



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

MANTENIMIENTO DE LINEAS AEREAS DE ALTA TENSION

Br. SIXTO G. BELLORIN E.

MERIDA OCTUBRE 2022

Reconocimiento-No comercial- Compartir igual

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

## MANTENIMIENTO DE LINEAS AEREAS DE ALTA TENSION

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero  
Electricista

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

Br. Sixto G. Bellorin E.  
Tutor: Prof. Ernesto Mora N.

MERIDA OCTUBRE 2022

Reconocimiento-No comercial- Compartir igual

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente a Dios Todopoderoso, por mostrarme siempre el camino correcto, darme entendimiento para alcanzar las metas que me he propuesto y por haber llenado mi vida de oportunidades, ilusiones, esperanzas y éxitos.

Al profesor Tutor Ernesto Mora Noguera por su incansable colaboración y aporte en la realización de éste trabajo. Profesor comparto con usted este logro.

A la Ilustre Universidad de Los Andes donde desarrollé mis estudios de Ingeniería, motivo de orgullo para mí. A su personal Académico, Administrativo y Obrero, parte indudable del alcance de esta meta.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

Bellorin Estaba Sixto Gastón. **Mantenimiento de Líneas Aéreas de Alta Tensión.** Universidad de los Andes. Tutor: Prof. Ernesto Mora. Octubre 2022.

## RESUMEN

En el presente trabajo se describen las técnicas de inspección y mantenimiento que se han venido desarrollando para las líneas de alta tensión. Se describen las características de las líneas de transmisión, como niveles de tensión nominal, tensión máxima, frecuencia nominal, longitud, disposición de fases en el espacio, vías de acceso y ancho de corredor. Se identifican los nuevos métodos de inspección y diagnóstico, la aplicación de las nuevas técnicas de inspección y mantenimiento a las líneas de alta tensión. Se describen los tipos de mantenimiento para aplicarlos a los diferentes componentes de las líneas tales como cables, herrajes, cables de guarda, sistemas de aislamientos, los sistemas de puesta a tierra. Haciendo una descripción que comprende cada uno de los componentes; por ello es necesario desarrollar un procedimiento interactivo para que el usuario pueda comprender e interpretar todos y cada uno de los pasos. Como contenido de este trabajo, se muestran los fundamentos generales que definen la teoría de mantenimiento. Se describen las características de los drones para aplicación de las mismas. Se plantean lineamientos para un plan de mantenimiento, entre ellos con aplicación del uso de drones, también se hace una descripción de cómo realizar el lavado de cadenas de aisladores, y sustitución de los mismos para tipo tensión como suspensión.

**Descriptor:** Mantenimiento, Líneas Aéreas de Alta Tensión, Cadenas de Aisladores, Termografía, Coronografía, Cables de Guarda, Conductores, Herrajes.

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO	Pág.
1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Metodología.....	4
1.5 Alcance.....	5
1.6 Limitaciones.....	5
2. TEORIA GENERAL DE MANTENIMIENTO.....	6
2.1 Definición de Mantenimiento.....	6
2.2 Objetivos del Mantenimiento.....	7
2.3 Tipos de Mantenimiento.....	7
2.3.1 Preventivo.....	7
2.3.1.1 Ventajas del Mantenimiento Preventivo.....	8
2.3.1.2 Fases del Mantenimiento Preventivo.....	8
2.3.2 Predictivo.....	9
2.3.2.1 Ventajas del Mantenimiento Predictivo.....	10
2.3.3 Correctivo.....	10
2.3.3.1 No Planificado.....	11
2.3.3.2 Planificado.....	11
2.4 Conceptos Fundamentales asociados al mantenimiento.....	11
2.4.1 Ciclo de vida de un equipo.....	11
2.4.2 Confiabilidad.....	11
2.4.3 Costo del Ciclo de Vida.....	11
2.4.4 Defecto.....	12
2.4.5 Radiación por Temperatura.....	12
2.4.6 Lubricación.....	12
2.4.7 Mantenibilidad.....	12
2.4.8 Mantenimiento de campo.....	12

2.4.9	Mantenimiento en parada.....	12
2.4.10	Mantenimiento en talleres.....	13
2.4.11	Mantenimiento no planificado.....	13
2.4.12	Mantenimiento operacional.....	13
2.4.13	Mantenimiento selectivo.....	13
2.4.14	Parada general.....	13
2.4.15	Plan de mantenimiento.....	13
2.4.16	Rata de fallas.....	13
2.4.17	Reconstrucción.....	14
2.4.18	Reparación.....	14
2.4.19	Soportabilidad.....	14
2.5	Costos de las Reparaciones.....	14
2.5.1	Costos Directos.....	14
2.5.2	Costos Indirectos.....	14
2.6	Mantenimiento Optimo.....	15
2.6.1	Principios Básicos del Mantenimiento Optimo.....	15
2.7	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	16
3.	TÉCNICAS DE INSPECCION Y DIAGNÓSTICO.....	18
3.1	Inspección.....	18
3.1.1	Inspección Mayor.....	18
3.1.2	Inspección Menor.....	18
3.2	Técnicas de inspección.....	18
3.2.1	Inspección aérea.....	19
3.2.1.1	Inspección con helicóptero.....	19
3.2.1.2	Inspección con dron.....	19
3.2.2	Inspección por termografía.....	22
3.2.2.1	Medición de temperatura por métodos infrarrojos.....	22
3.2.2.2	Espectro electromagnético.....	23
3.2.2.3	Distribución de energía.....	24
3.2.3	Inspección por efecto corona.....	26
3.2.3.1	Consecuencias del efecto corona.....	28
3.2.3.2	Cámaras de coronografía.....	28
3.2.3.3	Ventajas de la inspección de efecto corona.....	31
3.2.4	Ultrasonido y vibraciones.....	32
3.2.5	Medición de resistencia eléctrica.....	33
3.3	Diagnóstico.....	33
4.	LÍNEAS DE TRANSMISION: CARACTERISTICAS Y COMPONENTES.....	35
4.1	Características de las líneas de transmisión.....	35
4.1.1	Tensión nominal del sistema.....	35
4.1.2	Frecuencia nominal.....	36
4.1.3	Longitud (km).....	36
4.1.4	Cantidad de circuitos, calibre y cantidad de conductores por fase.....	36
4.1.5	Disposición de fases en el espacio.....	37
4.1.6	Ancho de Corredor.....	37

4.2	Componentes de las líneas de transmisión.....	37
4.2.1	Cables conductores.....	38
4.2.1.1	Tipos de Conductores.....	39
4.2.1.2	Sistemas de medición de calibres de conductores.....	41
4.2.1.2.1	Circular Mil (CM).....	41
4.2.1.3	Materiales utilizados para la fabricación de conductores.....	41
4.2.1.4	Conductores modificados.....	42
4.2.1.4.1	Alambres trapezoidales.....	42
4.2.1.4.2	Conductor Resistente a vibraciones.....	43
4.2.2	Cables de guarda.....	44
4.2.3	Estructuras de soporte.....	45
4.2.3.1	Tipos de estructuras.....	46
4.2.3.2	Torres autosoportadas.....	46
4.2.3.3	Torres autorretenidas.....	47
4.2.3.4	Marcos de remate.....	48
4.2.4	Amortiguadores.....	49
4.2.5	Separadores.....	51
4.2.6	Separadores amortiguadores.....	52
4.2.7	Aisladores.....	53
4.2.7.1	Aisladores de porcelana.....	54
4.2.7.2	Aisladores de vidrio templado.....	54
4.2.7.3	Aisladores sintéticos.....	55
4.2.7.4	Capacidad mecánica de herrajes y aisladores.....	56
4.2.7.4.1	Conjuntos en suspensión.....	56
4.2.7.4.1.1	Cadenas en "T".....	56
4.2.7.4.1.2	Cadenas en "V".....	57
4.2.7.5	Selección de un aislador.....	58
4.2.7.6	Distancia de aislamiento (DA).....	59
4.2.7.7	Distancia de fuga.....	59
4.2.8	Herrajes.....	59
4.2.8.1	Diseño de los Herrajes.....	60
4.2.8.1.1	Características Eléctricas.....	60
4.2.8.1.2	Clasificación de acuerdo a su uso.....	61
4.2.8.2	Herrajes para enganches de cable de guarda.....	61
4.2.8.2.1	Grapas de suspensión.....	62
4.2.8.2.2	Grapas de Tensión.....	62
4.2.8.2.3	Herrajes para conformación de Cadenas de Aisladores.....	63
4.2.8.2.3.1	Grillete.....	63
4.2.8.2.3.2	Ojo Bola y Anilla Bola.....	63
4.2.8.2.3.3	Yugo.....	64
4.2.8.2.3.4	Horquilla Ojo, Horquilla Bola y Horquilla Anillo.....	64
4.2.8.2.3.5	Eslabón o Anillo.....	65
4.2.8.2.3.6	Mordazas de Suspensión.....	65
4.2.8.2.3.7	Mordaza de Amarre.....	65
4.2.8.2.4	Herrajes para sujeción de cable de Conductor.....	66
4.2.9	Sistemas de puesta a tierra.....	68
4.2.9.1	Electrodos.....	70

4.2.9.2	Conductores.....	70
4.2.9.3	Conectores.....	71
4.2.9.4	Contra – antenas.....	71
4.2.9.4.1	Medición de la resistividad del terreno.....	72
4.2.9.4.2	Desempeño de Líneas de Transmisión ante Descargas Atmosféricas.....	72
4.2.9.5	Boyas de Señalización.....	73
5.	APLICACIÓN DE LAS TECNICAS DE MANTENIMIENTO A LINEAS DE TRANSMISION.....	75
5.1	Lineamientos Generales para la elaboración de un Plan de Mantenimiento.....	75
5.2	Inspección Aérea.....	78
5.2.1	Inspección de Líneas de Transmisión por medio del uso de Drones.....	78
5.3	Manual de Trabajo.....	83
5.3.1	Recursos para el Mantenimiento.....	84
5.3.2	Coordinación en cuanto a desenergización de las Líneas.....	85
5.3.3	Horarios Propicios.....	85
5.3.4	Programa de Mantenimiento Preventivo.....	85
5.3.5	Programa Anual de Mantenimiento Preliminar.....	85
5.3.6	Programación de Recursos Utilizados.....	86
5.3.7	Control en la Programación del Mantenimiento.....	86
5.3.8	Diagrama de Flujo, Orden de Trabajo, Solicitud de Trabajos y Reporte.....	89
5.3.9	Orden de trabajo.....	91
5.3.10	Solicitud de Trabajo.....	91
5.3.11	Adquisición y Control de Stocks.....	92
5.4	Inspección de Ancho de Corredor.....	92
5.5	Mantenimiento de Caminos de Acceso.....	92
5.6	Control de Vegetación.....	93
5.7	Lavado de Cadena de Aisladores.....	93
5.8	Medición de Resistencia de Puesta a Tierra.....	94
5.8.1	Método Directo.....	96
5.9	Inspección por Efecto Corona.....	97
5.10	Sustitución de Aislamiento.....	102
5.10.1	Sustitución de Aislamiento en Estructuras de tipo Suspensión.....	103
5.10.2	Sustitución de Aislamiento en Estructuras de Tensión.....	104
5.11	Si se encuentra un conductor roto.....	104
5.12	Cadena de Aislamiento perforada.....	105
	CONCLUSIONES.....	107
	RECOMENDACIONES.....	108
	GLOSARIO.....	109
	REFERENCIAS.....	114



# INDICE DE FIGURAS

<b>Figura.</b>	<b>Pág.</b>
3.1 Modelos de drones.....	20
3.2 Dron modelo matrice 300 rtk.....	21
3.3 Dispositivos integrados en el matrice 300 rtk.....	21
3.4 Thermovisor (cámara infrarroja).....	23
3.5 Región Infrarroja del Espectro Electromagnético.....	23
3.6 Clasificación de rangos de diferentes longitudes de ondas.....	24
3.7 energía infrarroja y distribución a través del espectro electromagnético.....	25
3.8 Imagen térmica de un conector eléctrico.....	25
3.9 Imagen termografía de un dron matrice 300 rtk.....	26
3.10 Imagen izquierda tomada a la torre con la cámara termografica del dron.....	26
3.11 Imagen que visualiza las descargas por efecto corona.....	27
3.12 Corrosión por efecto corona en conexiones de las cadenas de aisladores.....	28
3.13 Cámara de coronografía.....	29
3.14 Modelos de cámara ultravioleta.....	29
3.15 Diagrama de funcionamiento de una cámara de coronografía.....	29
3.16 Imagen resultante de la cámara coronográfica.....	30
3.17 Evolución de la degradación por efecto corona.....	30
3.18 Corrosión de estos elementos a causa del efecto corona en una línea a punto de colapsar.....	31
3.19 Inspección termografía y coronográfica de un mismo objeto.....	32
3.20 Equipo de Ultrasonido.....	32
4.1 Grafico mostrando la altura de una torre de alta tensión en función del voltaje nominal.....	36
4.2 Componentes de las líneas de transmisión.....	38
4.3 Vista de conductores de aluminio AAC.....	39
4.4 Ejemplos de Configuraciones para cables ACSR.....	40
4.5 Comparación entre conductores ACSR convencionales y ACSR/TW.....	43
4.6 Conductores VR.....	43
4.7(a) Diseños comerciales para cables de guarda con fibra óptica.....	44
4.7(b) Diseños comerciales para cables de guarda con fibra óptica.....	45
4.8 Torres autosoportadas.....	47
4.9 Torres autorretenidas.....	47
4.10 Torre retenida tipo portal.....	48
4.11 Torres retenidas en Y.....	48
4.12 Pórtico de subestaciones.....	49
4.13 Amortiguadores Stock-Bridge.....	50
4.14 Partes de un amortiguador.....	50
4.15 Riostras o separadores de dos, tres y cuatro conductores por fase.....	51
4.16 Separador con alambre preformado rígido.....	52
4.17 Elementos de conexión entre la grapa de sujeción y marco central.....	52
4.18 Configuraciones para separadores de tres conductores por fase.....	53
4.19 Configuraciones para separadores de 4 conductores por fase.....	53
4.20 Aisladores de porcelana.....	54
4.21 Aisladores de vidrio templado.....	55

