

**MANTENIMIENTO DE LÍNEAS AÉREAS DESENERGIZADAS CON  
OPERACIÓN NORMAL A 13,2 kV**

**FABIAN MARIN VASQUEZ  
BENJAMIN HERRERA GOMEZ  
RICHARD ALIRIO TINTINAGO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
PEREIRA  
2017**

**MANTENIMIENTO DE LÍNEAS AÉREAS DESENERGIZADAS CON  
OPERACIÓN NORMAL A 13,2 kV**

**FABIAN MARIN VASQUEZ  
BENJAMIN HERRERA GOMEZ  
RICHARD ALIRIO TINTINAGO**

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Electricidad**

**PROFESOR:  
CARLOS ALBERTO RIOS PORRAS**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
PEREIRA  
2017**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Pereira (15, marzo, 2017)

## *Dedicatoria*

Este trabajo está dedicado a todos los técnicos, tecnólogos e ingenieros que trabajan con redes de media y baja tensión; también a quienes han tenido un amigo, un conocido o familiar que labore en esta área y que haya sufrido un incidente laboral.

## *Agradecimiento*

Le damos gracias a Dios y a todas las personas que confiaron en nuestro trabajo, y nos dieron la oportunidad para tener un espacio en el cual adelantar nuestros estudios y de esta manera lograr alcanzar una meta más en nuestras vidas. También le damos gracias a nuestras familias por su paciencia, acompañamiento, apoyo y sobre todo por estar siempre brindándonos ánimo para continuar y sacar adelante este proyecto.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	18
1. REGLAMENTOS RELACIONADOS CON EL MANTENIMIENTO DE LÍNEAS AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	20
1.1. RETIE .....	20
1.2. CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO NTC 2050 .....	20
1.3. RESOLUCIÓN 1409 DE 2012 - TRABAJO SEGURO EN ALTURAS .....	21
1.4. RESOLUCIÓN 1348 DE 2009 - REGLAMENTO DE SALUD OCUPACIONAL EN LOS PROCESOS DE GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS EMPRESAS DEL SECTOR ELÉCTRICO .....	22
2. COMPONENTES DE UNA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN AÉREA DE 13,2 kV....	24
2.1. POSTES .....	24
2.2. CONDUCTORES .....	25
2.3. CRUCETAS .....	25
2.4. AISLADORES .....	26
2.5. HERRAJES .....	26
2.6. EQUIPOS DE SECCIONAMIENTO.....	27
2.7. TRANSFORMADORES Y PROTECCIONES .....	27
2.8. REDES DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIAS .....	28
3. SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL EN EL MANTENIMIENTO DE REDES ELECTRICAS.....	29
3.1. PROCEDIMIENTOS GENERALES DE SEGURIDAD PARA TRABAJOS DE MANTENIMIENTO DE REDES ELÉCTRICAS.....	29
3.2. REGLAS DE ORO PARA EJECUTAR TRABAJOS EN TENSIÓN .....	34
3.2.1. Primera regla: Corte efectivo de todas las fuentes de tensión. ....	34

3.2.2. Segunda regla: Bloqueo de los aparatos de corte o seccionamiento e instalación de su respectiva señalización.....	34
3.2.3. Tercer regla: Comprobación de ausencia de tensión.....	35
3.2.4. Cuarta regla: Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las fuentes posibles de tensión. ....	35
3.2.5. Quinta regla: Señalización de la zona de trabajo.....	36
3.3. TRABAJO SEGURO CON RIESGO ELÉCTRICO EN CIRCUITOS DESENERGIZADOS.....	36
3.4. PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL PARA MANTENIMIENTO DE REDES ELÉCTRICAS .....	39
3.5. SERVICIO DE SALUD Y CUBRIMIENTO DE RIESGOS .....	40
4. MANTENIMIENTO DE LÍNEAS AÉREAS A 13,2 kV .....	41
4.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	41
4.1.1. Equipos y sistemas objeto de mantenimiento preventivo en redes eléctricas. ....	42
4.1.2. Materiales necesarios para la realización del mantenimiento preventivo en redes eléctricas.....	43
4.1.3. Herramientas y elementos de protección personal. ....	47
4.1.4. Tipos de mantenimiento preventivo.....	56
4.1.4.1. Termografía.....	56
4.1.4.2. Mantenimiento del área de servidumbre.....	57
4.1.4.3. Mantenimiento de transformadores de distribución. ....	57
4.1.5. Definición del procedimiento para realizar mantenimiento preventivo. ....	57
4.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	58
4.2.1 Materiales necesarios para la realización del mantenimiento correctivo en redes eléctricas.....	59
4.2.2. Herramientas y elementos de protección personal. ....	63
4.2.3. Definición del procedimiento para realizar mantenimiento correctivo. ....	72

5. FUNCIONES DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO .....	75
5.1. INGENIERO RESPONSABLE DE MANTENIMIENTO .....	75
5.1.1. Profesión.....	75
5.1.2. Funciones. ....	75
5.2. INGENIERO RESPONSABLE DE PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO.....	76
5.2.1. Profesión.....	76
5.2.2. Funciones. ....	76
5.3. UN PROFESIONAL EN SALUD OCUPACIONAL .....	76
5.3.1. Profesión.....	76
5.3.2. Funciones. ....	77
5.4. UN TÉCNOLOGO ELECTRICISTA.....	78
5.4.1. Profesión.....	78
5.4.2. Funciones. ....	79
5.5. DOS TÉCNICOS ELECTRICISTAS LINIEROS.....	79
5.5.1. Profesión.....	79
5.5.2. Funciones. ....	79
6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE OPERACIÓN, FALLA Y MANTENIMIENTO PARA EL CIRCUITO PADILLA DE 13,2 KV DE LA EMPRESA DE ENERGÍA DEL QUINDIO .....	81
6.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	81
6.2 REGISTRO DE INTERRUPCIONES DEL SISTEMA .....	81
6.3 CLASIFICACIÓN Y ESTADÍSTICAS DE INTERRUPCIONES DEL SISTEMA	82
6.3.1 Análisis de frecuencia y duración .....	82
6.3.2. Índices estadísticos .....	83
6.3.2.1. Frecuencia .....	83
6.3.2.2 Indisponibilidad .....	83



6.3.2.3 Análisis de Pareto .....	83
CONCLUSIONES .....	88
RECOMENDACIONES .....	89
BIBLIOGRAFÍA .....	90

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. RETIE.....	20
Cuadro 2. NTC 2050 .....	21
Cuadro 3. Resolución 1409 de 2012 .....	21
Cuadro 4. Resolución 1348 de 2009 .....	23
Cuadro 5. Lista de chequeo de actividades de alto riesgo .....	32
Cuadro 6. Instructivo para trabajo seguro con riesgo eléctrico en circuitos desenergizados.....	37
Cuadro 7. Descripción del instructivo mantenimiento preventivo.....	57
Cuadro 8. Descripción del instructivo de mantenimiento correctivo.....	72
Cuadro 9 Clasificación de las Interrupciones .....	82
Cuadro 10. Clasificación por falla y reportes en el año 2014.....	84
Cuadro 11. Clasificación de reportes de daños en el año 2014.....	84
Cuadro 12. Datos obtenidos de la suma de fallas y reportes en el año 2014 .....	86

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Postes de concreto .....	24
Figura 2. Conductores ACSR.....	25
Figura 3. Crucetas metálicas.....	25
Figura 4. Aisladores .....	26
Figura 5. Herrajes .....	26
Figura 6. Corta circuito de 100 A.....	27
Figura 7. Transformador de potencia .....	27
Figura 8. Redes de distribución.....	28
Figura 9. Cambio de crucetas programado como mantenimiento preventivo .....	42
Figura 10. Cortacircuitos 100 kV .....	43
Figura 11. Pararrayos .....	44
Figura 12. Varilla de puesta a tierra .....	44
Figura 13. Alambre bimetálico.....	44
Figura 14. Cable en aluminio en #2 ASCR.....	45
Figura 15. Cable concéntrico 1*8+8 .....	45
Figura 16. Cinta aislante super 33.....	45
Figura 17. Aislador pin y Espigo pin para 13,2 kV .....	46
Figura 18. Aislador de Suspensión.....	46
Figura 19. Fusibles.....	46
Figura 20. Conectores de DBH .....	47
Figura 21. Equipo de tierra portátil .....	48
Figura 22. Equipo desconectador bajo carga (LOADBUSTER).....	48

Figura 23. Pértiga aislada .....	49
Figura 24. Arnés cuerpo entero 5 argollas .....	49
Figura 25. Casco dieléctrico .....	49
Figura 26. Escalera de fibra dieléctrica .....	50
Figura 27. Guantes .....	50
Figura 28. Botas dieléctricas .....	50
Figura 29. Detector de tensión y Pinza voltioamperimétrica .....	51
Figura 30. Gafas UV .....	51
Figura 31. Juego de llaves .....	51
Figura 32. Alicata .....	52
Figura 33. Raches.....	52
Figura 34. Hoyadoras.....	52
Figura 35. Ponchadora.....	53
Figura 36. Zunchadora.....	53
Figura 37. Linterna / Reflector .....	53
Figura 38. Destornilladores de pala y estría .....	54
Figura 39. Perforadora .....	54
Figura 40. Aparejo triple .....	54
Figura 41. Carro loco .....	55
Figura 42. Machete .....	55
Figura 43. Poleas.....	55
Figura 44. Manilas .....	56
Figura 45. Entenallas .....	56
Figura 46. Imágenes mantenimiento correctivo (pararrayo estallado) .....	59
Figura 47. Cortacircuitos 100 kV .....	60

Figura 48. Pararrayos .....	60
Figura 49. Varilla de puesta a tierra .....	60
Figura 50. Alambre bimetálico.....	61
Figura 51. Cable en aluminio en #2 ASCR.....	61
Figura 52. Cable concéntrico 1*8+8 .....	61
Figura 53. Cinta aislante super 33.....	62
Figura 54. Aislador pin y Espigo pin para 13,2 kV .....	62
Figura 55. Aislador de Suspensión.....	62
Figura 56. Fusibles.....	63
Figura 57. Conectores de DBH .....	63
Figura 58. Equipo de tierra portátil .....	64
Figura 59. Equipo desconector bajo carga (LOADBUSTER).....	65
Figura 60. Pértiga aislada .....	65
Figura 61. Arnés cuerpo entero 5 argollas .....	65
Figura 62. Casco dieléctrico.....	66
Figura 63. Escalera de fibra dieléctrica .....	66
Figura 64. Guantes .....	67
Figura 65. Botas dieléctricas .....	67
Figura 66. Detector de tensión y Pinza voltiamperimétrica.....	67
Figura 67. Gafas UV .....	68
Figura 68. Juego de llaves .....	68
Figura 69. Alicates .....	68
Figura 70. Raches.....	69
Figura 71. Hoyadoras.....	69
Figura 72. Ponchadora.....	69

Figura 73. Zunchadora .....	70
Figura 74. Linterna / Reflector .....	70
Figura 75. Destornilladores de pala y estría .....	70
Figura 76. Aparejo triple .....	71
Figura 77. Machete .....	71
Figura 78. Poleas .....	71
Figura 79. Manilas .....	72
Figura 80. Entenallas .....	72
Figura 81. Análisis de Pareto de tipos de fallas anual – acumulado .....	86
Figura 82. Análisis de Pareto de tipos de fallas frecuencia - acumulado .....	87

## GLOSARIO

La siguiente información fue consultada en (1)

**ASIGNADOR:** es la persona encargada de recibir los reportes del CALL CENTER, organizar los mismos y emitir las ordenes de trabajo a los diferentes grupos involucrados en el mantenimiento.

**BLOQUEO:** instalar un candado sobre un dispositivo fijo asociado con el equipo o sistema, evitando una activación inadvertida del peligro o alteración de la posición.

**CALL CENTER:** centro de atención de llamadas donde se reciben y registran los reportes hechos telefónicamente por los usuarios acerca de anomalías en la prestación y continuidad del servicio de energía.

**CERTIFICADO DE APOYO:** documento adjunto al permiso de trabajo para autorizaciones de actividades críticas como son: ingreso en espacios confinados, trabajo en altura, trabajo en caliente, trabajo en circuitos (sistemas) eléctricos y trabajos especiales (excavación, izase de cargas, montaje de equipos especiales).

**DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD:** las distancias mínimas de seguridad para los trabajos en tensión a efectuar en la proximidad de las instalaciones no protegidas y sometidas a tensión, son las medidas entre el punto más próximo en tensión y cualquier parte externa del trabajador, herramientas o elementos que pueda manipular en movimientos voluntarios o accidentales.

