigencias de equipos de protección personal.....	26
2.4.1 Equipo de protección de cabeza.....	27
2.4.2 Equipo de protección de ojos, cara cuello y el mentón.....	27
2.4.3 Equipo de protección del cuerpo.....	28
2.4.5 Equipo de protección de las manos.....	28
2.4.6 Equipo de protección de los pies y de las piernas.....	28
2.4.7 Equipo de protección anti-caída y de anclaje.....	29
2.4.8 Selección de equipo de protección personal.....	29
2.5 Exigencias de Otros equipos de protección.....	29
2.5.1 Requisitos para las herramientas aisladas.....	29
2.5.2 Señales y etiquetas de seguridad.....	30
2.5.3 Barricadas.....	30
2.5.4 Normas de otros equipos de protección.....	31
2.6 Exigencias de uso de equipos eléctricos.....	32
2.6.1 Uso de instrumentos y equipos de prueba.....	33
2.6.2 Uso de equipo eléctrico portátil.....	33
2.6.3 Uso de equipos defectuosos.....	33
2.7 Instrucciones de uso de equipo de seguridad.....	34
2.7.1 Escaleras de extensión.....	34
2.7.2 Carretilla de mano.....	36
2.6.3 Cascos de seguridad.....	37
2.7.4 Arnés anti-caídas.....	37
2.7.5 Cinturón de seguridad.....	38
Capítulo III: Protocolo de mantenimiento.....	39
3.1 Componentes y descripción de los equipos instalados.....	39

3.1.1 Medidores.....	40
3.1.2 Bobinas.....	42
3.1.3 Router wifi.....	43
3.2 Instructivo para mantenimiento de medidores.....	43
3.2.1 Inspección sensorial y limpieza técnica en subestación.....	44
3.2.1.1 Nota al supervisor.....	44
3.2.1.2 Nota de precaución.....	44
3.2.1.3 Nota al ejecutor del mantenimiento.....	44
3.2.1.4 Periodicidad.....	44
3.2.1.5 Pasos, procedimientos y precauciones.....	45
3.2.2 Retiro de equipo de medición montado en poste.....	55
3.2.2.1 Nota al supervisor.....	55
3.2.2.2 Nota de precaución.....	55
3.2.2.3 Nota al ejecutor del mantenimiento.....	56
3.2.2.4 Periodicidad.....	56
3.2.5.5 Pasos, procedimientos y precauciones.....	56
3.2.3 Pruebas básicas de medidor.....	60
3.2.3.1 Toma y tratamiento de datos en las pruebas.....	62
3.3 Instructivo para mantenimiento de bobina de corriente.....	63
3.3.1 Inspección sensorial y limpieza técnica de bobinas de corriente.....	63
3.3.1.1 Nota al supervisor.....	63
3.3.1.2 Notas de precaución.....	64
3.3.1.3 Notas al ejecutor del mantenimiento.....	64
3.3.1.4 Periodicidad.....	64
3.3.1.4 Pasos, procedimientos y precauciones.....	65
3.3.2 Mantenimiento de bobinas de corriente en subestación.....	73
3.3.3 Pruebas básicas de bobinas de corriente.....	75
3.4 Instructivo para mantenimiento de router.....	76
3.5 Fichas para inspecciones.....	78
3.5.1 Ficha de constancia de recibido de operación de mantenimiento.....	78
3.5.2 Ficha de constancia de inspección en bobinas de corriente.....	80

3.6 Materiales y equipo a usar.	82
Capitulo IV: Análisis FODA, conclusiones y líneas futuras	88
4.1 Resultados del análisis FODA.....	88
4.2 Conclusiones.....	93
4.3 Líneas futuras.	95
Anexos.	97
A.1 Tipos de mantenimiento.	97
A.2 Artículo 100. - Persona Calificada (NEC).	97
A.3 Acciones de una inspección.	98
A.4 Desglose de mantenimiento de conservación a aplicar a medidores.	99
A.5 Ficha de constancia de recibido de operación de mantenimiento.	100
A.6 Ficha de inspección visual en bobinas de corriente.....	101
A.7 Tension de paso y tension de contacto.	102
A.8 Escalera de Extensión bajo norma ASTM F 711.	103
A.9 Equipo de maniobra y seguridad.	104
Bibliografía	110

Lista de tablas.

Tabla 1 Resumen de condiciones encontradas en red de medidores inalámbricos.....	9
Tabla 2 Detalles de prueba piloto de mantenimiento.	17
Tabla 3 Datos estadísticos de tiempos de ejecución de mantenimiento.	17
Tabla 4 Propuesta de mantenimiento en base a la experimentación en prueba piloto. .	18
Tabla 5 Normas de equipos de protección.....	27
Tabla 6 Límites de aproximación a partes energizadas.	31
Tabla 7 Normas de otros equipos de protección.....	32
Tabla 8 Pasos de Inspección sensorial y limpieza técnica.	54
Tabla 9 Pasos para retiro de equipo de medición.	60
Tabla 10 Tabla sugerida para toma de datos.	62
Tabla 11 Pasos para limpieza de bobinas.....	72
Tabla 12 Mantenimiento de bobinas en subestación.	74
Tabla 13 Comparación de lecturas.....	76
Tabla 14 Materiales y equipo para mantenimiento de red inalámbrica de medidores....	87
Tabla 15 Matriz FODA.....	92

Lista de figuras.

Figura 1 Medidores fuera de servicio depositados en laboratorio.	3
Figura 2 Medidor fuera de servicio montado en poste.	3
Figura 3 Subiendo por escalera inadecuadamente y sin equipo de seguridad personal..	6
Figura 4 Realizando labor de mantenimiento correctivo sin equipo de protección.....	6
Figura 5 Alumnos en labor de corrección de falla sin equipo anti-caídas.....	7
Figura 6 Acción de mantenimiento sin ninguna norma de seguridad.	7
Figura 7 Realizando limpieza técnica en poste.	10
Figura 8 Toma de lecturas de temperatura y corriente.....	11
Figura 9 Realizando corte de energía.	11
Figura 10 Mantenimiento de bobinas de corriente en poste.....	11
Figura 11 Retiro de equipo dañado.	12
Figura 12 Inspección sensorial con revisión de medidor y bobinas.....	12
Figura 13 Pruebas de medidor en laboratorio de telecomunicaciones.....	12
Figura 14 Nido de araña y polvo en gabinete.....	13
Figura 15 Medidor en poste rajado.....	14
Figura 16 Conector RJ45 malo.....	14
Figura 17 Cable UTP dañado.....	14
Figura 18 Borneras de bobina de corriente con oxido.	15
Figura 19 Adaptador con oxido.	15
Figura 20 Cables de bobina de corriente tensos.....	15
Figura 21 Medidor y bobinas de corriente cubiertos por ramas.....	16
Figura 22 Bobinas sin medir corriente.....	16
Figura 23 Cableado y conexiones en gabinete.	40
Figura 24 Conexiones internas del medidor.....	41
Figura 25 Diagrama de conexión 3 fases 4 Hilos Estrella Directo.....	41
Figura 26 Bobina de corriente.	42
Figura 27 Entradas de datos y tensión a router wifi.	43
Figura 28 Conexiones de prueba de medidor.	61

Figura 29 Prueba de medidor utilizando dos patrones de trabajo y uno de referencia...	61
Figura 30 Flujograma de proceso de verificación de router.....	77
Figura 31 Ficha de constancia de recibido de operación de mantenimiento.....	79
Figura 32 Ficha de inspección de bobinas de corriente.	81

Capítulo I: Introducción.

Desde el mes de junio del año 2012, en el campus central de la Universidad de El Salvador, está en operación una red inalámbrica de medidores de energía eléctrica. La red recolecta datos de 27 subestaciones eléctricas. Dicha información es proporcionada por medidores que incorporan el protocolo MODBUS TCP/IP. Toda esta información es recolectada en una base de datos, que en algunos casos pueden llegar a tener 68 campos guardados cada quince minutos, por cada subestación. Esto genera una gran cantidad de información, que está siendo utilizada para el mejoramiento en el rendimiento de la red eléctrica actual, detectando fallas, mejorando el diseño, individualizando valores de consumo y contribuyendo con la formación académica de los estudiantes de la universidad [1]. Este sistema desde su instalación a la fecha ha sufrido deterioro físico por falta de mantenimiento preventivo y correctivo. El mantenimiento requiere de un protocolo con la intervención de personal calificado. El protocolo indicara las acciones de mantenimiento requeridas con el fin de mantener en operación los equipos instalados. Es por ello que este trabajo de graduación propone la creación de un protocolo de mantenimiento para redes inalámbricas de medidores de energía eléctrica. Éste deberá ser implementado inmediatamente, evitando de esta manera la degradación del sistema anteriormente descrito. El presente protocolo describe las diferentes operaciones a realizar en las revisiones periódicas. Dentro del mantenimiento propuesto se aplicará el mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y de actualización (ver Anexo A.1). Entendiéndose por mantenimiento preventivo como una serie de operaciones sistemáticas de acuerdo con un programa de revisiones periódicas. La experiencia demuestra que la inspección y revisión de los equipos permite descubrir el grado de obsolescencia de los mismos y la probabilidad de avería o falla. Este mantenimiento preventivo puede significar ahorro, ya que la revisión se realiza antes de que se produzca la avería.

Se entenderá por mantenimiento correctivo cuando este se realiza una vez que se presenta la avería o falla y por lo tanto no tiene una periodicidad concreta, este tipo de mantenimiento aumenta su importancia en la medida que el mantenimiento

preventivo es menor [2]. Dentro del término mantenimiento cabe incluir la renovación y mejora del sistema existente, donde es práctica bastante común el continuar con equipos obsoletos mucho después de convertirse en una carga financiera. Este trabajo de graduación presentará una serie de medidas y acciones a tomar partiendo de la necesidad de mantener en operación la red de medidores. Indicando la secuencia lógica y cronológica de cada una de las actividades. Indicando quien los realizará, que actividades han de desempeñarse y la justificación de todas y cada una de ellas. Ésto constituirá una guía indispensable que facilitará el mantenimiento de la red.

1.1 Necesidad del protocolo de mantenimiento.

La red inalámbrica de medidores de energía eléctrica del campus central de la Universidad de El Salvador se está deteriorando. Esto es por falta de un programa adecuado de mantenimiento. La propuesta de un protocolo que permita la operación de la red es fundamental para su futura operación. La falta de un programa de mantenimiento conduce a la rápida defunción de cualquier obra que se realice. Después de tres años es evidente que la red de medidores reciente la falta de un mantenimiento adecuado. Se ha realizado una inversión importante, sin tener en consideración un plan de mantenimiento, este trabajo de graduación pretende parcialmente ayudar a resolver este problema. El efecto negativo de falta de mantenimiento se contrarrestará con un conjunto de tareas preventivas. El protocolo de mantenimiento incluirá información de frecuencia, duración, permisos especiales, si el equipo estará en servicio o no, junto a procedimientos administrativos necesarios.

1.2 Antecedentes.

Después de la implementación del sistema de medición quedó en evidencia la falta de un programa de mantenimiento, que condujo a cierto grado de deterioro en los

equipos. Es evidente que la red de medidores reciente la falta de un mantenimiento adecuado, donde se supondría que el personal de la unidad de desarrollo físico debería de tener la obligación de mantener operativa la red, pero ésta se ha desentendido de esa responsabilidad. Como evidencia de lo anterior podemos ver la Figura 1 donde se muestran medidores fuera de servicio sin el manejo adecuado de su condición de falla y en la Figura 2 se tiene un medidor conectado a la red con sus bobinas sin medir la corriente de la carga.



Figura 1 Medidores fuera de servicio depositados en laboratorio.



Figura 2 Medidor fuera de servicio montado en poste.

1.3 Motivación para realizar el proyecto.

Este trabajo de graduación tiene como motivación el hecho de recuperar la plena operación de la red de medidores de energía eléctrica del campus central de la Universidad de El Salvador. Logrando esto con la ejecución de la propuesta de protocolo de mantenimiento. Que este mantenimiento alargue la vida útil de los medidores. Tener antecedentes de fallas en la red con el fin de prevenirlas. Que los ejecutores de mantenimiento practiquen condiciones seguras de trabajo. Con esto se pretende resolver parcialmente el deterioro que sufre la red de medidores.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar y poner en marcha un programa de mantenimiento para la red inalámbrica de medidores de energía eléctrica del campus central de la Universidad de El Salvador.

1.4.2 Objetivos específicos.

1. Analizar la posibilidad de restablecer la operación de los tres medidores que se encuentran fuera de servicio en la Escuela de Ingeniería Eléctrica.
2. Analizar la posibilidad de restablecer la operación del medidor que se encuentra fuera de servicio en la Facultad de Humanidades.
3. Restablecer la operación del medidor que se encuentra entre las facultades de agronomía y de la Facultad de Química y Farmacia.

4. Diseñar un programa de mantenimiento para todos los medidores.
5. Implementar el programa de mantenimiento para verificar la eficacia del mismo.
6. Identificar los requerimientos necesarios para hacer que la red opere de forma continua y sostenida a lo largo del tiempo.

1.5 Organización.

El trabajo se divide en cuatro partes claramente diferenciadas. La primera corresponde a este capítulo que presenta la necesidad, la motivación del proyecto y los objetivos del trabajo de graduación. La segunda parte tiene que ver con la seguridad en la realización del mantenimiento. La tercera parte contiene lo necesario para la ejecución del mantenimiento de forma segura y eficiente a través de pasos con el auxilio de sus respectivas fichas de trabajo, material y equipo a utilizar junto a conocimientos de utilidad, capítulo denominado como protocolo de mantenimiento. Finalmente el cuarto capítulo se muestra el análisis FODA, conclusiones y líneas futuras referente a este trabajo de graduación. Cada una de estas partes se desarrollará a continuación.

1.6 Planteamiento del problema.

Se visitaron todas las subestaciones del campus que tienen medidores. Donde se pudo inspeccionar la forma en que se debería realizar algún tipo de procedimiento de mantenimiento en puntos fuera o en mala operación. Las visitas arrojaron problemas de seguridad, de falta de apoyo institucional, problemas en algunos medidores y hallazgos significativos desfavorables a la red. Estos se explican con más detalle a continuación.

1.6.1 Prácticas inseguras de trabajo.

Se observó un ambiente que no resguarda al personal de accidentes de trabajo. Los ejecutores del mantenimiento se encuentran expuestos a percances y/o accidentes como se observa en la Figuras 3-6. Cuando se realiza algún tipo de trabajo de mantenimiento ya sea en azoteas de edificios o en subestaciones en postes se está expuesto a riesgos y peligros que pueden provocar accidentes. Pudiendo causar lesiones permanentes e incluso la muerte.



Figura 3 Subiendo por escalera inadecuadamente y sin equipo de seguridad personal.



Figura 4 Realizando labor de mantenimiento correctivo sin equipo de protección.



Figura 5 Alumnos en labor de corrección de falla sin equipo anti-caídas.



Figura 6 Acción de mantenimiento sin ninguna norma de seguridad.

1.6.2 Problemas en algunos medidores.

Al iniciar este trabajo de graduación se encontraron cinco medidores completamente fuera de servicio. Tres de ellos depositados en el laboratorio de telecomunicaciones de la Escuela de Ingeniería Eléctrica. El cuarto se encontraba instalado en Facultad de Humanidades. También, había un quinto medidor ubicado entre las facultades de Agronomía y de Química y Farmacia, que tenía inutilizada su componente de radio.

1.6.3 Falta de apoyo institucional.

El apoyo por parte de las autoridades responsables del buen funcionamiento del sistema de medidores no existe. Se supondría que el personal de la unidad de desarrollo físico debería de tener la obligación de mantener operativa la red, pero éste se ha desentendido de esta responsabilidad.

1.6.4 Hallazgos significativos.

En el recorrido por todos los puntos de medición de energía, se pudo indagar el estado y las condiciones actuales de mantenimiento. Estas condiciones se resumen en la Tabla 1.

Condiciones actuales de mantenimiento.	MALO	BUENO	REGULAR	EXCELENTE
Recurso humano disponible actual.	X			
Recurso humano utilizado.	X			
Medidas de seguridad.	X			
Material y equipo para mantenimiento.	X			
Políticas de mantenimiento.	X			
Funcionamiento de equipos instalados.			X	
Apoyo Institucional.	X			
Presupuesto para mantenimiento.	X			
Bobinas de corriente en buen estado.			X	
Medidores de corriente en buen estado.			X	
Apoyo por parte del fabricante o distribuidor de equipo.	X			
Repuesto en stock y gestión de materiales.	X			
Plan de mantenimiento.	X			
Respuesta a la falla de equipos.	X			
Inspecciones de campo a puntos de medición.	X			
Periodicidad de las inspecciones.	X			
Revisiones sistemáticas programadas.	X			
Realización de inspecciones o pruebas.	X			
Limpiezas técnicas.	X			
Realización de Mantenimiento Correctivo Programado.	X			
Implementación de mejoras.	X			
Historial documentado de verías graves y averías repetitivas.	X			
Impacto ambiental.				X

Tabla 1 Resumen de condiciones encontradas en red de medidores inalámbricos.

1.7 Prueba piloto de mantenimiento.

Debido a la necesidad de investigar las condiciones actuales de los equipos instalados, surgieron las preguntas siguientes: ¿Están siendo afectados los equipos por el clima? ¿Existen elementos dañados? ¿Es viable legal y físicamente el acceso a los puntos de medición? ¿Están en operación los puntos de medición? ¿Los datos enviados son exactos?

Las respuestas a estas preguntas fueron de utilidad para para el punto de partida de la elaboración de un protocolo de mantenimiento. Fue beneficioso el hecho de saber qué cambios han ocurrido desde su instalación hace cuatro años a la fecha. Ayudando a mantener en operación los medidores, luego de los hallazgos que indicaron la posibilidad de futuras fallas. Donde surgieron ideas y recomendaciones para futuros mantenimientos. Se pudo generalizar las soluciones a las situaciones encontradas conociendo anomalías encontradas en los equipos. Nos ayudó a crear fichas para recolectar datos y ser incluidas al protocolo. Debido a esto se ejecutó el mantenimiento piloto identificando lo que se debe hacer para lograr el buen funcionamiento de la red.

Las pruebas pilotos se realizaron comenzando por la facultad de economía, hasta completar un total de 16 de 27 puntos, siendo esto suficiente para la detección de carencias en el área de mantenimiento. En las Figuras 7-13 se muestran algunas acciones realizadas.



Figura 7 Realizando limpieza técnica en poste.



Figura 8 Toma de lecturas de temperatura y corriente.



Figura 9 Realizando corte de energía.



Figura 10 Mantenimiento de bobinas de corriente en poste.



Figura 11 Retiro de equipo dañado.



Figura 12 Inspección sensorial con revisión de medidor y bobinas.