4.22 Aisladores sintéticos.....	55
4.23 Cruceta con aisladores en ‘T’.....	56
4.24 Deflexión de una línea de transmisión ante condiciones de viento.....	57
4.25 Cruceta con arreglo de aisladores en ‘V’.....	58
4.26 Distancia de aislamiento en cadena de aisladores.....	59
4.27 Herraje para cables de guarda.....	61
4.28 Herrajes de fijación.....	63
4.29 (a) Herrajes de unión.....	64
4.29 (b).....	64
4.29 (c).....	65
4.29 (d).....	65
4.30 Conjunto de herrajes para líneas de transmisión.....	66
4.31 Conjunto de herrajes para cable conductor, de izquierda a derecha conjunto para 1 conductor por fase, 2 conductores por fase, 3 conductores por fase y 4 conductores por fase respectivamente.....	67
4.32 Conjuntos de suspensión en ‘V’ de uno, dos, tres y cuatro conductores por fase.....	68
4.33 Conjuntos de tensión de doble cadena de un conductor por fase, dos conductores por fase, tres conductores por fase y cuatro conductores por fase.....	68
4.34 Elementos del sistema de puesta a tierra.....	69
4.35 Esquema del uso de contra-antena (contrapeso).....	72
4.36 Perfil y planta de Boyas de Señalización.....	73
5.1 Vista aérea del dron en trabajos electromecánicos realizados en la parte superior de una torre de transmisión a una cadena de aisladores.....	79
5.2 Imagen aérea tomada con un dron para verificar las condiciones de los elementos, en esta imagen de la cadena de aisladores.....	79
5.3 Imagen aérea tomada con un dron para verificar las condiciones de los herrajes y la estructura.....	80
5.4 Evaluación Geográfica realizada con un dron, verificando las condiciones de los caminos de acceso.....	80
5.5 Evaluación del camino de acceso con la cámara de un dron.....	80
5.6 Imagen Visual tomada por un dron.....	80
5.7 Imagen tomada por Cámara Coronográfica, donde se observan los fotones producidos por la descarga parcial.....	81
5.8 Las tres técnicas integradas en un dron: coronográfica, termografía y visual respectivamente.....	82
5.9 Recorrido de un Drone por caminos de acceso para llegar a una torre.....	82
5.10 (a) Parte de una inspección visual con Drone de estructura y herrajes.....	82
5.10 (b).....	82
5.10 (c).....	82
5.11 Modelo de planilla de reporte de mantenimiento.....	84
5.12 Ancho de corredor de líneas de transmisión.....	92
5.13 Lavado de cadena de aisladores con helicóptero.....	94
5.14 Medición de puesta a tierra.....	96
5.15 Equipos empleados para las mediciones de puesta a tierra.....	96
5.16 Flujograma de toma de decisiones ante la presencia de efecto corona.....	98
5.17 Tabla de criticidad de efecto corona.....	98
5.18 Inspección termográfica con termovisor o cámara infrarroja de piso.....	99
5.19 Imagen térmica de una torre.....	100
5.20 Relé de protección, indicando los valores de las corrientes en las líneas.....	100
5.21 Anemómetro, medidor de velocidad del viento.....	101
5.22 Tablas de criterios de evaluación según las diferencias de temperaturas entre fases.....	101

5.23 Imagen aérea termografía tomada por un dron matrice 300 rtk.....	102
5.24 Resultados de inspección termografía de torre.....	102
5.25 Maniobra cambio de aislamiento en estructura de suspensión.....	104
5.26 Maniobra de cambio de aislamiento en estructura de tipo tensión.....	104
5.27 Cadena de aislamiento flameada.....	105

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
4.1 Tabla de nivel de templado de los conductores.....	31
4.2 Características de las partes del amortiguador.....	51
4.3 Las recomendaciones para la colocación de amortiguadores.....	51
4.4 Capacidades mecánicas para cable conductor.....	60
4.5 Capacidades mecánicas de grapas y empalmes para cables de guarda.....	62
4.6 Capacidades mecánicas de grapas y empalmes para cables conductores.....	66
4.7 Calculo de longitud de conjunto de herrajes (suspensión).....	67
4.8 Resistencia al pie de la torre con diferentes configuraciones de electrodos de tierra.....	70
4.9 Comportamiento de la línea de transmisión ante descargas atmosféricas.....	72
4.10 Características de las boyas según su material.....	74

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es una función de un conjunto de actividades que sirve para conservar en óptimas condiciones los equipos e instalaciones de acuerdo a sus especificaciones, durante su tiempo de vida útil. Es importante que los equipos ejecuten operaciones confiables con una tasa de rendimiento óptimo sobre la inversión.

El mantenimiento debe centrarse en los niveles adecuados de disponibilidad, confiabilidad y operatividad, para obtener un logro adecuado de costos mínimos y excelente funcionamiento que conlleve a una adecuada calidad en la prestación del servicio y seguridad en los usuarios y en los operarios que ejecutan las labores de mantenimiento.

En el capítulo I se hace planteamiento del problema, justificación y metodología.

En el Capítulo II se describen los diferentes tipos de mantenimiento:

- a) Preventivo: tiene como objetivo principal la reducción de riesgos y de posibles averías en los equipos, ajustándose a un adecuado plan de mantenimiento. Esto conlleva a reducir las probabilidades de fallo, la prolongación de la vida útil de los componentes y evitar las ocurrencias de accidentes. Es importante hacer, en base a una adecuada planificación, las fases de ajustes, reparaciones, análisis, limpieza y calibración de manera periódica, basada en experiencias de operadores calificados.
- b) Predictivo: Consiste en aplicar estrategias de mantenimiento antes de ocurrir alguna falla o avería en las instalaciones y equipos, para así poder dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detener la producción. Si el departamento detecta alguna anomalía, se procede a realizar la revisión y de ser necesario, proceder a la posible sustitución de algún componente antes de que ocurra el fallo o avería. Se hace un seguimiento de estado o desgaste de una o más piezas componentes de equipos prioritarios, analizando de qué manera están operando; por análisis estadísticos, se

podrá llegar a una conclusión de su situación. Estos controles pueden ser periódicos o continuos, dependiendo del tipo de equipos, sistema productivo, etc.

- c) Correctivo: donde la principal característica es inspeccionar los equipos e instalaciones para que, en el caso de algún defecto o falla se puedan hacer las correcciones de manera oportuna.

En el Capítulo III: Se describen las técnicas de inspección desarrolladas, las características de los drones y su aplicabilidad para las mismas.

En el capítulo IV: Se describen las características y partes constitutivas de las líneas de Transmisión.

En el capítulo V: Se desarrolla los lineamientos planteados para la planificación de operaciones de mantenimiento, para mantenimiento preventivo limpieza de ancho de corredor, lavado de cadena de aisladores, en cuanto a mantenimiento predictivo las aplicaciones de los drones en cuanto a las técnicas empleadas para el mantenimiento preventivo y predictivo, criticidad en termografía y efecto corona para la toma de decisiones en cuanto a las acciones a tomar, sustitución de aislamiento para mantenimiento correctivo, y acciones a tomar en cuanto a fallas presentadas.

Estas actividades son de vital importancia en el sector eléctrico ya que eventualmente se presentan fallas por diferentes causas, entre ellas por emplear un mal plan de mantenimiento que no garantiza del todo la confiabilidad del sistema

# CAPITULO 1

## OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo hace referencia a las nuevas técnicas de inspección para mejorar las técnicas de mantenimiento dado a los requerimientos de los sistemas eléctricos y así realizar un planteamiento para las mejoras en políticas y oportuna planificación.

### 1.1 Planteamiento del problema

Al momento de realizar la planificación de los programas de mantenimiento de líneas aéreas de alta tensión, existe una serie de procedimientos, que dependerán de distintos factores tanto técnicos como humanos que se deben tener en cuenta para obtener los parámetros necesarios para su buen desempeño a lo largo de la vida útil de los componentes, ya que en la actualidad se exige a la empresa de suministro eléctrico confiabilidad y continuidad del servicio.

Las empresas de generación de energía eléctrica buscan disminuir la frecuencia de fallas de sus principales equipos críticos y a su vez necesitan identificar cuáles son sus fallas funcionales, modos, efectos y consecuencias de estas fallas, lo cual ayudará con la planificación de un mantenimiento óptimo.

En los últimos tiempos a nivel mundial se han ido creando técnicas de inspección y mantenimiento aplicables a equipos y sistemas que permiten un mejor uso de los equipos y alargar su vida útil.

### 1.2 Justificación

Debido al aumento acelerado del consumo de energía eléctrica, las empresas prestadoras del servicio se han visto en la necesidad de la expansión del sistema eléctrico para satisfacer el crecimiento de la demanda de la energía eléctrica.

De igual manera surge la necesidad de prestación del servicio con la máxima calidad y continuidad de manera que no se vean afectados los procesos industriales, comerciales, sociales y económicos por interrupciones o perturbaciones del fluido eléctrico.

Los mayores indicadores que exigen los usuarios son confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico.

Uno de los mayores riesgos a los que se enfrentan las empresas prestadoras del servicio es sufrir pérdidas económicas por no gestionar y manejar sus activos de manera apropiada.

En consecuencia se busca implementar nuevas técnicas que permitan: evaluar, diagnosticar y mejorar la confiabilidad y el desempeño de los sistemas de transmisión de energía eléctrica.

El mantenimiento moderno busca el modo de identificar las acciones correctivas que puedan optimizar los costos a través de una política de minimización de frecuencia de fallas, y reducción de su impacto en el sistema.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Proponer el plan de mantenimiento que permita mantener los indicadores de mantenimiento en los mejores estándares posibles, generando una herramienta de gestión orientada a optimizar el manejo actual del mantenimiento.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Reconocer los diferentes tipos de mantenimiento de líneas aéreas de alta tensión.
- Identificar los nuevos métodos de inspección y diagnóstico.
- Diferenciar las técnicas de mantenimiento aplicadas a las líneas aéreas de alta tensión.
- Investigar la utilización de los drones para las inspecciones de las líneas aéreas de alta tensión.
- Investigar y estudiar la utilización de la termografía y su aplicación a la inspección y diagnóstico.
- Investigar y estudiar la coronografía y su aplicación a la inspección y diagnóstico.
- Investigar y conocer las diferentes técnicas aplicadas al mantenimiento correctivo de líneas de alta tensión.
-



## **1.4 Metodología**

- Recopilación Bibliográfica de manuales de líneas de alta tensión.
- Investigación documental relacionada con el mantenimiento.
- Consulta de trabajos desarrollados por otros compañeros en Venezuela y otros países.
- Consulta de algunas de las técnicas de mantenimiento desarrolladas actualmente con personal del dpto. de planificación y de la división de transmisión de la empresa corpoelec.

## **1.5 Alcance**

Con la aplicación de las nuevas técnicas de inspección reduciría el tiempo que implica un recorrido de los elementos a inspeccionar, disminuiría el riesgo del personal encargado de las inspecciones ya que el personal debe muchas veces subir torre por torre de las líneas de transmisión solo para verificar las condiciones de la ferretería y de los aisladores, con estas técnicas solo deberán escalar las torres para realizar las labores correctivas.

## **1.6 Limitaciones**

Hacer una gran inversión económica para los nuevos equipos de inspección y el tiempo para capacitar al personal con el manejo y operación por la cantidad de personal con el que se cuenta actualmente y durante la capacitación no estarían disponibles para las mismas labores y mientras el resto del personal encargado tendrá más sobrecarga de labores.

# CAPITULO 2

## TEORIA GENERAL DE MANTENIMIENTO

### 2.1 Definición de mantenimiento

El mantenimiento es una función o proceso de un conjunto de actividades que permiten conservar en óptimas condiciones los equipos e instalaciones, de manera que operen de acuerdo a sus especificaciones y durante su tiempo de vida útil. El mantenimiento es una actividad que debe ser planificada para así desarrollar acciones continuas y permanentes que garanticen su eficiencia y confiabilidad [1].

El mantenimiento debe asegurar la disponibilidad de la función de los equipos que se necesitan en distintas partes de una organización para ejecutar operaciones confiables, con una tasa óptima de rendimiento sobre la inversión.

Evolución del mantenimiento:

- Primera generación: reparar cuando ocurre la falla, hasta finales de la década de 1950.
- Segunda generación: reparaciones mayores programadas, Sistemas de planeamiento y control del trabajo, a partir de la década de 1960 hasta finales de la década de 1970.
- Tercera generación: monitoreo de condición, diseño direccionado a la confiabilidad y facilidad para mantenimiento, estudio de riesgos, computadoras pequeñas y muy rápidas, análisis de modos de fallas y sus efectos, trabajo multifacético y en grupo, principio de la década de 1980 hasta mediados de la década de 2010.
- Cuarta generación: mantenimiento 4.0, vinculación de los procesos de mantenimiento industrial con las tecnologías y filosofías de la industria 4.0, Procesos cotidianos apoyados por tecnologías, comunicación remota, etc., desde mediados de la década de 2010 hasta el presente.

## 2.2 Objetivos del mantenimiento

- Apoyar el proceso de producción en los niveles adecuados de disponibilidad, confiabilidad y operatividad.
- Minimizar costos.
- Aumentar la efectividad de equipos e instalaciones
- Lograr buen funcionamiento y constante el mayor tiempo posible
- Asegurar que los equipos e instalaciones estén en buenas condiciones de operatividad
- Contribuir a la calidad de la prestación del servicio
- Contribuir con la seguridad del usuario y de los operarios.

## 2.3 Tipos de mantenimiento

En general se pueden distinguir los siguientes tipos de mantenimiento [3]:

### 2.3.1 Preventivo:

Este tipo de mantenimiento tiene como objetivo la reducción de riesgos y de posibles averías en equipos, rigiéndose por el plan de mantenimiento que se efectúa a un bien o instalación con el propósito de reducir la probabilidad de fallo, prolongar la vida útil y evitar accidentes. Se deben programar inspecciones tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación y calibración. Se recomienda hacerlo de forma periódica en base a una planificación y la técnica de su aplicación se apoya en experiencias de operación que reduzca sus posibilidades de falla.

La principal característica de este tipo de mantenimiento es la de realizar inspecciones a los equipos e instalaciones de manera que si hay alguna falla o defecto, éste sea detectado y corregido de manera oportuna.

Efectuando correctamente el mantenimiento preventivo, se determinan las posibles causas de fallas repetitivas, tiempo de operación seguro, así como también ubicar puntos calientes que impiden el correcto funcionamiento de los equipos.