**DPR:** disponibilidad presupuestal provisional.

**ELEMENTOS CONDUCTORES:** todos aquellos que son susceptibles de conducir corrientes eléctricas.

**ENERGIZACIÓN:** suministrar tensión a un equipo o elemento eléctrico.

**EPP:** equipo de protección personal.

**GRUPOS DE MANTENIMIENTO:** es el personal operativo que conforma un grupo de trabajo y cuya responsabilidad es atender las órdenes de trabajo emitidas por el asignador.

**ORDEN DE TRABAJO:** es la acción que se desprende de cada uno de los requerimientos reportados que son direccionados por el asignador del centro de reportes de daños al grupo de mantenimiento correctivo para la atención de la misma.

**PELIGRO:** situación, fuente o acto que puede causar daño al(os) trabajador(es) o la(s) organización(es).

**PERMISO DE TRABAJO:** autorización por escrito que permite la realización de un trabajo, que incluye la ubicación y el tipo de actividad a realizar, el mismo certifica que los riesgos fueron evaluados por personal capacitado y se determinaron las medidas de control necesarias para la realización segura del trabajo.

**PÉRTIGA:** es un tubo telescópico de material aislante dotado de una grapa que permite la conexión a la catenaria. A esta grapa va unido un cable que posibilita cortocircuitar la línea con el carril. Se utiliza como medio de seguridad para contrarrestar cualquier puesta en tensión accidental de la línea mientras se esté trabajando en ella.

**PROGRAMA:** sistema de manejo avanzado de redes, software que permite el registro de llamadas, creación de eventos, asignación de reportes a los grupos para restablecer el servicio de energía a un usuario.

**PROGRAMA ERP:** sistema de planeación de recursos empresariales; software que permite la creación y registro de las actividades de mantenimiento y solicitud de materiales para la ejecución del trabajo de mantenimiento.

**PUESTA A TIERRA:** grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.

**REGLAS DE ORO:** normas básicas de seguridad para la ejecución de labores que impliquen riesgo eléctrico.

**TARJETA DE SEGURIDAD:** aviso escrito y predeterminado que se utiliza para confirmar el aislamiento de una planta, equipo o sistema eléctrico.

**TRABAJOS EN TENSIÓN:** métodos de trabajo, en los cuales un operario entra en contacto con elementos energizados o entra en la zona de influencia directa del campo electromagnético que este produce, bien sea con una parte de su cuerpo o con herramientas, equipos o los dispositivos que manipula.

**ZONA DE AISLAMIENTO:** suministrar un ambiente seguro que independice a las personas y los equipos de los peligros, ésta se produce cuando se cubre un elemento de una instalación eléctrica con un material que no es conductor de la electricidad.



## RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un estudio de las normas y procedimientos a seguir para llevar a cabo los respectivos tipos de mantenimiento de los sistemas eléctricos de distribución, comprendiendo todas las etapas de los mismos.

El objetivo del presente documento es aportar una visión de conjunto sobre el mantenimiento de redes de distribución de energía eléctrica en el momento actual, en el que aparecen nuevos retos para las empresas distribuidoras de energía en un entorno cambiante, competitivo y cada vez más complejo.

Se describe un procedimiento sencillo y fácil de entender para la realización tanto de mantenimiento preventivo como de mantenimiento correctivo a las de redes eléctricas de 13,2 kV, así como la herramienta necesaria y los requisitos y roles del personal involucrado en esta labor; teniendo siempre como prioridad la atención al cliente, la seguridad, la calidad y la protección del medio ambiente.

**Palabras clave:** mantenimiento, distribución, tensión, seguridad, prevención, energía, grupo, herramienta, trabajo.

## ABSTRACT

In the present work a study of the norms and procedures to follow to carry out the respective types of maintenance of the electrical systems of distribution, comprising all the stages of the same, is developed.

The objective of this document is to provide an overview of the maintenance of electricity distribution networks at the present time, in which new challenges for energy distribution companies appear in a changing, competitive and increasingly complex environment.

A simple and easy to understand procedure is described for the realization of both preventive maintenance and corrective maintenance to those of 13.2 kV electrical networks, as well as the necessary tool and the requirements and roles of the personnel involved in this work; always having as a priority customer service, safety, quality and environmental protection.

**Key words:** maintenance, distribution, tension, safety, prevention, energy, group, tool, work.

## INTRODUCCIÓN

El presente documento, desarrolla el estudio de las normas y procedimientos a seguir para la ejecución del mantenimiento a los sistemas eléctricos de 13,2 kV, comprendiendo todas las etapas de los mismos.

Se aporta una visión de conjunto sobre el mantenimiento de redes eléctricas de 13,2 kV en el momento actual, en el que aparecen nuevos retos para las empresas distribuidoras de energía eléctrica en un entorno cambiante, competitivo y cada vez más complejo.

Se debe buscar nuevos enfoques que superen lo tradicional en este campo, fuertemente ligado a una orientación al servicio público y a la prevención y atención de averías, sin descuidar temas tan importantes como la orientación a la seguridad, a la calidad y a la protección del medio ambiente.

Este documento está ceñido, según las normas y leyes establecidas por las entidades competentes, al concepto de redes eléctricas de 13,2 kV, se trata de hacer con un análisis y unas técnicas empleadas, para un fácil desarrollo de las actividades preventivas y correctivas.

El mantenimiento preventivo es un procedimiento programado que se efectúa a una instalación con el propósito de reducir la probabilidad de fallo, mantener condiciones seguras y preestablecidas de operación, prolongar la vida útil y evitar accidentes.

El mantenimiento correctivo es un plan de respuesta oportuna a los diferentes daños ocasionados por distintos factores, en las redes eléctricas, de todos los niveles de tensión.

Para la realización del presente documento se ha desarrollado una base de datos estadísticos de operación, falla y mantenimiento de los distintos circuitos de 13,2 kV que componen el sistema eléctrico de distribución en la Empresa de Energía del Quindío, considerando los datos recogidos con personal vinculado a la empresa, contratistas, electricistas independientes, hasta el primer semestre del 2016.

En el presente trabajo de grado, los autores elaboran un procedimiento sencillo y fácil de entender, para realizar los diferentes tipos de mantenimiento correctivo y preventivo en las líneas de energía de 13,2 kV, como propuesta de solución a una problemática planteada por la unidad de mantenimiento de las redes de energía de una empresa, debido a la carencia de un procedimiento que le permita al personal que labora en dicha unidad, contar con un instrumento teórico práctico para realizar de manera eficaz y eficiente, las labores de mantenimiento correctivo

y preventivo, empleando las diferentes técnicas señaladas; ya que la elaboración de un adecuado proceso mantenimiento contribuye a disminuir las pérdidas y a entregar una buena continuidad del servicio al cliente, de igual manera también aumenta la confiabilidad del sistema.

El procedimiento propuesto contiene a lo largo de su desarrollo un conjunto de elementos vinculados directamente con los objetivos propuestos, teniendo en cuenta los lineamientos contemplados en las normas de calidad. También se tiene en cuenta todos los recursos disponibles en la empresa, evitando agregar nuevos elementos para mantener el equilibrio existente antes de su aplicación y garantizar la aceptación del personal que labora en la unidad de mantenimiento en sus distintas redes, los cuales participaron directamente en la elaboración del procedimiento, aportando sugerencias y experiencias en la realización de sus labores.

Finalmente se expresan algunas conclusiones y se sugiere un conjunto de recomendaciones de carácter general; en esta parte se hace énfasis en los aspectos más importantes que determinan los resultados obtenidos, garantizando la seguridad del personal técnico que realizará las pruebas aplicando las técnicas y cumpliendo las normas para dichas labores; y al mismo tiempo sirven para apoyar futuras investigaciones en temas asociados con el mantenimiento correctivo y preventivo, el cual está cobrando cada día más importancia en las diferentes empresas, porque está ligado a la confiabilidad del sistema eléctrico y la optimización de recursos y al mejoramiento profesional de quienes lo realizan.

El Objetivo General del proyecto consiste en: “Realizar una estandarización de los métodos de mantenimiento de líneas aéreas desenergizadas con operación normal a 13,2 kV”.

Los Objetivos Específicos son:

- Identificar los riesgos que se presentan en los diferentes procesos de mantenimiento en redes de 13,200 kV.
- Estandarizar los procedimientos para la ejecución del mantenimiento en circuitos de redes de distribución a 13200 V.
- Establecer un procedimiento de recolección de información de los diferentes tipos de fallas que se presentan en un circuito en las redes de distribución a 13200 V.

## **1. REGLAMENTOS RELACIONADOS CON EL MANTENIMIENTO DE LÍNEAS AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

### **1.1. RETIE**

El RETIE (2) como norma legal para el campo empresarial o persona natural que desarrolle actividades relacionadas con la construcción, operación y mantenimiento de instalaciones de energía eléctrica debe dar cumplimiento a los requisitos establecidos en la legislación y regulación colombiana vigente.

En el RETIE la información que hay que tener clara es lo estipulado por los capítulos y artículos mencionados en el Cuadro 1.

#### ***Cuadro 1. RETIE***

- Capítulo 1: Disposiciones generales.
  - Artículo 7: Comunicaciones para coordinación de trabajos eléctricos.
  - Artículo 8: Programa de salud ocupacional.
  
- Capítulo 2: Requisitos técnicos especiales.
  - Artículo 9: Análisis de riesgos de origen eléctrico.
  - Artículo 12: Clasificación de niveles de tensión.
  - Artículo 13: Distancias de seguridad.
  - Artículo 18: Trabajo en redes desenergizadas.

### **1.2. CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO NTC 2050**

El Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 (3), es una herramienta fundamental para el sector eléctrico nacional y para los profesionales que trabajan en esta área, ya que establece los requisitos que se deben cumplir en aspectos de seguridad para las instalaciones eléctricas en construcciones, basados en parámetros aplicados y validados mundialmente; brindando transparencia en los procesos de contratación y calidad en la ejecución de los trabajos todo enfocado a garantizar al usuario una utilización segura y confiable de las instalaciones eléctricas.

De esta norma los capítulos relacionados con las líneas aéreas se mencionan en el Cuadro 2.

## **Cuadro 2. NTC 2050**

- Capítulo 1: Generalidades
- Capítulo 2: Alambrado y Protección de las Instalaciones Eléctricas
- Capítulo 3: Métodos y Materiales de las Instalaciones.

## **1.3. RESOLUCIÓN 1409 DE 2012 - TRABAJO SEGURO EN ALTURAS**

El Ministerio de Trabajo estableció en la Resolución 1409 de 2012, el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo de alturas (4), ya que según estadísticas nacionales, el trabajo en alturas está considerado como de alto riesgo debido a que es una de las primeras causas de accidentalidad y muerte en el trabajo. Dicha resolución es de obligatorio cumplimiento en todo trabajo donde haya riesgo de caer a 1,50 m o más sobre un nivel inferior.

De esta resolución se debe prestar especial atención a los títulos, capítulos y artículos descritos en el Cuadro 3.

## **Cuadro 3. Resolución 1409 de 2012**

- Título I: Disposiciones Generales.
  - Capítulo I: Objeto, Campo de Aplicación y Definiciones.
    - Artículo 1: Objeto y Campo de Aplicación.
    - Artículo 2: Definiciones.
  - Capítulo II: Obligaciones y Requerimientos.
    - Artículo 4: Obligaciones de los Trabajadores.
- Título II: Programa de Prevención y Protección Contra Caídas de Alturas.
  - Capítulo II: Medidas de Prevención Contra Caídas en Alturas.
    - Artículo 8: Medidas de Prevención.
    - Artículo 9: Capacitación o Certificación de la Competencia Laboral de Trabajadores que Realicen Trabajo en Alturas.
    - Artículo 10: Personas Objeto de la Capacitación.
    - Artículo 14: Contenido Mínimo del Certificado de Capacitación o de Competencia Laboral, en Trabajo Seguro en Alturas.
    - Artículo 15: Sistemas de Ingeniería para Prevención de Caídas.
    - Artículo 16: Medidas Colectivas de Prevención.
    - Artículo 17: Permiso de Trabajo en Alturas.
    - Artículo 18: Sistemas de Acceso para Trabajo en Alturas.
    - Artículo 19: Lineamientos para el Uso Seguro de Sistemas de Acceso para Trabajo en Alturas.
    - Artículo 20: Trabajo en Suspensión.

- Capítulo III: Medidas de Protección Contra Caídas en Alturas.
  - Artículo 21: Medidas de Protección Contra Caídas.
  - Artículo 22: Clasificación de las Medidas de Protección Contra Caídas.
  - Artículo 23: Elementos de Protección Personal Para Trabajo en Alturas.
  - Artículo 24: Plan de Emergencias.