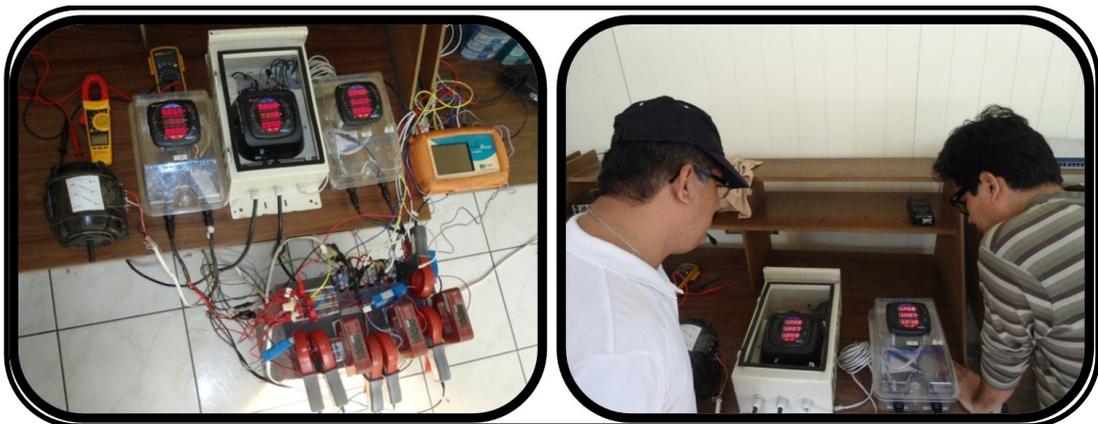


Figura 13 Pruebas de medidor en laboratorio de telecomunicaciones.

1.8 Resultados de la prueba piloto de mantenimiento.

Como condición más importante en el mantenimiento la cual es la seguridad, se pudo constatar la falta de equipo y prácticas seguras. Los medidores instalados dieron muestra de estar siendo afectados por el medio ambiente; por polvo, descargas atmosféricas e insectos. Se detectó medidor en poste rajado el cual con mucha probabilidad no resistiría un sismo de gran magnitud, borneras con tornillos que necesitaban apreté, fuentes de router malas o recalentadas, conector RJ45 dañado, cable UTP dañado, borneras de bobinas sucias, adaptadores de tensión con conector RJ11 con oxido, cables de medidor a bobinas de corriente tensos, medidores cubiertos por ramas de árboles, pérdida de IP de los medidores. Estas anomalías son mostradas en las siguientes Figuras 14 - 22.



Figura 14 Nido de araña y polvo en gabinete.



Figura 15 Medidor en poste rajado.



Figura 16 Conector RJ45 malo.



Figura 17 Cable UTP dañado.



Figura 18 Borneras de bobina de corriente con oxido.

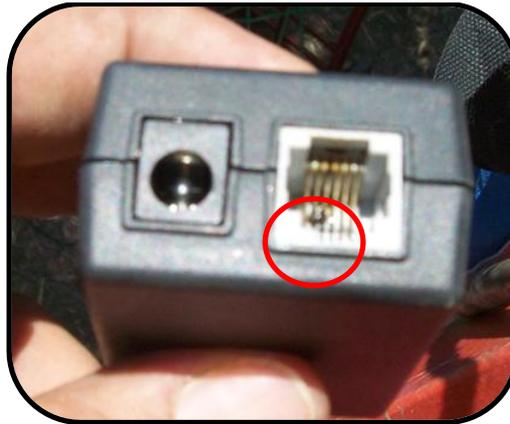


Figura 19 Adaptador con oxido.



Figura 20 Cables de bobina de corriente tensos.



Figura 21 Medidor y bobinas de corriente cubiertos por ramas.



Figura 22 Bobinas sin medir corriente.

De las pruebas piloto se obtuvo tiempos de la ejecución del mantenimiento, obteniendo así datos estadísticos de los mismos. Datos mostrados en las Tablas 2-3.

ITEM	PUNTO	NOMBRE DE PUNTO	TIPO DE MANTENIMIENTO	FECHA	TIEMPO		
					INICIO	FINAL	TOTAL (min)
1	5	Economía4	Preventivo	23/09/2015	09:00 a.m.	11:15 a.m.	135
2	4	Economía3	Preventivo	23/09/2015	11:30 a.m.	01:25 p.m.	115
3	3	Economía2	Preventivo	23/09/2015	11:22 a.m.	12:20 p.m.	102
4	2	Economía1	Preventivo	23/09/2015	12:26 p.m.	01:15 p.m.	101
5	15	Auditórium Mármol	Preventivo	07/10/2015	11:30 a.m.	01:15 p.m.	105
6	14	BIB-FIA	Preventivo	09/10/2015	12:00 p.m.	01:30 p.m.	90
7	10	Humanidades3	Preventivo	09/10/2015	01:45 p.m.	03:20 p.m.	95
8	13	Periodismo	Preventivo	09/10/2015	03:35 p.m.	05:00 p.m.	85
9	12	Cafetines	Preventivo	14/10/2015	11:30 a.m.	12:50 p.m.	80
10	11	Cafetería UES	Preventivo	14/10/2015	12:10 p.m.	02:20 p.m.	90
11	9	Humanidades2	Preventivo	19/10/2015	12:30 p.m.	02:23 p.m.	113
12	7	Economía6	Preventivo	19/10/2015	20:30 pm	04:20 p.m.	110
13	24	Odontología1	Preventivo	26/10/2015	01:00 p.m.	02:40 p.m.	100
14	25	Odontología2	Preventivo	26/10/2015	02:50 p.m.	04:00 p.m.	110
15	26	Odontología3	Preventivo	26/10/2015	04:10 p.m.	05:25 p.m.	95
16	23	CompartidoM23	Preventivo	26/10/2015	01:30 p.m.	03:50 p.m.	140
17	15	Auditórium Mármol	Correctivo (en bobinas)	15/12/2015	10:10 a.m.	11:47 p.m.	97

Tabla 2 Detalles de prueba piloto de mantenimiento.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
Puntos: 2-3-4-5-7-8-9-10-11-12-13-14-15-23-24-25-26				
Promedio	moda	mediana	máx.	min
104.125	90	101.5	140	80

Tabla 3 Datos estadísticos de tiempos de ejecución de mantenimiento.

1.9 Propuesta de mantenimiento.

Luego de haber realizado mantenimientos pilotos en 17 subestaciones e identificando los tipos de mantenimiento que requiere la red de medidores de energía eléctrica (ver Anexo A.4). En base a la experimentación surge la propuesta de mantenimiento dado en Tabla 4.

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO					
Elemento	Ejecutores	Periodicidad	Tipo	Fechas	Observaciones
Medidores	Dos electricistas calificados con experiencia de trabajar en las alturas, con capacitación en medidas de seguridad.	Cada 18 meses.	Mantenimiento Preventivo, correctivo y de actualización, con inspección sensorial.	Ciclo impar.	Se evita la época lluviosa. Calibración de medidores cada cinco años.
Bobinas de corriente	Dos electricistas calificados con experiencia de trabajar en las alturas, con capacitación en medidas de seguridad.	Cada 24 meses.	Mantenimiento preventivo con inspección sensorial.	Ciclo impar.	Se evita la época lluviosa.
Router wifi	Dos electricistas calificados con experiencia de trabajar en las alturas, con capacitación en medidas de seguridad.	Cada 18 meses.	Mantenimiento Preventivo, correctivo y de actualización, con inspección sensorial.	Ciclo impar.	Se evita la época lluviosa. Se realiza al momento de realizar mantenimiento a medidores.

Tabla 4 Propuesta de mantenimiento en base a la experimentación en prueba piloto.

Capítulo II: Seguridad en el mantenimiento de medidores.

En el presente capítulo se determinan los criterios en materia de prevención de accidentes laborales. Éstos permitirán realizar las operaciones de mantenimiento del sistema de medición de una forma segura. Para esto se siguen los criterios de seguridad eléctrica establecidos en la *norma sobre los requisitos de seguridad eléctrica de los lugares de trabajo*, NFPA 70E [3] [4]. La prevención de riesgos laborales debe ser considerada como un objetivo prioritario que tiene que estar presente en todas y cada una de las actividades de mantenimiento. Es obligación de la Universidad de El Salvador desarrollar políticas de prevención de riesgos laborales adoptando las medidas necesarias para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores. Se deberá facilitar los medios humanos y materiales necesarios para una adecuada prevención de los riesgos. El supervisor de la labor de mantenimiento se encargará de las siguientes tareas: Velar por el respeto de todas las medidas de seguridad aplicables en todo el proceso de mantenimiento y facilitar a los elementos humanos los medios necesarios para desarrollar su trabajo con seguridad. Por otra parte, los ejecutores del mantenimiento en general, se ocuparán de utilizar y mantener correctamente los medios facilitados para desarrollar su trabajo con seguridad. Además, deberán respetar rigurosamente las medidas de seguridad sobre la prevención de riesgos laborales, vigilar y velar por la seguridad y salud de sus compañeros de trabajo. Se espera que la UES ofrezca condiciones de trabajo que garanticen la seguridad ocupacional. Es vital capacitar a alumnos en prácticas seguras basadas en normas. La salud ocupacional constituye un derecho de toda persona. En la universidad de El Salvador, deberá ser de gran importancia la salud integral de sus miembros. La protección de su estado físico y mental del supervisor y ejecutores del mantenimiento será indispensable, para lograr una mayor productividad y rendimiento en el desarrollo integral tanto del individuo como de la organización. En el mantenimiento de la red de medidores deben estar presentes prácticas seguras. Éstas serán de seguridad eléctrica dirigidas a quienes ejecutaran el

mantenimiento. Ya que ellos deberán trabajar cerca de conductores eléctricos o partes de circuitos energizados.

Mediante entrenamiento previo en seguridad, el mantenimiento será implementado por el supervisor y ejecutores. Con el entrenamiento, los ejecutores deberán entender los peligros asociados a la energía eléctrica y los posibles daños físicos y humanos, siendo también instruidos en métodos de primeros auxilios y procedimientos de emergencias [5] [6]. El entrenamiento deberá ser recibido para tener conocimiento de la operación de equipos y métodos de trabajo a seguir. Se recibirá entrenamiento para reconocer y evitar los peligros eléctricos que se puedan presentar. Estas personas deberán estar familiarizadas con: el uso apropiado de técnicas de prevención, del uso de equipos personales de protección, el conocimiento de materiales aislantes, de blindaje, herramientas y equipo de medición. Como mínimo se deberá recibir entrenamiento en todo lo siguiente:

- a) Las destrezas y técnicas necesarias para distinguir partes energizadas expuestas en las subestaciones.
- b) Las destrezas y técnicas necesarias para determinar la tensión nominal de partes energizadas expuestas.
- c) Las distancias de aproximación a partes energizadas para protección contra choque, distancias dadas en Tabla N 6.
- d) El procedimiento de toma de decisiones necesario para determinar el grado y el alcance del peligro, el equipo de protección personal y planeamiento del trabajo para realizar la tarea de manera segura.

2.1 Exigencias generales.

Serán condiciones exigidas para salvaguardar la integridad física de los participantes del mantenimiento las cuales se citaran a continuación.

2.1.1 Exigencias para ejecutar mantenimiento en proximidad de conductores o circuitos eléctricos.

Las prácticas de mantenimiento relacionadas con la seguridad se deberán utilizar para salvaguardar a los ejecutores de tener un accidente mientras se esté trabajando en o cerca de conductores o partes de circuitos eléctricos expuestos que están o puedan llegar a estar energizados. Deberán existir condiciones de trabajo eléctricamente seguras, antes de que se trabaje en o cerca de conductores y partes de circuitos eléctricos. Sólo se permitirá que las personas calificadas trabajen en el mantenimiento de acuerdo a lo especificado en Anexo A.2.

2.1.2 Exigencias de procedimiento para lograr condiciones eléctricas seguras al hacer cortes de energía.

Se identificaron cuatro pasos que garantizan unas condiciones mínimas de seguridad cuando se realizan los mantenimientos de los medidores en las subestaciones. Esos pasos se describen a continuación. Primero, determinar todas las posibles fuentes de alimentación eléctrica de los medidores consultando los planos, diagramas, etiquetas de identificación, aplicables y actualizadas. Segundo, después de interrumpir de manera apropiada la corriente de carga, abrir el o los dispositivos de desconexión de cada fuente. Tercero, cuando sea posible, verificar visualmente que todos los dispositivos de conexión estén completamente abiertos y que los interruptores automáticos tipo extraíble estén extraídos en posición completamente desconectados. Cuarto, utilizar un medidor de tensión con los valores nominales adecuados para probar cada conductor de fase o parte de circuito, para verificar que ellos se encuentran desenergizados.

2.1.3 Desconexión y conexión de circuitos eléctricos de potencia.

Para la apertura y cierre de circuitos, se deberán utilizar: conmutadores, interruptores automáticos, y otros dispositivos con valores nominales de carga, específicamente diseñados como medios de desconexión, para la apertura, inversión, o cierre, de circuitos bajo condiciones de carga. A los conectores de cables no del tipo de desconexión bajo carga, fusibles, terminales, y conexiones de empalme de cables, no se les permitirá que se utilicen para esos propósitos, excepto en una emergencia.

2.1.4 Distancia de seguridad a partes energizadas.

Ninguna persona calificada se acercará o tomará algún objeto conductor a una distancia menor a la definida en la Tabla 6 de límites de aproximación a partes energizadas para protección contra choque. A menos que la persona calificada esté aislada o resguardada de las partes energizadas mediante guantes aislantes o mangas aislantes.

2.1.5 Instructivo de mantenimiento.

El responsable del mantenimiento deberá utilizar instructivo de mantenimiento y pasos de ejecución con los ejecutores que participarán. Los pasos de ejecución contiene temas como: los peligros asociados con el trabajo, los procedimientos de trabajo, precauciones especiales, controles de la fuente de energía y exigencias de equipo de protección personal.

2.2 Exigencias para trabajar cerca de líneas aéreas no aisladas.

Cuando el mantenimiento se realiza en lugares donde existen líneas aéreas energizadas no aisladas que no están resguardadas o independientes, se tomarán precauciones para impedir que se entre en contacto con esas líneas directamente con cualesquiera de las partes no resguardadas del cuerpo o indirectamente a través de materiales conductivos, herramientas, o equipos.

2.2.1 Trabajo cerca de líneas aéreas no aisladas y energizadas.

Cuando el trabajo que se va a realizar es tal que el contacto con líneas aéreas energizadas no aisladas es posible, las líneas deberán estar desenergizadas y puestas a tierra de manera visible en el punto de trabajo o resguardadas adecuadamente.

2.2.2 Acción de corte de energía eléctrica.

Si las líneas van a estar desenergizadas, se deberá convenir con la persona que opera o controla éstas para que las ponga a tierra de manera visible en el punto de trabajo. En el caso de la facultad de Ingeniería y Arquitectura el encargado sería el actual jefe de mantenimiento.

Si se hacen acuerdos para utilizar medidas de protección tales como: resguardar, separar o aislar, estas precauciones deberán impedir que cualquier trabajador entre en contacto con esas líneas directamente con cualquier parte de su cuerpo o indirectamente a través de: materiales conductivos, herramientas o equipos.

2.2.3 Responsabilidad del supervisor encargado y del ejecutor.

Tanto el supervisor como el ejecutor tendrán la responsabilidad de garantizar que los resguardos o las medidas de protección. Los ejecutores deberán cumplir con los métodos de trabajo establecidos y deberán usar equipo de protección.

2.3 Exigencias sobre la formación en seguridad de los ejecutores.

El encargado de la red de medidores velará por la existencia de capacitación de seguridad eléctrica de los participantes en el mantenimiento. Esta capacitación deberá transmitir el conocimiento de los potenciales peligros a que los ejecutores están sometidos. Éste infundirá auto disciplina requerida para realizar trabajo en o cerca de conductores y partes de circuitos eléctricos energizados expuestos. Proporcionará los procedimientos para trabajar en o cerca de partes energizadas antes de la ejecución de mantenimiento.

2.3.1 Condición de alerta ante cualquier indicio de peligro.

Los ejecutores se deberán instruir para que en todo momento estén alerta cuando están trabajando cerca de partes energizadas en situaciones donde puedan existir peligros eléctricos no esperados. No se les permitirá realizar los mantenimientos cuando su condición de alerta esté reconociblemente afectada debido a enfermedad, fatiga u otras razones.

2.3.2 Recomendaciones respecto a las prendas.

Se instruirá que no se deberá vestir artículos conductivos de joyería y ropas (tales como: relojes, brazaletes, anillos, cadenas, collares, ropa con hilos conductivos, cascos metálicos, marcos metálicos de gafas sueltos). No se deberán llevar puestos cuando ellos puedan estar en peligro de contacto eléctrico con partes energizadas. Los materiales conductivos, herramientas y equipos, que están en contacto con cualquier parte del cuerpo de un trabajador, se manipularán de tal manera que se evite el contacto accidental con partes energizadas.

2.3.3 Conocimiento sobre herramientas y equipos aislados.

Se enseñará a utilizar herramientas y/o equipos de mano aislados cuando se esté trabajando dentro de la frontera límite de aproximación de partes vivas, cuando las herramientas o el equipo de mano puedan hacer contacto accidental. Las herramientas aisladas se deberán proteger contra daño del material aislante. Usar los equipos para manipular fusibles o porta fusibles aislados para la tensión del circuito, al remover o instalar el fusible si los terminales del fusible están energizados. Las sogas utilizadas cerca de partes energizadas serán no conductivas. Las escaleras portátiles tendrán paralelos laterales no conductivos si ellas se utilizan donde el trabajador o la escalera pueden tener contacto con partes energizadas.

2.3.4 Realización de limpieza de manera segura.

Cuando las partes energizadas presentan un peligro de contacto eléctrico, se les enseñará que no deberán realizar tareas de limpieza dentro de la frontera límite de aproximación donde existe la posibilidad de contacto, a menos que se provean

adecuadas salvaguardas (tales como equipos o barreras aislantes) para impedir el contacto. Materiales de limpieza eléctricamente conductivos (incluyendo sólidos conductivos tales como: lana de acero, telas metalizadas, silicona, así como soluciones líquidas conductivas) no se utilizarán dentro de la frontera límite de aproximación, a menos que se sigan procedimientos para impedir el contacto eléctrico.

2.3.5 Capacitación en materia de falla.

Cuando es evidente que un equipo eléctrico puede fallar y herir a los ejecutores del mantenimiento, el equipo eléctrico se deberá desenergizar a menos que se pueda demostrar que la desenergización introduce peligros adicionales o mayores, o no es factible debido al diseño y limitación de operación del equipo. Hasta que el equipo se desenergice o repare, los trabajadores deberán protegerse de los peligros asociados con la inminente falla del equipo.

2.4 Exigencias de equipos de protección personal.

Al desarrollar la actividad de mantenimiento de la red, deberán usar, equipo de protección que esté diseñado y construido para la parte específica del cuerpo que se va a proteger y para el trabajo que se va a realizar. El equipo de protección deberá mantener condiciones seguras y confiables. Estos deberán inspeccionarse visualmente antes de usarlos. Las exigencias del equipo de protección personal serán en base a las normas de la Tabla 5 de normas de equipos de protección (ver anexo A.9).