El mantenimiento preventivo ha tomado gran importancia debido a los altos costos de los equipos y las funciones que cumplen y su complejidad, que de ocurrir algún fallo traería grandes repercusiones al funcionamiento y prestación del servicio [2].

### **2.3.1.1 Ventajas del mantenimiento preventivo:**

- Disminución de costos en las reparaciones
- Confiabilidad en la operación de los equipos ya que mejoran sus condiciones de seguridad, se conoce su estado y sus condiciones de funcionamiento.
- Mayor tiempo de vida en equipos e instalaciones.
- Ya que se hace una programación de actividades se puede delegar trabajo con más uniformidad con el personal encargado del mantenimiento.

El mantenimiento preventivo se hace con el propósito, como su nombre lo indica, de prever las posibles fallas, manteniendo la infraestructura, equipos e instalaciones en óptimas condiciones de operación.

### **2.3.1.2 Fases del mantenimiento preventivo:**

- Conocer las características técnicas de los equipos en base a los manuales de servicio y operación de cada equipo y/o maquinaria.
  - Hacer un listado de trabajos y procedimientos a efectuarse en cada equipo.
  - Programar la frecuencia de mantenimiento.
  - Llevar un registro de eventos, fallas, reparaciones y costos de manera que faciliten la planificación.
- Para llevar a cabo un plan eficiente de mantenimiento de cualquier equipo, es necesario contar con la mejor organización posible, recursos financieros disponibles, repuestos, materiales y equipos de buena calidad, además de contar con el personal técnico capacitado para ejecutar los planes de mantenimiento programados, de manera de minimizar en lo posible paros imprevistos, depreciación de equipos, descubrir y corregir desperfectos.

Es de gran importancia contar con datos estadísticos de fallas de los equipos e instalaciones. Además de ayudar a identificarlas, también proporcionaran un resumen de la información sobre los motivos de las fallas, partes que fueron reemplazadas y con qué frecuencia ocurrieron las mismas, conociéndose el costo total de las fallas y reparaciones causadas por paros imprevistos.

Al tener dicha información se estima el costo si se hubiese hecho el paro con tiempo para la planificación, reunir los materiales y hacer el manejo adecuado de los recursos necesarios y llevar a cabo las labores de mantenimiento.

Al momento de la inspección se incluyen todos los equipos de procesos, servicios, equipos accesorios y de protección, todos los que puedan deteriorarse o causen tiempo improductivo debido a circunstancias ajenas al control de los trabajadores responsables o sobretiempo.

Mientras que realizar el mantenimiento preventivo implica un paro de actividades para reemplazar, reparar o hacer ajustes de las partes del equipo, estas actividades deben ser planificadas, programadas y coordinadas bajo una supervisión estricta por parte del supervisor o jefe de mantenimiento.

Con estas actividades normalizadas se logra un mantenimiento eficaz y bien planificado en los sistemas eléctricos, lo cual es de gran importancia ya que es la base para dar un servicio excelente y continuo.

El mantenimiento preventivo se llevará a cabo a aquellos equipos que estén estrechamente relacionados al servicio y seguridad del personal y con disposición de equipos y herramientas adecuados para realizar dicho mantenimiento los cuales deben estar al alcance al momento de ejecutarse.

### **2.3.2 Predictivo:**

Consiste en aplicar estrategias de mantenimiento antes de ocurrir alguna falla o avería en las instalaciones y equipos, para así poder dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detener la producción, para esto se recomienda llevar registros estadísticos para poder anticipar cualquier eventualidad que pueda ocurrir. Si el departamento detecta alguna anomalía, se procede a realizar la revisión y de ser necesario la posible sustitución de algún componente antes de que ocurra el fallo o avería.

Se hace un seguimiento de estado o desgaste de una o más piezas componentes de equipos prioritarios, analizando de qué manera están operando por análisis estadísticos, por lo que se podrá llegar a una conclusión de su situación. Estos controles pueden ser periódicos o continuos, dependiendo del tipo de equipos, sistema productivo, etc.

Para ello se trabaja con instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas que no comprometan la integridad de los equipos, como análisis de lubricantes, monitoreo de temperatura de equipos eléctricos, etc.

### **2.3.2.1 Ventajas del mantenimiento predictivo:**

- Menor tiempo de parada.
- Se puede hacer seguimiento de la evolución de un desperfecto.
- Mejora el desempeño del personal encargado de mantenimiento.
- Se determina el tiempo exacto de operación sin que ocurra un fallo imprevisto.
- Mejor criterio de decisión a la hora de hacer parada de producción en momentos críticos.
- Permite la información del histórico de eventos y fallas de los equipos para ser utilizado por el mantenimiento correctivo.
- Ayuda con la comprensión del análisis de fallas.
- Facilita el análisis de registros del sistema.

Para un efectivo plan de mantenimiento debe existir un idioma en común que incluya la variedad de los equipos existentes. Por lo tanto se hace necesario ejercer control con algunas variables, como por ejemplo:

- Periodo entre una falla y otra.
- Costos de mantenimiento
- Tiempo de parada de producción
- Costos de las reparaciones
- Capacidad de producción de los equipos [2].

### **2.3.3 Correctivo:**

El mantenimiento correctivo tiene la finalidad de reemplazar los elementos o equipos averiados y que no pueden cumplir con sus funciones. La sustitución también se da cuando los equipos han cumplido las horas de trabajo para las que fue fabricado [4].

Las características del mantenimiento correctivo son las siguientes:

- Urgencia en la solución del o de los problemas
- Necesidad de pronta solución para evitar o reducir pérdidas de producción, tiempo y dinero.

**Tipos de mantenimiento correctivo:****2.3.3.1 No planificado:**

Consiste en hacer las reparaciones necesarias al ocurrir una o más averías al bien, servicio o instalación una vez que se ha presentado el fallo con el objetivo de restablecer el funcionamiento y eliminar la causa que ha producido la falla. Esto acarrea un costo a la empresa que lo maneja. En ocasiones, reparar la(s) avería(s) trae como consecuencia la aparición de una o más fallas por maniobras indebidas o deterioro de equipos.

**2.3.3.2 Planificado:**

Es el mantenimiento programado que anticipa posibles fallas que puedan presentarse de un momento a otro. Se coordina con el personal, de acuerdo a los repuestos disponibles y requiere documentos que proporcionen datos estadísticos, Esto permite fijar con anterioridad el momento que se va a realizar la inspección y de ser necesario las reparaciones y sustituciones pertinentes, de modo de aprovechar al máximo las horas de poca actividad.

**2.4 Conceptos fundamentales asociados al mantenimiento.**

Debe darse atención a la función propia del mantenimiento para así obtener una rentabilidad óptima. Para ello se estudian los siguientes parámetros:

**2.4.1 Ciclo de vida de un equipo**

Tiempo de vida útil durante el cual el equipo mantiene sus condiciones normales de servicio.

**2.4.2 Confiabilidad**

Es la posibilidad de que un equipo, máquina o sistema lleve a cabo su función determinada en un proyecto de acuerdo con las condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo definido.

**2.4.3 Costo del ciclo de vida**

Es el total de los costos de un equipo que se acumulan durante su ciclo de vida, incluyendo los gastos de adquisición, mantenimiento, mejora, producción y uso, hasta su desecho o reciclaje.

#### **2.4.4 Defecto**

Son fallas que se presentan en los equipos o instalaciones con los cuales aún pueden cumplir sus funciones pero a un periodo de corto o largo plazo pueden quedar inoperativos [2].

#### **2.4.5 Radiación por temperatura**

Es una radiación electromagnética infrarroja que viaja a través del espacio a la velocidad de la luz. Todos los cuerpos con temperaturas por encima del cero absoluto (-273 °C) emiten radiación infrarroja generada por la aceleración de partículas cargadas eléctricamente. Conforme un objeto se calienta, su actividad molecular se incrementa e irradia más energía. La radiación emitida aumenta con la temperatura y es conocida mejor como entropía.

#### **2.4.6 Lubricación**

Es una operación de mantenimiento preventivo para reducir la fricción, hacer cambios, adiciones y análisis. En consecuencia, es prevenir la resistencia entre dos partes móviles y para ello se introduce un fluido que crea una película que separa las superficies de contacto [5].

#### **2.4.7 Mantenibilidad**

También llamado capacidad de mantenimiento es la facilidad, precisión y seguridad de que un equipo pueda ser restaurado a sus condiciones de operatividad satisfactoria después de haber sido detectada la avería [6].

#### **2.4.8 Mantenimiento de campo**

Son cuadrillas que realizan actividades coordinadas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo a equipos de la empresa ubicados en zonas no pertenecientes a la misma.

#### **2.4.9 Mantenimiento en parada**

Acción que se realiza solamente cuando el equipo está parado y/o fuera de servicio permitiendo efectuar inspecciones, reparaciones generales, sustituciones, etc.



#### **2.4.10 Mantenimiento en talleres**

Consiste en llevar a cabo en su totalidad trabajos de mantenimiento correctivo a un sitio fijo que cuente con manufactura, repuestos, ensamblaje, herramientas, etc.

#### **2.4.11 Mantenimiento no planificado**

Es aquel que se realiza cuando se presenta una emergencia previsible Es de tipo correctivo y se lleva a cabo después de haber ocurrido un accidente.

#### **2.4.12 Mantenimiento operacional**

Es un tipo de mantenimiento preventivo rutinario aplicado para prolongar la vida de los equipos y maximizar su rendimiento. Se realizan muchos tipos de ajustes menores como limpieza, inspecciones, lubricación, verificación de ruidos extraños, llevadas a cabo estas actividades por los operadores [2].

#### **2.4.13 Mantenimiento selectivo**

Es el mantenimiento preventivo por estado el cual consiste en el cambio de una o más piezas de componentes de equipos prioritarios, de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes.

#### **2.4.14 Parada general**

Situación de un conjunto de equipos a los que se les efectúa revisiones, inspección y/o reparaciones si lo amerita, concentradas y programadas en un determinado periodo de tiempo.

#### **2.4.15 Plan de mantenimiento**

Es el conjunto de operaciones preventivas que se deben realizar en los equipos, basados en los protocolos de operaciones según el tipo de equipo a realizarle el mantenimiento, para lograr cumplir con los objetivos de disponibilidad, fiabilidad y coste y por ende prolongar la vida útil de los equipos [7].

#### **2.4.16 Rata de fallas**

Es la probabilidad casi inmediata de que un equipo falle al llegar a un número de horas de operación [2].

### **2.4.17 Reconstrucción**

Una serie de trabajos de reparación, en las cuales se realizan mejoras que sean justificadas por razones técnicas o económicas. Puede traer como consecuencia prolongar la vida útil del equipo y podría ser calificado como una inversión.

### **2.4.18 Reparación**

Conjunto de actividades de rehabilitación que se hacen en un equipo para ser restituido a sus especificaciones originales.

### **2.4.19 Soportabilidad**

Es la capacidad y aptitud de poder atender en condiciones dadas una solicitud determinada para mantener un equipo, conforme a una política de mantenimiento dada, en el tiempo de espera prefijado.

## **2.5 Costos de las reparaciones**

Son gastos que derivan de fallas técnicas o averías para las cuales se requiere de la participación de un técnico. Puede ser necesario el reemplazo de componentes. Estos costos se clasifican en:

### **2.5.1 Costos directos:**

- Mano de obra
- Materiales utilizados
- Sobretiempo
- Otros gastos

### **2.5.2 Costos indirectos:**

Son aquellos que no son directamente imputables a la producción de un bien o servicio en particular. Entre los cuales se tiene:

- Tiempo perdido por los obreros de producción
- Desperdicio de materiales
- Preparación de los equipos

- Trabajos que necesitan volver a ejecutarse
- Ajustes
- Otros

Es decir los costos indirectos son aquellos costes en los que la empresa incurre durante el ejercicio de su actividad, cuya asignación es más complicada, ya que no se relacionan directamente con la producción.

En conclusión se puede afirmar que los objetivos finales a lograr son una mayor efectividad de los sistemas y una reducción de costos de operación [8].

## **2.6 Mantenimiento óptimo**

Es una metodología empleada para lograr mejoras en el rendimiento de cualquier organización, a esto se refiere, es la sumatoria de diferentes principios que deben cumplirse para así obtener reducción de los costos totales de operación e instalaciones de operación y servicios, logrando así operar en las mejores condiciones durante un porcentaje de tiempo óptimo.

### **2.6.1 Principios básicos del mantenimiento óptimo**

- Es parte integral de la organización y tan importante como la producción
- El mantenimiento es una de las unidades de servicio y debe procurarse evitarse que la producción dependa de ello.
- Las operaciones de mantenimiento deben ser controladas en su origen, haciendo supervisión de la carga del mismo (horas hombre) y debe llevarse en forma organizada.
- El orden de la ejecución de los trabajos requeridos se logra por medio de un sistema de órdenes de trabajo (ordenes escritas). El sistema incluye el siguiente proceso básico: solicitud, planificación, estimado, autorización, programación, ejecución y revisión.
- Cuando se presentan casos de emergencia, el trabajo de mantenimiento a realizar se debe planificar antes de iniciarlo. Planificación y ejecución son funciones diferentes. El operador que hace la solicitud del trabajo a realizar, está en su derecho de exigir un estimado de costo antes de dar su autorización.
- El mantenimiento debe estar organizado en tres niveles de operación: mantenimiento operacional (trabajos rutinarios), mantenimiento de campo (realizando en el origen

mantenimiento preventivo y correctivo) y mantenimiento de taller (trabajo realizado en un sitio fijo). El mantenimiento operacional es llevado a cabo por el personal de producción.

- En todo trabajo de mantenimiento debe verificarse que se cumpla con las normas preestablecidas y cualquier función que este fuera de ello debe ser corregida de inmediato.
- Debe llevarse un registro y reporte de los costos de mantenimiento de manera que el costo de mantener un equipo mayor pueda ser determinado de forma fácil y rápida.
- En las funciones de mantenimiento debe incluirse lo siguiente: programa para medir las horas efectivas del personal, tiempo de respuesta, estudio de métodos empleados, preparación de normas y desempeño de otras funciones técnicas por parte de los supervisores.

Todas estas actividades son con el objetivo de evaluar el rendimiento de la organización, conducir de manera óptima la toma de decisiones y hacer una preparación de programas de mantenimiento más eficientes [2].