#### **1.4. RESOLUCIÓN 1348 DE 2009 - REGLAMENTO DE SALUD OCUPACIONAL EN LOS PROCESOS DE GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS EMPRESAS DEL SECTOR ELÉCTRICO**

Mediante esta resolución el Ministerio de La Protección Social adopta el Reglamento de Salud Ocupacional en los Procesos de Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica en las empresas del sector eléctrico (5); en el cual se definen requerimientos importantes para garantizar la prevención y control de los riesgos laborales asociados a las actividades propias del sector. Dicho reglamento es de obligatorio cumplimiento y debe ser aplicado en los procesos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica que realicen las empresas públicas y privadas, trabajadores dependientes e independientes, contratantes de personal bajo modalidad de contrato civil, comercial o administrativo, organizaciones de economía solidaria y del sector cooperativo, administradoras de riesgos profesionales, policía nacional en lo que corresponde a su personal no uniformado y al personal civil de las fuerzas militares.

En la Resolución 1348 de 2009 se reglamenta el cumplimiento de los programas en seguridad y salud ocupacional en las actividades asociadas al sector eléctrico como: mantenimiento y operación, distancias de seguridad, trabajos en subestaciones convencionales, trabajos sin tensión, trabajos con tensión y trabajos en redes de distribución.

De esta resolución se debe prestar especial atención a los títulos, capítulos y artículos del Cuadro 4.

#### **Cuadro 4. Resolución 1348 de 2009**

- Título I: De la Salud Ocupacional en el Sector Eléctrico y Actividades Relacionadas.
  - Capítulo I: Generalidades.
    - Artículo 1: De las obligaciones en salud ocupacional.
    - Artículo 2: Actividades de operación y mantenimiento.
    - Artículo 3: Condiciones para trabajos en instalaciones eléctricas.
    - Artículo 4: Métodos de trabajo en equipos e instalaciones eléctricas.
    - Artículo 5: Método de trabajo sin tensión (desenergizado).
  - Capítulo II: Distancias de Seguridad.
    - Artículo 11: Distancias de seguridad partes energizadas.
    - Artículo 12: Señalización de circuitos e identificación de fases.
  - Capítulo VI: Trabajo en Alturas y Elementos de Protección.
    - Artículo 28: Trabajo en Alturas.
    - Artículo 29: Elementos de Protección, Herramientas y Equipos de Trabajo.
- Título III: Transmisión.
  - Capítulo I: Trabajos sin Tensión.
    - Artículo 44: Trabajos en líneas de Transmisión.
    - Artículo 45: Medidas de prevención en Trabajos sin Tensión.
    - Artículo 46: Desconexión.
    - Artículo 47: Bloqueo o Condena, Enclavamiento y Señalización de los Equipos de Corte.
    - Artículo 48: Verificación de la Ausencia de Tensión.
    - Artículo 49: Puesta a Tierra y en Cortocircuito.

## 2. COMPONENTES DE UNA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN AÉREA DE 13,2 kV

Los principales componentes de una línea de distribución aérea de 13,2 kV son:

- Postes
- Conductores
- Crucetas
- Aisladores
- Herrajes
- Equipos de seccionamiento
- Transformadores y protecciones

### 2.1. POSTES

La siguiente información fue consultada en (6):

“Soportes que pueden ser de madera, concreto o metálicos y sus características de peso, longitud y resistencia a la rotura son determinadas por el tipo de construcción de los circuitos. Son utilizados para sistemas urbanos postes de concreto de 14, 12 y 10 metros con resistencia de rotura de 1050, 750 y 510 kg, respectivamente”.

**Figura 1. Postes de concreto**



Fuente: Imagen tomada en (6)



## 2.2. CONDUCTORES

Cables utilizados para circuitos primarios en Aluminio y en ACSR desnudos y en calibres 4/0, 2/0, 1/0 y 2 AWG y para circuitos secundarios en cables desnudos o aislados y en los mismos calibres. Estos circuitos son de 3 y 4 hilos con neutro puesto a tierra. Paralelo a estos circuitos van los conductores de alumbrado público.

**Figura 2. Conductores ACSR**



Fuente de consultada en (3)

## 2.3. CRUCETAS

Soportes de madera inmunizada o de ángulo de hierro galvanizado de 2 metros para 13,2 kV con diagonales en varilla o de ángulo de hierro (pie de amigo).

**Figura 3. Crucetas metálicas**



Imagen tomada en almacén de materiales EDEQ (1)

## 2.4. AISLADORES

Los aisladores para 13,2 kV pueden ser en material polimérico, vidrio, porcelana.

**Figura 4. Aisladores**



Fuente: [EDEQ (1)]

## 2.5. HERRAJES

Elementos o accesorios para conexión o amarre de conductores, utilizados en redes aéreas de baja y mediana tensión son de acero galvanizado: Grapas, varillas de anclaje, tornillos de máquina, collarines, espigos, etc.

**Figura 5. Herrajes**



Fuente [EDEQ (1)]

## 2.6. EQUIPOS DE SECCIONAMIENTO

Son elementos que se instalan en la red de 13,2 kV para transferir o suspender circuitos eléctricos pueden ser cajas corta circuitos de 100 A, 200 A o cuchillas de 300 A o 600 A.

**Figura 6. Corta circuito de 100 A**



Fuente: [EDEQ (1)]

## 2.7. TRANSFORMADORES Y PROTECCIONES

Se emplean transformadores monofásicos con los siguientes valores de potencia o nominales: 25 kVA, 37,5 kVA, 50 kVA y 75 kVA y para transformadores trifásicos de 30 kVA, 45 kVA, 75 kVA, 112,5 kVA y 150 kVA protegidos por cortacircuitos, fusible y DPS de 12 kV.

**Figura 7. Transformador de potencia**



Fuente (7)

## 2.8. REDES DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIAS

En Colombia se diseñan los circuitos primarios a diferentes tensiones. Se establece como tensión nominal para el diseño 13,2/7,62 kV, configuración estrella con neutro sólido a tierra. En Bogotá existe actualmente un sistema que opera a 11,4 kV, (ya se está cambiando a 13,2 kV en todo el país).

***Figura 8. Redes de distribución***



Fuente: [EDEQ (1)]

### **3. SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL EN EL MANTENIMIENTO DE REDES ELECTRICAS**

#### **3.1. PROCEDIMIENTOS GENERALES DE SEGURIDAD PARA TRABAJOS DE MANTENIMIENTO DE REDES ELÉCTRICAS**

La siguiente información fue consultada en la referencia (1):

A continuación se encuentran los procedimientos de seguridad generales que deben tenerse en cuenta, durante el mantenimiento de redes eléctricas:

- Para todo trabajo eléctrico deberá ser diligenciado el formato de lista de chequeo de actividades de alto riesgo que aparece en el Cuadro 5.
- Evaluar los riesgos existentes e identificar el circuito en el que se va a trabajar (condiciones del terreno, estado del poste, estado de las líneas, estado del transformador, riesgos públicos). Se debe definir la forma de evitarlos.
- Garantizar que el trabajador se encuentre posicionado en el punto de operación antes de maniobrar el circuito.
- Garantizar que los operarios, en trabajos con carga suspendida, se encuentren fuera del área de la carga, no deben estar debajo.
- Todo trabajo eléctrico deberá ser bloqueado y tarjetado.
- Todo trabajo en una instalación eléctrica sólo podrá ser realizado por personal calificado y autorizado.
- Los trabajadores no podrán realizar trabajos eléctricos con ningún objeto metálico tal como joyas, pulseras, cadenas u otros elementos conductores.
- Utilizar los elementos de protección personal adecuados como son: casco dieléctrico, guantes de protección de acuerdo al trabajo a realizar, botas dieléctricas, gafas de seguridad contra rayos ultravioleta, careta de protección facial, cinturón de seguridad, arnés, líneas de tierra, linterna, pinza voltiamperimétrica, tapones auditivos, conexiones a tierra portátiles.
- Vestir ropa de trabajo sin elementos conductores y de materiales resistentes al fuego de acuerdo con las especificaciones técnicas emitidas por Salud Ocupacional.

- Antes de iniciar los trabajos se debe comprobar el aislamiento y buen estado de las herramientas.
- Planificar el procedimiento de trabajo, de forma que durante todo el trabajo se mantengan las distancias mínimas en las condiciones más desfavorables.
- Toda persona que pueda tocar a un trabajador, bien directamente o por medio de una herramienta u otros objetos, deberá llevar botas y guantes aislantes.
- En caso de tormentas eléctricas, los trabajos serán interrumpidos o no iniciados, retirando al personal del área hasta que las condiciones atmosféricas vuelvan a ser favorables.
- Señalizar la zona de trabajo.
- No utilizar equipo eléctrico que esté mojado, ni trabajar con las manos húmedas.
- No utilizar escaleras de metal, ni de aluminio en los trabajos eléctricos.
- Todos los trabajos eléctricos deberán ser ejecutados mínimo por dos trabajadores.
- Para trabajos en tensión, se deben acatar las distancias mínimas de acercamiento mostradas en el RETIE (2).
- Los trabajadores deben asegurarse de contar con los equipos y materiales de trabajo necesarios de acuerdo a las características del trabajo, tensión de servicio y método de trabajo a emplear.
- El casco de seguridad debe ser de uso obligatorio para las personas que realicen trabajos en instalaciones de cualquier tipo. Este nunca deberá ser perforado con el fin de adaptar elementos de seguridad no previstos en el diseño original. El casco debe ser cambiado cuando reciba algún impacto o cuando se encuentre dañado o cuando tenga tres años de uso.
- Los anteojos de protección o la careta de protección facial son de uso obligatorio para toda persona expuesta a riesgo ocular o riesgo facial por arco eléctrico, proyección de gases y partículas, polvo y otros.

- Los guantes dieléctricos son de uso obligatorio para el trabajador que interviene circuitos energizados o circuitos sin tensión que se consideren como si estuvieran con tensión.
- La tela y el hilo de la ropa de trabajo debe ser 100% de algodón sin contener elementos sintéticos en su fabricación. Para los trabajos con exposición a riesgo eléctrico es obligatorio el uso de camisa de manga larga.
- Las escaleras deben ser aisladas. No se deben utilizar escaleras metálicas.
- El cinturón de seguridad o el arnés de cuerpo entero serán de material (neopreno impregnado con Nylon) o nylon respectivamente y es de uso obligatorio para todo aquel que deba ascender a un poste o estructura.
- Es responsabilidad de los trabajadores mantener las condiciones de aseo y funcionamiento adecuadas del sitio de trabajo al comienzo, durante y al final de las actividades de mantenimiento y de la señalización de las zonas.
- Es responsabilidad del trabajador repetir la orden recibida y después de que haya sido confirmada proceder a su ejecución.
- Todo trabajador debe dar aviso al responsable del trabajo en caso que detecte la existencia de condiciones inseguras en su entorno de trabajo, incluyendo materiales o herramientas que se encuentren en mal estado.
- En caso que cualquier trabajador se encuentre bajo tratamiento médico, debe dar aviso al supervisor o jefe encargado, quien deberá consultar con el médico para que determine si se encuentra en condiciones para ejecutar el trabajo.
- En caso de que existan dudas o anomalías durante la ejecución del trabajo este debe suspenderse hasta que la duda o anomalía haya sido resuelta adecuadamente.
- Los trabajadores deben contar con equipos de comunicación de acuerdo a un Instructivo Protocolo de Comunicaciones por Radio Teléfono.
- Está prohibido realizar trabajos con tensión en lugares en donde exista riesgo de explosión por presencia de materiales inflamables o volátiles.