Tema	Número de norma y título.
Protección de la cabeza	ANSI Z89.1, Requirements for Protective Headwear for Industrial Workers, 1997
Protección de ojos y cara	ANSI Z87.1, Practice for Occupational and Educational Eye and Face Protection, 1989
Guantes	ASTM D 120, Standard Specification for Rubber Insulating Gloves, 1995
Mangas	ASTM D 1051, Standard Specification for Rubber Insulating Sleeves, 1995
Guantes y mangas	ASTM F 496, Standard Specification for In-Service Care of Insulating Gloves and Sleeves, 1997
Protectores de cuero	ASTM F 696, Standard Specification for Leather Protectors for Rubber Insulating Gloves and Mittens, 1997
Calzado	ASTM F 1117, Standard Specification for Dielectric Overshoe Footwear, 1993 ANSI Z41, Standard for Personnel Protection, Protective Footwear, 1991
Inspección visual	ASTM F 1236, Standard Guide for Visual Inspection of Electrical Protective Rubber Products, 1996
Ropa/Vestimenta	ASTM F 1506, Standard Specification for Protective Wearing Apparel for Use by Electrical Workers When Exposed to Momentary Electric Arc and Related Thermal Hazards, 1998

Tabla 5 Normas de equipos de protección.

2.4.1 Equipo de protección de cabeza.

Se deberá vestir protección no conductiva en la cabeza, ya que siempre existe peligro de heridas en la cabeza causadas por choque eléctrico o quemaduras debidas al contacto con partes energizadas o por objetos que vuelan como resultado de una explosión eléctrica [7] [8].

2.4.2 Equipo de protección de ojos, cara cuello y el mentón.

Se deberá usar equipo de protección para los ojos, siempre que exista peligro de heridas causadas por: arcos eléctricos o por objetos que vuelan como resultado de una explosión eléctrica. Se usarán caretas (protección facial) fabricadas con policarbonato,

que son más apropiadas para uso en situaciones con relativamente baja exposición a la radiación. La protección de los ojos (anteojos o gafas de seguridad) siempre deberá utilizarse por debajo de las caretas, ya sea protección de arco eléctrico o por objetos que vuelan como resultado de una explosión eléctrica [9].

2.4.3 Equipo de protección del cuerpo.

Los trabajadores deberán vestir ropas resistentes, camisa manga larga y pantalones de mezclilla. Estos deberán cubrir completamente como sean posibles las áreas que potencialmente pudiesen estar expuestas.

2.4.5 Equipo de protección de las manos.

Los asignados a dar el mantenimiento deberán vestir guantes de cuero cuando existe el peligro de heridas en las manos, causadas por choque eléctrico y quemaduras debidas al contacto con partes energizadas. Los guantes de cuero de trabajo pesado dan buena protección [10].

2.4.6 Equipo de protección de los pies y de las piernas.

Los zapatos de cuero de trabajo pesado dan un grado significativo de protección a los pies. Utilizando calzado aislado como protección contra las tensiones de paso y de contacto, exigiéndose botas dieléctricas. El potencial de paso y de contacto se ilustra en Anexo A.7.

2.4.7 Equipo de protección anti-caída y de anclaje.

Estos son equipos de protección individual contra caídas. Este equipo consistirá en cinturón de seguridad y arnés. Estos se deben utilizar para trabajar en las alturas específicamente al dar mantenimiento al equipo de medición de subestaciones montadas en postes [11] [12].

2.4.8 Selección de equipo de protección personal.

Los equipos de protección personal deben ser seleccionados de acuerdo al peligro o riesgo que implica el mantenimiento de la red de medidores. Estos deberán ajustarse a las normas dadas en la Tabla 5 y Tabla 7.

2.5 Exigencias de Otros equipos de protección.

Se conocerá como otros equipos de protección aquellos cuya función será proteger a la persona de los peligros existentes en el mantenimiento y no son usados sobre el cuerpo.

2.5.1 Requisitos para las herramientas aisladas.

Las herramientas aisladas deberán tener los valores nominales de la tensión a la cual se van a utilizar. Las herramientas aisladas deberán estar diseñadas y construidas para las condiciones ambientales a las cuales van estar expuestas y por la manera en que se van a utilizar. Varas plásticas reforzadas con fibra de vidrio. Las varas (pértigas)

y tubos de plástico reforzado con fibra de vidrio utilizados para herramientas de línea viva deberán cumplir las exigencias de ASTM F 711 (ver A.9).

2.5.2 Señales y etiquetas de seguridad.

Cuando sea necesario advertirle a los trabajadores sobre peligros eléctricos que los puedan amenazar, se deberán utilizar: señales de seguridad, símbolos de seguridad o etiquetas de prevención de accidentes. Esas señales y etiquetas deberán cumplir las exigencias de la norma ANSI Z535.

2.5.3 Barricadas.

Se deberán utilizar barricadas y señales de seguridad para impedir o limitar a las áreas de trabajo en las que hay partes energizadas. No se deberán utilizar barricadas conductivas cuando ellas puedan causar un peligro eléctrico. Las barricadas se deben ubicar a una distancia no menor que las fronteras límites de aproximación dadas en la Tabla 6.

Rango de tensión nominal del sistema, fase.	Frontera límite de aproximación.	
	Conductor expuesto móvil.	Parte de circuito fijo expuesto.
0 to 50	No especificado	No especificado
51 to 300	10 pies 0 pulgadas	3 pies 6 pulgadas
301 to 750	10 pies 0 pulgadas	3 pies 6 pulgadas
751 to 15 kV	10 pies 0 pulgadas	5 pies 0 pulgadas
15.1 kV to 36 kV	10 pies 0 pulgadas	6 pies 0 pulgadas
36.1 kV to 46 kV	10 pies 0 pulgadas	8 pies 0 pulgadas

46.1 kV to 72.5 kV	10 pies 0 pulgadas	8 pies 0 pulgadas
72.6 kV to 121 kV	10 pies 8 pulgadas	8 pies 0 pulgadas
138 kV to 145 kV	11 pies 0 pulgadas	10 pies 0 pulgadas
161 kV to 169 kV	11 pies 8 pulgadas	11 pies 8 pulgadas
230 kV to 242 kV	13 pies 0 pulgadas	13 pies 0 pulgadas
345 kV to 362 kV	15 pies 4 pulgadas	15 pies 4 pulgadas
500 kV to 550 kV	19 pies 0 pulgadas	19 pies 0 pulgadas
765 kV to 800 kV	23 pies 9 pulgadas	23 pies 9 pulgadas

Tabla 6 Límites de aproximación a partes energizadas.

2.5.4 Normas de otros equipos de protección.

Estas normas serán sobre equipos que no serán de colocación al cuerpo, como escaleras, señalizaciones, herramientas de mano etc. Estas son listadas en la Tabla 7.

Tema.	Número de norma y título.
Escaleras	ANSI A14.1, Safety Requirements for Portable Wood Ladders, 1994 ANSI A14.3, Safety Requirements for Fixed Ladders, 1984 ANSI A14.4, Safety Requirements for Job-Made Ladders, 1992 ANSI A14.5, Safety Requirement for Portable Reinforced Plastic Ladders, 1992
Señales y etiquetas de Seguridad	ANSI Z535, Series of Standards for Safety Signs and Tags, 1998
Mantas aislantes	ASTM D 1048, Standard Specification for Rubber Insulating Blankets, 1998

Cubiertas	ASTM D 1049, Standard Specification for Rubber Covers, 1998
Mangueras	ASTM D 1050, Standard Specification for Rubber Insulating Line Hoses, 1990
Mangueras y cubiertas	ASTM F 478, Standard Specification for In-Service Care of Insulating Line Hose and Covers, 1992
Mantas aislantes	ASTM F 479, Standard Specification for In-Service Care of Insulating Blankets, 1995
Herramientas/escaleras de fibra de vidrio	ASTM F 711, Standard Specification for Fiberglass-Reinforced Plastic (FRP) Rod and Tube Used; in Line Tools, 1989 (R 1997)
Protección Plástica	ASTM F 712, Standard Test Methods for Electrically Insulating Plastic Guard Equipment for Protection of Workers, 1988 (R1995)
Puesta a tierra temporal	ASTM F 855, Standard Specification for Temporary Protective Grounds to Be Used on De-energized Electric Power Lines and Equipment, 1997
Herramientas aisladas de Mano	ASTM F 1505, Standard Specification for Insulated and Insulating Hand Tools, 1994

Tabla 7 Normas de otros equipos de protección.

2.6 Exigencias de uso de equipos eléctricos.

Aquí se contemplan las exigencias para el buen uso de instrumentos y equipo de prueba, equipo portátil y manejo de equipos defectuosos.

2.6.1 Uso de instrumentos y equipos de prueba.

Solo personas capacitadas desempeñarán el trabajo de prueba en o sobre partes energizadas. El equipo de prueba deberá tener los valores adecuados en cuanto a tensión, corriente y aislamiento. Estos estarán diseñados para las condiciones ambientales y para la manera en que ellos se utilizarán. Antes de que el equipo se utilice, todos sus accesorios como: terminales de conexión, cuerdas de potencia, se deberán inspeccionar visualmente para establecer defectos y daños externos.

2.6.2 Uso de equipo eléctrico portátil.

El equipo portátil deberá manipularse de una manera que no cause daño. El cordón flexible eléctrico conectado al equipo no se deberá utilizar para levantar o bajar los equipos. El cordón flexible no se deberá asegurar con grapas o suspender de una manera que pueda dañar el enchufe o el aislamiento. Las manos del trabajador no deberán estar húmedas cuando se conecte o desconecte del toma de energía cordones flexibles.

2.6.3 Uso de equipos defectuosos.

Si existe un defecto o evidencia de daño que pueda exponer a un empleado a heridas, los elementos defectuosos o dañados se deberán retirar del servicio, y ningún trabajador de mantenimiento los deberá utilizar hasta que se hayan hecho las necesarias reparaciones y pruebas para que el equipo vuelva a ser seguro.

2.7 Instrucciones de uso de equipo de seguridad.

Aquí se da la información necesaria que explica y que describe la acción, método, o tarea, que deberá ser ejecutada para el buen uso del equipo de seguridad utilizado en el mantenimiento de medidores de energía.

2.7.1 Escaleras de extensión.

La escalera portátil de extensión es un equipo de trabajo con dos piezas paralelas o ligeramente convergentes unidas a intervalos con peldaños por los que una persona puede ascender o descender. La escalera portátil se utilizará para la ejecución del mantenimiento de los equipos en subestaciones montadas en poste. La mayoría de los accidentes son evitables si se toman las debidas precauciones en la adquisición, selección, uso y estado de conservación de las escaleras. Este pequeño esfuerzo y tiempo empleados en prevención facilitarán el trabajo y evitará riesgos. La prudencia y el sentido común son las mejores medidas de prevención. La escalera de extensión dispone de varios tramos que se deslizan y permiten variar su longitud de forma manual o con un cable como se muestra en Anexo A.7.

Los riesgos del mal uso de escalera de extensión son varios. Entre los cuales tenemos caídas a distinto nivel por deslizamiento de la escalera (apoyo precario, suelo en pendiente, viento, escalera muy corta o situada demasiado verticalmente, etc.). Otro riesgo es la pérdida de equilibrio (resbalones, gestos bruscos originados por el transporte de cargas pesadas o el manejo de herramientas). También se toma como riesgo la rotura de sus elementos (cadena de seguridad, peldaños, etc.). Sin olvidar los atrapamientos por desencaje, rotura de piezas o desplegado de escaleras extensibles, la caída de objetos o herramientas y golpes o sobreesfuerzos durante el transporte etc.

Las escaleras deben ser inspeccionadas visualmente cada vez que se van a usar y para el caso de, mantenimiento de medidores UES debe hacerse una inspección anual que debe quedar registrada. Desarrollar su registro de inspección de acuerdo a las indicaciones de inspección siguientes. Antes de subir, debe controlarse que este en buenas condiciones de utilización y que tenga todos sus accesorios en buenas condiciones tales como: Sogas de extensión y amarre, ganchos de seguridad, frenos de traba en los peldaños, pernos, bisagras, mariposas en buen estado, peldaños o escalones sanos y sin movimiento (rajados, flojos o mal ensamblados), que no tengan peldaños indebidamente substituidos por barras de metal, alambres o sogas, peldaños que no tengan sustancias extrañas como grasa o aceite, los espacios entre escalones debe estar uniforme, los pasamanos que no estén rajados, debe tener las zapatas de seguridad en buen estado, sin señales de corrosión, sin grasa en los escalones. Como indicaciones de usos de escaleras tendríamos: Primeramente utilizar escalera bajo norma ASTM F 711, al usarla la base de la escalera debe quedar sólidamente asentada evitando mover ni extender la escalera mientras está siendo utilizada, tanto los escalones como las suelas del calzado estén limpias de grasa, barro o cualquier otra sustancia deslizante, se colocará aviso de trabajo en progreso, no se debe intentar alcanzar más allá de nuestras posibilidades, la escalera se coloca de forma que la distancia desde la base a la pared sea aproximadamente una cuarta parte de la longitud de la escalera entre ambos apoyos (formando un ángulo aproximado de 75 grados con la horizontal) y cuando se utilice para acceder a lugares elevados deberá prolongarse al menos un metro por encima de éstos, el ascenso, descenso y los trabajos desde escaleras se efectuarán de frente a las mismas agarrándose a los peldaños y no a los largueros ya que son más fáciles de sujetar en caso de que los pies resbalen, si se trabaja a más de 3.5 m de altura se utilizará arnés de seguridad, aunque se recomienda su uso a partir de los 2 m de altura, cuando exista punto de anclaje para el mismo, el arnés se debe fijar a un elemento fijo estable distinto de la escalera, toda escalera debe estar amarrada al momento de ser usada y mientras se la está amarrando, debe permanecer una persona al pie de la misma para sujetarla, cuando no se pueda amarrar la escalera una persona debe permanecer sosteniéndola desde abajo durante el lapso de uso, Se debe también asegurar en su parte superior para evitar que se

caiga o deslice, no se debe utilizar escalera para el transporte de materiales, mientras sube o baja por la escalera, nunca lleve herramientas u objetos que le impida sujetarse con ambas manos. Siempre utilice una soga para subir o bajar el material y un solo trabajador sobre la escalera.

Regularmente no se piensa acerca de los peligros asociados con el uso de escaleras, las escaleras pueden ser muy peligrosas si no se utilizan correctamente. Siguiendo las recomendaciones anteriores del uso de escalera, los ejecutores del mantenimiento serán menos propensos a sufrir las lesiones asociadas con el uso de escalera [13] [14].

2.7.2 Carretilla de mano.

En la actividades de mantenimiento la carretilla de mano servirá al interior de campus universitario para transporte de materiales y equipo .En su sencillez de manejo y aparente inocuidad es donde reside precisamente su peligrosidad. Son frecuentes las lesiones sufridas por los operarios que las usan si desconocen las indicaciones de su uso. Muchos de los accidentes tienen como causa el uso de un tipo de carretilla inadecuado, el mal estado físico de la carretilla o la realización de forma insegura de la carga y descarga [15].

Se recomienda aprender a equilibrar la carga, a transportar materiales y no personas, no debe permitirse que lleven pasajeros, todo aquel que maneje una carretilla debe llevar calzado de seguridad y guantes, si se tiene que dejar una carretilla parada aunque sea por muy poco tiempo dejarla en un lugar seguro. No se debe utilizar una carretilla averiada, revisarla antes de usarla y mucho cuidado con las partes de la carretilla que pudiesen estén rotas o astilladas.

2.6.3 Cascos de seguridad.

La mejor protección frente a la perforación la proporcionan los cascos de materiales termoplásticos (policarbonatos, ABS, polietileno y policarbonato con fibra de vidrio). No deben utilizarse cascos con salientes interiores, ya que pueden provocar lesiones graves en caso de golpe lateral. Pueden estar provistos de un relleno protector lateral que no sea inflamable ni se funda con el calor. Por la posibilidad de contacto con conductores eléctricos desnudos, deben utilizarse exclusivamente cascos de materiales termoplásticos. Deben carecer de orificios de ventilación y los remaches y otras posibles piezas metálicas no deben asomar por el exterior del armazón. Debido a que se realizara mantenimiento en las alturas, estos deben estar provistos de barboquejo. Para mejorar la comodidad térmica el casquete debe ser de color claro. Cuando se trabaja a cierta altura es preferible utilizar cascos sin visera ni ala, con forma de "casquete" ya que estos elementos podrían entrar en contacto con alguna superficie y por el consiguiente riesgo de pérdida del equilibrio. Nunca utilizar de tipo sombrero.

2.7.4 Arnés anti-caídas.

Dispositivo de prensión del cuerpo destinado a parar las caídas. Este está constituido por bandas, elementos de ajuste, de enganche y otros elementos, dispuestos y ajustados de forma adecuada sobre el cuerpo de una persona para sujetarla durante una caída y después de la parada de ésta. Estos parten los esfuerzos de la frenada sobre las zonas fuertes del cuerpo asegurando una postura cómoda en caso de suspensión tras una caída.

Las recomendaciones de su uso serian que después de colocado al cuerpo se deben revisar los amarres estén correctos y seguros, el dispositivo de anclaje del equipo de protección individual contra caídas debe poder resistir las fuerzas que se originan al retener la caída de una persona. Los puntos de anclaje deben ser siempre seguros y fácilmente accesibles.

2.7.5 Cinturón de seguridad.

Permite al ejecutor trabajar en superficies elevadas manteniendo las manos libres. Este queda sujeto a argollas o anillos en D ubicados a ambos costados del cinturón. Aquí hay que revisar el estado del cinturón junto a sus argollas y ganchos de la línea de sujeción, estrobo o tirante (cuerda de seguridad).

Capítulo III: Protocolo de mantenimiento.

El propósito de este protocolo es el establecimiento de medios y acciones que se deben de llevar a cabo para mantener en operación la red de medidores. Este protocolo ha sido desarrollado en base a la experimentación. La experimentación requirió realizar una serie de mantenimientos de prueba que permitieron identificar factores que afectan el buen desempeño de la red.

Estos mantenimientos de prueba incluyeron limpieza, reparaciones y actualizaciones software. De aquí se partió para la elaboración fichas de mantenimiento y pasos a seguir. La función de las fichas es para control de tareas.

3.1 Componentes y descripción de los equipos instalados.

Este sistema de medición está compuesto de un medidor SHARK100S, SHARK 200 o SHARK200S [16] [17] [18], con tres o dos bobinas de corriente, esto depende de cuantas fases son monitorizadas. Los medidores en su mayoría están en subestaciones montadas en postes. Los medidores están dentro de un gabinete los cuales tienen a la par su respectivo router wifi o sobre la azotea de algún edificio cercano. En general los router wifi son alimentados por una fuente de 12 a 24 voltios o a través de un adaptador con conector RJ11.