## **2.7 Mantenimiento centrado en confiabilidad**

Para poder determinar los requerimientos de un buen mantenimiento en su contexto operativo, que es denominado mantenimiento centrado en confiabilidad, hay que definir las operaciones de cada activo en su contexto operativo, junto con los estándares de desempeño deseados asociado. Luego identificar qué falla puede ocurrir y derrotar las funciones. Una vez que se ha identificado cada falla funcional, el siguiente paso es tratar de identificar las causas de las fallas, es decir, todos los eventos que tienen una probabilidad razonable de causar cada modo de falla. Estos eventos se conocen como modos de falla. El cuarto paso en el proceso RCM (*reliability centered maintenance*) implica enumerar los efectos de falla, que describen lo que sucede cuando cada modo de falla ocurre a nivel local y del sistema. El RCM el proceso clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- Consecuencias ocultas de fallas;
- Consecuencias ambientales y de seguridad;
- Consecuencias operativas;
- Consecuencias no operativas.

Identificar las consecuencias de una falla ayuda a priorizar los modos de falla porque las fallas no se crean de la misma manera. El proceso RCM genera una gran cantidad de información sobre cómo funciona el sistema, cómo puede fallar y las causas y consecuencias de las fallas. El último paso es seleccionar tareas de mantenimiento para prevenir o detectar la aparición de fallas. Solo se seleccionan las tareas aplicables y efectivas.

De esta manera, RCM se puede utilizar para crear una estrategia de mantenimiento rentable para abordar las causas dominantes de falla del equipo. Es un enfoque sistemático para definir un programa de mantenimiento preventivo compuesto por tareas rentables que preservan funciones importantes del sistema.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## CAPITULO 3

# TÉCNICAS DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

Se describen las técnicas de inspección y diagnóstico desarrolladas a lo largo del tiempo, así como una descripción de un nuevo dispositivo para desarrollar algunas de las mismas.

### 3.1 Inspección

Es la actividad o servicio de mantenimiento preventivo, el cual puede ser de manera frecuente o de corta duración, en el cual se examinan las condiciones del equipo, normalmente mediante la utilización de instrumentos de medición, de parámetros eléctricos, térmicos, etc., que no afectará la disposición del mismo.

Las inspecciones son el primer paso para planificar los trabajos de mantenimiento, ya que al realizarlas, esto arroja las anomalías presentadas en los equipos, además de evitar posibles fallas que provoquen la interrupción de las actividades de la empresa [9].

#### 3.1.1 Inspección mayor

Esta actividad debería de realizarse cuando menos una vez al año a lo largo de toda la línea de transmisión. Durante el desarrollo de esta labor, se realiza la revisión a detalle en cada elemento de las estructuras, cables conductores, cables de guarda, además de los factores externos a la línea de transmisión como brecha, contra perfiles, libramientos de piso a conductor, cruzamientos con ríos, zonas de contaminación, vandalismo y zonas de incendio.

#### 3.1.2 Inspección menor

Se puede realizar con una periodicidad de dos veces al año, debido a que no es necesario que el personal ascienda a las estructuras, sin embargo, es una actividad indispensable [9].

### 3.2. Técnicas de Inspección

### **3.2.1 Inspección Aérea**

Se trata de examinar de forma visual y funcional las condiciones físicas en las que se encuentran los componentes de las líneas de alta tensión desde cierta altura realizando la inspección desde un helicóptero o con la ayuda de un dron.

#### **3.2.1.1 Inspección con helicóptero**

Actividad en la cual se pueden recorrer las líneas en un menor tiempo y detectar fallas notorias en cables de guarda, cable conductor, estructuras, brecha, cola de rata, cimentaciones, invasiones al derecho de vía, aislamiento y construcciones cerca al derecho de vía por vialidades nuevas; ya que en ocasiones las autoridades regionales y municipales aprueban proyectos sin consultar los riesgos a los que se enfrentan al realizar la construcción cerca de las líneas de transmisión.

#### **3.2.1.2 Inspección con dron**

El dron es un pequeño aparato de sistema de robot aéreo tipo helicóptero no tripulado con siglas en inglés RPAS (*remotely piloted aircraft system*) comandado a distancia, de todos los tamaños y orientados a distintos fines, sobre todo en los últimos años, inicialmente fue fabricado para fines militares y estratégicos, sin embargo es importante señalar que artefactos de este tipo existen desde hace décadas, aunque han sido de alto costo de fabricación, en la actualidad poseen muchas más características; hoy en día es posible la filmación desde grandes alturas y son guiados por programas instalados en una tableta o teléfono inteligente, existiendo algunas funciones específicas relacionadas con la observación de lugares inaccesibles para el ojo humano [9].

Como es de suponer, para que exista una capacidad de comando, debe existir un vínculo entre el dron y un artefacto o software que posibilite esta vinculación con la persona que comanda el objeto; la tecnología actual permite que un dron sea comandado por una Tableta o un teléfono inteligente. No obstante pocos saben que esta vinculación puede ser intervenida por terceros. Así, un dron puede ser hackeado por un tercero que puede tomar el control del mismo; ciertamente, se toman medidas de seguridad para evitar tal situación.

Dron significa abeja macho o zángano en inglés, también es conocida en la industria estadounidense con otros nombres como son:

- UAV: *Unmanned aerial vehicle*.
- VANT: Vehículo aéreo no tripulado.
- RPAS: *Remotely piloted aircraft systems*.

Los drones pueden resultar más útiles, sobre todo por el ahorro en los costos, el precio de una hora de vuelo es significativamente menor que una hora de vuelo de helicóptero; con un mismo presupuesto, se puede operar un mayor número de dispositivos, cubriendo áreas más amplias y por tanto más eficaces. Además, la perspectiva es más precisa, pues estos dispositivos pueden acercarse más a tierra, y no necesitan del grado de especialización y preparación con la que ha de contar una tripulación de este tipo de aeronaves, en la Fig. 3.1 muestran imágenes de drones.

Existen otros tipos de ventajas no económicas como por ejemplo el motor de un dron es silencioso, al contrario al motor de un helicóptero en caso de presentarse alguna emergencia de alguna persona no podría ser escuchada.



Fig. 3.1 Modelos de drones [9].

Entre los modelos de drones existente se tiene comúnmente para inspección de líneas de transmisión el matrice 300 rtk





Fig. 3.2 dron modelo matrice 300 rtk. [10]

Este modelo de dron cuenta con una cámara angular, cámara de zoom óptico, una cámara térmica y un telemetro laser el cual es un dispositivo que mide la distancia hacia un objeto o punto de referencia emitiendo un láser y midiendo el tiempo en el que este tarda en regresar pudiendo así calcular la distancia.



Fig. 3.3 Dispositivos integrados en el matrice 300 rtk, parte superior izquierda lente angular, parte superior derecha telemetro, parte inferior izquierda lente de zoom y parte inferior derecha lente termografico [10]

Este dron cuenta con una autonomía de vuelo de 55 minutos, proporciona un rango de transmisión de datos de 15 km, es a prueba de polvo y agua, con un índice de protección IP54, cuenta con una interfaz que permite escanear rápidamente una zona de interés, pudiéndose hacer selección de la cámara infrarroja identificando problemas críticos, detección de puntos calientes y descargas parciales.

Otros factores a considerar son el rendimiento de seguridad, ser seguro, estar seguro, siempre con meta de cero accidentes, la protección de personal, hardware, software, redes y datos de acciones físicas, inclusiones y otros eventos que podrían causar daño, esto incluye desastres naturales, robos, incendios, entre otros [10].

### **3.2.2 Inspección por termografía:**

La termografía es la técnica de producir una imagen infrarroja invisible para el ojo humano emitida por objetos de acuerdo a su condición térmica, con el cual se realiza una inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante la captación de radiación infrarroja y reproducida en imágenes visibles. Este método de inspección se basa en el hecho de que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un aumento de la temperatura cuando tienen mal funcionamiento. Por ejemplo en un circuito eléctrico por conexiones flojas, en equipos mecánicos por cojinetes desgastados, etc. Observando los patrones de calor en los sistemas operativos se pueden localizar las fallas y evaluar la seriedad de la misma [11].

La herramienta de inspección utilizada por los termógrafos es la cámara termográfica o thermovisor. Estos equipos miden las emisiones naturales de radiación infrarroja de un objeto y producen una imagen de temperatura.

Las cámaras termo gráficas modernas son portátiles con controles fáciles de operar [2].

#### **3.2.2.1 Medición de temperatura por métodos infrarrojos**

Una cámara infrarroja reproduce una imagen termográfica en vivo, ayuda al tener conocimientos básicos de la teoría del infrarrojo.

Un objeto cuando se calienta irradia energía electromagnética, la cantidad de energía está relacionada con la temperatura del objeto. La cámara termográfica puede determinar la temperatura del objeto sin contacto físico midiendo la energía emitida [10].

El thermovisor está compuesto de una cámara Infrarroja, un monitor de video, una cámara fotográfica y baterías recargables [2].



Fig. 3.4 Thermovisor (cámara infrarroja) [2]

### 3.2.2.2 Espectro electromagnético

La energía de un objeto calentado se irradia a diferentes niveles a través del espectro electromagnético; en la mayoría de las aplicaciones industriales, es la energía radiada en longitudes de ondas infrarrojas la que se utiliza para determinar la temperatura del objeto. La siguiente figura muestra varias formas de energía radiada en el espectro electromagnético que incluye rayos X, ultravioleta, infrarrojos y radio. Todos son emitidos en forma de onda y viajan a la velocidad de la luz.; la única diferencia entre ellos es su longitud de onda que está relacionada con la frecuencia.

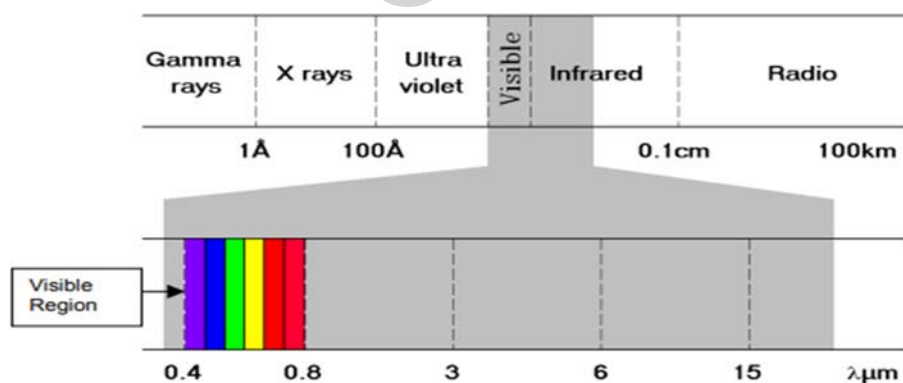


Fig. 3.5 Región Infrarroja del Espectro Electromagnético. [10]

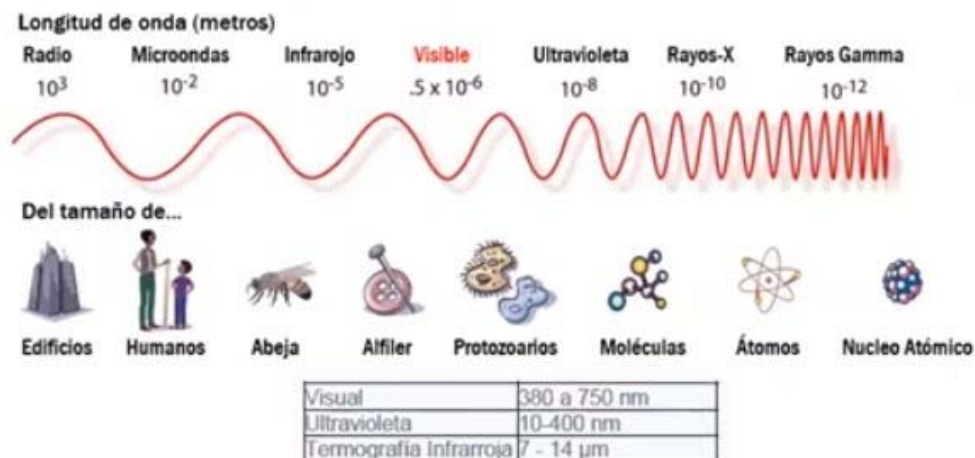


Fig. 3.6 Clasificación de rangos de diferentes longitudes de Ondas, los rangos de interés son el infrarrojo y el ultravioleta [10]

El ojo humano responde a la luz visible en el rango de 0,4 a 0,75  $\mu$ m.

La gran mayoría de las mediciones de temperatura por infrarrojos se realizan en el rango de 0,2 a 20  $\mu$ m. Aunque la mayoría de las emisiones no pueden ser detectadas por una cámara estándar, la cámara termográfica puede enfocar esta energía a través de un sistema óptico en un detector de manera similar a la luz visible. El detector convierte la energía infrarroja en un voltaje eléctrico que, después de la amplificación y el procesamiento complejo de la señal, se utiliza para generar la imagen térmica en el visor del operador a bordo de la cámara termográfica [10].

### 3.2.2.3 Distribución de energía

La siguiente figura muestra la energía emitida por un objeto a diferentes temperaturas. Como puede verse, cuanto mayor sea la temperatura objetivo, mayor será el nivel de energía pico; la longitud de onda a la que se produce el pico de energía se acorta progresivamente a medida que aumenta la temperatura. A bajas temperaturas, la mayor parte de la energía se encuentra en longitudes de onda largas.

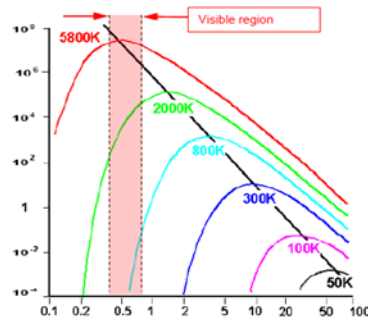


Fig. 3.7 energía infrarroja y distribución a través del espectro electromagnético [11].

Energía infrarroja y distribución a través del espectro electromagnético.

Una cámara termográfica produce una imagen en vivo



Fig. 3.8 Imagen térmica de un conector eléctrico [11]

Las cámaras infrarrojas miden la temperatura de cualquier objeto o superficie de la imagen y producen una imagen con colores que interpretan el diseño térmico con facilidad.

Sin contacto: utilizan sensores remotos, mantienen al usuario fuera de peligro, no es intrusivo y no afecta al objeto de la medida.