**Cuadro 5. Lista de chequeo de actividades de alto riesgo**

ASPECTO A REVISAR	RESULTADO	OBSERVACIONES
El personal cuenta con carnet de la empresa vigente		
Cuenta con las herramientas requeridas para la labor y en buen estado: Trabajos eléctricos: con protección dieléctrica Herramientas manuales con mangos de madera: no presentan astillas, ni fisuras y están firmemente adheridos. Herramientas de corte: disponen de empuñadura y sus dientes completos o cuchilla afilada Herramientas neumáticas: las mangueras y acoples se encuentran en buen estado Todas las herramientas están limpias		
Estado del detector de tensión o test de ruido		
Estado del voltiamperímetro		
El área de trabajo se mantiene ordenado y limpio		
El permiso de trabajo/lista de verificación para tareas críticas se encuentra debidamente diligenciado y firmado		
El personal NO posee elementos metálicos (joyas, correas, accesorios, celulares, etc.) mientras está trabajando		
El personal realiza las actividades teniendo en cuenta las distancias de seguridad establecidas (hasta 1000 V - 80 cm, hasta 13800 V- 95 cm)		
Se utiliza de forma correcta las herramientas		
El personal cumple las cinco reglas de oro (corte visible, bloquear, ausencia de tensión, puesta a tierra y en corta circuito, delimitar y señalizar la zona de trabajo) para trabajos en áreas donde hay riesgo eléctrico.		
El carro canasta posee puesta a tierra y está instalada		
Se tiene señalizada y demarcada el área de trabajo, encontrándose protegido los trabajadores, los equipos, herramientas y transeúntes.		
Se reportó al Centro de control y se consignó el circuito a trabajar		
La estructura de trabajo es segura para trabajar (escaleras, andamios, postes, elevadores, carros canastas)		
Se utilizan correctamente los elementos de protección contra caídas (casco, barboquejo, gafas de seguridad, guantes, arnés, eslinga de posicionamiento, tercer pretal, líneas de vida, etc.)		
Se utilizan correctamente los elementos de protección para trabajo con energía eléctrica (guantes dieléctricos, chaquetas ignífugas, caretas, etc.)		
Se utilizan correctamente los elementos de protección para trabajo espacios confinados (casco, arnés, línea de vida, protección respiratoria)		
Las escaleras, andamios se encuentran anclados o asegurados		
¿Las condiciones de accesibilidad al espacio confinado reúne la seguridad necesaria?		
Se cuenta en sitio con elementos para atención de emergencias (botiquines, camillas, extintores)		
Se realizó medición de gases para ingresar al espacio confinado		
El personal realiza ejercicios de estiramiento durante el desarrollo de sus actividades		
Se está levantando las cargas manteniéndola lo más cerca posible a cuerpo, apoyando firmemente los pies,		



ASPECTO A REVISAR	RESULTADO	OBSERVACIONES
usando todas las manos para sostener la carga haciendo fuerza en las piernas y brazos y no en la columna.		
El personal que realiza los trabajos en alturas permanece anclado siempre a un punto seguro		
¿Se deja limpio el sitio de trabajo, se realiza la recolección y separación de los residuos generados?		
¿Se cuenta con kit para derrame de las sustancias químicas usadas en la labor?		
¿Cuenta con las fichas y hojas de seguridad de los productos químicos usados en la labor?		
Cuenta con los permisos del propietario o la autoridad ambiental para ejecutar la labor. (contrato de poda)		
Se cuenta con la autorización del usuario para la intervención		
Existe adecuada manipulación de materiales		
<b>OBSERVACIONES:</b>		
NOMBRE DEL PERSONAL A QUIEN SE LE REALIZA LA INSPECCIÓN:		
N° DE LA CUADRILLA /DIVISA:		
LUGAR:	FECHA:	
Para el diligenciamiento de este formato se debe tener en cuenta las siguientes convenciones: <b>S:</b> Si o cumplen: No o no cumple y Na: No aplica		

## 3.2. REGLAS DE ORO PARA EJECUTAR TRABAJOS EN TENSIÓN

Las reglas de oro fueron consultadas en (2):

### 3.2.1. Primera regla: Corte efectivo de todas las fuentes de tensión.

Esta regla implica abrir, con corte visible (que se pueda comprobar por inspección visual la apertura del circuito eléctrico), todas las fuentes de tensión a través de interruptores, fusibles, puentes, uniones desarmables otros dispositivos de corte, de tal manera que se impida el retorno de tensión. Se debe considerar que las fuentes de tensión no siempre se van a encontrar “aguas arriba” del punto donde se están realizando los trabajos, sino que estas pueden estar ubicadas “aguas abajo” (Por ejemplo: Grupos electrógenos).

### 3.2.2. Segunda regla: Bloqueo de los aparatos de corte o seccionamiento e instalación de su respectiva señalización

Por enclavamiento o bloqueo se deberá entender el grupo de acciones tendientes a impedir el accionamiento accidental de los aparatos de corte, que puede deberse a diversas causas como un error humano, acción de terceros un fallo técnico. Existen diferentes formas de realizar el bloqueo de los aparatos de corte:

- **Bloqueo mecánico:** que consiste e inmovilizar un mando de los aparatos a través de candados, cerraduras, cadenas etc.
- **Bloqueo físico:** que consiste en impedir el accionamiento del aparato de corte colocando un elemento de bloqueo entre las cuchillas del mismo, de modo que se imposibilite la unión de sus contactos.
- **Bloqueo eléctrico:** consiste en imposibilitar la operación del aparato de corte abriendo su circuito de accionamiento.

La señalización de los aparatos de corte deberá ubicarse en el respectivo mando de accionamiento, o en el propio aparato o en su vecindad, si es que este no dispone de tal dispositivo de mando. En el caso de aparatos que adicionalmente cuenten con accionamientos a distancia, la señalización se deberá instalar en ambos mandos.

### **3.2.3. Tercer regla: Comprobación de ausencia de tensión.**

Esta regla implica medir la tensión usando equipo de medición y protección personal adecuados, hasta tener la completa certeza de que todas las posibles fuentes de tensión han sido abiertas. “Hasta que se haya demostrado la ausencia de tensión se deberá proceder como si las instalaciones estuvieran energizadas”.

- La medición de tensión deberá ser efectuada en todos los conductores y equipos que se encuentren en la zona donde se realicen los trabajos. Para ello se utilizarán los equipos de medición adecuados a las características de los elementos a medir.
- Previamente a la medición deberá verificarse el funcionamiento de los instrumentos de medición. Para ello se pulsará el botón de prueba en aquellos instrumentos de prueba luminosos o sonoros que dispongan del mismo (chicharras). En caso contrario se deberá poner éste en contacto con un elemento para el cual se haya comprobado que se encuentra energizado.

### **3.2.4. Cuarta regla: Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las fuentes posibles de tensión.**

Se entenderá por puesta a tierra y en cortocircuito la acción de conectar parte de un equipo o circuito eléctrico a tierra, y luego unir entre si todas las fases mediante un elemento conductor de material y sección adecuada y con conectores normalizados.

Se debe considerar que aun cuando se hayan aplicado las anteriores reglas, aún existe riesgo de electrocución para el personal que vaya a efectuar los trabajos:

- Por efectos capacitivos.
- Pueden surgir tensiones inesperadas una vez comenzados los trabajos, las cuales pueden alcanzar valores muy diversos y tener diferentes orígenes: tensiones por fenómenos de inducción magnética, caída de conductores en cruces de línea, tensiones por fenómenos atmosféricos y por cierre intempestivo.
- Un equipo de puesta a tierra debe constar esencialmente de los siguientes elementos:
  - Pinzas (conectores, mordazas, terminales) de conexión
  - Grapas
  - Conductores de puesta a tierra
  - Conductor de puesta en cortocircuito

- Algunos aspectos que se deben considerar al realizar el proceso de conexión de la puesta a tierra son:
  - Debe hacerse uso en todo momento de los implementos de seguridad: pértiga, guantes aislantes del nivel de tensión que corresponda, casco y cinturón de seguridad.
  - Previo a la conexión se debe descartar la presencia de tensión en el elemento a ser conectado a tierra. Para ello debe utilizarse un detector de tensión acoplado a la pértiga, siguiendo las recomendaciones dadas en la tercera regla.
  - Las tierras de trabajo deberán ser instaladas lo más cerca posible de las instalaciones donde se ejecutará el trabajo y ubicada a la vista de los trabajadores. Se utilizará un número de ellas que permita aislar completamente la zona de trabajo de todas las fuentes posibles de tensión.

### **3.2.5. Quinta regla: Señalización de la zona de trabajo.**

- Debe colocarse señales de seguridad adecuadas, delimitando las zonas de trabajo. Se debe delimitar la zona de trabajo con cintas, vallas y cadenas, que se deben acompañar de banderolas y carteles.
- Se deben utilizar cintas de delimitación de colores negro y amarillo para demarcar físicamente el paso a zonas energizadas donde el acceso a una distancia menor constituye un peligro.
- Para los trabajos que se realicen en vía pública, la correcta señalización y delimitación de la zona de trabajo tiene como fin no solo proteger al trabajador de riesgo de electrocución, sino proteger al peatón del riesgo de accidentes – electrocución o caídas a zanjas o choque con vehículos.
- En la noche se debe incluir la utilización de luces autónomas o intermitentes que indiquen precaución.

## **3.3. TRABAJO SEGURO CON RIESGO ELÉCTRICO EN CIRCUITOS DESENERGIZADOS**

En el Cuadro 6 se puede encontrar el instructivo para trabajo seguro con riesgo eléctrico en circuitos desenergizados. Esta información fue consultada (1)

**Cuadro 6. Instructivo para trabajo seguro con riesgo eléctrico en circuitos desenergizados**

Descripción de la acción	Documento	Observaciones
<p>1. Verificar que se cuente con todos los elementos de protección personal y la documentación requerida, antes de trasladarse el personal al sitio de trabajo.</p> <p>Los elementos de protección personal deberán incluir: casco dieléctrico, guantes dieléctricos de acuerdo a la tensión a manejar, gafas de seguridad, equipo para trabajo seguro en alturas y botas dieléctricas.</p>		Inspección visual.
<p>2. Realizar una planeación de las actividades a ejecutar e identificar los peligros y riesgos a los cuales se expondrán, y de esta forma tomar las medidas necesarias para ejecutar la actividad de forma segura, en el sitio de trabajo.</p>	Lista de chequeo para actividades de alto riesgo.	
<p>3. Colocarse equipo de protección personal siguiendo los instructivos definidos para esto.</p>	Instructivo colocación de arnés.	
<p>4. Revisar la estructura a intervenir, por ejemplo, postes que no estén fracturados o tubos que no se encuentren perforados o en mal estado.</p>	Instructivo colocación de arnés.	
<p>5. Delimitar y señalizar el área de trabajo incluyendo la protección a peatones y vehículos.</p>		
<p>6. Solicitar consignación del equipo o circuito donde se va a trabajar.</p>		Seguir el instructivo de consignación de circuitos o equipos del sistema eléctrico.

Descripción de la acción	Documento	Observaciones
7. Realizar bloqueo y tarjeteo.		
8. Instalar aterrizaje a la línea en la cual se va a trabajar.		
<p>9. Verificar el cumplimiento de las 5 reglas de oro para ejecutar trabajos en tensión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte efectivo de todas las fuentes de tensión.</li> <li>• Enclavamiento o bloqueo de los aparatos de corte o seccionamiento e instalación de su respectiva señalización.</li> <li>• Comprobación de ausencia de tensión.</li> <li>• Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión.</li> <li>• Delimitación de la zona de trabajo.</li> </ul>		
10. Realizar las actividades operativas para trabajos en instalaciones desenergizadas siguiendo los instructivos definidos para esto.	<p>Instructivo para el ascenso y descenso en poste con escalera.</p> <p>Instructivo para el ascenso y descenso en postes con pretales.</p> <p>Plan de rescate en alturas.</p>	

### **3.4. PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL PARA MANTENIMIENTO DE REDES ELÉCTRICAS**

El programa de salud ocupacional para mantenimiento de redes eléctricas es un proceso para ser aplicado por todo el personal calificado que trabaje en redes eléctricas en los diferentes procesos de mantenimiento de las compañías del mundo. Se deben considerar los siguientes aspectos:

- Presentar ante el Operador de Red o el Profesional de Salud Ocupacional la documentación requerida, para aprobación del evento a ejecutar, 15 días antes de iniciar los diferentes trabajos, el programa de salud ocupacional y su cronograma mensual de actividades a realizar durante el mantenimiento. Este documento debe llevar la firma de la persona encargada de coordinarlo y desarrollarlo.
- Destinar los recursos humanos, físicos, financieros y técnicos, necesarios para el buen desarrollo del programa de salud ocupacional.
- Poseer al inicio de la obra un Equipo Humano de Trabajo que se responsabilice del desarrollo y evaluación del programa de salud ocupacional presentado para el mantenimiento.
- Cumplir en los ambientes de trabajo y campamentos, con óptimas condiciones de higiene y seguridad. Igualmente en lo relacionado con la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas y equipos de control.
- Presentar semanalmente a la Empresa, copias de las novedades de personal, reportes de accidentes de trabajo y de las respectivas investigaciones.
- Se deben mantener actualizados los registros e informes establecidos por la empresa y contemplados en su programa de salud ocupacional:
  - Listados de materias primas y sustancias empleadas en la obra.
  - Panorama y mapa de factores de riesgo por sitio de trabajo y actividades.
  - Registros y relación de elementos de protección personal suministrados a los trabajadores.
  - Recopilación y análisis de accidentalidad laboral y enfermedades profesionales.
  - Relación de los resultados de las investigaciones de los accidentes de trabajo y el Plan de acción preventiva y correctiva establecido.
  - Relación e historias médicas ocupacionales de los trabajadores.
  - Plan específico de emergencia.
  - Relación y registros de ausentismo general, por accidentes de trabajo, enfermedad profesional y enfermedad común.
  - Establecer medidas para la prevención y control de riesgos.
  - Conformar y poner en funcionamiento el Comité Paritario de Salud Ocupacional.
  - Permisos para trabajo en altura (especialmente para montajes de torres y tendido de cables).