La labor de mantenimiento requiere la actuación sobre cada uno de los siguientes componentes: medidor, bobinas y router. A continuación se describe cada uno de los tres componentes.

3.1.1 Medidores.

Estos medidores han sido instalados dentro de un gabinete el cual en la parte superior tiene una bornera adaptada y un toma hembra a 120 vac para la conexión de la fuente de alimentación del router. La parte inferior de gabinete tiene tres entradas. Una entrada es para cable de alimentación, la otra para el cable que conecta las bobinas de corriente y la tercera es de datos con alimentación del router. Estos detalles se muestran en las Figuras 23-25.

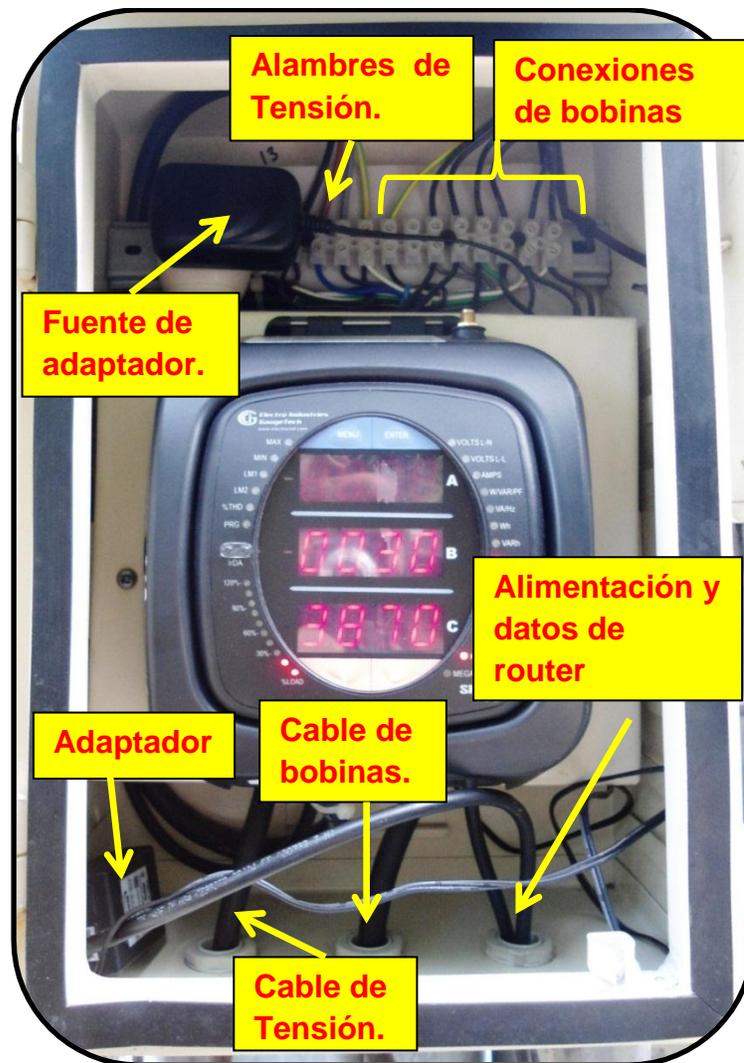


Figura 23 Cableado y conexiones en gabinete.

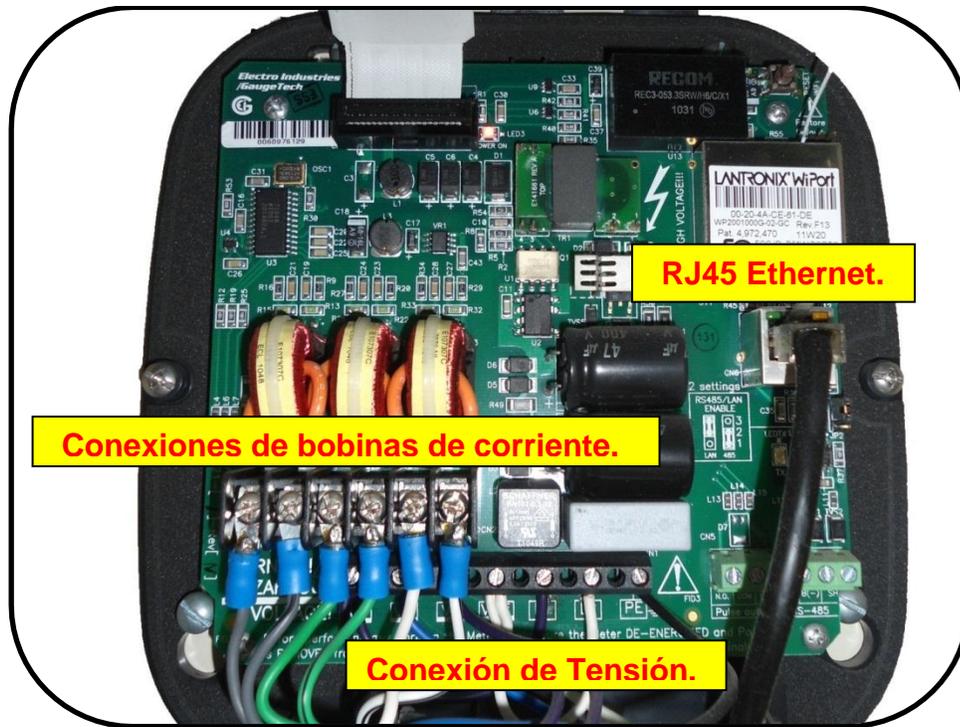


Figura 24 Conexiones internas del medidor.

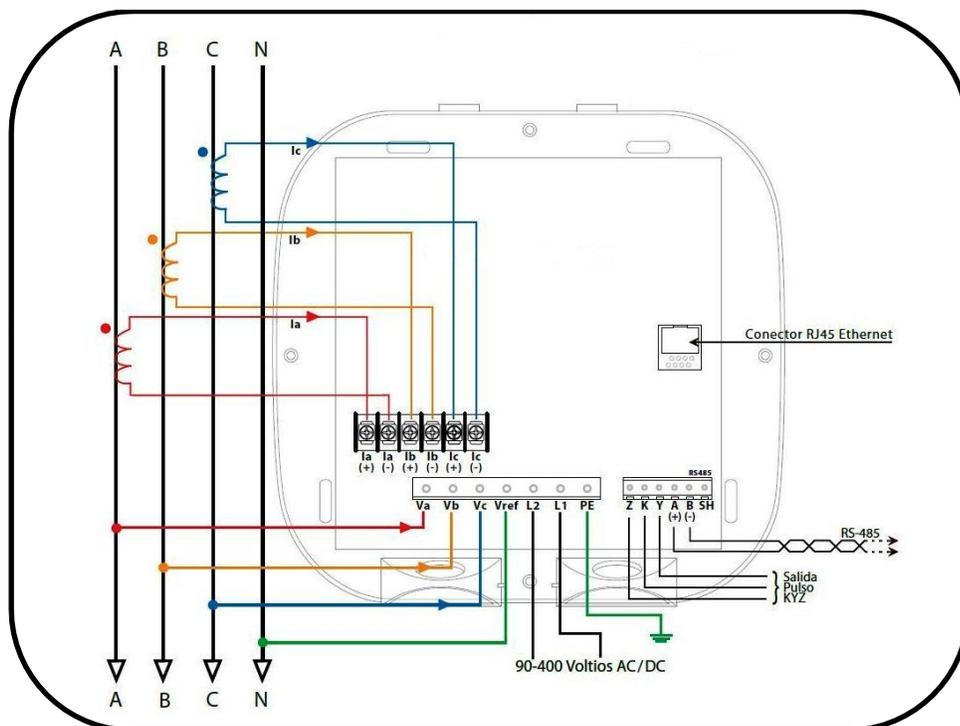


Figura 25 Diagrama de conexión 3 fases 4 Hilos Estrella Directo.

3.1.2 Bobinas.

Estas bobinas en su mayoría están conectadas en las salidas del secundario de la subestación. La cantidad de bobinas depende del número de fases a las cuales se les mide la corriente que circula hacia la carga. Estas bobinas de corriente poseen una bornera con dos terminales de conexión L1 y L2. Esta bornera está protegida contra la humedad con una tapadera acrílica transparente como se muestra en la Figura 27.



Figura 26 Bobina de corriente.

3.1.3 Router wifi.

El router inalámbrico utilizado es un diseño de Village Telco [19]. El propósito original para el cual fue diseñado este router era el de servir como punto VoIP y de internet. Incorpora un ATA VoIP y un puerto LAN. Trabaja en la banda de 2.4 Ghz. Está preparado para ser instalado al aire libre. Sus terminales de conexión se encuentran la parte inferior protegida por una tapadera que desliza hacia abajo para ser quitada. Los terminales de conexión los podemos observar mejor en la Figura 27.



Figura 27 Entradas de datos y tensión a router wifi.

3.2 Instructivo para mantenimiento de medidores.

A los medidores se le aplicara los dos tipos de mantenimiento, correctivo y preventivo. El mantenimiento preventivo se hará mediante su inspección sensorial y limpieza. El correctivo consistiría en desmóntalos de su punto de medición para realizarles su respectivas pruebas básicas de lecturas. Estas pruebas deben hacerse con equipos de mediciones existentes en el laboratorio de telecomunicaciones.

3.2.1 Inspección sensorial y limpieza técnica en subestación.

Aquí se muestra la manera de realizar la inspección sensorial y limpieza técnica. Se entenderá por inspección sensorial a la inspección que se realiza con los sentidos sin necesidad de instrumentos de medida o medios técnicos adicionales. Por limpieza técnica se entenderá a aquella limpieza con cierta complejidad técnica.

3.2.1.1 Nota al supervisor.

El supervisor deberá velar porque se cumplan las notas de precaución u cualquier otra situación de alerta en la cual exista la alta posibilidad de accidente laboral o daño físico de alguna parte de la red de medición. Si una de estas condiciones no se cumple el supervisor deberá suspender la actividad hasta que sea seguro el proceso de mantenimiento.

3.2.1.2 Nota de precaución.

En los puntos de medición es indispensable mantenerse alejado a una distancia mínima de las líneas primarias según lo establece la Tabla 6. En estos puntos de medición se debe seguir rigurosamente las recomendaciones de uso de escalera citadas en el capítulo II. Al ejecutar el mantenimiento se debe usar siempre el equipo de seguridad respectivo.

3.2.1.3 Nota al ejecutor del mantenimiento.

El ejecutor del mantenimiento deberá tener claro las actividades a realizar considerando en todo momento las medidas de seguridad explicadas en el capítulo II.

3.2.1.4 Periodicidad.

Se recomienda la realización de la inspección sensorial y limpieza cada 18 meses.

3.2.1.5 Pasos, procedimientos y precauciones.

Al realizar el mantenimiento de limpieza técnica e inspección sensorial se identificaron 56 tareas técnicas y administrativas, las cuales se detallan e ilustran en la Tabla 8.

PASOS	
1. Delegar encargado de verificar pasos del mantenimiento. <i>Nota: este debe estar capacitado en normas de seguridad.</i>	
2. Programar día y hora exacta de mantenimiento con respectivas autorizaciones. <i>Nota: Los permisos se solicitan a los responsables de la red eléctrica en la cual se trabajara, tarea delegada al supervisor.</i>	
3. Solicitar material y equipo. <i>Nota: Es será solicitado y retirado de bodega.</i>	
4. Recibir Indicaciones de seguridad personal y uso de materiales y equipo por parte del supervisor.	
5. Revisar material y equipo. <i>Nota: Sera responsabilidad del supervisor hacerlo.</i>	
6. Ponerse ropa y equipo de trabajo. <i>Nota: Serán botas, guantes, casco y chaleco. Teniendo las características exigidas en normas de Tabla 5.</i>	
7. Cargar materiales y equipo en carretilla para su transporte.	

8. Solicitar llaves de gabinetes de medidores.

Nota: Estas serán entregadas por supervisor de red de medidores.

9. Sacar de bodega escalera de extensión de fibra.

Nota: Revisar que la escalera cumpla la norma ASTM F 711 y esté en condiciones óptimas.

10. Trasladarse a lugar del mantenimiento con materiales y equipo.

11. Colocar señalización de trabajo en proceso.



12. Colocar escalera en poste.

Nota: Hacerlo entre dos persona para evitar Accidente.



- 13.** Colocarse equipo de seguridad (lentes casco con careta, mascarilla y cinturón).



- 14.** Subir a sujetar escalera con un lazo al poste en la parte de arriba y cuando sea necesario de abajo también.

Nota: Esto deberá ser hecho por la persona con más experiencia en trabajar en alturas, mientras otro sostiene la parte inferior de escalera para evitar que esta se deslice.



- 15.** Ubicar toma cercano para toma de energía 120 AC.

Nota: Verificar la existencia de tensión adecuada para el uso de equipo.

- 16.** Conectar extensión de alimentación a compresor.

- 17.** Colocar en canasta las llaves y el material a utilizar.



- 18.** Enganchar boquilla de compresor, canasta de materiales y equipo en lazo.

Nota de precaución: Esta boquilla debe estar aislada mediante el encintado con cinta aislante en toda su parte metálica.



- 19.** Subir al poste a través de escalera llevando un lazo atado a la cintura.

Nota: Llevar sus manos libres para escalar y sujetándose de los peldaños.



- 20.** Sujetarse al poste con cinturón.



- 21.** Subir canasta de materiales y boquilla de compresor mediante lazo.



- 22.** Enganchar en un lugar accesible canasta y boquilla de compresor



- 23.** Encender compresor.
Nota: Sera encendido desde abajo por ejecutor 2 de mantenimiento

- 24.** Abrir gabinete.



25. Pasar la brocha al medidor y gabinete

Nota: Hacerlo con mucho cuidado ya que estará trabajando con equipo energizado el equipo. La brocha deberá estar aislada con cinta aislante en toda superficie conductora expuesta.



26. Verificar que el aire salga de boquilla y que esté sin humedad.

27. Aplicar aire comprimido a gabinete en combinación con brocha.

Nota: No olvidar la ventilación del gabinete.



28. Apagar compresor y enrollar extensión utilizada.

29. Desconectar fuente de router.

30. Quitar tapadera inferior de router.

31. Desconectar conectores RJ11 y RJ45 del router.

32. Desconectar RJ11 y espiga de corriente de adaptador.

33. Levantar tapadera de medidor y pasar la brocha aplicando aire comprimido.

Nota: Tener mucho cuidado con la placa electrónica.



- 34.** *Pasar cepillo de cerdas de bronce en conectores RJ45 y RJ11.*



- 35.** *Aplicar limpia contactos en conectores RJ11, RJ45, espiga de corriente, en adaptador y conector para RJ11 y RJ45 del router.*



- 36.** *Verificar apreté de tornillos de bornera.*

Nota: Aislar con cinta aislante la parte metálica expuesta del desarmador.



37. *Reconectar conectores desconectados.*



38. *Conectar fuente de router y verificar el encendido de pilotos.*



39. *Cerrar tapadera de placa de medidor.*



40. Cerrar tapadera inferior de router.



41. Aplicar espuma limpiadora en franela y limpiar superficie del medidor.

42. Limpiar el interior del gabinete aplicando espuma limpiadora y retirándola con una franela.



43. Limpiar el exterior del gabinete aplicando espuma limpiadora y retirándola con una franela.



44. Aplicar espuma al router y retirarla con franela.

<p>45. Cerrar gabinete.</p>	
<p>46. Echar llaves en canasta.</p>	
<p>47. Numerar gabinete si estuviere dañada su numeración.</p>	
<p>48. Llenar ficha de inspección de bobinas de corriente.</p>	
<p>49. Bajar canasta y boquilla de compresor.</p>	
<p>50. Desamarrar escalera.</p>	
<p>51. Desenganchar cinturón de seguridad de poste.</p>	
<p>52. Bajar de escalera.</p>	
<p>53. Llenar ficha de inspección de bobinas de corriente. Recoger y revisar material y equipo que este completo.</p>	
<p>54. Trasladarse a otro punto o entregar material y equipo usado.</p>	
<p>55. Pasar en un documento la constancia de recibo llenadas.</p>	
<p>56. Entrega de constancia de recibo llenado en campo y en documento digitado.</p>	

Tabla 8 Pasos de Inspección sensorial y limpieza técnica.

3.2.2 Retiro de equipo de medición montado en poste.

Esta acción se realiza luego de haber detectado alguna anomalía de funcionamiento o de medición. Requiriendo más que una inspección visual. El equipo debe ser retirado para llevarlo al laboratorio a realizarle las pruebas de funcionamiento con el auxilio del equipo existente de medición. Para el retiro del medidor se debe hacer un corte de energía programado. El recurso humano debe tener capacidad o entrenamiento para trabajar en subestación montada en poste.

No debemos olvidar las medidas de seguridad para trabajar en una subestación para evitar accidentes. Se debe utilizar el equipo de protección personal adecuado y completo para esta labor. El desinstalar el medidor será una situación extrema. Es importante dejar instalado otro medidor ya que las bobinas de corriente no pueden quedar en vacío. Las bobinas solo se quitarán si al hacerle las pruebas al medidor diera como resultado que sus bobinas son el motivo de falla. A continuación se enumerarán los pasos para la desinstalación de medidor.

3.2.2.1 Nota al supervisor.

El supervisor deberá velar porque se cumplan las notas de precaución u cualquier otra situación de alerta en la cual exista la alta posibilidad de accidente laboral o daño físico de alguna parte de la red de medición. Si una de estas condiciones no se cumple el supervisor deberá suspender la actividad hasta que sea seguro el proceso de mantenimiento.

3.2.2.2 Nota de precaución.

En los puntos de medición es indispensable mantenerse alejado a una distancia mínima de las líneas primarias según lo establece la Tabla 6. En estos puntos de medición se debe seguir rigurosamente las recomendaciones de uso de escalera citadas en el capítulo II. Al ejecutar el mantenimiento se debe usar siempre el equipo de seguridad respectivo.

3.2.2.3 Nota al ejecutor del mantenimiento.

El ejecutor del mantenimiento deberá tener claro las actividades a realizar considerando en todo momento las medidas de seguridad explicadas en el capítulo II.

3.2.2.4 Periodicidad.

Cuando sea necesario realizar mediciones de prueba para comparación con equipos de referencia.

3.2.5.5 Pasos, procedimientos y precauciones.

Al realizar el proceso de desinstalación de medidor se identificaron 13 tareas técnicas y administrativas, las cuales se detallan e ilustran en la Tabla 9.