Las condiciones de viento, luz solar y reflexiones influyen en la aparición de puntos calientes, estos aparecen en la etapa final de la degradación de la línea, cuando ya está por ocurrir el fallo [11].

- Se realiza en tiempo real.
- Permite la comparación entre diferentes áreas de la imagen
- La visualización de objetos estacionarios es muy rápida
- Permite la captura de objetos en rápido movimiento
- La visualización de transitorios es muy rápida.



Fig. 3.9 Imagen termografía de un dron matrice 300 rtk [10].



Fig. 3.10 Imagen izquierda tomada a la torre con la cámara termográfica del dron, imagen derecha tomada con una cámara termografía convencional [10].

En la figura anterior muestra los criterios de evaluación termografía, las más utilizadas son las de la NETA (*national electric testing association*), ITC (*infrared training center*) y por experiencias propias, estos criterios de evaluación se aplican en medición de temperatura en cada fase, estas tablas indican la relevancia de acuerdo a la diferencia de temperatura entre las fases, en condición normal y leve no se necesita intervenir, en condición grave debe ser intervenido en la próxima parada de planta, en condición muy crítico debe intervenir de inmediato [10].

### 3.2.3 Inspección por efecto corona

El efecto corona se produce por la ionización del gas alrededor de las instalaciones de líneas de transmisión y distribución de alto voltaje. Generalmente se da cuando la gradiente es superior a 30 kV/cm en el aire. Al tener un fuerte campo eléctrico alrededor de las líneas aéreas, las moléculas de aire se ionizan ganando o perdiendo un electrón libre pasando a ser cargas eléctricas no neutras. Por lo que estas partículas ionizadas se mueven alrededor de la fuente eléctrica de manera constante. El efecto corona surge cuando el campo eléctrico excede de cierto valor y estas partículas comienzan a colisionar entre ellas disipándose gran cantidad de energía. De este modo, las zonas alrededor de los conductores o los herrajes se vuelven conductivas debido al efecto corona causando fallos y los consecuentes cortes de tensión.



Fig. 3.11 Imagen que visualiza las descargas por efecto corona [12].

La detección del efecto corona se hace por medio de cámaras de coronografía o ultravioletas, o también por ultrasonido o efluvios. El ultrasonido mide los sonidos audibles pero con esta técnica es muy difícil localizar en donde está la falla; el gas ionizado es químicamente activo y produce gases como ozono ( $O_3$ ) y monóxido de nitrógeno ( $NO$ ), los cuales evolucionan a dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y ácido nítrico en ambientes húmedos. Estos gases resultan peligrosos ya que son altamente corrosivos.

- Antes de iniciar la inspección, debe asegurarse el cumplimiento de todos los procedimientos de seguridad en el proceso y regido por la empresa.
- Escaneo de los equipos eléctricos con equipos de ultrasonido ya que los sonidos detectados ayudan a localizar exactamente la fuente de emisión de una manera rápida y eficiente.
- Si por seguridad no es permitido acercarse se utiliza módulos de detección de larga distancia.

El efecto corona contribuye a la corrosión, y a su vez la corrosión contribuye a aumentar el efecto corona, se vuelve un ciclo cerrado, con el tiempo produce erosión en los pines y conexiones aumentando el riesgo de caída del conductor [12].



Fig. 3.12 Corrosión por efecto corona en conexiones de las cadenas de aisladores [10].

### 3.2.3.1 Consecuencias del efecto corona

- El efecto corona genera corrosión en las conexiones y a consecuencia puede provocar el rompimiento de los soportes y caída de las líneas.
- El área alrededor del conductor se vuelve conductora debido a la formación de corona. Se crea un diámetro más grande virtual del conductor. A medida que el diámetro aumenta, la tensión electrostática entre los conductores disminuye.
- Se reduce la eficiencia de transmisión.
- El ozono creado por esta causa efecto de corrosión en los conductores.
- Debido a la caída de tensión se produce un efecto corona no sinusoidal a través de la línea, esto puede causar interferencia inductiva con líneas de comunicación vecinas.

Si no es detectado a tiempo los procesos de corrosión en los puntos de falla mecánica originarán la caída de conductores [10].

### 3.2.3.2 Cámaras de coronografía:

Se realiza con cámara de ultravioleta el cual permite detectar fuentes de generación de luz ultravioleta (UV), haciendo visibles los fenómenos del Efecto Corona.

Trabajan en el espectro electromagnético del UV, con una gamma espectral de 240-280 nm.



Identifican de manera puntual y localizada las fallas en los elementos.



Fig. 3.13 Cámara de coronografía Fig. 3.14 Modelos de cámara ultravioleta [10].

La cámara de coronografía tiene una imagen bi-espectral, tiene un lente visible que detecta el elemento a ser inspeccionado y un lente UV el cual tiene un filtro que discrimina la luz solar y un dispositivo que realiza la mezcla de las dos imágenes, la imagen visible en la cual se observa la fuente del efecto corona y la imagen del filtro UV en la cual se refleja la descarga parcial del mismo. Al combinarse las dos imágenes puede observarse la descarga parcial claramente en el dispositivo donde se está generando para después poder intervenir, es posible que en el elemento donde se produzca el efecto corona haya corrosión, contaminación, aislador roto, puede hacerse una inspección más minuciosa.

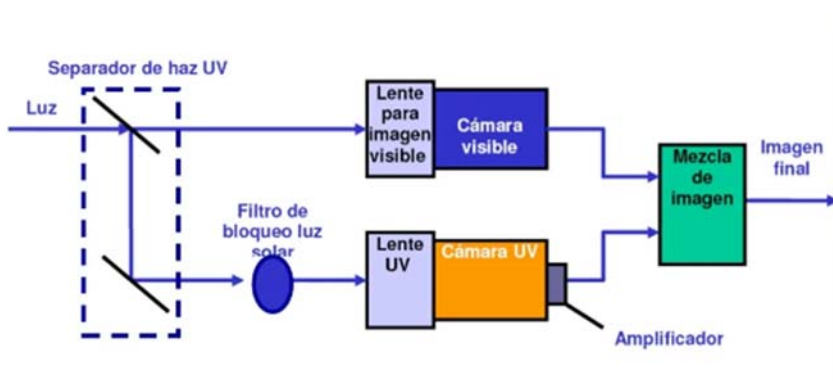


Fig. 3.15 Diagrama de funcionamiento de una cámara de coronografía [10].

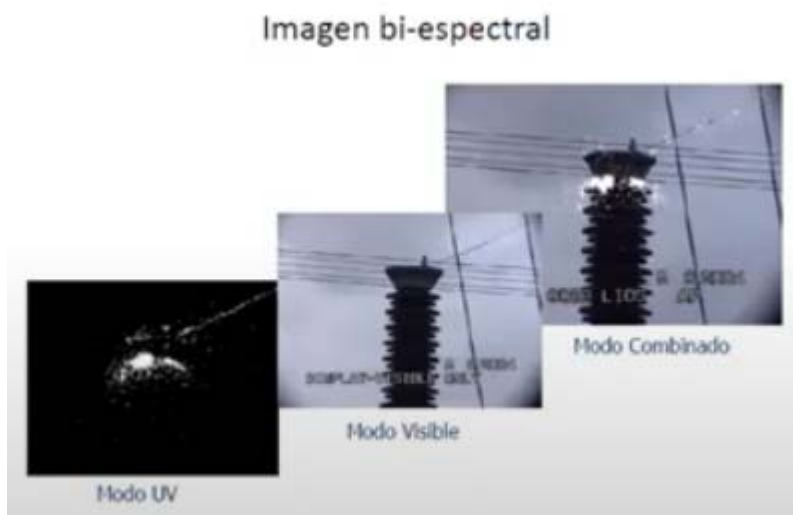


Fig. 3.16 Imagen resultante de la cámara coronográfica [10].

La cámara de coronografía permite detectar la fuente de generación UV y medir su intensidad en unidades relativas que se pueden llamar fotones.

A esta medición de la intensidad se le llama "conteo".

La cámara hace un conteo de fotones de la descarga parcial donde se produce el efecto corona y cuantifica la cantidad de los mismos. La tabla de criticidad proporciona un criterio de toma de decisiones en cuanto a la prioridad de ser atendidos a dar mantenimiento a los componentes donde esté ocurriendo el efecto corona.

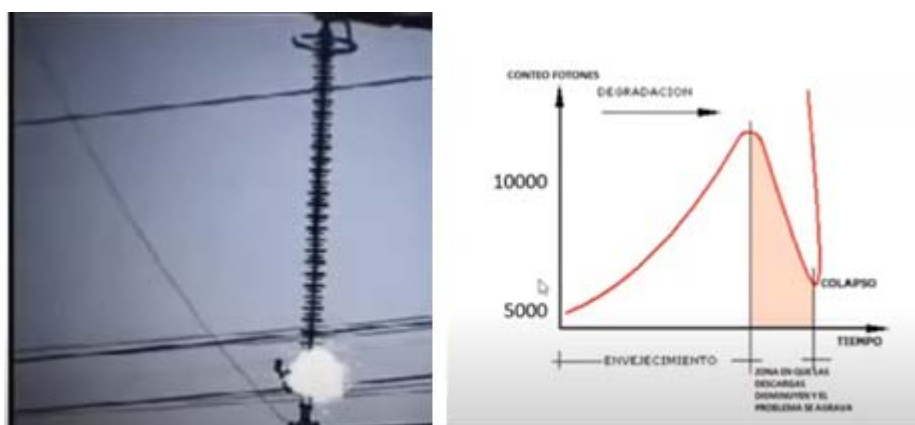


Fig. 3.17 Evolución de la degradación por efecto corona [10].

A medida que aumenta la corrosión el envejecimiento aumenta el número de fotones emitidos por la descarga hasta un punto máximo a partir del cual disminuye la emisión de fotones hasta que colapsa el material y ocurre la caída de la línea.



Fig. 3.18 Corrosión de estos elementos a causa del efecto corona en una línea a punto de colapsar [10].

La cámara coronográfica muestra de manera exacta y puntual el sitio donde está ocurriendo el efecto corona por la emisión de fotones que allí ocurre, lo cual ayuda para poder intervenir en el punto [10].

### 3.2.3.3 Ventajas de la inspección de efecto corona:

- La inspección del efecto corona es un procedimiento a las inspecciones preventivas.
- Localiza los puntos vulnerables del aislamiento de los sistemas eléctricos.
- Detecta problemas de instalación o mal diseño en instalaciones de media y alta tensión.
- Detecta componentes en etapas tempranas de degradación, esto reduce los costos de mantenimiento debido a paros no programados.
- Trabaja de forma segura, sin necesidad de contacto con componentes peligrosos de alto voltaje, principalmente en entornos peligrosos.
- La sensibilidad no se ve afectada con los cambios de iluminación.
- Cuantifica la intensidad del efecto corona.
- La información que se obtiene es inmediata, verdadera y confiable [13].

Las cámaras IR (infrarrojas) y UV se complementan para realizar un buen diagnóstico de las condiciones de las líneas de transmisión y así poder llevar a cabo el mantenimiento predictivo y preventivo, la humedad y contaminación contribuyen al efecto corona, el mismo aparece en las etapa inicial de la degradación de la línea; la medición más adecuada es de piso.

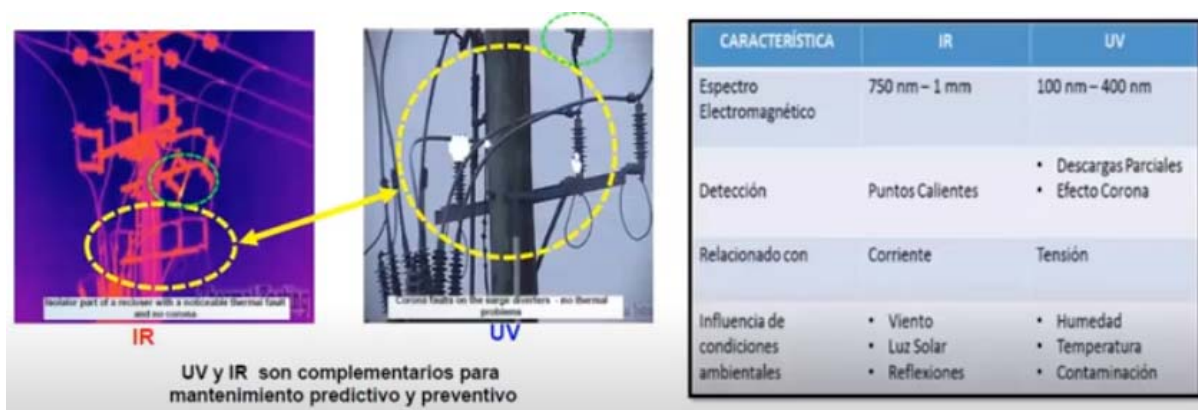


Fig. 3.19 Inspección termografía y coronográfica de un mismo objeto [10]

En la imagen anterior puede observarse con equipos de tecnologías diferentes en una misma torre la imagen termografía y las descargas parciales por el efecto corona, las cámaras termográficas estarían relacionadas con las corrientes, siempre debe observarse la carga, las cámaras coronográficas están relacionadas con la tensión, a mayor tensión más efecto corona, con las cámaras termográficas se debe tomar la precaución de no tomar la medición en dirección a la luz solar ya que el lente sufriría daño [10].

### 3.2.4 Ultrasonido y vibraciones

Se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo de mecánico, que se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido y la densidad del material. Una de sus principales características es su elevado costo. Cuando se inventó este procedimiento, se medía la disminución de la intensidad de la energía acústica haciendo viajar ondas supersónicas en un material, requiriéndose el empleo de un emisor y un receptor. Actualmente se utiliza un único aparato que funciona como emisor y receptor, basándose en la propiedad característica del sonido de reflejarse al alcanzar una interfaz acústica.

Los equipos de ultrasonido que se utilizan actualmente permiten detectar discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas, dependiendo del tipo de palpador utilizado y de las frecuencias que se seleccionen dentro de un rango que va desde 0,25 hasta 25 MHz. Las ondas ultrasónicas son generadas por un cristal o un cerámico piezoeléctrico denominado transductor y que tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa. Al ser excitado eléctricamente el transductor vibra a altas frecuencias generando ultrasonido.

Las vibraciones generadas son recibidas por el material que se va a inspeccionar, y durante el trayecto la intensidad de la energía sónica se atenúa exponencialmente con la distancia del recorrido. Al alcanzar la frontera del material, el haz sónico es reflejado, y se recibe el eco por otro (o el mismo) transductor. Su señal es filtrada e incrementada para ser enviada a un osciloscopio [14].