### **3.5. SERVICIO DE SALUD Y CUBRIMIENTO DE RIESGOS**

Los servicios de salud y cubrimiento de riesgos son requisitos que todo personal que labore con el mantenimiento de redes eléctricas tiene que cumplirlos, entre éstos figuran:

- Previo al inicio de los trabajos, presentar los registros de inscripción de cada uno de los trabajadores ante una Entidad Promotora de Salud (E.P.S.) y Administradora de Riesgos Profesionales (A.R.L.); al igual que copia de contratos o los convenios firmados con instituciones o profesionales de la salud para la atención médica particular.
- Definir en cada frente de trabajo, una persona capacitada y con experiencia para atención de primeros auxilios.
- Disponer en cada frente de trabajo un Botiquín de Primeros auxilios donde contemple los medicamentos básicos y la presencia de suero antiofídico.
- Establecer en cada frente de trabajo un plan de acción para actuar en caso de accidente laboral, en el que se contemple también una relación de las instituciones del área de influencia a acudir.
- Conformar una cuadrilla de emergencia y establecer el cronograma de actividades.



## **4. MANTENIMIENTO DE LÍNEAS AÉREAS A 13,2 kV**

Este mantenimiento puede ser preventivo o correctivo en las redes de distribución y equipos asociados.

- Preventivo: Mantenimiento programado por la cuadrilla de diagnóstico de redes y equipos.
- Correctivo: Tipo de mantenimiento en redes y equipos el cual se destaca por daños fortuitos causados por cambios climáticos, acciones de terceros etc.

Para la ejecución del mantenimiento de las líneas aéreas a 13,2 kV se requieren los siguientes documentos:

- (a) Manual de mantenimiento de la Empresa.
- (b) Manual de mantenimiento del fabricante de los equipos.
- (c) Formato para diagnóstico e inspección de equipos.
- (d) Hoja de vida de los equipos.
- (e) Normas para pruebas de equipos.
- (f) Procedimientos para realización de las pruebas.
- (g) Formatos para reporte de las pruebas.

### **4.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Mantenimiento programado en redes y equipos de nivel de tensión I, II y III. Este tipo de mantenimiento se efectúa a una instalación con el propósito de reducir la probabilidad de fallo, mantener condiciones seguras y preestablecidas de operación, prolongar la vida útil y evitar accidentes. El mantenimiento preventivo tiene la finalidad de evitar que el equipo falle durante el periodo de su vida útil y la técnica de su aplicación se apoya en experiencias de operación que determinan que el equipo, después de pasar el periodo de puesta en servicio, reduzca sus posibilidades de falla. Entre los principales tipos de mantenimiento que se deben realizar están: el cambio de crucetas, el cambio de aisladores, cortacircuitos, cambio de retenidas, cambio de aceites y lubricantes, etc.

Con el mantenimiento preventivo se puede lograr detectar fallos repetitivos, aumentar la vida útil de los equipos, disminuir costos de reparaciones y detectar puntos débiles en la instalación, entre otras muchas ventajas.

Su objetivo principal es evitar o mitigar las consecuencias de los fallos del equipo, permitiendo de esta manera prevenir las incidencias antes de que ocurran.

En la Figura 9 se muestra un trabajo a programar, que consiste en un cambio de crucetas de madera por unas crucetas metálicas.

**Figura 9. Cambio de crucetas programado como mantenimiento preventivo**



Fuente: EDEQ (1)

#### **4.1.1. Equipos y sistemas objeto de mantenimiento preventivo en redes eléctricas.**

Los siguientes son los equipos objeto de mantenimiento preventivo en redes eléctricas.

- Postes.
- Aisladores.
- Crucetas.
- Conductores.
- Retenidas.
- Grapas terminales.
- Terminales.
- DPS.
- Cortacircuitos.
- Seccionadores.
- Herrajes.
- Transformadores de distribución.

#### 4.1.2. Materiales necesarios para la realización del mantenimiento preventivo en redes eléctricas.

El Kit (cupo) de materiales es el conjunto básico de materiales que debe llevar cada uno de los grupos de mantenimiento preventivo para desarrollar sus labores. Está conformado por lo siguiente:

- 3 Cortacircuitos 100 kV (Figura 10).
- 3 Pararrayos DPS 10 kV (Figura 11).
- 1 Cortacircuito de 200 A (Figura 10).
- 1 Varilla de puesta a tierra (Figura 12).
- 12 Metros de alambre bimetálico (Figura 13).
- 100 Metros de cable en aluminio en #2 ACSR (Figura 14).
- 30 Metros de cable concéntrico 1\*8+8 (Figura 15).
- 1 Rollo de cinta aislante super 33 (Figura 16).
- 3 Aisladores pin para 13,2 kV (Figura 17).
- 3 Aisladores de suspensión (Figura 18).
- 3 Espigos pin para 13,2 kV (Figura 17).
- 15 Fusibles de cada una de las referencias (Figura 19).
- 60 Conectores de DBH 5, 4, 2 (Figura 20).

**Figura 10. Cortacircuitos 100 kV**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 11. Pararrayos**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 12. Varilla de puesta a tierra**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 13. Alambre bimetálico**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 14. Cable en aluminio en #2 ASCR**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 15. Cable concéntrico 1\*8+8**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 16. Cinta aislante super 33**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 17. Aislador pin y Espigo pin para 13,2 kV**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 18. Aislador de Suspensión**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 19. Fusibles**



Fuente [EDEQ (1)]



**Figura 20. Conectores de DBH**



Fuente [EDEQ (1)]

#### **4.1.3. Herramientas y elementos de protección personal.**

Para realizar labores de mantenimiento preventivo en redes de distribución eléctrica es importante y necesario conocer las herramientas y el equipo de protección personal que se debe utilizar para la correcta elaboración del trabajo y para conservar la integridad personal.

A continuación se encuentra el listado de herramientas y de elementos de seguridad:

- 2 Equipo de tierra portátil (Figura 21).
- 1 Equipo desconectador bajo carga - LOADBUSTER (Figura 22).
- 2 Pértiga aislada (Figura 23).
- 3 Arnés cuerpo entero 5 argollas (Figura 24).
- 3 Cascos dieléctricos (Figura 25).
- 2 Escalera de fibra dieléctrica (Figura 26).
- 3 Pares de guantes (Figura 27).
- 3 Pares de botas dieléctricas (Figura 28).
- 2 Detectores de tensión (Figura 29).
- 1 Pinza voltioamperimétrica (Figura 29).
- 3 Gafas UV (Figura 30).
- 1 Juegos de llaves (Figura 31).
- 3 Alicates (Figura 32).
- 3 Raches (Figura 33).
- 2 Hoyadoras (Figura 34).
- 2 Ponchadoras (Figura 35).

- 2 Zunchadora (Figura 36).
- 1 Linterna (Figura 37).
- 1 Reflector (Figura 37).
- 3 Juegos de destornilladores de pala y estría (Figura 38).
- 1 Perforadora para crucetas (Figura 39).
- 1 Aparejo Triple (Figura 40).
- 1 Carro Loco (Figura 41).
- 2 Machete (Figura 42).
- 3 Poleas (Figura 43).
- 3 Manilas (Figura 44).
- 2 Entenallas (Figura 45).

**Figura 21. Equipo de tierra portátil**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 22. Equipo desconectador bajo carga (LOADBUSTER)**



Fuente [EDEQ (1)]



**Figura 23. Pértiga aislada**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 24. Arnés cuerpo entero 5 argollas**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 25. Casco dieléctrico**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 26. Escalera de fibra dieléctrica**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 27. Guantes**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 28. Botas dieléctricas**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 29. Detector de tensión y Pinza voltioamperimétrica**



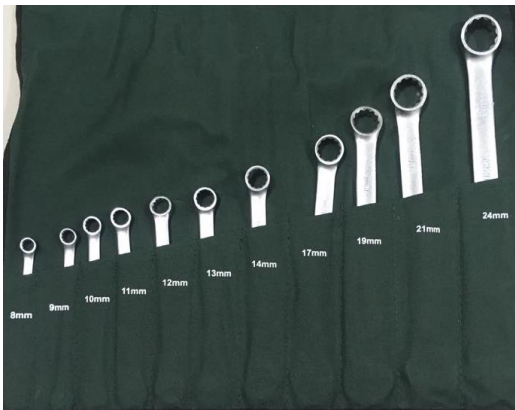
Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 30. Gafas UV**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 31. Juego de llaves**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 32. Alicate**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 33. Raches**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 34. Hoyadoras**



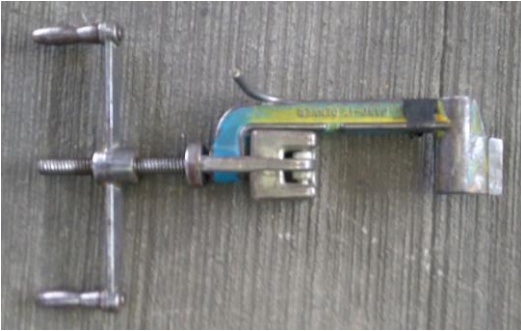
Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 35. Ponchadora**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 36. Zunchadora**



Fuente [EDEQ (1)]

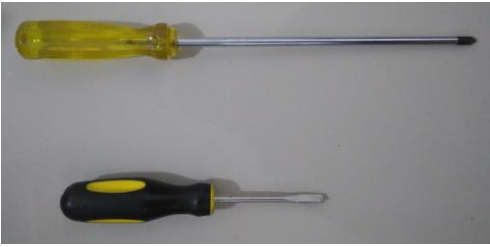
**Figura 37. Linterna / Reflector**



Fuente [EDEQ (1)]



**Figura 38. Destornilladores de pala y estría**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 39. Perforadora**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 40. Aparejo triple**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 41. Carro loco**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 42. Machete**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 43. Poleas**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 44. Manilas**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 45. Entenallas**



Fuente [EDEQ (1)]

#### **4.1.4. Tipos de mantenimiento preventivo.**

Son aquellos que se realizan con el fin de recopilar información de un equipo o elemento de la red eléctrica del Operador de Red. Son termografía, diagnóstico, poda de área de servidumbre y mantenimiento de transformadores.

##### **4.1.4.1. Termografía.**

Medición del calor emitido por los elementos de la instalación eléctrica. Estos resultados permiten detectar temperaturas de funcionamiento elevadas, conexiones sueltas o deterioradas, descompensación de fases (circuitos sobrecargados, desequilibrios de carga), mal aislamiento e interruptores defectuosos. La inspección termografía se debe realizar durante los periodos de máxima demanda del sistema, identificando las fallas presentadas y el grado de urgencia para su reparación.



#### **4.1.4.2. Mantenimiento del área de servidumbre.**

Podar árboles y cortar malezas, arbustos y toda vegetación en general del área de servidumbre de todas las redes eléctricas para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico. La poda debe hacerse con los circuitos desenergizados y cortando las ramas de tal forma que se guarden las distancias fase a tierra indicadas en el RETIE (2).

#### **4.1.4.3. Mantenimiento de transformadores de distribución.**

El mantenimiento de los transformadores de distribución se les realiza chequeo visual de presión, nivel de aceite, y elementos que conforman una subestación tipo poste los cuales deben cumplir con la norma vigente del RETIE (2).

#### **4.1.5. Definición del procedimiento para realizar mantenimiento preventivo.**

En el Cuadro 7 se puede encontrar la descripción de los pasos a seguir para atender y ejecutar una orden de trabajo de mantenimiento preventivo. Esta información fue consultada en (1)

**Cuadro 7. Descripción del instructivo mantenimiento preventivo**

<b>Descripción de la acción</b>	<b>Documento</b>	<b>Observación</b>
1. Recibir el reporte y desplazarse al sitio para su ejecución.	Grabación radio comunicación.	
2. Desplazarse al sitio e informar al centro de control el circuito a intervenir y la labor a ejecutar y tiempo estimado de ejecución.	Grabación radio comunicación.	El asignador deberá registrar esta información en el formato y/o sistema de información destinado para tal fin.
3. Terminada la reparación comunicarse con el asignador y apoyar si se requiere las maniobras para normalizar el circuito intervenido.	Grabación radio comunicación.	El asignador deberá seguir el procedimiento de atención de circuito en mantenimiento.
4. Se inicia el trabajo de mantenimiento aplicando las normas de seguridad y reglas de oro.	Permiso de trabajo.	Si el mantenimiento implica el consumo de DPS, varilla de puesta a tierra, cortocircuito, transformador, poste, y crucetas; se debe tomar registro

Descripción de la acción	Documento	Observación
		fotográfico antes, durante y después de la labor ejecutada.
5. Terminada la reparación comunicarse con el asignador y apoyar si se requiere las maniobras para normalizar el servicio.	Grabación radio comunicación.	El asignador deberá seguir el procedimiento de atención de circuito en mantenimiento.
6. Luego de restablecer el servicio, informar hora de finalización y actividad ejecutada al asignador.	Grabación radio comunicación.	El asignador deberá seguir el procedimiento de atención de circuito en mantenimiento.
7. Realizar el cierre de la orden de trabajo.	Orden de trabajo y/o Sistema de Información.	El registro de cierre de la orden de trabajo preventiva deberá efectuarse en las 96 horas siguientes a su ejecución.