PASO	
<p>1. Programar día y hora exacta de mantenimiento con respectivas autorizaciones.</p> <p><i>Nota: Los permisos se solicitan a los responsables de la red eléctrica en la cual se trabajara, tarea delegada al supervisor.</i></p>	
<p>2. Recibir Indicaciones de seguridad personal y uso de materiales y equipo por parte del supervisor.</p>	
<p>3. Ponerse ropa y equipo de trabajo.</p> <p><i>Nota: Serán botas, guantes, casco y chaleco.</i></p>	
PASO	IMAGEN DEL PASO

4. Amarrar escalera.



5. Desconectar alimentación trifásica o bifásica.

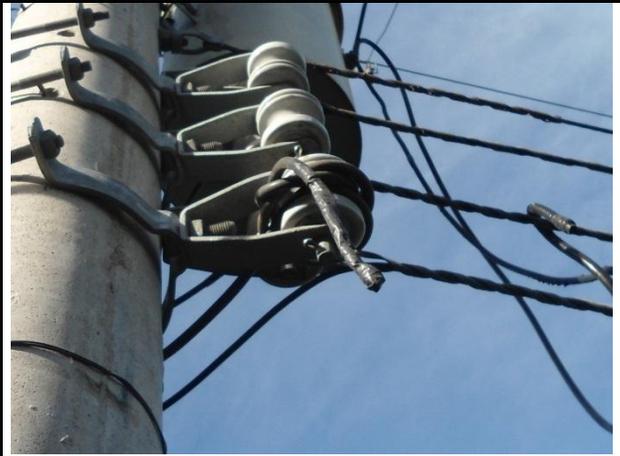
Nota: en este caso se cortaron ya que se trabajó en vivo. Se podía así por estar las bobinas de corriente sin medir la carga.



6. Aislar alimentador de medidor.



7. Colocar de alimentador en lugar seguro.



8. Desconectar cables de bobinas de corriente.



9. Soltar abrazaderas.



10. *Amarrar medidor.*



11. *Bajar medidor.*



12. *Desamarrar escalera.*



<p>13. <i>Quitar escalera.</i></p>	
--	--

Tabla 9 Pasos para retiro de equipo de medición.

3.2.3 Pruebas básicas de medidor.

Estas pruebas básicas serán realizadas en el laboratorio de telecomunicaciones de la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Para ello se necesitara de equipo de calibración de lecturas para distintas condiciones de carga. Como equipos de calibración se utilizara un DRANIZ de patrón de referencia y un medidor SHARK200 de patrón de trabajo [20]. Las condiciones de carga serán de vacío, de carga resistiva y de carga inductiva.

Como carga resistiva se usará un módulo de focos incandescentes y de carga inductiva un motor trifásico. Estos elementos serán conectados como lo indica la Figura 28.

Como ilustración de las pruebas se muestra la Figura 29, que es la de un medidor que está fuera de servicio.

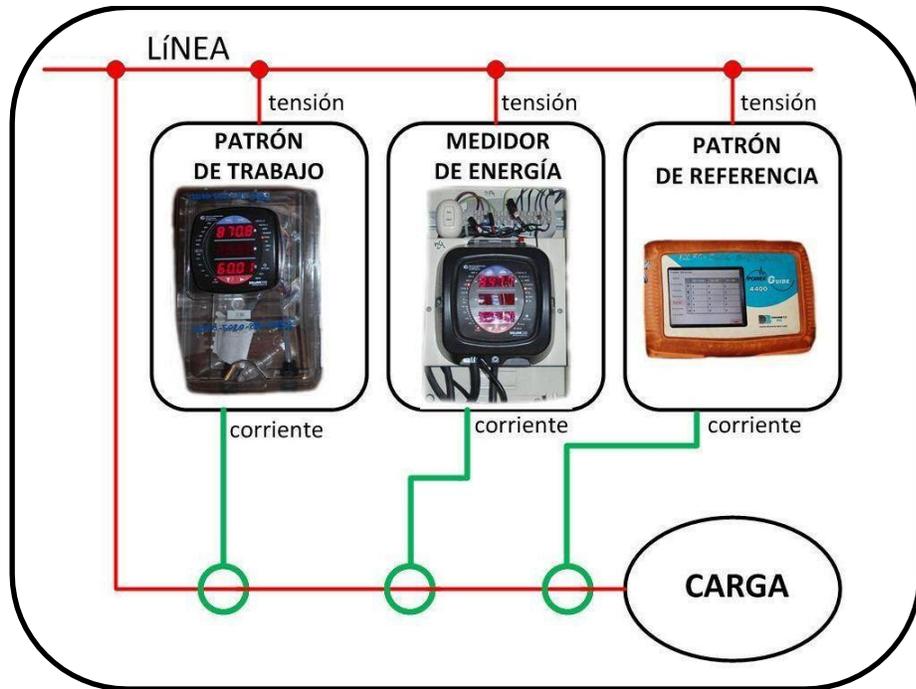


Figura 28 Conexiones de prueba de medidor.



Figura 29 Prueba de medidor utilizando dos patrones de trabajo y uno de referencia.

3.2.3.1 Toma y tratamiento de datos en las pruebas.

Para la toma y tratamiento de lecturas se debe tener un método adecuado el cual indique de manera simple el resultado de la comparación. El resultado estará dado por el error en cada punto de medida dado por la siguiente formula:

$$E = L_{Medidor} - L_{Patrón} \quad (1)$$

En este caso el error de la medición se expresará en error relativo de la forma:

$$E_r\% = \frac{L_{Medidor} - L_{Patrón}}{L_{Patrón}} \times 100 \quad (2)$$

Los datos deberán tener el lugar, fecha y hora a la que se obtuvieron. Así como los valores de tensión, factor de potencia y corriente involucradas, véase Tabla 10.

N°	Tensión (voltios)	Corriente (amp)	Fp.	Temp. °C	L_{medidor} (watts)	L_{patrón} (Watts)	E	E_r% (q_k)	\bar{q}	s

Tabla 10 Tabla sugerida para toma de datos.

La Tabla 10 muestra las siguientes variables: el error relativo (E_r), la media del error relativo (\bar{q}) y la desviación típica (S). La comparación que se da en la Tabla 11 es de potencia, pero también se pueden comparar otros parámetros como tensiones, corrientes y otros valores dados por los medidores.

3.3 Instructivo para mantenimiento de bobina de corriente.

A las bobinas de corriente por lo regular solamente se le puede aplicar mantenimiento preventivo limpiando sus borneras del óxido y observando su estado físico. Para realizar este mantenimiento se debe realizar corte de energía a la subestación de donde pertenecen las bobinas. En la inspección se revisa que el material dieléctrico aísla los arrollamientos de alambre. Los arrollamientos de alambre no deben presentar muestras de recalentamiento o ruptura por sobre corriente. El caso en el que se le puede aplicar mantenimiento correctivo es si se encuentran mal conectadas. La mala conexión de alguna bobina se puede identificar tomado la lectura del factor de potencia que no concuerda con la carga instalada.

3.3.1 Inspección sensorial y limpieza técnica de bobinas de corriente.

Aquí se muestra la manera de realizar mantenimiento preventivo a las bobinas de corriente. Esto puede ser aplicado tanto a bobinas instaladas en puntos de medición como en bobinas desinstaladas. Para demostración de limpieza en video visitar URL <https://www.youtube.com/playlist?list=PLaQIDwoCz1C5USs6HSxutiTDI9tZm-c4>

3.3.1.1 Nota al supervisor.

Velar porque se cumplan las notas de precaución y si una de estas no se cumple suspender actividad hasta que sea seguro la realización de los pasos de mantenimiento.

3.3.1.2 Notas de precaución.

- I. En puntos de medición es indispensable corte de energía, y mantenerse alejado a una distancia mínima e las líneas primarias según lo establece la Tabla 6.
- II. En los puntos de medición se debe seguir rigurosamente las recomendaciones de uso de escalera.
- III. Ya sea en punto de medición u otro lugar para dicho procedimiento usar siempre el equipo de seguridad respectivo.

3.3.1.3 Notas al ejecutor del mantenimiento.

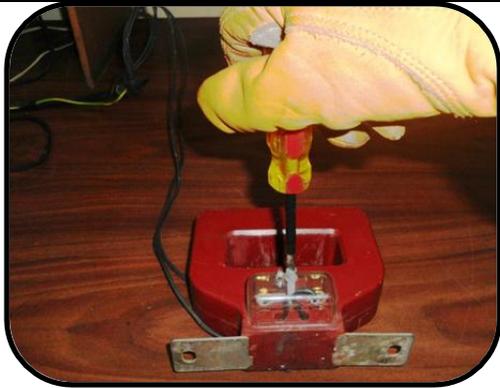
- I. Las imágenes son de bobinas no instaladas en la red. En los puntos de medición son los mismos pasos con ciertas consideraciones a tomar debido a que las bobinas están conectadas y energizadas a una altura considerable donde el uso de escalera es necesario. Las consideraciones están dadas en los pasos.
- II. Estos pasos fueron identificados con bobinas desconectadas y en mesa de trabajo. Para aplicarlos en puntos de medición es indispensable realizar corte de energía de la subestación del punto a trabajar.
- III. La herramienta eléctrica Drimel para limpiar metales se usa solo en mesa de trabajo y no en alturas, ya que para en poste se usa lija.
- IV. En altura al desmontar piezas de bobinas de corriente asegurar que no caigan al suelo por la posibilidad de perderlas debido su tamaño (tornillería y tapadera acrílica).
- V. En punto de medición es de seguir pasos del 1 al 14 de la Tabla de Inspección sensorial y limpieza técnica en puntos de medición.

3.3.1.4 Periodicidad.

Se recomienda la realización de la inspección sensorial y limpieza cada 24 meses.

3.3.1.4 Pasos, procedimientos y precauciones.

Al realizar el proceso de limpieza de bobinas de corriente se identificaron los pasos que se detallan e ilustran en la Tabla 11.

PASO	IMAGEN DEL PASO
<p>1. Preparar materiales y equipo a utilizar.</p>	
<p>2. Uso de equipo de seguridad personal.</p> <p><i>Nota: No debe faltar los lentes, guantes, careta y mascarilla</i></p>	
<p>3. Quitar tornillo de tapadera acrílica y desmontarla.</p>	

4. Aflojar pernos hexagonales con llave de s1 y s2.



5. Quitar perno hexagonal con desarmador Philips de s1 y s2.



6. Desmontar arandela plana y de presión de pernos.



7. Desmontar empaque de acrílico.



8. Limpieza en terminales de S1 y S2.



9. Limpieza de arandelas de presión y planas con lija o Drimel.

Nota: En poste se utiliza lija.





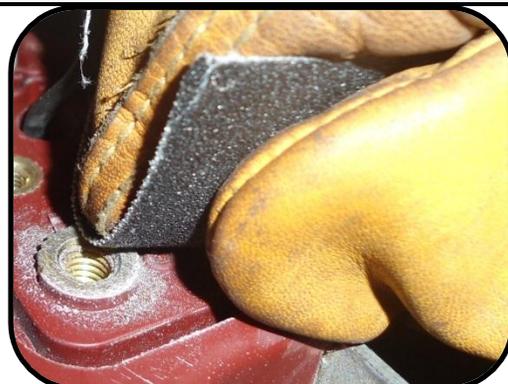
10. Limpieza de pernos con cepillo con cerdas de bronce o Drimel.

Nota: En poste se utilizara cepillo de bronce.



11. Limpieza de borneras S1 y S2 con lija, cepillo con cerdas de bronce o Drimel.

Nota: En poste se utiliza lija.



12. Limpieza de canal del empaque con cepillo con cerdas de bronce y brocha.



13. Colocación al perno S2 su arandela de presión, arandela plana, terminal y arandela plana respetando el orden.



14. Atornillar con desarmador Philips el perno a bornera S2 sin apretarlo.



15. Colocación al perno S1 su arandela de presión, arandela plana, terminal y arandela plana.

Nota: Esto deberá hacerse respetando el



<p><i>orden.</i></p>	
<p>16. <i>Atornillar con desarmador Philips el perno a bornera S1 sin apretarlo.</i></p>	
<p>17. <i>Aplicar limpia contactos en S1 y S2.</i></p>	
<p>18. <i>Apretar pernos de S1 y S2 con llave hexagonal.</i></p>	

19. Limpiar tapadera acrílica aplicando limpiador y retirarlo con franela.



20. Aplicar silicón en canal que recibe el empaque de hule y colocarlo



21. Aplicar silicón entre empaque y tapadera

Nota: Este se aplicara sobre empaque instalado o en la orilla de tapadera acrílica.



<p>22. Colocar tapadera acrílica.</p>	
<p>23. Atornillar tapadera acrílica.</p>	
<p>24. Limpieza superficial de la bobina de corriente aplicando limpiador.</p>	

Tabla 11 Pasos para limpieza de bobinas.

3.3.2 Mantenimiento de bobinas de corriente en subestación.

Luego de haber realizado la inspección correspondiente a la subestación y se ha encontrado problemas en la bobinas en la borneras de conexión, se procede a hacerle su mantenimiento. Cuando se ha detectado bobina recalentada por sobre corriente o que de indicios de que este variada su relación de transformación estas deben ser cambiadas. Las que pudiesen estar buenas se deben llevar al laboratorio a hacerle su respectiva prueba. El proceso de mantenimiento se ha desglosado en etapas las cuales se muestran en la Tabla 12.

MANTENIMIENTO DE BOBINAS EN SUBESTACIÓN.				
ETAPAS.	RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO		PROCEDIMIENTO DEL MANTENIMIENTO	
	RIESGOS POTENCIALES	ELEMENTOS DE PROTECCION	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO SEGURO (Actos y Condiciones Seguras)	RECOMENDACIONES
Preparación	<ul style="list-style-type: none"> • Error en identificación de la subestación. • Mantenimiento incensario de bobina • Descargas imprevistas por equipo defectuoso • Falsos contactos 	<ul style="list-style-type: none"> • Casco dieléctrico. • Calzado planta aislante. • Ropa de trabajo • Lentes 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación del transformador de corriente. 2. Verificar el estado de las herramientas y materiales a usar. 3. Verificación de los implementos de seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> • Tener asegurado el corte de energía de la subestación. • Haber recibido indicaciones previas de seguridad. • Probar todos los equipos antes de ser utilizados, para asegurar su eficacia.
Señalización	<ul style="list-style-type: none"> • Traumatismos • Daños a terceros 	<ul style="list-style-type: none"> • Casco dieléctrico. • Calzado planta aislante. • Señales de aviso 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Colocar las señales de aviso y protección en la zona de trabajo, e identificar al ejecutor de los trabajos con su respectivo chaleco. 	<ul style="list-style-type: none"> • No iniciar las tareas sin antes delimitar y proteger completamente la zona de trabajo.
Identificación y Coordinación	<ul style="list-style-type: none"> • Equivocación al momento de intervenir la bobina de corriente. • Accidentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Casco dieléctrico. • Calzado planta aislante. • Guantes dieléctricos 	<ol style="list-style-type: none"> 5. Cumplir con los procedimientos de seguridad establecidos para trabajos en media tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se deberá de empezar con los trabajos hasta que no exista la confirmación que el sistema esta des energizado

	imprevistos, descarga eléctrica.			
Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Posible contacto con las partes energizadas. • Fogonazos • Falsos contactos que originen recalentamiento • Mala operación del transformador de corriente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Casco dieléctrico. • Calzado planta aislante. • Guantes dieléctricos para MT. • Guantes de cuero. • Careta facial. • Lentes. • Cinturón con cuerda. 	<ol style="list-style-type: none"> 6. limpieza técnica de bobinas de corriente. 7. Se limpiara la caja de conexiones o borneras de la bobinas de corriente. 8. Se realizará la limpieza general de las bobinas de corriente, 9. Durante el mantenimiento se deberá de utilizar las herramientas necesarias para evitar cualquier tipo de daños a las bobina de corriente y técnicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar los falsos contactos detectados. • Nunca se abrirá los circuitos del transformador de corriente en sí, mientras se encuentra energizado porque podría producirles un fogonazo.
Culminación y Retiro	<ul style="list-style-type: none"> • Daños a terceros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Casco dieléctrico. • Calzado planta aislante. • Guantes de cuero. 	<ol style="list-style-type: none"> 10. Retirar las señalizaciones 11. Recoger los equipos y herramientas empleadas en el trabajo, verificando su operatividad para una próxima utilización. 12. Ordenar la zona de trabajo, dejándola libre de restos de materiales y/o elementos extraños. 13. Asegurar el cerrado de los dispositivos de seguridad contra accesos (candados, puertas, etc.) donde corresponda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reportar los equipos y/o herramientas que hayan sufrido desperfectos, para su inmediata reparación.

Tabla 12 Mantenimiento de bobinas en subestación.

3.3.3 Pruebas básicas de bobinas de corriente.

Cuando se ha identificado una posible variación en la relación de transformación se vuelve necesario el retiro de la bobina de corriente del punto de medición. Luego se procede a hacerle sus respectivas pruebas tanto sensoriales como eléctricas. Para esto se ve el dato de relación de transformación de fábrica y se instalan en un medidor para para luego verificar su relación.

Se conecta el medidor de trabajo con sus respectivas bobinas como se muestra en la Figura 25 y se toman las lecturas. Luego se conectan las bobinas en prueba y se toman nuevamente. Estas dos lecturas tienen que ser comparadas para saber qué tanto es el error entre ellas. Para procesar las lecturas usaremos el siguiente método de comparación que nos dará el error entre lecturas. El resultado estará dado por el error en cada punto de medida dado por la siguiente fórmula:

$$E = L_{\text{Bobinas de prueba}} - L_{\text{Bobinas buenas}} \quad (1)$$

En este caso el error de la medición se expresará en error relativo de la forma:

$$E_r \% = \frac{L_{\text{Bobinas de prueba}} - L_{\text{Bobinas buenas}}}{L_{\text{Bobinas buenas}}} \times 100 \quad (2)$$

Llenaremos la siguiente Tabla 13.

<i>PARAMETRO</i>	<i>LECTURAS</i>						<i>RESULTADOS</i>					
	<i>L_{Bobinas buenas}</i>			<i>L_{Bobinas de prueba}</i>			<i>E</i>			<i>E_r%</i>		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
VOLTS L-N												
VOLTS L-L												
AMPS												
W/WAR/PF												
VA/Hz												
Wh												
VARh												
Vah												

Tabla 13 Comparación de lecturas.

3.4 Instructivo para mantenimiento de router.

Antes de todo tendremos que estar monitoreando la página web <http://ues.miconsumodeenergia.com/> para verificar el envío de datos del punto en estudio. Luego de visitar el punto y corroborar que el medidor está en funcionamiento anormal, pasar a dar el mantenimiento correctivo del mechPotato. En la siguiente Figura 30 se muestra el flujograma del proceso a seguir.