Fig. 3.20 Equipo de Ultrasonido [14].

### 3.2.5 Medición de resistencia eléctrica

Para el mantenimiento a las redes convencionales, se realiza la medición de la resistencia de la red de puesta a tierra para verificar las condiciones de conductividad hacia el suelo para cuando ocurra una descarga atmosférica hacia la torre o cable de guarda se cuente con buen drenaje de corriente hacia tierra y así evitar una posible descarga hacia los conductores de fase o una onda viajera que pueda producir un flameo inverso hacia los aisladores.

¿Por qué realizar las mediciones del sistema de puesta a tierra?

- Para brindar seguridad al personal de un shock eléctrico durante una falla.
- Para que los sistemas de protección funcionen adecuadamente.
- Reducir el riesgo potencial a tierra.
- Legalmente debe realizarse cada año una inspección del sistema de puesta a tierra.

### 3.3 Diagnóstico

Es el proceso de reconocimiento, análisis, y evaluación de una cosa o situación para determinar sus tendencias, solucionar un problema o remediar un mal, ayuda a determinar, mediante el análisis de datos e informaciones, que está ocurriendo y cómo se puede arreglar, mejorarlo o corregirlo [15].

El diagnóstico en líneas de transmisión permite detectar la línea y fases en falla además de clasificar los tipos de fallas más comunes con lo cual se puede tomar decisiones para reducir al máximo las fallas en las líneas.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# CAPITULO 4

## LÍNEAS DE TRANSMISIÓN:

### CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES

Las líneas de transmisión de energía eléctrica o línea de alta tensión, son básicamente el medio físico por el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias entre subestaciones eléctricas; su operación confiable depende en gran medida de una inspección adecuada para así poder proporcionar el mantenimiento oportuno.

Para lo anterior, los niveles de energía eléctrica producidos deben ser transformados, considerando que es necesario elevar la tensión de manera que se reduzca la corriente que circula por dicha línea, lo que dará como resultado la disminución de pérdidas de calor por efecto joule.

#### **4.1 Características de las líneas de transmisión:**

Entre las características constitutivas de las líneas de transmisión se puede encontrar las siguientes:

##### **4.1.1 Tensión nominal del sistema:**

Es la diferencia de potencial que existe entre fase y fase o voltaje de línea en líneas de transmisión en el que opera el sistema en condiciones normales.

La tensión nominal está determinada por las necesidades de la demanda del sistema eléctrico nacional (SEN).

- Tensión máxima del sistema:

Es el valor límite admisible en kilovolts (kV) entre fase y fase en el que puede operar el sistema en condiciones normales de funcionamiento.

- Altura de las torres de líneas de transmisión:

Según el nivel de tensión de las líneas, la altura de las torres que las soportan varía en función de la tensión de operación; así se cumple con un mínimo de altura según la flecha del vano. Con esto se evita un posible arco eléctrico y se disminuye la altura de la flecha del vano por elongación al incrementar la temperatura ambiente. A continuación se muestra el siguiente grafico indicando la altura de las torres [16].

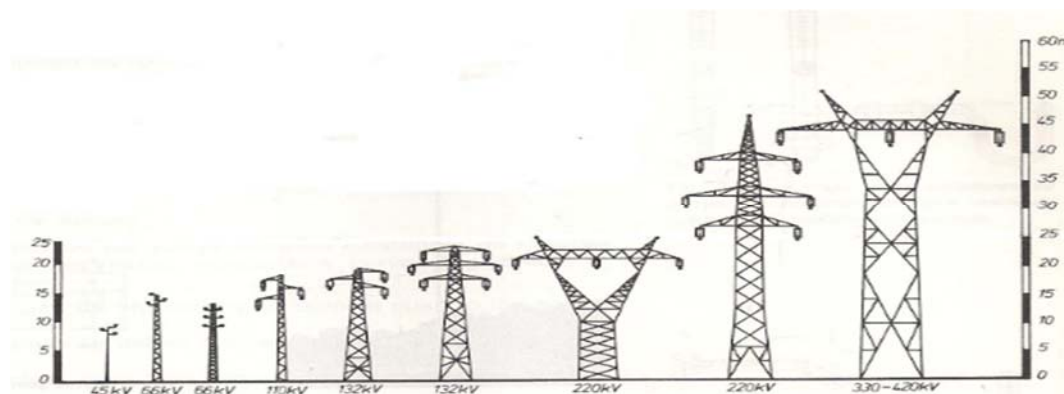


Fig. 4.1 Grafico mostrando la altura de una torre de alta tensión en función del voltaje nominal [16].

#### 4.1.2 Frecuencia nominal

Frecuencia es el valor en Hertz (Hz) con el que opera en el sistema en condiciones normales, la cual está determinada por la frecuencia a la que opera el SEN.

El valor de frecuencia con el que opera el SEN en Venezuela (CORPOELEC) es de 60 Hz [16].

#### 4.1.3 Longitud (km)

Es la distancia normalmente entre dos subestaciones que están conectadas por una línea de transmisión, la cual se determina por la trayectoria de la misma dependiendo del tendido y la geografía de la región por donde se sitúan las torres que las soportan.

#### 4.1.4 Cantidad de circuitos, calibre y cantidad de conductores por fase.

Está determinada por el departamento de planificación, dependiendo de las dimensiones y requerimientos de manera de reducir en la manera de lo posible las pérdidas por efecto corona, pérdidas por efecto joule, etc.

Debido a que algunas líneas de transmisión se deben pasar por propiedades privadas, en ocasiones se dificulta lograr los permisos de propietarios de los terrenos por donde se



pretenden construir las líneas de transmisión; es preferible considerar que se cuenten con dos circuitos aunque inicialmente se instale uno [16].

#### **4.1.5 Disposición de fases en el espacio:**

La disposición de fases en el espacio podría ser de configuración horizontal, vertical o en delta.

La estructura para configuración horizontal ejerce menos peso, la estructura vertical requiere menor ancho de vía, y la disposición en delta reduce pérdidas eléctricas y efectos de campo magnético [16].

#### **4.1.6 Ancho de corredor**

También conocido como derecho de vía de acceso de la línea de transmisión, es el área de seguridad establecida a lo largo del recorrido de las líneas de transmisión para salvaguarda de las personas e instalaciones; su ancho depende del voltaje de la línea de transmisión.

Para niveles de voltaje:

10 a 15 kV: 6 m

20 a 36 kV: 11 m

60 a 70 kV: 16 m

115 a 145 kV: 20 m

230 kV: 30 m

Para las distancias señaladas se miden la mitad de las mismas hacia cada lado medido desde el eje vertical central de las torres de transmisión.

## **4.2 Componentes de las líneas de transmisión**

Las líneas de transmisión aéreas se utilizan comúnmente para el transporte de la energía eléctrica a grandes distancias dado los costos de construcción y mantenimiento y está constituida de los siguientes elementos como se muestra en la Fig. 4.2.:

- Cables conductores
- Cables de guarda
- Amortiguadores

- Separadores
- Separadores amortiguadores
- Aisladores
- Herrajes y accesorios
- Estructuras de soporte
- Cimentaciones
- Sistemas de puesta a tierra
- Señalización
- Protecciones contra excrementos de aves
- Desviadores de colisiones de aves



Fig. 4.2 Componentes de las líneas de transmisión [10].

#### 4.2.1 Cables conductores:

Son conductores constituidos por un grupo de hilos o por cualquier combinación de grupo de hilos. Los hilos en los conductores cableados normalmente son trenzados o retorcidos como si fuera un solo conductor. Visto en corte transversal, a mayor número de hilos más flexibilidad tiene. Por lo general, todos los filamentos son del mismo diámetro y material (aluminio o acero) [16].

Los elementos más usados son:

- o Aluminio (Al)

Material más utilizado por ser menos costoso que el cobre.

Características:

- Pesa la mitad del cobre, pero tiene la misma capacidad de transmitir la corriente.
- Es muy resistente a la corrosión atmosférica.

- Permite ser soldado con equipo especial.
- Se reduce al efecto superficial y efecto corona debido a que, para la misma capacidad de corriente, se usan diámetros mayores.
- o Hierro (Fe)
- o Acero

#### 4.2.1.1 Tipos de conductores

Los tipos de conductores de aluminio que existen son:

- ACC: Conductor de aluminio (*all aluminium conductor, clases AA, A, B, C*)

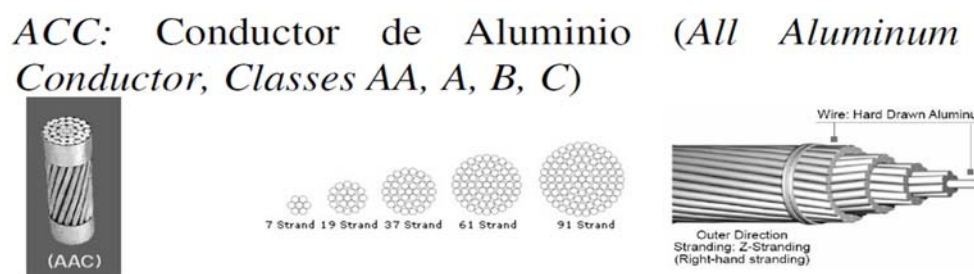


Fig. 4.3 Vista de conductores de aluminio AAC [17].

El material de este tipo de conductores es manufacturado con aluminio 1350-H19 [16].

- AAAC: Conductor de aluminio con aleación (*all aluminium alloy conductor*)

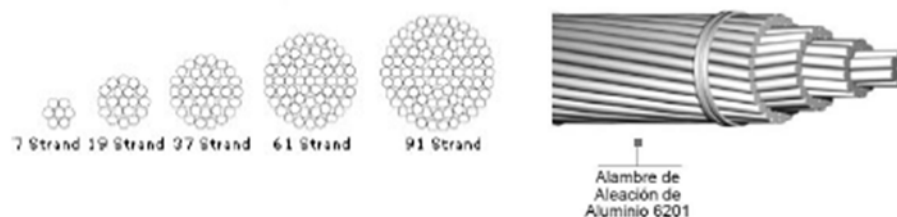


Fig. 4.3 Vista de conductores AAAC

Este tipo de conductor tiene mayor resistencia a la tensión que los conductores de aluminio común.

Estas características lo hacen una buena opción para líneas de distribución en zonas costeras y otras áreas con severos problemas de corrosión.

- ACSR: Conductor de aluminio con refuerzo de acero (*aluminium conductor steel reinforced*).

Está compuesto por un núcleo de alambres de acero galvanizado envuelto por una o varias capas de alambres de aluminio 1350-H19 (de común aplicación en líneas de transmisión y distribución) [16].

La alta capacidad para soportar esfuerzos mecánicos combinado con la buena conductividad proporciona las siguientes ventajas al cable ACSR:

- Menos elongación del cable permitiendo claros interpostales con menos flecha a determinada tensión mecánica.
- Aplicación para zonas sujetas a cargas mecánicas provocadas por hielo y viento.
- Baja probabilidad de que se rompa por caída de ramas de árboles.

### CONDUCTORES DE ALUMINIO REFORZADOS CON ACERO—DESNUDOS

Abajo se ilustran varios cableados normales y especiales. Podemos diseñar cableados para condiciones especiales.

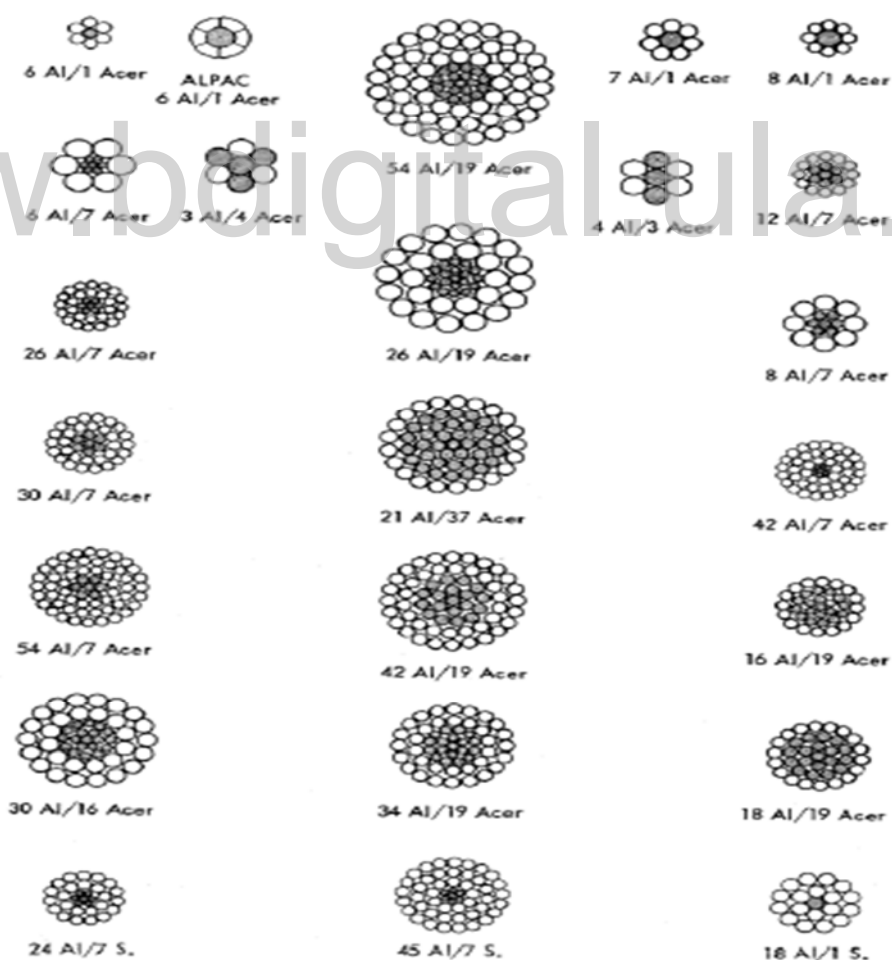


Fig. 4.4 Ejemplos de Configuraciones para cables ACSR

Estos consisten de un núcleo central de alambre de acero rodeado por capas de alambre de aluminio.

- ACAR: Conductor de aluminio con refuerzo de aleación (*aluminium conductor alloy reinforced*).

Este tipo de conductor tiene un núcleo de aluminio de alta resistencia rodeado por capas de conductores eléctricos de aluminio tipo especial.