## 4.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Es la reparación en redes y equipos de nivel de tensión I, II y III; una vez que se ha producido el fallo, el objetivo es restablecer el funcionamiento y eliminar la causa que haya producido la falla. El mantenimiento correctivo tiene la finalidad de reemplazar los elementos o equipos averiados y que no pueden funcionar operativamente en la subestación, el reemplazo también se da cuando los equipos han cumplido las horas de trabajo para las que fueron fabricados.

El mantenimiento correctivo está asociado a diferentes resultados de otras dependencias las cuales arrojan una información del estado de las redes y equipos de la compañía de distribución eléctrica. Esta información es enviada al sistema de manejo avanzado de redes, software que permite la creación de eventos y asignación de reportes a los grupos de mantenimiento correctivo.

En la Figura 46 se muestra un DPS estallado el cual está presentando falla en el sistema.

**Figura 46. Imágenes mantenimiento correctivo (pararrayo estallado)**



Fuente: EDEQ (1)

#### **4.2.1 Materiales necesarios para la realización del mantenimiento correctivo en redes eléctricas.**

El Kit (cupó) de materiales es el conjunto básico de materiales que debe llevar cada uno de los grupos de mantenimiento correctivo para desarrollar sus labores. Está conformado por lo siguiente:

- 3 Cortacircuitos 100 kV (Figura 47).
- 3 Pararrayos DPS 10 kV (Figura 48).
- 1 Cortacircuito de 200 A (Figura 47).
- 1 Varilla de puesta a tierra (Figura 49).
- 12 Metros de alambre bimetálico (Figura 50).
- 100 Metros de cable en aluminio en #2 ACSR (Figura 51).
- 30 Metros de cable concéntrico 1\*8+8 (Figura 52).
- 1 Rollo de cinta aislante super 33 (Figura 53).
- 3 Aisladores pin para 13,2 kV (Figura 54).
- 3 Aisladores de suspensión (Figura 55).
- 3 Espigos pin para 13,2 kV (Figura 54).
- 15 Fusibles de cada una de las referencias (Figura 56).
- 60 Conectores de DBH 5, 4, 2 (Figura 57).

**Figura 47. Cortacircuitos 100 kV**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 48. Pararrayos**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 49. Varilla de puesta a tierra**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 50. Alambre bimetálico**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 51. Cable en aluminio en #2 ASCR**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 52. Cable concéntrico 1\*8+8**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 53. Cinta aislante super 33**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 54. Aislador pin y Espigo pin para 13,2 kV**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 55. Aislador de Suspensión**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 56. Fusibles**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 57. Conectores de DBH**



Fuente [EDEQ (1)]

#### **4.2.2. Herramientas y elementos de protección personal.**

Para realizar labores de mantenimiento correctivo en redes de distribución eléctrica es importante y necesario conocer las herramientas y el equipo de protección personal que se debe utilizar para la correcta elaboración del trabajo y para conservar la integridad personal.

A continuación se encuentra el listado de herramientas y de elementos de seguridad:

- 2 Equipo de tierra portátil (Figura 58).
- 1 Equipo desconector bajo carga – loadbuster (Figura 59).



- 2 Pértigas aisladas (Figura 60).
- 3 Arnés cuerpo entero 5 argollas (Figura 61).
- 3 Cascos dieléctricos (Figura 62).
- 2 Escaleras de fibra dieléctrica (Figura 63).
- 2 Pares de guantes (Figura 64).
- 3 Pares de botas dieléctricas (Figura 65).
- 2 Detector de tensión (Figura 66).
- 1 Pinza voltioamperimétrica (Figura 66).
- 3 Gafas UV (Figura 67).
- 1 Juego de llaves (Figura 68).
- 3 Alicates (Figura 69).
- 3 Raches (Figura 70).
- 2 Hoyadoras (Figura 71).
- 2 Ponchadoras (Figura 72).
- 2 Zunchadoras (Figura 73).
- 1 Reflector (Figura 74).
- 3 Juegos de destornilladores de pala y estría (Figura 75).
- 1 Aparejo triple (Figura 76).
- 2 Machetes (Figura 77).
- 3 Poleas (Figura 78).
- 3 Manilas (Figura 79).
- 3 Entenallas (Figura 80).

**Figura 58. Equipo de tierra portátil**



Fuente [EDEQ (1)]



**Figura 59. Equipo desconectador bajo carga (LOADBUSTER)**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 60. Pértiga aislada**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 61. Arnés cuerpo entero 5 argollas**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 62. Casco dieléctrico**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 63. Escalera de fibra dieléctrica**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 64. Guantes**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 65. Botas dieléctricas**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 66. Detector de tensión y Pinza voltiamperimétrica**



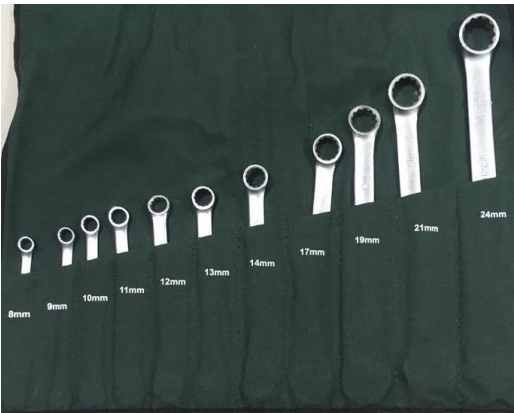
Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 67. Gafas UV**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 68. Juego de llaves**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 69. Alicata**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 70. Raches**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 71. Hoyadoras**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 72. Ponchadora**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 73. Zunchadora**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 74. Linterna / Reflector**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 75. Destornilladores de pala y estría**



Fuente [EDEQ (1)]



**Figura 76. Aparejo triple**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 77. Machete**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 78. Poleas**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 79. Manilas**



Fuente [EDEQ (1)]

**Figura 80. Entenallas**



Fuente [EDEQ (1)]

#### **4.2.3. Definición del procedimiento para realizar mantenimiento correctivo.**

En el Cuadro 8 se puede encontrar el instructivo para la realización del procedimiento de mantenimiento. Esta información fue consultada (1)

**Cuadro 8. Descripción del instructivo de mantenimiento correctivo**

<b>Descripción de la acción</b>	<b>Documento</b>	<b>Observaciones</b>
<b>1.</b> Recibir el reporte y desplazarse al sitio para su ejecución.	Grabación radio comunicación.	
<b>2.</b> Desplazarse al sitio e informar al centro de control posible causa del daño y tiempo estimado de reparación.	Grabación radio comunicación.	El asignador deberá registrar esta información en el formato o sistema de información destinado para esto.



Descripción de la acción	Documento	Observaciones
3. Terminada la reparación comunicarse con el asignador y apoyar si se requiere las maniobras para normalizar el servicio.	Grabación radio comunicación.	El asignador deberá seguir el procedimiento de atención de circuito en falla.
4. Si la reparación no es inmediata, se deberá minimizar la cobertura del daño y el número de usuarios afectados.		El grupo deberá dirigirse con los recursos asignados para la reparación del daño en la hora y fecha programada por el jefe de turno o asistente técnico a cargo, retomando el instructivo desde el paso 2.
5. Comunicarse con el asignador y reportar las novedades y luego con el asistente técnico a cargo o jefe de turno para gestionar los recursos necesarios para la atención del daño y programar la hora y fecha de la reparación.		
6. Si la reparación es inmediata, iniciar la reparación del daño aplicando las normas de seguridad y reglas de oro.	Permiso de trabajo.	Si la reparación implica el consumo de: DPS, varilla de puesta a tierra, cortocircuito, transformador, poste o crucetas, tomar registro fotográfico antes, durante y después de la labor ejecutada.
7. Terminada la reparación comunicarse con el asignador y apoyar si se requiere las maniobras para normalizar el servicio.	Grabación radio comunicación.	El asignador deberá seguir el procedimiento de atención de circuito en falla.
8. Luego de restablecer el servicio, informar hora de finalización y actividad ejecutada al asignador.	Grabación radio comunicación.	El asignador deberá registrar esta información en el formato o sistema de información destinado para esto.

Descripción de la acción	Documento	Observaciones
<p><b>9.</b> Verificar la normalidad en el servicio, secuencia de fases y retiro de residuos del sitio de la reparación.</p>		
<p><b>10.</b> Relacionar los materiales instalados y retirados en la orden de trabajo, así como los tiempos de labor, funcionarios participantes, causas y observaciones de la reparación.</p>	Orden de trabajo.	Se debe identificar claramente el equipo intervenido y nodo, así como el punto de referencia más próximo.
<p><b>11.</b> Entregar al siguiente día hábil a la reparación, al asistente técnico a cargo, la orden de trabajo totalmente diligenciada o información anexa o de soporte (registro fotográfico) y esperar que se le notifique para recuperar los materiales consumidos.</p>		
<p><b>12.</b> Realizar devolución del material retirado y recuperar el kit (cupo) de materiales, e informar al asistente técnico encargado.</p>		
<p><b>13.</b> Realizar el cierre de la orden de trabajo</p>	Orden de trabajo o Sistema de Información.	El registro de cierre de la OT correctiva deberá efectuarse en las 96 horas siguientes a su ejecución.

## **5. FUNCIONES DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO**

Un grupo de trabajo de mantenimiento de redes de distribución eléctrica puede estar conformado por el siguiente personal: dos ingenieros responsables de mantenimiento, un tecnólogo electricista y dos técnicos electricistas linieros.

### **5.1. INGENIERO RESPONSABLE DE MANTENIMIENTO**

#### **5.1.1. Profesión.**

Ingeniero Electricista con matrícula profesional de acuerdo a la Ley 51 de 1986 y su Decreto Reglamentario 1873 de 1996.

#### **5.1.2. Funciones.**

- Realizar el control detallado de los trabajos y responder por los recursos y herramientas requeridos.
- Permanecer atento al desarrollo de los trabajos del día a día y a realizar los ajustes requeridos para su normal desarrollo, de acuerdo con el avance establecido en el cronograma de actividades.
- Acordar y controlar con el coordinador técnico el desarrollo del trabajo diario y futuro.
- Asegurar que en cada frente de trabajo, se divulgue el procedimiento de trabajo a aplicar en cada actividad.
- Liderar la elaboración y mejora de los procedimientos de trabajo.
- Responder en el sitio de obra por la calidad de los trabajos realizados.
- Velar por el cumplimiento de las normas de seguridad que cada labor requiera y el uso del equipo de seguridad del personal.
- Responder por el desarrollo general de los trabajos de mantenimiento.
- Mantener un medio de comunicación permanente que le garantice contacto continuo con el jefe de grupo.

- Velar por el cumplimiento de las actividades establecidas en el cronograma de trabajo señalado por el coordinador técnico, garantizar el cumplimiento de la programación semanal de actividades. (8)

## **5.2. INGENIERO RESPONSABLE DE PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO**

### **5.2.1. Profesión.**

Ingeniero Electricista o Ingeniero Electromecánico con matrícula profesional de acuerdo a la Ley 51 de 1986 y su Decreto Reglamentario 1873 de 1996.

### **5.2.2. Funciones.**

- Planificar las actividades de mantenimiento día a día.
- Asegurar los recursos de mano de obra y materiales versus las órdenes de trabajo solicitadas.
- Solicitar con suficiente antelación y teniendo en cuenta el tipo de material, al gestor técnico la entrega oportuna de los materiales para los mantenimientos.
- Creación de órdenes de trabajo.
- Entregar la Orden de trabajo al ejecutor según requerimiento, en esta orden de trabajo deberá estar consignado el procedimiento y/o estándar de trabajo de la actividad a ejecutar.
- Interactuar con el gestor técnico para la entrega de materiales según el tipo de mantenimiento a realizar.
- Efectuar levantamiento de información de campo según consideraciones de la gestoría técnica, analizar dicha información y establecer el plan de trabajo en conjunto con los compañeros que conforman el grupo de mantenimiento. (8)

## **5.3. UN PROFESIONAL EN SALUD OCUPACIONAL**

### **5.3.1. Profesión.**

Profesional en salud ocupacional.