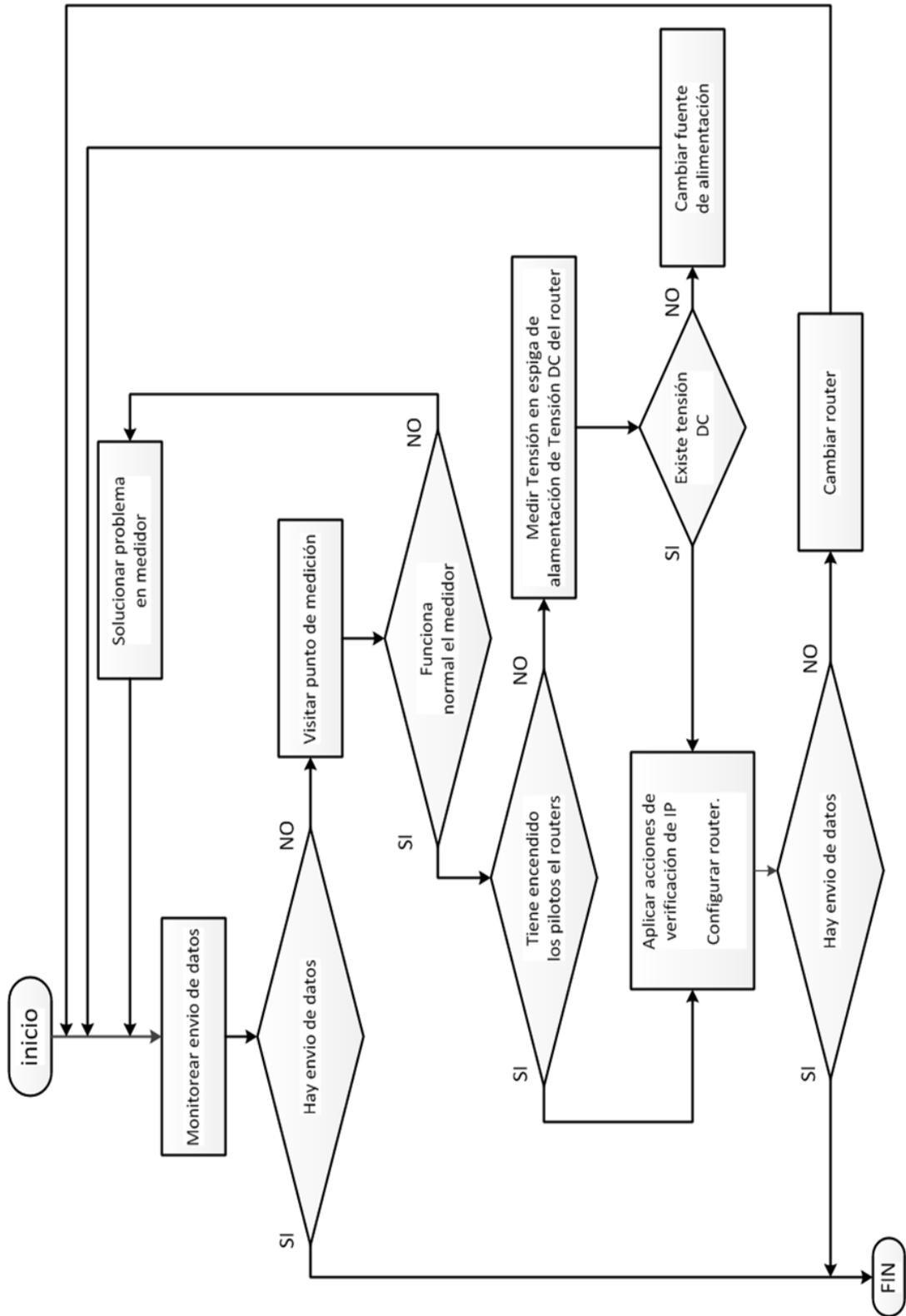


Figura 30 Flujograma de proceso de verificación de router.

3.5 Fichas para inspecciones.

Se elaboraron dos fichas por separado ya que pueden ser ambas llenadas en la misma o en distinta visita. Una ficha para usarla en mantenimiento de medido y router, la otra mantenimiento de bobinas de corriente. Sus funciones principales será la de llevar registro de las limpiezas, averías, reparaciones y distintas acciones realizadas en el mantenimiento de red de medidores.

3.5.1 Ficha de constancia de recibido de operación de mantenimiento.

Esta es llenada al momento de realizar la operación de mantenimiento para ser entregada al supervisor del sistema de medición. Esta contiene tiempos, fechas, lugar, punto de medición y otros datos. Al ser analizada por el supervisor este tomara decisiones para las acciones posteriores a realizar, en beneficio de sistema de medidores. La ficha de constancia de recibido de operación de mantenimiento se muestra en la Figura 31 y en Anexo A.5 su aplicación.

CONSTANCIA DE RECIBIDO DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO		
Fecha de entrega: / /	Hora:	Recibe:
Punto:	Descripción de trabajos realizados : <ul style="list-style-type: none"> ○ Actualización de firmware. <input type="checkbox"/> ○ Limpieza Interna y externa de gabinete. <input type="checkbox"/> ○ Limpieza de contactos RJ45 y RJ11. <input type="checkbox"/> ○ Rotulación de gabinete. <input type="checkbox"/> ○ Verificación visual de bobinas de corriente. <input type="checkbox"/> ○ Verificación visual de conexiones. <input type="checkbox"/> ○ Inspección visual de placa de medidor. <input type="checkbox"/> ○ Apreté de tornillos en bornera de medidor. <input type="checkbox"/> 	
Responsables:	Otros: <ul style="list-style-type: none"> ○ _____ 	
Observaciones:	Fecha : / /	
	Hora de inicio:	
	Hora de fin:	

Figura 31 Ficha de constancia de recibido de operación de mantenimiento.

3.5.2 Ficha de constancia de inspección en bobinas de corriente.

Esta es llenada al momento de realizar la operación de mantenimiento, refiriéndose específicamente a las bobinas de corriente. Posteriormente será entregada al supervisor de la labor de mantenimiento Este tomara decisiones de acuerdo a lo informado para mantener el funcionamiento óptimo del sistema de medición. Esta ficha es mostrada en la siguiente Figura 32 y su aplicación en Anexo A.6.

INSPECCION EN BOBINAS DE CORRIENTE				
Numero de fases : dos <input type="checkbox"/> tres <input type="checkbox"/>				
Punto	Fecha	Encargados		
1-Estado físico de cables que conectan borneras de bobinas de corriente con medidor.				
Líneas	mala	buena	regular	excelente
1				
2				
3				
2-Estado de borneras en bobinas de corriente con respecto al oxido.				
Bornera	mala	buena	regular	excelente
1				
2				
3				
3-Estado de tapadera borneras en bobinas de corriente con respecto al oxido u otra anormalidad.				
Tapadera	mala	buena	regular	excelente
1				
2				
3				
4-Estado de aislante en bobinas.				
Bobina	mala	buena	regular	excelente

1				
2				
3				
5-Lectura de corrientes (amperios).				
Fase	Medidor	Amperímetro		
1				
2				
3				
Fotografía o dibujo enumerando bobinas.				
OBSERVACIONES:				

Figura 32 Ficha de inspección de bobinas de corriente.

3.6 Materiales y equipo a usar.

La identificación de materiales y equipo de mantenimiento se da posterior a vistas de campo a través de la inspección (ver anexo A.3). Al encontrar ciertas circunstancias de operación de la red no deseables pero prevenibles, se inició la selección de materiales y equipo para dar el mantenimiento respectivo.

Estos materiales y equipo se fueron corrigiendo e incorporándose nuevos conforme se realizaban los respectivos trabajos de mantenimiento de origen experimental. Estos se eligieron de acuerdo a las necesidades que se identificaban. Se tomó en cuenta en cuenta que fueran económicos prácticos y eficientes. Estos elementos a utilizar son elementales y primordiales para el trabajo de mantenimiento. Estos cumplen la función de facilitar las actividades a realizar para el alargamiento de la vida útil de la red de medición.

Debido a que Las partes que componen la red de medidores se encontraron sucias estas deben ser limpiadas para su buen funcionamiento. La limpieza es necesaria e indispensable. Se encontró en todos los equipos instalados un elemento perjudicial que es el polvo. Este combinado con la humedad del medio ambiente provoca daños irreversibles. El hecho de ejercer la acción de limpieza en la red prevendrá fallas en el sistema. Para lograr esto se necesita contar con un kit de limpieza apropiado. Contendrá una series de equipo y materiales como: propulsor de aire, brochas, de cepillos de alambre con cerdas de bronce, franelas suaves , espuma limpiadora, equipo de seguridad personal y otros que se encuentran especificados en Tabla 14.

Con el fin de lograr un kit integral y por el hecho que se trabajara en condiciones de riesgo con existencia de la posibilidad de un incidente como una herida o golpe, se vuelve necesario un pequeño botiquín de primeros auxilios básico [21].

Con materiales y equipo elementales usados en procedimientos de mantenimiento debidamente protocolizados. Se puede prevenir daños irreversibles en cualquier punto de medición instalado. La descripción de materiales y equipo del kit de mantenimiento se muestra en la siguiente Tabla 14.

MATERIALES Y EQUIPO	DESCRIPCIÓN	USO
	<p>Compresor de 2.5 Hp 120 AC.</p>	<p>Fuente de generación de aire comprimido para ser aplicado por propulsión a los medidores con el fin de retirar el polvo acumulado.</p>
	<p>Brocha de 1 ½ “.</p>	<p>Retirar polvo de medidores y gabinete.</p>
	<p>Cepillo de 1” con cerdas de bronce.</p>	<p>Limpieza de conectores RJ45 y RJ11.</p>
	<p>Dremel.</p>	<p>Limpieza de tornillo y Arandelas de bornera de bobinas de corriente.</p>
	<p>Punta para Dremel.</p>	<p>Para cepillar tornillos, borneras y arandelas.</p>
	<p>Franela de 50 cm X 50cm.</p>	<p>Limpieza externa e interna de medidores y bobinas.</p>
	<p>Sellador tipo silicón.</p>	<p>Sellar las entradas de agua a las borneras de las bobinas de corriente.</p>

	<p>Limpiador de contactos.</p>	<p>Limpieza de Conectores RJ45, RJ11 y borneras de bobinas.</p>
	<p>Caja de 15 “.</p>	<p>Contenedora de materiales para limpieza.</p>
	<p>Escalera de extensión de 28’.</p>	<p>Acceder a los medidores instalados.</p>
	<p>Chaleco reflectante.</p>	<p>Identificación de persona trabajando en mantenimiento (ejecutor).</p>
	<p>Lazo.</p>	<p>Lazo para amarre de escalera.</p>

	<p>Lazo.</p>	<p>Lazo para subir canasta.</p>
	<p>Canasta.</p>	<p>Canasta para subir y bajar materiales.</p>
	<p>Lentes.</p>	<p>Protección por objetos expulsado por aire comprimido u por otro medio.</p>
	<p>Guantes de trabajo de cuero.</p>	<p>Protección eléctrica y de heridas por superficies con filo.</p>
	<p>Mascarillas.</p>	<p>Protección al polvo debido al uso de compresor como fuente de expulsión de aire a presión.</p>
	<p>Casco plástico con careta.</p>	<p>Protección de golpes, descargas eléctricas quemadas debido a explosión por falla eléctrica.</p>
	<p>Cinturón.</p>	<p>Apoyo y seguridad personal para uso en poste y evitar caídas.</p>

	<p>Arnés.</p>	<p>Seguridad personal para usar en alturas evitando caídas.</p>
	<p>Botiquín de primeros auxilios.</p>	<p>Actuar en caso de lesiones leves o indisposiciones, que en principio, no necesiten asistencia sanitaria.</p>
	<p>Llave hexagonal.</p>	<p>Para aflojar o socar pernos de bornera en bobinas de corriente.</p>
	<p>Desarmador Philips.</p>	<p>Para poner o quitar pernos de borneras en bobinas de corriente.</p>
	<p>Lija para metal.</p>	<p>Para raspar suciedad de borneras en bobinas de corriente.</p>
	<p>Tenaza de presión.</p>	<p>Para sujetar pernos y arandelas a limpiar.</p>
	<p>Probador de cable de par trenzado UTP.</p>	<p>Probar cable de par trenzado UTP con conector RJ-45.</p>
	<p>Tenaza para climpar RJ-45.</p>	<p>Cerrar conectores.</p>

	<p>Amperímetro de gancho.</p>	<p>Medir corrientes que miden las bobinas de corriente.</p>
	<p>Medidor de temperatura.</p>	<p>Medir temperatura de las fuentes de los routers u otro elemento.</p>
	<p>Voltímetro.</p>	<p>Verificar tensiones de trabajo de los equipos instalados.</p>
	<p>Binoculares.</p>	<p>Inspeccionar puntos sin uso de escalera.</p>
	<p>Cámara fotográfica.</p>	<p>Evidenciar hallazgos significativos.</p>

Tabla 14 Materiales y equipo para mantenimiento de red inalámbrica de medidores.

Capítulo IV: Análisis FODA, conclusiones y líneas futuras.

El análisis FODA [22] fue utilizado para brindar sugerencias de diseño de estrategias utilizando las fortalezas del sistema de medición instalado. De forma tal que la Universidad de El Salvador pueda aprovechar las oportunidades, enfrentando las amenazas y superando las debilidades de este sistema. Del análisis FODA, el trabajo de mantenimiento en base a protocolo realizado se obtuvieron las conclusiones y líneas futuras.

4.1 Resultados del análisis FODA.

La realización del análisis FODA de la red de medidores instalados en el campus de La Universidad de El Salvador se da después de implementar el protocolo de mantenimiento, donde se evaluaron ciertos aspectos. Entre ellos están las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que son de vital importancia para el funcionamiento de la red. Donde en Tabla 15 se muestra el análisis mediante la matriz FODA.

	Fortalezas(F)	Debilidades(D)
ANÁLISIS FODA	<p>F1. Sistema de medición operando casi al cien por ciento.</p> <p>F2. Página web de monitoreo con acceso público. Para ver consumo de electricidad de La Universidad de El Salvador.</p> <p>F3. Confiabilidad sobre trabajos realizados por alumnos de la Universidad de El</p>	<p>D1. Falta de habilidades técnicas de alumnos.</p> <p>D2. Falta de conocimiento sobre seguridad.</p> <p>D3. Falta de seguro por accidente laboral.</p> <p>D4. Falta de fondos para labor de mantenimiento.</p> <p>D5. No se dispone de</p>

	<p>Salvador.</p> <p>F4. Conocimientos académicos de los alumnos de La escuela de Ingeniería Eléctrica suficientes para formar parte de los ejecutores del mantenimiento.</p> <p>F5. Recurso humano disponible.</p> <p>F6. Contar con protocolo de mantenimiento.</p> <p>F7. Alumnos de Ingeniería Eléctrica en disposición a trabajar en mantenimiento a cambio de horas sociales.</p> <p>F8. Conocimiento de herramientas tecnológicas por parte de los estudiantes de ingeniería eléctrica de la UES.</p> <p>F9. Originalidad del sistema de medidores inalámbricos.</p> <p>F10. Docentes capacitados para supervisar la labor de mantenimiento.</p> <p>F11. Interés de algunos alumnos en el sistema de medición eléctrica.</p> <p>F12. Actitud comprometida al buen funcionamiento de la red de medidores por parte de los encargados del funcionamiento de la red de medidores eléctricos.</p> <p>F13. La red de medidores no genera impacto negativo ambiental.</p> <p>F14. La red de medidores colabora al perfil de carga de la Universidad de El</p>	<p>elemento humano en el campus capacitado para el mantenimiento.</p> <p>D6. Falta de apoyo externo para mantenimiento y actualización de sistema de medición.</p> <p>D7. Dificultad de coordinación con alumnos para ejecución de mantenimiento debido a carga académica.</p> <p>D8. Robustez del sistema debido a la cantidad de subestaciones medidas.</p> <p>D9. Falta de respuesta inmediata para resolver falla en el sistema.</p> <p>D10. Falta de materiales repuestos y equipos para mantenimiento.</p> <p>D11. No se realizan por el momento revisiones periódicas de del equipo de medición instalado.</p> <p>D12. No se cuenta con personal capacitado en pruebas de exactitud.</p> <p>D13. Falta de laboratorio para pruebas de exactitud.</p> <p>D14. No existe documentado el historial de fallas ocurridas.</p> <p>D15. Falta de estrategia para aumentar cobertura y actualización de los equipos.</p> <p>D16. Falta de apoyo por parte de la unidad de desarrollo físico de la UES en la labor de mantener en</p>
--	--	--

	<p>Salvador.</p> <p>F15. Capacidad de gestión para solicitar ayuda para actualización y mantenimiento.</p>	<p>operación la red de medidores eléctricos.</p>
Oportunidades(O)	Estrategias (FO), max-max.	Estrategias (DO), min-max.
<p>O1. Empresas dedicadas al rubro de equipos de mediciones eléctricas.</p> <p>O2. Importancia en la facturación que significa una buena lectura de consumo para las compañías servidoras de energía eléctrica.</p> <p>O3. Nuevos modelos de equipo de medición en el mercado.</p> <p>O4. En pocos lugares se monitorea el consumo de cada subestación.</p> <p>O5. Experiencia de algunos alumnos en trabajos de mantenimiento eléctrico.</p> <p>O6. Medir el consumo de nuevas subestaciones instaladas.</p> <p>O7. Implementar en otras universidades del país el sistema de medición.</p> <p>O8. No hay desarrollo de este sistema en el país.</p> <p>O9. Interés por algunos inversionistas en el sistema de medición eléctrica.</p> <p>O10. Existencia de empresas aseguradoras, que intervienen en caso</p>	<p>Gestionar ayuda para actualización y mantenimiento de la red de medidores eléctricos aprovechando el peso como institución educativa de nivel superior representa la Universidad de El Salvador. Lo cual puede colaborar a que la empresa pública o privada brinde su apoyo.</p> <p>Debido a la existencia de empresas dedicadas a la comercialización e instalación de medidores eléctricos. A estas se les puede solicitar que brinden capacitaciones. Que a través de estas se pueda cumplir mejor con la labor de mantenimiento aprovechando el recurso humano disponible.</p> <p>Por la experiencia de algunos alumnos en trabajos de mantenimiento eléctrico, y su conocimiento en herramientas tecnológicas junto a docentes capacitados para la supervisión en mantenimiento. Se puede implementar el protocolo de mantenimiento para mantener en operación el sistema de medidores eléctricos. Todo esto siempre y cuando exista una capacitación adecuada de los ejecutores.</p> <p>Debido al interés de algunos alumnos en el sistema de medición eléctrica. Se debe</p>	<p>Gestionar apoyo de las empresas comercializadoras de energía eléctrica del país, con capacitaciones en mantenimiento que incluya la seguridad. Enseñando prácticas seguras en la labor de mantenimiento de la red medidores. La importancia de la seguridad es debido a los riesgos laborales asociados al seguimiento del protocolo de mantenimiento.</p> <p>Gestionar con la empresa pública privada capacitación en temas de seguridad.</p> <p>Adquisición de seguros contra accidentes laborales para los ejecutores de mantenimiento.</p> <p>Gestionar ayuda de fondos para mantenimiento y actualización de la red de medidores eléctricos.</p> <p>Gestionar ayuda para la creación de laboratorio de pruebas de exactitud.</p> <p>Introducir en pasantilla a alumnos en empresas dedicadas a sistemas de mediciones, logrando así habilidades técnicas y conocimientos significativos sobre mantenimiento con prácticas seguras.</p> <p>Solicitar ayuda a la Unidad de Desarrollo Físico, demostrando</p>