Compuesto por alambres de aluminio 1350-H19.

## 4.2.1.2 Sistemas de medición de calibres de conductores

### 4.2.1.2.1 Circular mil (CM)

El área de la sección transversal de un cable en CM, es la suma del área de las secciones transversales de cada uno de los alambres (hilos) que lo conforman. El CM es una unidad conveniente para realizar comparaciones del área de las secciones de varios cables, sin la necesidad de realizar cálculos [16].

### 4.2.1.3 Materiales utilizados para la fabricación de conductores

Los materiales utilizados para la fabricación de los conductores son designados por la *american national standards institute* (ANSI) y especificados por la *american society for testing and materials* (ASTM).

Los cables conductores se fabrican de diversos alambres de aluminio, cobre y acero; sin embargo, actualmente no es común el uso de cobre para la fabricación de cable para líneas de transmisión aéreas. Los cables desnudos, usualmente clasificados como homogéneos y no-homogéneos, se describen en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Tabla de nivel de templado de los conductores [16].

TIPO DE CABLE	DESCRIPCIÓN	PROPIEDADES FÍSICAS, MECANICAS Y ELÉCTRICAS
Homogéneo (1350-H19)	Cable constituido por alambres del mismo material. Los manufacturados con aluminio relativamente puro son llamados <i>All-Aluminum Conductor</i> (AAC) por sus siglas en inglés. Los manufacturados con aleaciones de aluminio son llamados <i>All-Aluminum-Alloy Conductor</i> (AAAC) por sus siglas en inglés.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee enteramente las propiedades paralelas de los alambres individuales.</li> <li>• Buena resistencia a la corrosión</li> <li>• Tiene alta conductividad combinada con resistencia mecánica moderada.</li> </ul>
No homogéneo (6201-T81)	Cable constituido por una combinación de materiales. El tipo más común se compone por un núcleo de alambres de acero cubierto por una o varias capas de alambres de aluminio, a este se le llama <i>Aluminum Conductor Steel-Reinforced</i> (ACSR). Otro cable no-homogéneo es compuesto por la combinación de alambres de aluminio relativamente puro y de aleaciones de aluminio, este se le llama <i>Aluminum Conductor Alloy-Reinforced</i> (ACAR).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee las propiedades de los alambres individuales y el porcentaje relativo de los diferentes materiales de los cables que lo conforman.</li> <li>• Buena resistencia a la corrosión</li> <li>• Soporta alta resistencia mecánica, pero menor conductividad.</li> </ul>

Nota

Las siglas después del guión H19 y T81 se refiere al nivel de templado del material. El uso de cada tipo de conductor depende de las condiciones y aplicación específicas para cada línea de transmisión.

Tipo de cables conductores, descripción y propiedades físicas, mecánicas y eléctricas.

Los alambres de acero utilizados para la fabricación de cables conductores para líneas de transmisión aéreas poseen muy alta resistencia mecánica, pero muy pobre conductividad. Sin embargo, puede ser recubierto por una capa de zinc (galvanizado) para mejorar su protección para ambientes corrosivos, manufacturándose con tres diferentes grosores de zinc, conocidos como clase "A", "B" y "C", donde la última es la más resistente a la corrosión [16].

#### **4.2.1.4 Conductores modificados**

La construcción de los conductores convencionales puede ser modificada para ajustar su desempeño bajo ciertas condiciones de operación requeridas.

Estas modificaciones pueden ser, entre otras:

- 1) Diferente forma de los alambres que lo componen, para disminuir el área de la sección transversal del conductor.
- 2) El grado de templado de los alambres de aluminio, para brindar mayor resistencia mecánica.
- 3) Diferentes tipos de recubrimiento, para la protección contra corrosión de los alambres de acero.
- 4) La configuración geométrica del conductor para variar su comportamiento ante el viento.

##### **4.2.1.4.1 Alambres trapezoidales**

Consisten en modificar la forma redonda de los alambres para tener forma trapezoidal, excepto de los alambres del núcleo. De esta manera se obtiene una compactación del conductor, reduciendo su diámetro exterior aproximadamente un 10%, comparado con un cable convencional del mismo tipo con los mismo circular mil de área.

Se puede agregar mayor cantidad de aluminio, aproximadamente de 20% a 25%, conservando el mismo diámetro del conductor convencional. De esta manera se reduce la resistencia del conductor, incrementando así la capacidad de transmisión de corriente de 8% a 10%, aproximadamente.

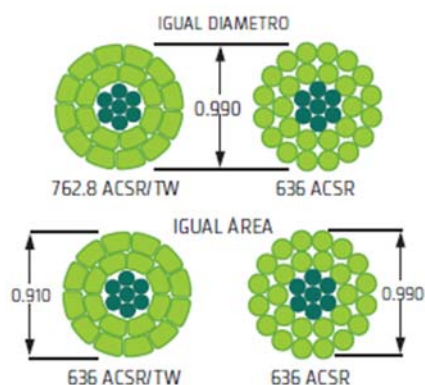


Fig. 4.5 Comparación entre conductores ACSR convencionales y ACSR/TW [16].

#### 4.2.1.4.2 Conductor resistente a vibraciones

Diseñado para líneas de transmisión aéreas sujetas a vibraciones eólicas y al fenómeno de galopeo. Consiste de dos cables trenzados entre sí. La sección transversal forma la rotación, como se muestra en la siguiente figura.

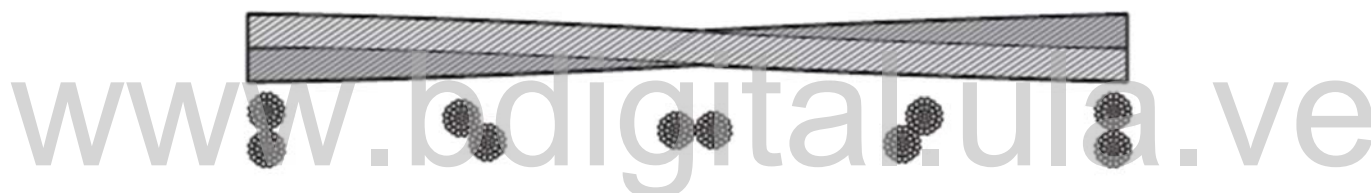


Fig. 4.6 Conductores VR [16].

Los dos sub-conductores para hacer un cable VR pueden ser cualquiera de los conductores convencionales AAC, AAAC, ACAR o ACSR o también de los conductores modificados ACSR/TW y AAC/TW. Algunas de sus ventajas son la reducción de la amplitud y frecuencia de:

- Ocurrencia del fenómeno de galopeo durante la presencia de hielo y viento alto, debido a la sección no redonda.
- Vibraciones eólicas y de la implícita fatiga de los alambres cerca de las clemas de sujeción del cable son, debido a la variación del perfil a través de la longitud del cable. Como resultado, un cable VR puede ser instalado a altas tensiones mecánicas sin necesidad de amortiguadores adicionales.

#### 4.2.1.4.3 Efectos del cableado

- Aumento de peso: el aumento de peso de una hélice elemental de un cable es proporcional al aumento de su longitud.

- Aumento de la resistencia eléctrica.
- Disminución de la resistencia mecánica

#### 4.2.2 Cables de guarda:

Proporcionan blindaje a los cables conductores ante descargas atmosféricas; consiste en la instalación de cables de acero, colocados por arriba de los cables conductores a lo largo de la trayectoria y sostenidos en la parte superior de las estructuras, proporcionando una muy baja resistividad o casi nula hacia la conexión de tierra o potencial cero (0) por lo tanto, las corrientes de las descargas atmosféricas que inciden hacia las estructuras de las torres de transmisión se verán más atraídas hacia los cables de guarda que a las líneas.

Los cables de guarda convencionales se encuentran de dos tipos:

- Acero galvanizado de alta resistencia y extra alta resistencia de calidades "A", "B" y "C" que se refieren al espesor de la capa de zinc protectora ante la corrosión, especificado en la ASTM A-363 *Standard specification for zinc-coated (galvanized) steel overhead ground wire strand*.
- Cables de acero con aluminio soldado, con una capa de mayor espesor de aluminio soldado, lo que incrementa la resistencia ante la corrosión y da una mayor conductividad al cable, Está especificado en la ASTM B-416 *standard specification for concentric-lay-stranded aluminium-clad steel conductors*.

Actualmente los cables de guarda tienen la capacidad de transmitir mediante fibras ópticas integradas al mismo (CGFO) o también conocidos por sus siglas en inglés (OPWG) *optical phiber wire ground*, señales que se aplican para la protección, control y comunicación de la red eléctrica.

Cables de guarda con fibra optica (CGFO).



Fig. 4.7(a) Diseños comerciales para cables de guarda con fibra óptica [16].



Este tipo de cables de guarda además de realizar la función establecida para los cables de guarda convencionales, tienen la función de comunicaciones mediante fibras ópticas integradas entre los alambres que componen el cable. La aplicación principal de la función de comunicación para transferencia de datos sirve para medición y control de la red eléctrica; sin embargo, es posible explotar la función de estos cables como redes de telecomunicaciones en general.



Fig. 4.7 (b) Diseños comerciales para cables de guarda con fibra óptica [16].

Otro factor importante a considerar es la necesidad de alta resistencia a la corrosión, para lo cual se recomienda el cable con alambres de acero con aluminio soldado. Para este mismo tipo de cable su característica de alta conductividad lo hace adecuado para zonas con alta densidad de rayos a tierra [16].

### 4.2.3 Estructuras de soporte:

La función de las estructuras de soporte fundamentalmente es mantener los conductores a una cierta distancia sobre el suelo y de los obstáculos presentes a lo largo de la trayectoria, proporcionando seguridad a personas e instalaciones, situadas en las cercanías de la ubicación de las estructuras a lo largo del eje de la trayectoria de la línea de transmisión.

Son generalmente de acero galvanizado, construidas con perfiles angulares laminados, formados con montantes y celosías arriostradas, empotradas en el suelo por medio de cimentaciones de concreto.

Representan una parte significativa de los costos de las líneas de transmisión. Las estructuras a utilizar en una línea de transmisión deben soportar las tensiones mecánicas a las que se someten los cables conductores y de guarda, en el diseño debe considerarse las distancias de separación entre conductores y alivio mínimo de la carga acordes al nivel de tensión eléctrica de operación. Los tipos de estructuras más utilizados en Venezuela son: torres de acero autosportadas en celosía.

La configuración de las estructuras se refiere a la cantidad de circuitos que soporta y al arreglo de las fases en el espacio, según los requerimientos eléctricos, ambientales y de configuración de la red eléctrica. Las configuraciones típicas de arreglos de fases en el espacio por lo general son horizontales (las cuales requieren de estructuras de menos peso), verticales (son de más peso) pero requieren menos ancho de vía, y en delta o triángulo (minimizan pérdidas eléctricas de la línea de transmisión y efectos de campo magnético para estructuras monocircuito). Como se podrá ver cada configuración tiene sus ventajas y desventajas; la selección de la configuración se hará acorde a los requerimientos y ubicación de la estructura [16].

#### **4.2.3.1 Tipos de estructuras:**

Se refiere a la estructura de soporte y al material del cual está hecho y puede ser: Torres Autosoportadas, con retenidas, postes troncocónicos, marcos de celosía, estructuras formadas con postes de madera y/o concreto, el cual puede alojar una cantidad límite de circuitos.

El tipo de estructuras a utilizar para el diseño y, en consecuencia, la construcción de una línea de transmisión aérea, depende principalmente de:

- Nivel de tensión eléctrica de operación
- Calibre del conductor a ser instalado
- Cantidad de circuitos necesarios para el enlace a la red eléctrica
- Disposición de fases en el espacio
- Costos o presupuesto destinado para su construcción
- Zonas que recorrerá la línea de transmisión

#### **4.2.3.2 Torres autosoportadas**

Son estructuras formadas por celosía (enrejado) de acero, que por su geometría y diseño, son capaces de soportar su propio peso y las fuerzas ejercidas por los cables conductores y de guarda. Debido a su aplicación en cualquier tipo de terreno, son los tipos de estructuras más usadas para líneas de transmisión aéreas. Se pueden diseñar para diversas configuraciones de varios circuitos con diferentes disposiciones de fase en el espacio, y resultan ser el diseño más económico aun en casos de requerimientos de torres de gran altura [16].

La figura 4.9 muestran los componentes de las torres autosoportadas:

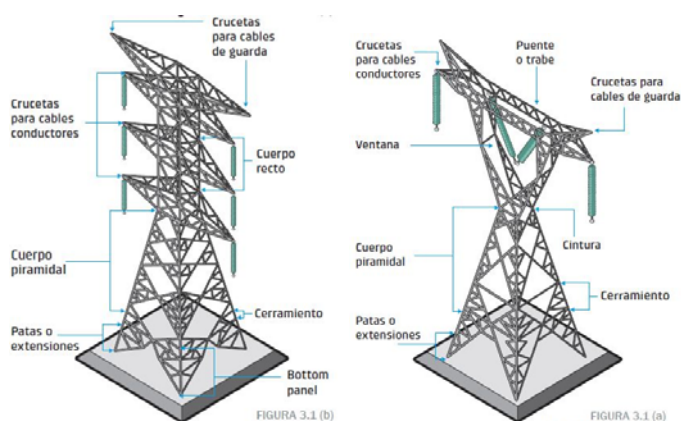


Fig. 4.8 Torres autosoportadas [16].

#### 4.2.3.3 Torres autoretenidas

Son estructuras formadas por celosías (enrejados) de acero, que soportan su propio peso y las fuerzas ejercidas por los cables conductores y de guarda como se muestra en la Fig. 4.9, para sostenerse erguidas requieren de cables anclados al terreno, denominados "retenidas", son de dimensiones esbeltas, peso ligero y requieren constante mantenimiento.