### 5.3.2. Funciones.

- Difundir entre los trabajadores de su compañía, las políticas, objetivos y metas de Salud Ocupacional.
- Asegurar el cumplimiento legal en salud ocupacional, medio ambiente y seguridad industrial aplicable en los trabajos a realizar.
- Asegurar el cumplimiento y correcta ejecución de los estándares, normas, reglamentos, procedimientos e instructivos incluyendo, permisos de trabajo, manejo y gestión de residuos sólidos, sistema de aislamiento seguro y demás normas establecidas; así como la divulgación de los mismos en caso de que se deroguen, modifiquen o emitan nuevos documentos.
- Diseñar el plan de salud ocupacional del contrato o proyecto y hacer seguimiento a la implementación de este durante el tiempo de duración del mismo.
- Definir los mecanismos necesarios para la implementación de procedimientos, estándares y normas de salud ocupacional.
- Coordinar actividades con la ARP y EPS de la empresa como capacitaciones, visitas de campo, etc.
- Participar en la investigación de los incidentes y accidentes que se presenten, y hacer seguimiento a la implementación de las acciones que se deriven de la investigación de las fallas de control e incidentes.
- Coordinar programas preventivos de salud e higiene y estrategias de salud ocupacional para el control de ausentismo laboral.
- Supervisar y/o participar en las actividades específicas de promoción y protección de la salud laboral, en temas como diagnóstico de salud, programas de vigilancia epidemiológica, estilos de vida saludable, autocuidado de la salud, monitoreo y control de riesgos para la salud (entre otros: ruido, iluminación, temperaturas extremas, polvo, vibraciones).
- Elaborar los informes mensuales y finales de salud ocupacional, y cualquier otro requerido.
- Participar en las reuniones programadas por los representantes de salud ocupacional de la empresa de energía y la reunión mensual de salud ocupacional.

- Asegurar el funcionamiento del Comité Paritario de Salud.
- Realizar para los trabajadores, la inducción frente a los peligros y aspectos específicos asociados a las actividades de mantenimiento y ejecución de trabajos en redes eléctricas.
- Coordinar la conformación y entrenamiento de las cuadrillas de Emergencia de las firmas contratistas, alineada a las de LA EMPRESA; y la participación de los trabajadores en las prácticas contra incendio, control de emergencias y rescate; y garantizar la realización de los simulacros, de acuerdo con la programación presentada en el plan de salud ocupacional, así como su evaluación y planes de mejora.
- Realizar recorridos de salud ocupacional durante el transcurso del servicio y de manera inmediata corregir las fallas de control evidenciadas, como actos o condiciones sub-estándar, o en su defecto, suspender las actividades si lo anteriormente indicado no es posible.
- Divulgar y asegurar el despliegue de las campañas corporativas en materia de salud ocupacional.
- Asegurar el cumplimiento de las actividades propuestas en las órdenes de trabajo del área operativa donde se ejecute el contrato y ejecución de proyectos.
- Mantener disponible la información requerida por la empresa para el índice de cumplimiento legal ambiental.
- Suministrar la información requerida para la respuesta de los actos administrativos emitidos por las autoridades ambientales y entes de control; y para la elaboración de los informes de cumplimiento ambiental de acuerdo al Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos, del Ministerio del Medio Ambiente.

## **5.4. UN TÉCNICO ELECTRICISTA**

### **5.4.1. Profesión.**

Técnico o tecnólogo electricista o electromecánico con matrícula profesional o certificado CONTE clasificado mínimo en T-1, T-3, T-4 y T-5. Cuando no sea tecnólogo debe acreditar conocimiento detallado en interpretación de planos

unifilares, conocimiento y análisis de maniobras en circuitos eléctricos de media y baja tensión.

#### **5.4.2. Funciones.**

- Realizar las labores diarias y dar el apoyo técnico, a los electricistas para realizar las labores programadas.
- Garantizar que los trabajos realizados con su personal a cargo cumplan las exigencias de calidad correspondientes con el fin de asegurar la correcta realización del mantenimiento.
- Asistir al Ingeniero Responsable de Mantenimiento con el fin de realizar evaluaciones periódicas del personal que realiza las labores diarias de mantenimiento.
- Proveer información de soporte al Ingeniero Responsable de Mantenimiento para que este último conozca a tiempo las necesidades y requerimientos de personal que garanticen el avance del mantenimiento según el cronograma de actividades definido.
- Velar para que el cumplimiento en los tiempos de intervención y/o maniobra sea lo más cercano a lo planeado por productividad en campo.

### **5.5. DOS TÉCNICOS ELECTRICISTAS LINIEROS**

#### **5.5.1. Profesión.**

Técnico Electricista con certificado CONTE (9) clasificado mínimo en T-1, T-3.

#### **5.5.2. Funciones.**

- Ejecutar las actividades pertinentes al mantenimiento preventivo y correctivo.
- Recibir órdenes de trabajo y retirar del almacén el material, herramienta y equipos necesario para el desarrollo de las actividades programadas.
- Ejecutar la orden de trabajo asignada, de acuerdo a los procedimientos operativos y de seguridad establecidos por la empresa y a la normatividad vigente, para dar cumplimiento al programa de mantenimiento.

- Realizar la demarcación de zona de trabajo.
- Realizar la limpieza de zona de trabajo al finalizar la actividad.
- Diligenciar los registros y/o medios establecidos para el reporte de las actividades de mantenimiento, con el fin de contar con información y registros confiables, realizar direccionamiento o informe de las acciones ejecutadas, situación encontrada y para dar respuesta a requerimientos de los usuarios u otros procesos.
- Realizar el reintegro de materiales y otros recursos no utilizados en la ejecución del trabajo.
- Reportar las actividades ejecutadas para realizar seguimiento y control del programa de mantenimiento
- Cumplir órdenes de los responsables o encargados en las ejecuciones de trabajo del grupo, cumpliendo los parámetros de seguridad impuestos por la empresa.



## **6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE OPERACIÓN, FALLA Y MANTENIMIENTO PARA EL CIRCUITO PADILLA DE 13,2 KV DE LA EMPRESA DE ENERGÍA DEL QUINDIO**

En este capítulo se hace un análisis estadístico de operación, falla y mantenimiento para el circuito Padilla de 13,2 kV de la Empresa de Energía del Quindío (1).

### **6.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Cuando ocurre una falla en un circuito es necesario contar con toda la información posible para ubicarla, y de esta manera proceder a aislar el tramo afectado y normalizar el servicio a la mayor cantidad de usuarios posible. Dicha información puede ser suministrada por los mismos usuarios, los sistemas de control existentes en las empresas distribuidoras de energía y el personal de mantenimiento. Es importante para esta labor el trabajo en equipo, la capacitación, la experiencia, el conocimiento del sistema y las herramientas y materiales con que cuenta el personal, todo con el objetivo de brindar un buen servicio al cliente.

### **6.2 REGISTRO DE INTERRUPCIONES DEL SISTEMA**

Es importante tener un registro de las interrupciones y/o fallas que se presentan a diario en el sistema, para de esta manera poder por una parte, determinar el tipo de mantenimiento a realizar, y por otra, facilitar el cálculo de índices estadísticos que permita la identificación de las causas más frecuentes de daños en la red y así mismo la toma de decisiones para prevenirlos.

La información más importante a registrar es:

- Fecha y hora de inicio de la falla.
- Identificación de origen de la falla: interna o externa.
- Ubicación e identificación del/los circuito(s) en falla dentro del sistema.
- Identificación de la causa de la falla.
- Relación de equipos que quedaron fuera de servicio.
- Número de usuarios que quedaron sin servicio.
- Número total de usuarios de la parte del sistema afectada.
- Fecha y hora de finalización de la falla.

### 6.3 CLASIFICACIÓN Y ESTADÍSTICAS DE INTERRUPCIONES DEL SISTEMA

Las interrupciones deben clasificarse teniendo en cuenta ciertos criterios para facilitar el análisis estadístico, según como se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro 9 Clasificación de las Interrupciones**

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>TIPO</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
<b>DURACIÓN</b>	<b>MOMENTÁNEA</b>	Son menores o igual a 5 segundos: atribuidas a conexión y desconexión de equipos.
	<b>SOSTENIDA</b>	Son mayores a 5 segundos.
<b>ORIGEN</b>	<b>INTERNA</b>	Falla dentro del sistema de distribución.
	<b>EXTERNA</b>	Falla afuera del sistema.
<b>CAUSAS</b>	<b>FORZADA</b>	Por: reparación, mantenimiento correctivo, maniobra.
	<b>PROGRAMADA</b>	Por: racionamiento, mantenimiento preventivo, mejora, expansión.

#### 6.3.1 Análisis de frecuencia y duración

Para realizar una evaluación de confiabilidad en una red eléctrica es necesario disponer de información cuantitativa respecto a la frecuencia y duración de fallas en las diferentes partes del sistema; dicha información generalmente es recopilada diariamente por el área de Peticiones, Quejas y Reclamos y/o por el área de Reporte de Daños (call center) de las empresas prestadoras del servicio de energía.

Para determinar la frecuencia y duración de las fallas se hace necesario realizar un análisis de comportamiento del sistema ante las diferentes contingencias a que puede verse sometido.

La técnica de frecuencia y duración pretende encontrar relaciones para llegar a determinar la cantidad de veces que podría un usuario quedarse sin servicio de energía y cuanto pueden durar esas fallas.

### 6.3.2. Índices estadísticos

Los índices más importantes para establecer la situación de calidad en el servicio son (10):

#### 6.3.2.1. Frecuencia

SAIFI: corresponde a la frecuencia de interrupciones presentadas en el sistema por año.

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{suma de interrupciones}}{\text{número total de usuarios}} = (\text{interrupciones/año})$$

#### 6.3.2.2 Indisponibilidad

SAIDI: corresponde al tiempo que ha estado en promedio sin suministro eléctrico.

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{suma de duraciones de interrupciones}}{\text{número total de usuarios}} = (\text{horas/año})$$

#### 6.3.2.3 Análisis de Pareto

El análisis de Pareto es un método gráfico para definir las causas más importantes de una determinada situación y de esta manera determinar las prioridades de intervención.

El principio de Pareto afirma que en todo grupo de factores que contribuyen a un efecto, unos pocos son responsables de la mayor parte de dicho efecto. El objetivo de este análisis es clasificar dichos factores en dos categorías: “las pocas vitales” (los elementos muy importantes en su contribución) y “los muchos triviales” (los elementos poco importantes) (11).

En el análisis de Pareto, el gráfico de barras representa el efecto de cada uno de los elementos contribuyentes, mientras que el gráfico lineal representa el porcentaje acumulado.

#### **Ejemplo:**

Realización del análisis con base a los cuadros estadísticos de mantenimiento de una empresa distribuidora de energía eléctrica.