<p>de accidentes laborales.</p>	<p>involucrarlos en la implementación del protocolo de mantenimiento. Con la motivación extra de obtener horas sociales.</p> <p>Al no estar desarrollado este sistema a nivel nacional. Da la oportunidad de ser implementado a otras universidades del país. Aprovechando las herramientas tecnológicas dominadas por estudiantes de ingeniería eléctrica.</p> <p>Instalar equipos de medición a subestaciones que no están siendo medidas. Considerando la aplicación del protocolo de mantenimiento desde su operación. Esto brindara un buen perfil de carga de La Universidad de El Salvador, más cercano a la realidad.</p> <p>El no haber desarrollo en el sistema de medición instalado en la Universidad de El salvador y por su originalidad. Los conocimientos adquiridos en la actualización y mantenimiento deben ser trasladados a las empresas dedicadas a este rubro.</p>	<p>la importancia de una buena medición para un perfil de carga que colaboraría a elaborar estrategias de ahorro energético.</p>
<p>Amenazas(A)</p>	<p>Estrategias (FA), max-min.</p>	<p>Estrategias (DA), min-min.</p>

<p>A1. Existencia de riesgos laborales que amenazan la integridad física.</p> <p>A2. Deficiencia en diseño de los equipos por falta de protección adecuada.</p> <p>A3. Dificultad en la obtención de presupuesto para mantenimiento.</p> <p>A4. Burocracia institucional para obtención de recurso económico.</p> <p>A5. Actitud negativa para formar parte de equipo ejecutor de mantenimiento.</p> <p>A6. Alto costo en los seguros de vida.</p> <p>A7. Deterioro de bobinas de corriente por lluvia.</p> <p>A8. Polvo del medio ambiente.</p> <p>A9. Que no se brinde apoyo institucional.</p>	<p>Someter a capacitación en seguridad al supervisor y ejecutor del mantenimiento y que el supervisor vele por la implementación de la medidas de seguridad en todo momento.</p> <p>Motivar a alumnos a formar parte de los ejecutores del mantenimiento ofreciendo capacitación y horas sociales.</p> <p>Eliminar riesgos laborales a través de la buena orientación por parte del encargado de supervisar la labor de mantenimiento.</p> <p>Con los conocimientos tecnológico adquiridos por los alumnos. Que estos diseñen circuitos de protección contra sobre tensión a los equipos instalados.</p> <p>Debido al compromiso del buen funcionamiento de la red de medidores eléctricos por parte de los encargados. Estos deberán realizar convenio con compañía aseguradora con el fin de bajar el costo del seguro. Seguro que beneficia a los ejecutores del mantenimiento.</p> <p>Conseguir apoyo institucional concientizando en la importancia de la red de medidores en la elaboración del perfil de carga.</p> <p>Aplicar protocolo de mantenimiento debido a la influencia negativa que está ejerciendo el medioambiente a los equipos.</p>	<p>Aumentar las habilidades técnicas y los conocimientos sobre seguridad con el apoyo de la Unidad de Desarrollo Físico de la UES. Esto colaborara a la existencia de personal capacitado.</p> <p>Elaborar estrategias para aumentar cobertura y actualización de los equipos buscando apoyo institucional.</p> <p>Elaborar estrategias para motivar a alumnos de La Escuela de Ingeniería Eléctrica a formar parte de ejecutores del mantenimiento basado en protocolo realizado.</p> <p>Realizar revisiones periódicas y de limpieza para anular los impactos negativos que genera el medioambiente a los equipos instalados.</p> <p>Debido a la robustez del sistema instalado, se necesitara contar con cantidad necesaria de ejecutores de mantenimiento. Esto se deberá lograr a través de estrategias de motivación.</p> <p>Buscar ayuda para fondos en colaboración con la Unidad de Desarrollo Físico de la UES.</p> <p>Gestionar convenio con compañía aseguradora con el fin de bajar el costo en el seguro contra accidentes laborales en beneficio a los ejecutores.</p>
--	--	---

Tabla 15 Matriz FODA.

4.2 Conclusiones.

- Se debe implementar lo más pronto posible y de manera periódica el protocolo de mantenimiento para lograr mantener en óptimas condiciones la operación de red de medición eléctrica del campus de la UES. Debido a que en la realización de ese trabajo de graduación se evidencio el deterioro que ha sufrido la red desde su instalación hasta la fecha.
- La labor de mantenimiento del sistema de medición conlleva muchos riesgos en cuestión de seguridad personal. Estos riesgos fueron identificados en el transcurso de la elaboración de este protocolo de mantenimiento. Por lo tanto los ejecutores deberán recibir un riguroso entrenamiento en seguridad para reconocer y evitar peligros involucrados.
- Los ejecutores del mantenimiento deben ser personas con conocimientos relacionados con la construcción y operación de los equipos instalados, para evitar daños en los mismos.
- El restablecer medidores que se encuentran fuera de servicio se requiere tener al a la mano personal calificado que brinde el mantenimiento correctivo inmediatamente. Hasta el momento no se tiene el personal que atienda fallas. Por lo cual se debe tener la estrategia de brindar capacitaciones en seguridad y en la aplicación de este protocolo permanentemente a interesados de formar parte del recurso humano. Esto con el fin de contar con elementos capacitados que solucionen problemas relacionados a la red de medidores de energía instalados en la UES.
- Para que la red de medidores se mantenga en operaciones y evitando fallas se necesita contar con recurso económico disponible y recurso humano calificado aplicando mantenimiento preventivo y correctivo. Estos recursos son

indispensables para la puesta en marcha del protocolo de mantenimiento. Con uno de estos recursos que falte no se podrá mantener en operación óptima la red de medidores instalados.

- Al analizar la placa de los medidores se pudo identificar la inexistencia de circuitería contra picos de tensión. Esto los hace vulnerables a posibles fallas de la red o a descargas atmosféricas.
- Las bobinas de corriente poseen una tapadera acrílica en sus borneras de conexión, las cuales tiene un empaque que se ha cristalizado. Por lo cual ya no cumplen bien la función de sellar contra el agua, lo que hace que exista humedad en época de lluvia. Esta humedad genera óxido en tornillos y arandelas de bornera. Esta situación vuelve indispensable la inspección del estado de estas borneras periódicamente y la aplicación de su mantenimiento respectivo cuando sea necesario.
- Al aumentar la cobertura de medición con su apropiado mantenimiento basado en protocolo realizado, se podrá obtener un mejor perfil de carga de la Universidad de El Salvador. Volviendo indispensable mantener en óptimas condiciones la operación de la red de medidores, con el fin de elaborar estrategias de ahorro energético basadas en mediciones más exactas.

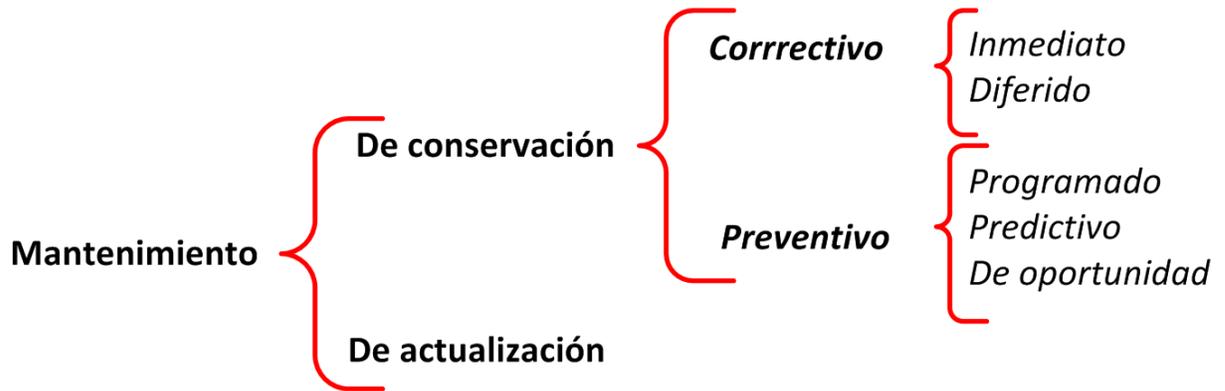
4.3 Líneas futuras.

- Gestionar con la empresa pública o privada capacitaciones tanto en seguridad como en área técnica para los involucrados en la implementación de este protocolo de mantenimiento.
- Gestionar convenio entre alguna compañía de seguro y la UES con algún tipo de acuerdo que apoye a la labor de mantenimiento en caso de accidente al momento de realizar trabajos de mantenimiento a la red de medidores.
- Hacer un presupuesto detallado en base a protocolo de mantenimiento y gestionar con las autoridades correspondientes de la UES fondos para brindar mantenimiento periódico a la red de medidores. Fondos solicitados del presupuesto de la nación.
- Gestionar con el apoyo de la Universidad de El Salvador en coordinación con la Escuela de Ingeniería Eléctrica la obtención de fondos necesarios para el financiamiento del mantenimiento de la red de medidores eléctricos. Fondos solicitados a empresas privadas.
- Contratar empresa calificada para la calibración de medidores de energía eléctrica.
- Montar en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica un área dedicada a la calibración de medidores de energía eléctrica.
- Aumentar la cobertura de medición de energía eléctrica de modo que ninguna subestación dentro del campus quede sin ser medida.

- Brindar capacitaciones técnicas orientadas a alumnos en horas sociales para formar parte del recurso humano ejecutor de mantenimiento. Tomando en cuenta la seguridad personal ante todo mediante prácticas seguras.
- Adquisición de medidores, routers y bobinas para remplazo en caso de posible daño de alguno de estos elementos que están actualmente instalados en las subestaciones.
- Colocar supresores de picos en las entradas de tensión de los medidores lo cual como sugerencia se puede hacer con varistores y fusibles debidamente calculados.
- Instalar redes de medidores en las demás universidades a nivel nacional considerando su mantenimiento periódico desde el inicio de su operación.
- Actualizar este protocolo de mantenimiento según las experiencias en el transcurso de la ejecución del mismo a través de futuros mantenimientos.

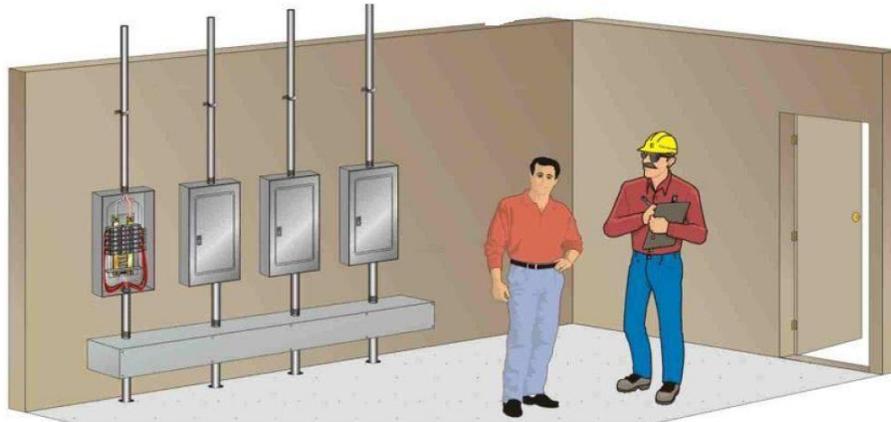
Anexos.

A.1 Tipos de mantenimiento.



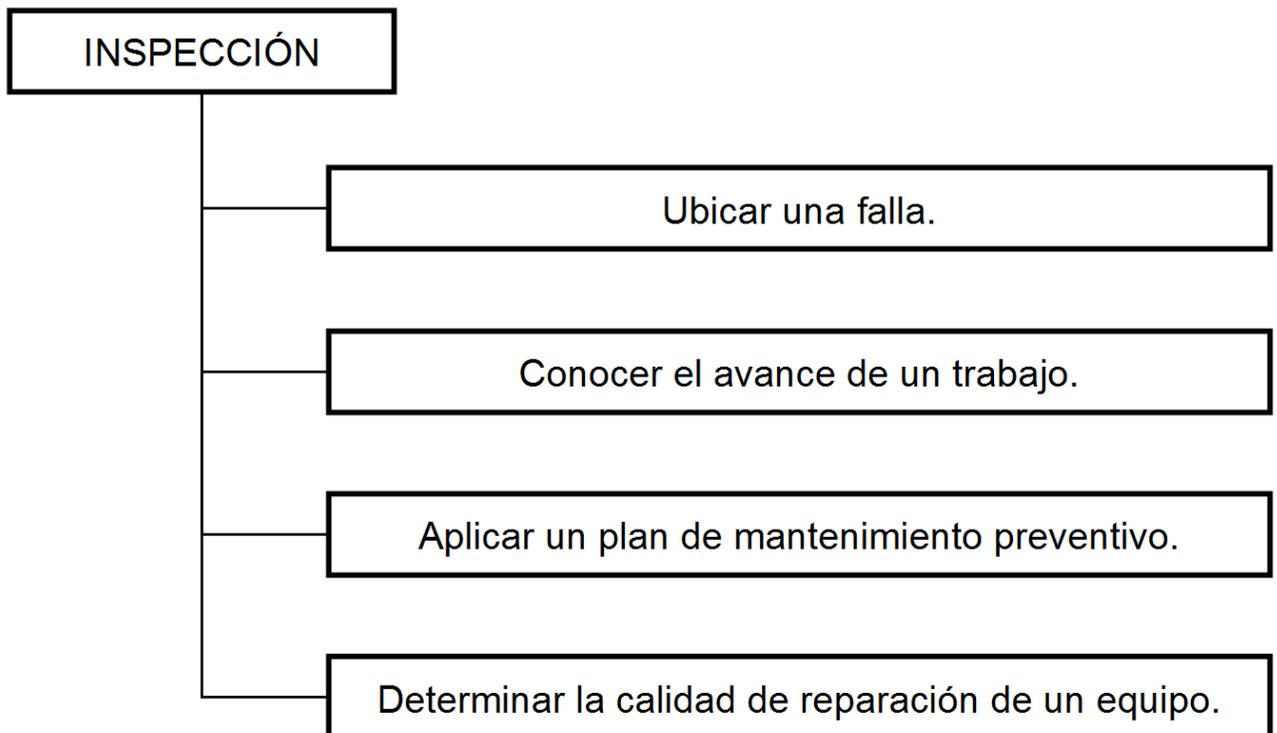
A.2 Artículo 100. - Persona Calificada (NEC).

La definición de **Persona Calificada**

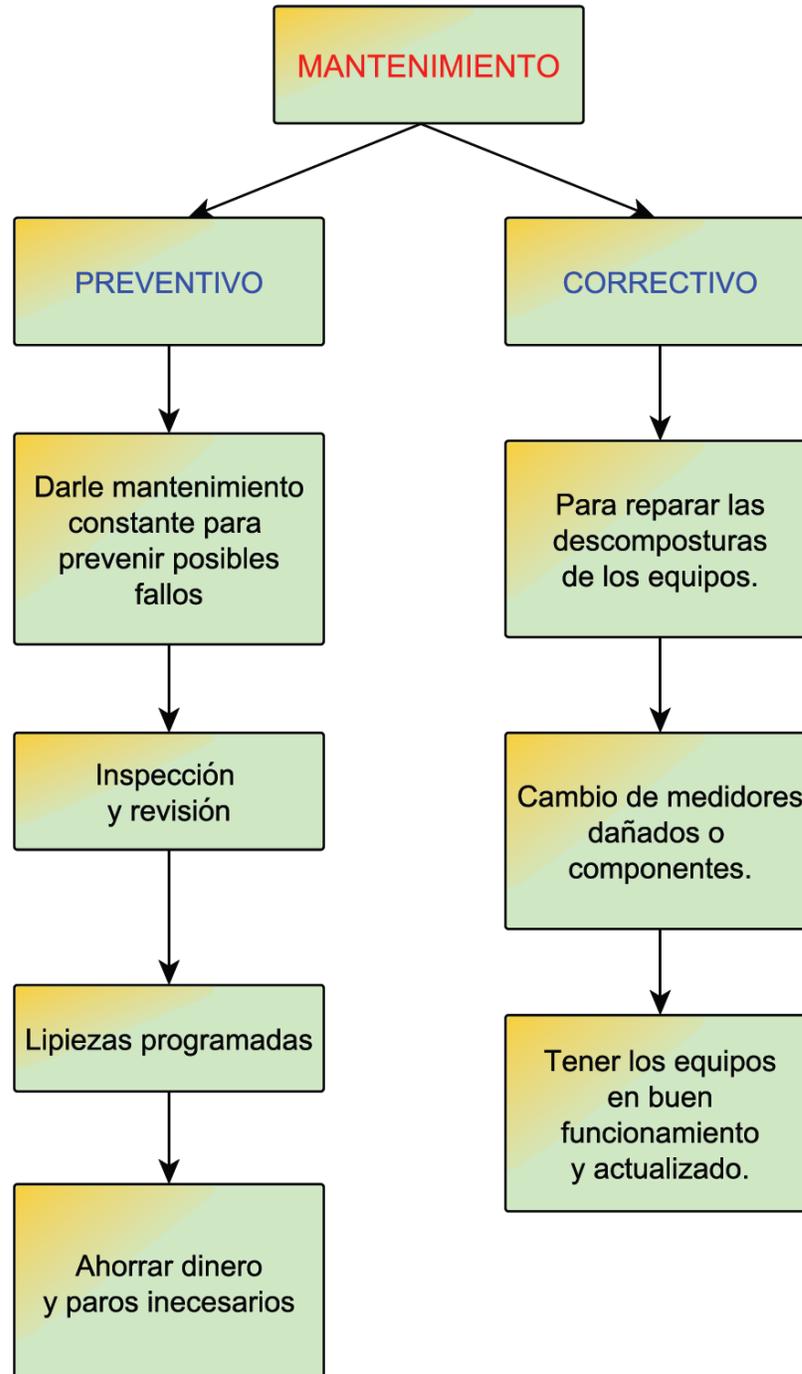


Persona Calificada.- Aquella que tiene facultades y conocimientos relacionados con la construcción y operación de equipo eléctrico y su instalación, **y que ha recibido entrenamiento de seguridad para Reconocer y Evitar los peligros involucrados.**

A.3 Acciones de una inspección.



A.4 Desglose de mantenimiento de conservación a aplicar a medidores.



A.5 Ficha de constancia de recibido de operación de mantenimiento.