**Cuadro 10. Clasificación por falla y reportes en el año 2014**

CLASIFICACION POR FALLA Y REPORTE EN EL AÑO								
MES	POSTE	LÍNEA	TRANSFORMADOR	ACOMETIDA	MEDIDOR	ALIMENTADORA	OTROS	%TOTAL POR MES
Enero	211	757	229	969	714	329	460	3669
Febrero	116	537	183	933	661	349	498	3277
Marzo	67	1827	240	845	664	79	81	3803
Abril	58	825	286	1380	591	76	42	3258
Mayo	17	809	141	1100	521	113	110	2811
Junio	31	523	191	1005	465	75	17	2307
Julio	23	564	198	546	475	194	172	2172
Agosto	111	619	180	691	513	177	75	2366
Septiembre	13	457	451	1063	410	79	67	2540
Octubre	28	441	204	1017	432	65	25	2212
Noviembre	13	404	447	640	363	162	161	2190
Diciembre	7	457	517	733	487	97	131	2429
Total Por Falla Anual	695	8220	3267	10922	6296	1795	1839	33034
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>33034</b>							

**Cuadro 11. Clasificación de reportes de daños en el año 2014**

CLASIFICACION POR PORCENTAJE DE REPORTE EN EL AÑO								
MES	POSTE	LÍNEA	TRANSFORMADOR	ACOMETIDA	MEDIDOR	ALIMENTADORA	OTROS	%TOTAL POR MES
Enero	5,75	20,63	6,24	26,41	19,46	8,97	12,54	100
Febrero	3,54	16,39	5,58	28,47	20,17	10,65	15,20	100
Marzo	1,76	48,04	6,31	22,22	17,46	2,08	2,13	100
Abril	1,78	25,32	8,78	42,36	18,14	2,33	1,29	100
Mayo	0,60	28,78	5,02	39,13	18,53	4,02	3,92	100
Junio	1,34	22,67	8,28	43,56	20,16	3,25	0,74	100

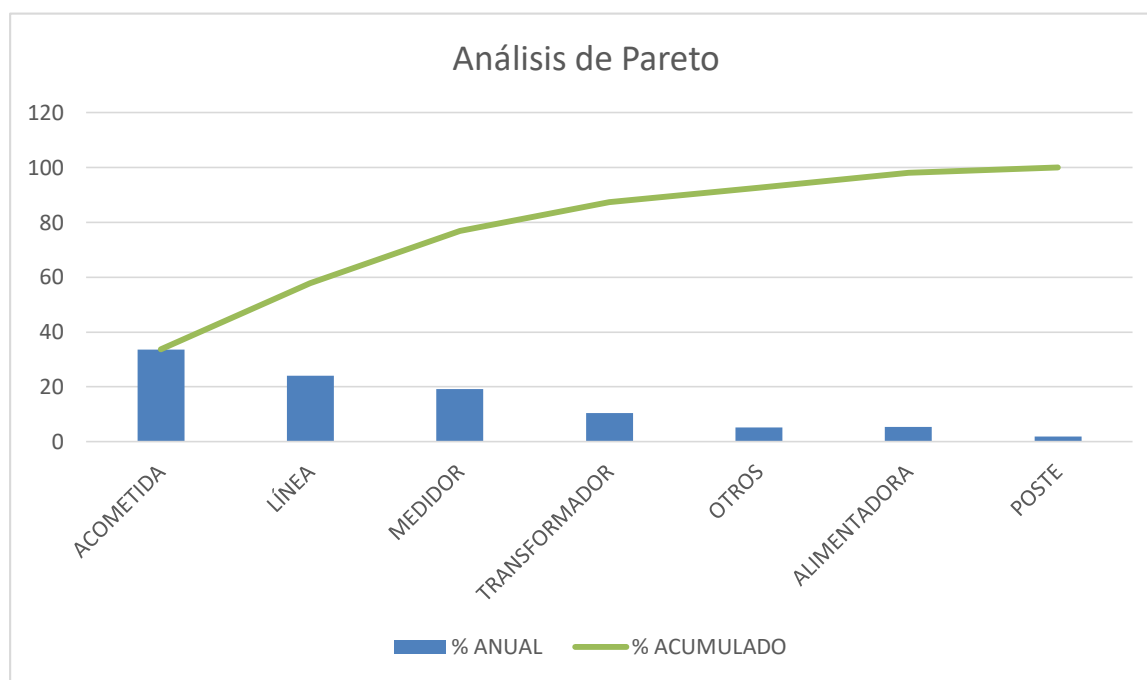
<b>CLASIFICACION POR PORCENTAJE DE REPORTES EN EL AÑO</b>								
<b>MES</b>	<b>POSTE</b>	<b>LÍNEA</b>	<b>TRANSFORMADOR</b>	<b>ACOMETIDA</b>	<b>MEDIDOR</b>	<b>ALIMENTADORA</b>	<b>OTROS</b>	<b>%TOTAL POR MES</b>
Julio	1,06	25,97	9,12	25,14	21,87	8,93	7,91	100
Agosto	4,69	26,16	7,61	29,21	21,68	7,48	3,17	100
Septiembre	0,51	17,99	17,76	41,85	16,14	3,11	2,64	100
Octubre	1,27	19,94	9,22	45,98	19,53	2,94	1,12	100
Noviembre	0,59	18,45	20,41	29,22	16,58	7,40	7,35	100
Diciembre	0,29	18,81	21,28	30,18	20,05	3,99	5,40	100
Total Por Falla Anual	1,93	24,10	10,47	33,64	19,15	5,43	5,25	100
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>100</b>							

Con la información contenida en Cuadro 10 y Cuadro 11, se procede a realizar el análisis de Pareto a los valores totales de número de reportes por usuario detallando la frecuencia de llamadas, un acumulado total de llamadas, el porcentaje con el que los usuarios llaman para reportar el daño y un acumulado total del porcentaje de daños.

**Cuadro 12. Datos obtenidos de la suma de fallas y reportes en el año 2014**

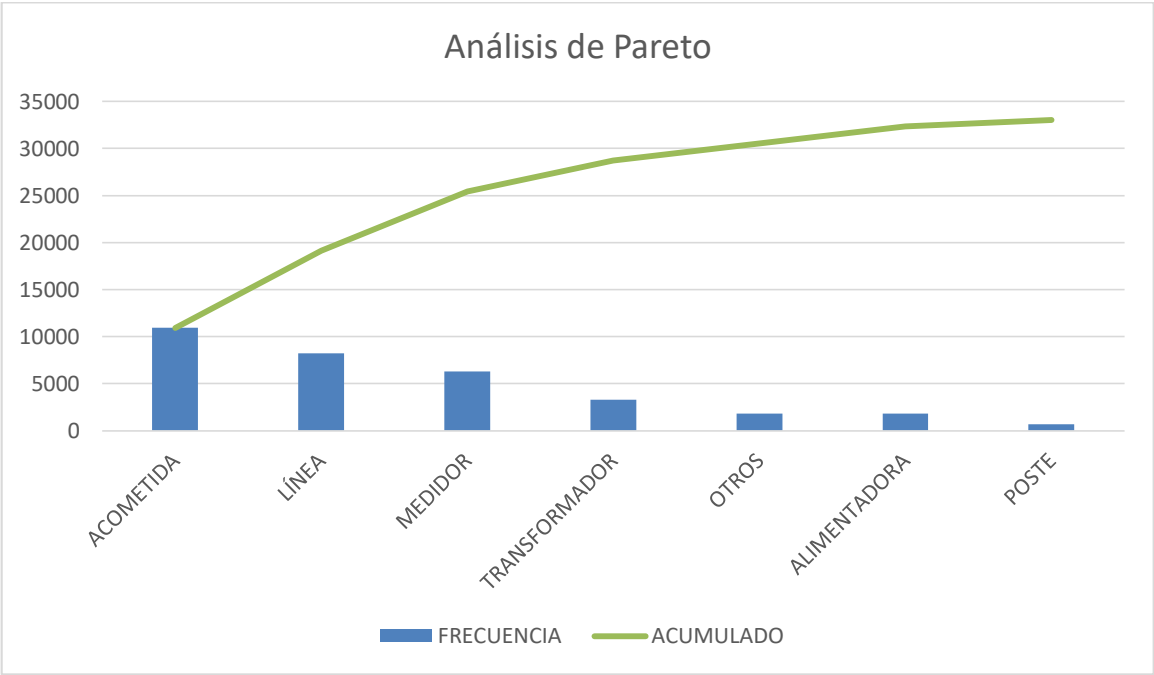
CAUSA	FRECUENCIA	ACUMULADO	% ANUAL	% ACUMULADO
ACOMETIDA	10922	10922	33,64	33,64
LÍNEA	8220	19142	24,10	57,74
MEDIDOR	6296	25438	19,15	76,89
TRANSFORMADOR	3267	28705	10,47	87,36
OTROS	1839	30544	5,28	92,64
ALIMENTADORA	1795	32339	5,43	98,07
POSTE	695	33034	1,93	100
<b>TOTAL</b>	<b>33034</b>			

**Figura 81. Análisis de Pareto de tipos de fallas anual – acumulado**



En la Figura 81 se puede observar un gráfico de barras que representa el porcentaje anual de los tipos de fallas (ver columna % Anual del Cuadro 12), mientras que el gráfico lineal representa el porcentaje acumulado de los diferentes tipos de fallas (ver columna % Acumulado del Cuadro 12).

**Figura 82. Análisis de Pareto de tipos de fallas frecuencia - acumulado**



En la Figura 82 se puede observar un gráfico de barras que representa la cantidad de reportes anual de los diferentes tipos de fallas (ver columna Frecuencia del Cuadro 12), mientras que el gráfico lineal representa el acumulado de reportes de los diferentes tipos de fallas (ver columna Acumulado del Cuadro 12).

Como conclusión del análisis de Pareto realizado, observando la Figura 81 y la Figura 82, se puede apreciar que el 80% de las fallas recae en las acometidas, las líneas y los medidores; con lo cual se puede determinar que durante el año 2014 el mayor número de problemas que tuvo la empresa eléctrica en su departamento de mantenimiento está en las acometidas, las líneas y los medidores.

## CONCLUSIONES

- Este documento es una orientación a cumplir para no caer en la rutina del “YO SE” y prevenir tanto incidentes como accidentes laborales y la pérdida de la vida ya que el campo eléctrico es uno de los trabajos más peligrosos del mundo.
- Luego de culminar el presente trabajo de grado es oportuno señalar que en el mismo se elaboró una propuesta, por parte de los autores la cual consiste en un manual de normas y procedimientos, orientado a la aplicación de las técnicas y las normas, como herramienta que le permita al personal que labora en la unidad de mantenimiento correctivo y preventivo disponer de una metodología estructurada que garantice la confiabilidad, eficiencia y eficacia en la aplicación y análisis de los resultados obtenidos mediante las técnicas antes señaladas.
- Los autores desean resaltar que mientras se sigan los lineamientos claramente establecidos y explicados con detalles en el presente manual propuesto, se garantiza la confiabilidad de los resultados que arrojen las pruebas realizadas, a los diferentes equipos o elementos bajo estudio presentes en las redes eléctricas, empleando las técnicas y las normas a cumplir.
- Debido a las diferencias que se presentan comúnmente entre la teoría y la práctica, es preciso validar a través del tiempo el procedimiento propuesto y someterlo a pruebas o ensayos de tal manera que se puedan mejorar las rutinas de mantenimiento existentes; esto significa, que el procedimiento deberá experimentar cambios continuos y no debe ser concebido como un ente absoluto y mucho menos perfecto, entendiendo que los cambios naturales y evolutivos forman parte del mantenimiento en su esencia.
- Finalmente, los autores pretenden dejar claro que las técnicas de mantenimiento correctivo y preventivo están apoyadas sobre una extensa y compleja teoría, asociada a fenómenos físicos que no pueden ser visualizados o percibidos directamente por los sentidos humanos de la visión y la audición; lo cual supone un verdadero reto, tanto para quien realiza las pruebas como para quien analiza los resultados; Ya que se deben considerar estos fenómenos imperceptibles de manera indirecta, y lo más objetivamente posible y es aquí precisamente, donde el procedimiento aplicado adquiere un gran valor.



## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda a los futuros tecnólogos hacer un nuevo estudio de los diferentes tipos de generación eléctrica, para apoyarse en la tecnología moderna y minimizar los diferentes tipos de mantenimiento, creando modelos de sensores que identifiquen los daños en las redes que suministre distancia de la falla, tipo de falla, estado del elemento en falla. Esta nueva tecnología debe estar basada en la conservación del medio ambiente. Teniendo en cuenta la súper población que se está generando a nivel mundial.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **EMPRESA DE ENERGIA DEL QUIDIO S. A. S. P. MANUAL DE NORMAS TECNICAS EDEQ.** ARMENIA : EDEQ, 20011.
2. **COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA.** *Resolución 90708 (30, agosto, 2013). Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE.* Bogotá. : s.n.
3. **NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 2050. CODIGO ELECTRICO COLOMBIANO,**. BOGOTA D.C, : s.n., (1998-11-25).
4. **COLOMBIA. MINISTERIO DEL TRABAJO.** Resolución 1409. (23, julio, 2012). *Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas.* Bogotá : El Ministerio, 2012.
5. **COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL.** *Resolución 1348. (30, abril, 2009).* Bogotá D.C. : El Ministerio, 2009.
6. **TECNOPOSTES. RESISTENCIA DE POSTES.** Armenia : s.n., 2013.
7. **PROLEC. TRANSFORMADORES.** MEJICO : PROLEC, 1976.
8. **CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERIAS ELECTRICAS, MECANICAS Y PROFECIONES AFINES,**. *CODOGO DE ETICA PROFESIONAL.* BOGOTA D. C : s.n., 1986.
9. **CONSEJO NACIONAL DE TECNICOS ELECTRICISTAS.** BOGOTA D.C : CONTE, 24 DE ENERO DE 1990.
10. **Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG.** *Metodología para el Cálculo de Indicadores de Calidad para la Continuidad en la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica en Sistemas de Transmisión Regional y/o Distribución Local.* Bogotá D.C. : s.n., 2004.
11. **Diagrama de Pareto.** *Wikipedia.* [En línea] [Citado el: 30 de Enero de 2017.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_de\\_Pareto](https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Pareto).