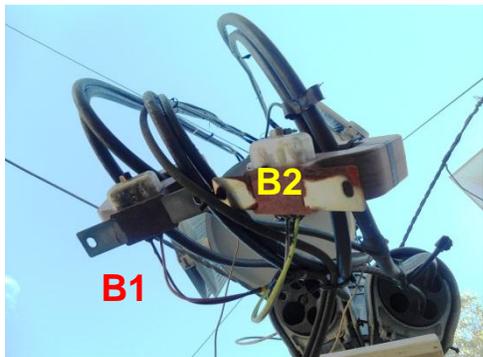
CONSTANCIA DE RECIBIDO DE OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO		
Fecha de entrega: 22 / 9 /2015	Hora: 2:00 pm	Recibe: Dr. Carlos Martínez
Punto: N° 4 Economía	Descripción de trabajos realizados :	
Responsables: Camilo Ernesto Arteaga Hernández. Marvin García.	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Actualización de firmware. <input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> Limpieza Interna y externa de gabinete. <input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> Limpieza de contactos RJ45 y RJ11. <input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> Rotulación de gabinete. <input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> Verificación visual de bobinas de corriente. <input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> Verificación visual de conexiones. <input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> Inspección visual de placa de medidor. <input checked="" type="checkbox"/> <input type="radio"/> Apreté de tornillos en bornera de medidor. <input checked="" type="checkbox"/> <p>Otros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> _____ <input type="radio"/> _____ <input type="radio"/> _____ <input type="radio"/> _____ 	
Observaciones:		Fecha : 22 / 9 /2015
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo de transporte de materiales y equipo fue de 25minutos. ✓ Hora de entrega de escalera; 1:15 Pm. ✓ Tapadera de bornera de bobinas con oxido en su exterior ✓ Poste deteriorado (agrietado, se documentó con fotografía). 		Hora de inicio: 10:50 am.
		Hora de fin: 12:25 pm

A.6 Ficha de inspección visual en bobinas de corriente.

INSPECCION VISUAL EN BOBINAS DE CORRIENTE				
Numero de fases : dos <input checked="" type="checkbox"/> tres <input type="checkbox"/>				
Punto	Fecha	Encargado		
23	26-10-2015	Camilo Arteaga		
1-Estado físico de cables que conectan borneras de bobinas de corriente con medidor.				
Líneas	mala	buena	regular	excelente
1				✓
2				✓
3				
2-Estado de borneras en bobinas de corriente con respecto al oxido.				
Bornera	mala	buena	regular	excelente
1		✓		
2				✓
3				
3-Estado de tapadera borneras en bobinas de corriente con respecto al oxido u otra anormalidad.				
Tapadera	mala	buena	regular	excelente
1	✓			
2				✓
3				
4-Estado de aislante en bobinas.				
Bobina	mala	buena	regular	excelente
1				✓
2				✓
3				
5-Lectura de corrientes (amperios).				

Fase	Medidor	Amperímetro
1	46.55 amp.	44 amp.
2	18.32 amp.	19 amp.
3		

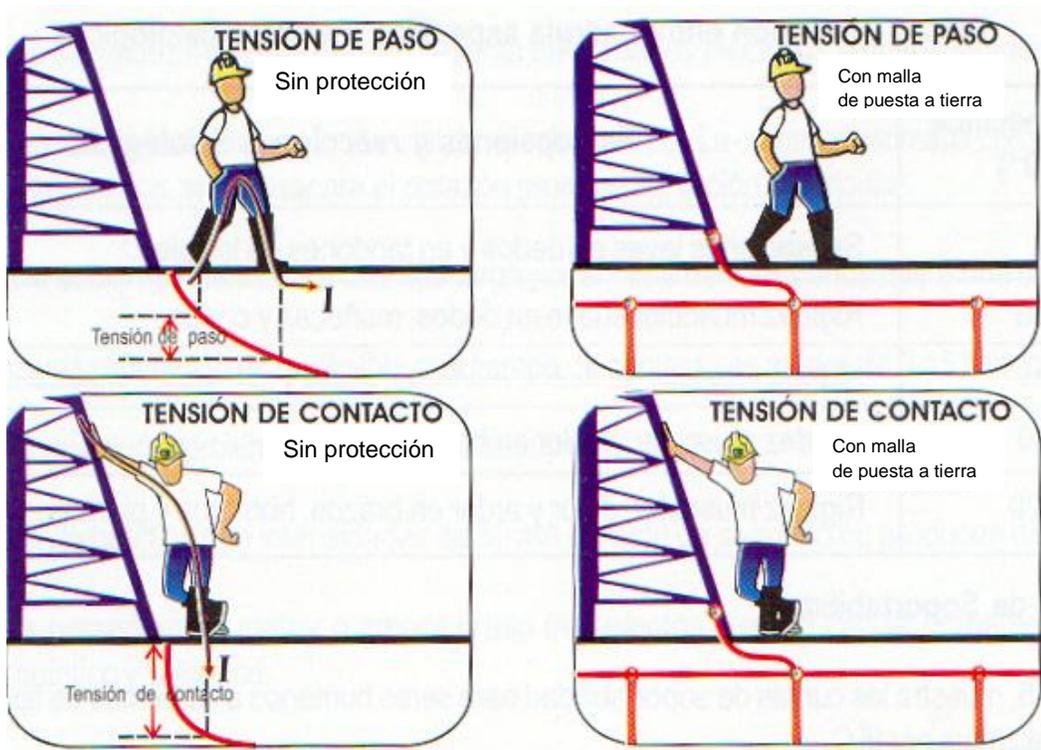
Fotografía o dibujo enumerando bobinas.



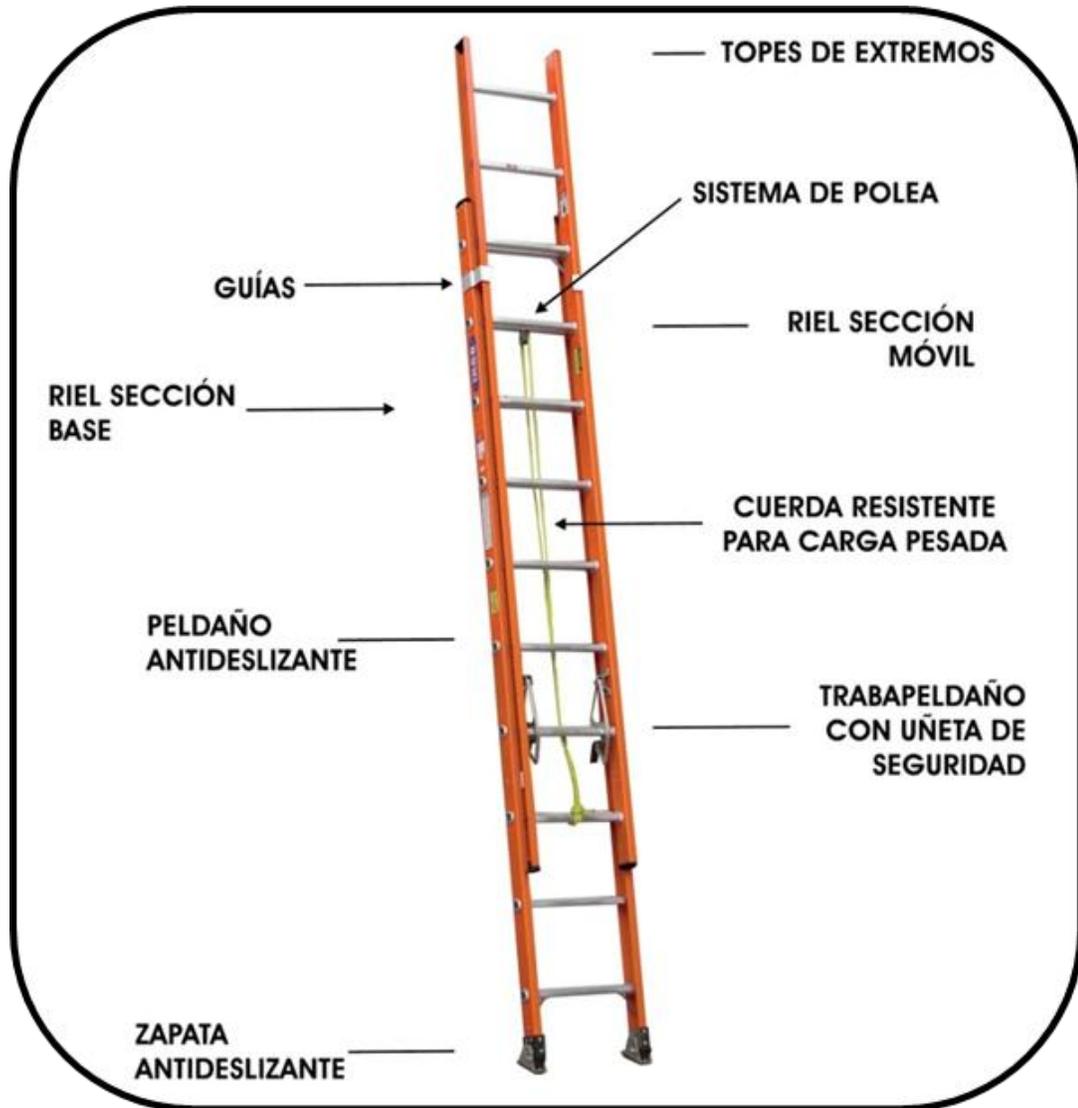
OBSERVACIONES:

Es evidente el daño en bornera de B1 debido al oxido.

A.7 Tension de paso y tension de contacto.



A.8 Escalera de Extensión bajo norma ASTM F 711.



A.9 Equipo de maniobra y seguridad.

PRODUCTO EN EL MERCADO NACIONAL			
ITEM	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	PRECIO
1	PÉRTIGA TELESCOPICA 35 PIES C403-1022 AB CHANCE		\$706.25
2	PÉRTIGA MECANICA TIPO ESCOPETA 8' C403-0293 AB CHANCE		\$367.25
3	SIERRA P/PÉRTIGA UNIVERSAL A11000 HASTING		\$58.74
4	GUANTE DE HULE 26500V TALLA 10/12 CLASE 3 SALISBURY E316YB/10H	 E316YB/10	\$283.56

5	CINURÓN PARA LINIERO KLEIN 5268N-24D		\$259.90
6	BANDOLA PARA LINIERO KLEIN 5/PIES 8" 5295/KL5295-6L		\$141.32
7	ARNES DE SEGURIDAD P/LINIERO KLEIN 87080		\$203.19
8	CASCO AZUL KLEIN 60024		\$20.41
9	GUANTES DE CUERO LARGE TIPO MUSTANG KLEIN 40008		\$22.04

10	KIT PUESTA A TIERRA # 1/0 TRANSPARENTE SALISBURY 4246-1/0		\$1988.59
11	CASCO CON CARETA PROTECTORA 12 cal/cm ² SALISBURY AS1200HAT		\$178.46
12	MANTA AISLANTE 15 SALISBURY		\$165.62
13	LENTESS CLARO DE SEGURIDAD SALISBURY TS56505GRY		\$10.85
14	LENTESS AMBAR DE SEGURIDAD SALISBURY TS56505GRY		\$10.85

15	GUANTES CLASE 0 1000V TALLA 10 E011B/10 SALISBURY		\$90.40
16	PROTECTOR P/ GUANTES 1000V TALLA 10 SALISBURY LP 10/10		\$62.15
17	GUANTE DE ALGODÓN SALISBURY AES SEE L10MCK		\$4.52
18	ARNES C/LINEA DE VIDA KLEIN #87150		\$178.54
19	BOLSA IMPERMEABLE 12"X15" KLEIN #5109		\$51.98
20	BARBIQUEJO 3M		\$3.75

21	ESCALERA F/VIDRIO 32´EXT II D5932-2MX 225L WERNER		\$350.30
22	BOTAS DIELECTRICAS ULISES.		\$40.68
PRODUCTO EN MERCADO INTERNACIONAL (PRECIOS SIN GASTO DE ENVIO).			
23	CHAQUETA IGNÍFUGA		\$205.75
24	BOTAS CATERPILLAR INTERFACE HI ST CON CASCO, DIELECTRICAS		\$183.96

25	LOADBUSTER 34.5kv y 600 AMPERES DE CORRIENTE NOMINAL		\$784.12
26	BANQUETA AISLANTE 45 KV LxWxH 500mmX500mmX237mm		\$134.64
27	AGARRA SOGA		\$35
28	PÉRTIGA AISLANTE DE SALVAMENTO 45Kv, LONGITUD 1,5m		\$163.83
29	PÉRTIGA DE PUESTA A TIERRA		\$300

Bibliografía.

- [1] Juan José Bonilla Perla, “Diseño, configuración y supervisión de la red de medidores de energía eléctrica del campus central de la Universidad de El Salvador”, Universidad de El Salvador, 2014.
- [2] Programa de mantenimiento preventivo y correctivo de instalaciones.
<https://es.scribd.com/doc/307341299/10911>
- [3] NFPA 70E, Norma para la Seguridad eléctrica en lugares de trabajo, edición 2000.
- [4] NFPA 70E Norma para la Seguridad eléctrica en lugares de trabajo-Edición 2004.
<http://www.ccenergia.org.co/uploads/default/products/095253f1931e3302b19d97246d0bdbbc.pdf>
- [5] Primeros auxilios en accidente eléctrico.
<http://www.olerdola.org/documentos/PAAE.pdf>
- [6] Guía de primeros auxilios.
<http://ssprl.gobex.es/ssprl/web/guest/guia-primeros-auxilios>
- [7] Cascos eléctricamente aislantes.
<http://www.insht.es/EPI/Contenidos/Promocionales/Proteccion%20de%20cabeza/Promocional%20a%20Contenido/Fichas%20seleccion%20y%20uso%20de%20equipos%20nivel%202/ficheros/Cascos-electricamenteaislantespdf8-06-14.pdf>
- [8] Casco de seguridad 3M (ANSI Z89.1).
<http://multimedia.3m.com/mws/media/782668O/american-helmet.pdf>
- [9] Selección de pantallas faciales y gafas de Protección.
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Divulgacion_Normativa/Ficheros/FDN_17.pdf
- [10] Guantes de protección: requisitos generales.
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_747.pdf

- [11] Sistemas anti-caídas. Componentes y elementos.
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/ntp-774.pdf>
- [12] Normas técnicas Protección contra caídas de altura.
<http://www.insht.es/Epi/Contenidos/Promocionales/Proteccion%20contra%20caidas%20de%20altura/Normastecnicas%20%20Proteccion%20individual%20contra%20caidas.pdf>
- [13] Normas básicas de prevención de accidentes en uso de escaleras.
https://www.uclm.es/servicios/prevencion/documentacion/procedimientos/Normas%20de%20prevenci%C3%B3n_Escaleras%20manuales.pdf
- [14] Normas de seguridad para el uso de escaleras de mano.
https://www.uclm.es/servicios/prevencion/documentacion/procedimientos/Normas%20de%20prevenci%C3%B3n_Escaleras%20manuales.pdf
- [15] Recomendaciones para la utilización de carretillas de mano.
<http://www.uhu.es/servicio.prevencion/menuservicio/info/ergonomia/manualcarretillas.pdf>
- [16] Electroindustries Shark 100S. Manual De Instalación y Operación.
<http://www.electroind.com/pdf/sp/SP-100S-man.pdf>
- [17] Electroindustries Shark 200. Manual de Instalación y Operación.
http://www.electroind.com/pdf/sp/ES149701_SP_Shark200_manual.pdf
- [18] Electroindustries Shark 200S. Manual de Instalación y operación.
http://www.electroind.com/pdf/sp/01_29_13/ES149721_Shark_200S_man_sp.pdf
- [19] Village Telco. Mesh Potato.
<http://villagetelco.org/mesh-potato/>
- [20] Procedimiento para la calibración de medidores de energía eléctrica.
http://www.cem.es/sites/default/files/el-005_digital.pdf
- [21] Botiquín de primeros auxilios.
<http://norma-ohsas18001.blogspot.com/2013/09/botiquin-de-primeros-auxilios.html>
- [22] Análisis FODA
<http://planeamiento.uncoma.edu.ar/images/phocadownload/ReunionDecanos20160505/Aprenderapensar-AnlisisFODA.pdf>

Otras fuentes relacionadas al tema.

- [23] Técnicas de Mantenimiento Industrial.
<http://ingenieriaenred.blogspot.com/2013/01/libro-tecnicas-de-mantenimiento.html>
- [24] MANUAL-SEGURIDAD-HIGIENE-MEG-2011.
<http://www.colima-estado.gob.mx/transparencia/archivos/MANUAL-SEGURIDAD-HIGIENE-MEG-2011.pdf>
- [25] IEEE Std 902-1998IEEE Guide for Maintenance, Operation, and Safety of Industrial and Commercial Power Systems (Yellow Book).
- [26] Elaboración de manual de mantenimiento de equipos para la empresa astivenca.
<http://159.90.80.55/tesis/000134938.pdf>
- [27] Manual de mantenimiento preventivo-correctivo.
http://www.tectamazunchale.edu.mx/sistema_calidad/pdf/rec_materiales/mantenimiento/manual_mpc.pdf
- [28] PROCEDIMIENTO PARA LA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA ESTÁTICOS CLASES 1 Y 2 Y ELECTROMECAÁNICO CLASE 2.
<http://www.inacal.gob.pe/inacal/files/metrologia/%20HCMEE/PV-001-INACAL.pdf>
- [29] Calibración de equipos para ensayo de medidores de energía eléctrica.
<http://www.inti.gob.ar/fisicaymetrologia/pdf/pce/pee13.pdf>
- [30] WATTHORÍMETROS MONOFÁSICOS Y POLIFÁSICOS ELECTRÓNICOS, CLASE DE EXACTITUD 0,5.
https://www.google.com/sv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwio7Pii_pbNAhUBVh4KHfM4CCoQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Flapem.cfe.gob.mx%2Fnormas%2Fpdfs%2Fo%2FGWH00-78.pdf&usq=AFQjCNHQfBsWa53Ap6l6m3mVBeb5eBcK6g
- [31] Gestión del Mantenimiento.
<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/GestionBecerra.pdf>

- [32] ANSI C57.13.1-1981-Guide for Field Testing of Relaying Current Transformers.
<https://www.google.com/sv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiZI83biZfNAhWGbR4KHRMJD6kQFgg0MAQ&url=http%3A%2F%2Fdocuments.mx%2Fdocuments%2Fansi-ieee-c57131-1981-5584462ff0cc0.html&usg=AFQjCNER0PPzIDcNT11xzPB03nBjimpqeZg>
- [33] TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA MEDICIONES DE SERVICIOS ELECTRICOS DE MEDIA TENSION AES El Salvador.
<https://www.google.com/sv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi90s73gZfNAhWC6SYKHSFiCwYQFggsMAM&url=http%3A%2F%2Fwww.aeselsalvador.com%2Fportal%2FLinkClick.aspx%3Ffileticket%3DLpABple%252FmZY%253D%26tabid%3D482%26mid%3D1221&usg=AFQjCNG-PaPM6C9mccvhtTQUk9dIG6Ofiq>
- [34] TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS.
<http://es.scribd.com/doc/50154334/Transformadores-de-Instrumento>
- [35] Transformador de corriente.
<http://html.rincondelvago.com/transformador-de-corriente.html>
- [36] Metodología para el Control de Equipos de Medición SIGET.
http://www.siget.gob.sv/attachments/2329_Anexo_E_Metodologia_de_Control_Campana_Exactitud_Medidores.pdf