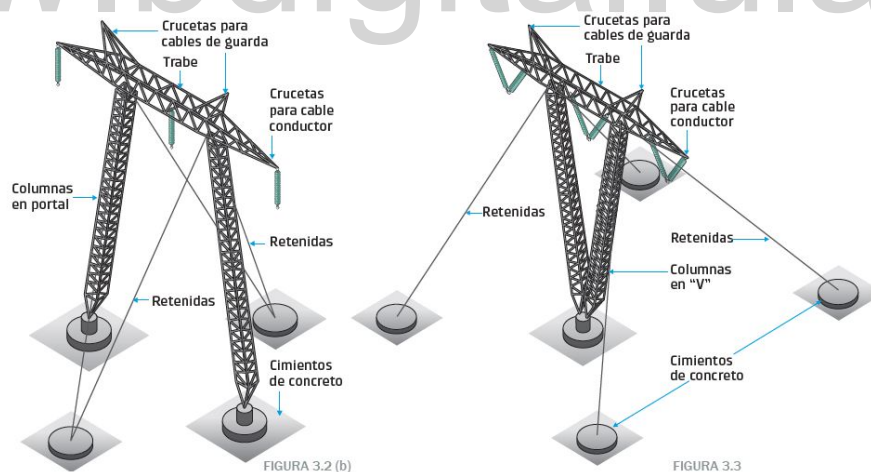


Fig. 4.9 Torres autorretenidas [16].

En estructuras autorretenidas se pueden encontrar los siguientes tipos:

- Estructura con forma de "H"



Fig. 4.10 Torre retenida tipo portal [16].

- Estructura en forma de Y



Fig. 4.11 Torres retenidas en Y [16].

Por razones económicas y de estética la aplicación de torres retenidas es común para líneas largas de un circuito, especialmente para terreno plano y accesible. Para el uso de estas torres en zonas agrícolas se debe prever el esfuerzo de anclas en la cimentación, con el propósito de minimizar el daño por impacto de la maquinaria agrícola [16].

#### 4.2.3.4 Marcos de remate

También llamados Pórticos, Fig. 4.12, utilizados comúnmente como estructuras mayores en las subestaciones eléctricas, han resultado buena opción para su aplicación en líneas de transmisión, principalmente en cruzamientos por debajo de otras líneas de transmisión, donde se requiere baja altura de las estructuras para lograr los libramientos de distancias dieléctricas. Usualmente se diseñan de celosía de acero, aunque también es posible sean de acero tubular.



Fig. 4.12 Pórtico de subestaciones [16].

#### 4.2.4 Amortiguadores

Son elementos mecánicos que contribuyen a reducir la amplitud de las oscilaciones provocadas por el viento en los cables conductores y de guarda, evitando fallas por fatiga. Los más utilizados son de tipo *stock-bridge*, compuesto por una grapa de sujeción, cable mensajero y dos contrapesos laterales, ver Fig. 4.13.

La acción incidente del viento afecta los cables conductores, cables de guarda con y sin fibra óptica y a su vez transmite esfuerzos adicionales a las estructuras por lo que se hace necesaria la aplicación del uso de amortiguadores. Estos elementos contribuyen a reducir la amplitud de las oscilaciones provocadas por los vientos en los cables conductores y de guarda evitando el deterioro por fatiga, lo que evita que se produzca una falla por la misma. Los más utilizados son los del tipo *stock-bridge* [17].

- Amortiguadores



Fig. 4.13 Amortiguadores Stock-Bridge [17].

La colocación del amortiguamiento se efectúa en cada uno de los vanos a lo largo de la línea.

En el caso de uno o dos conductores por fase se aplica amortiguamiento con este tipo de elemento. La Fig. 4.14 muestra las partes de un amortiguador.

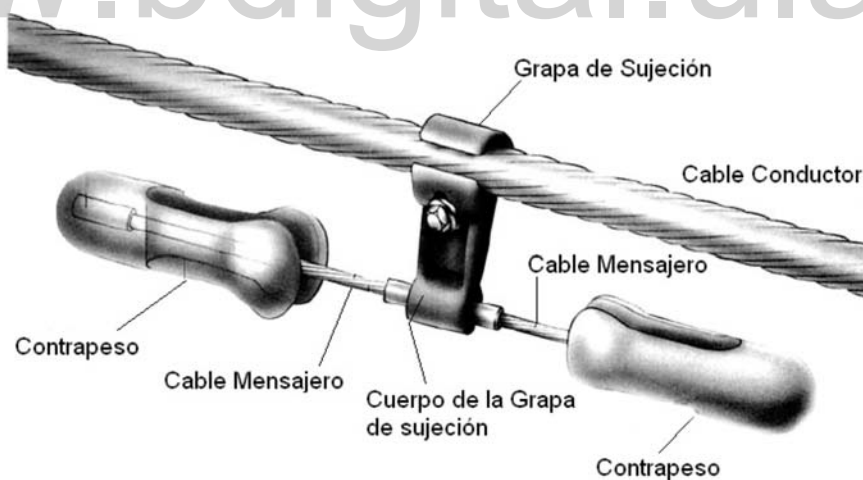


Fig. 4.14 Partes de un amortiguador [16].

Tabla 4.2 Características de las partes del amortiguador

Parte	Características
Grapa de Sujeción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Admite una amplia gama de calibres de conductor.</li> <li>- Es de fácil instalación</li> <li>- Su cuerpo y sujetador se diseñan para minimizar la deformación de los alambres del conductor</li> </ul>
Cable mensajero	Elemento elástico que integra el amortiguador de vibraciones. Absorbe y disipa, mediante la fricción entre hilos, parte de la energía eólica que transmite el cable del conductor al amortiguador.
Contrapeso	Los contrapesos se diseñan para proporcionar dos o más grados de libertad al sistema mecánico, en relación con dos frecuencias de resonancia: la más baja corresponde a la oscilación de los contrapesos en torno al punto de fijación del cable mensajero a la grapa. La frecuencia de resonancia más alta corresponde a la rotación de cada contrapeso, en torno a su punto de fijación al cable mensajero.

Tabla 4.3. Las recomendaciones para la colocación de amortiguadores son las siguientes.

Claro efectivo	Nro. de amortiguadores por conductor
HASTA 450m	2 piezas (1 en cada extremo)
451-650m	4 piezas (2 en cada extremo)
≥651m	6 piezas (3 en cada extremo)

#### 4.2.5 Separadores:

Elementos mecánicos que tienen la función de mantener distantes conductores de fase, evitando daños por fricción o golpeteo., como se muestra en la Fig. 4.15. Se emplean cuando, en una línea de transmisión, se instalan dos o más conductores por fase [17].

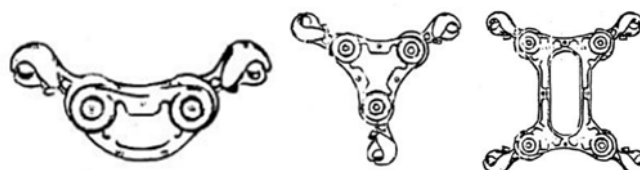


Fig. 4.15 Riostras o separadores de dos, tres y cuatro conductores por fase [17].



Fig. 4.16 Separador con alambre preformado rígido [17].

#### 4.2.6 Separadores amortiguadores:

Son dispositivos que cumplen con la doble función de separar y amortiguar las vibraciones causadas por el viento (oscilaciones eólicas) en los cables cuando se emplean tres o más conductores por fase.

Se utilizan estos tipos de configuraciones para haz de tres o más conductores por fase de manera que mantenga los conductores separados y así no sufran daño por rozamiento o golpeteo. Se fabrican en aleación de aluminio, este tipo de amortiguadores nunca se utilizan en configuraciones de dos conductores por fase, ni separadores rígidos preformados para tres o más conductores por fase.

Los separadores – amortiguadores permite grandes desplazamientos del haz de conductores en el plano perpendicular al eje de los conductores. Cuando las cargas externas desaparecen, las propiedades elásticas del propio separador – amortiguador le permite volver a su posición nominal.

El amortiguador tipo separador – amortiguador, Fig. 4.17, está integrado por:

- Grapa de sujeción
- Marco central

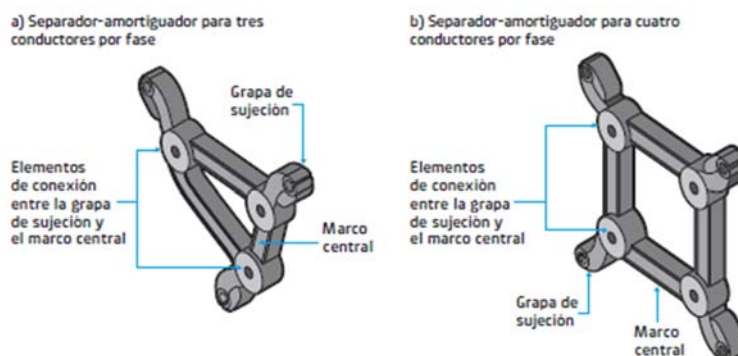


Fig. 4.17 Elementos de conexión entre la grapa de sujeción y marco central [16].

En el momento del desplazamiento de los conductores, la disipación de la energía se lleva a cabo entre la conexión del marco central y las grapas de sujeción del conductor y/o en el propio marco central del separador – amortiguador.



Separadores – aisladores para 3 conductores por fase, Fig. 4.18.



Fig. 4.18 Configuraciones para separadores de tres conductores por fase [16]

Separadores – aisladores para 4 conductores por fase, Fig. 4.19.:



Fig. 4.19 Configuraciones para separadores de 4 conductores por fase [16].

#### 4.2.7 Aisladores:

Los aisladores son dispositivos que se utilizan para mantener la separación dieléctrica entre los cables conductores y la estructura, así como también entre los mismo, o bien entre conductor y tierra. Algunas de las características de los aisladores son las siguientes:

- Los materiales utilizados tienen alta rigidez dieléctrica (10-25 kV/mm)
- Las propiedades como la resistencia electromecánica, debe ser alta en el orden  $\geq 111$  kN.
- El flameo en aire es más bajo (2 kV/mm)

Son componentes que según el nivel de tensión eléctrica de operación, deben además soportar las sobretensiones originadas por las descargas atmosféricas y por maniobras, sin que se forme una trayectoria conductora (arco eléctrico) sobre la superficie de los mismos.

Los aisladores se instalan en las líneas de transmisión entre los cables conductores y la estructura de la torre. Están sujetos a esfuerzos mecánicos y eléctricos de manera simultánea. La operación de los aisladores necesita por lo tanto, ser diseñada para maniobras bajo condiciones climáticas adversas, tales como temperatura ambiente, humedad, rocío, niebla, lluvia, así como también para condiciones de contaminación ocasionadas por depósitos de

polvo, salinidad y gases industriales. La resistencia mecánica debe ser tan alta, que cada condición de carga sea llevada con la suficiente seguridad operacional.

La carga disruptiva y la resistencia al arco eléctrico debe ser lo suficientemente alta para soportar los esfuerzos resultantes. Para cumplir con ello se han desarrollado distintas formas de aisladores, y los diseños actuales consideran los siguientes materiales:

- Porcelana
- Vidrio templado
- Plásticos o resinas poliméricas.

Por su forma existen los siguientes tipos:

- Suspensión (CAP)
- Alfiler (PIN)
- Poste (*line post*)

#### 4.2.7.1 Aisladores de porcelana

El material de porcelana se utiliza para la manufactura de los tres tipos de aisladores: suspensión, alfiler y poste. En comparación con los elaborados de vidrio templado, se diferencian por su mejor resistencia mecánica al impacto.

La normativa internacional se establece en el documento IEC 60672 *ceramic and glass insulating materials*, que en cada una de sus partes, establece definiciones, métodos de pruebas y especificaciones para los materiales [18].



Fig. 4.20 Aisladores de porcelana [16].

#### 4.2.7.2 Aisladores de vidrio templado

Se utilizan principalmente en la fabricación de aisladores de tipo suspensión y alfiler, ver Fig. 4.21. Su costo es menor en comparación con los de porcelana, razón por la cual son de mayor uso y aplicación en líneas de transmisión, ya que no presentan problemas por alta

concentración de contaminantes o problemas de impactos de armas de fuego (vandalismo). Sus características y requerimientos de fabricación y pruebas, son establecidas en los mismos documentos mencionados para los aisladores de porcelana [15].

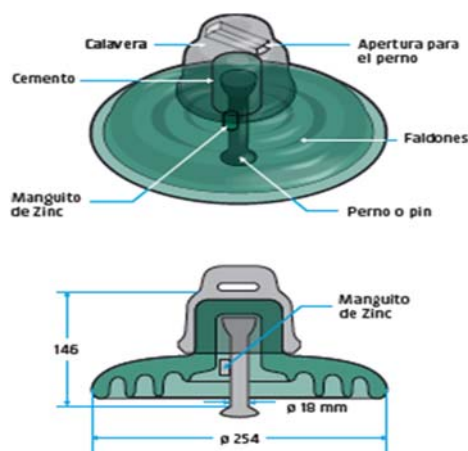


Fig. 4.21 Aisladores de vidrio templado [16].

#### 4.2.7.3 Aisladores sintéticos

Desarrollados de materiales plásticos o resinas poliméricas, estos aisladores han resultado una buena opción para instalación en líneas de transmisión con problemas de vandalismo y alta concentración de contaminantes. Fig. 4.22, tienen alta resistencia a la radiación ultravioleta y son de menor peso y mayor flexibilidad en comparación con los de porcelana y vidrio.

Por estas características, se ha encontrado también su aplicación para separadores entre fases, para compactación de espacios de líneas de transmisión y para evitar flameos entre fases durante fenómenos de galopeo.

La aplicación de estos aisladores en líneas de alto voltaje se somete a altos esfuerzos mecánicos, por lo que se fabrican con núcleos reforzados con fibra de vidrio. Para lograr la trayectoria de fuga necesaria, los faldones acomodados alrededor del núcleo, se fabrican en materiales como la resina epóxica, politetrafluoretileno (PTFE – polímero similar al polietileno), hule de etileno-propileno (EPR) o hule de silicón [15].

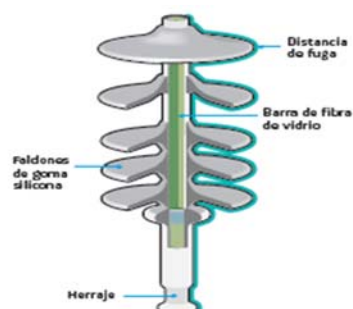


Fig. 4.22 Aisladores sintéticos [16].

#### 4.2.7.4 Capacidad mecánica de aisladores y herrajes

Las cadenas de aisladores y herrajes a utilizar dependerá de su capacidad mecánica, de factores como el viento, peso de los elementos, deflexiones, cargas bajo condiciones climatológicas y tensiones de trabajo, las cuales inciden directamente sobre los arreglos en ``T`` o en ``V``. Por estas razones, se analizan los esfuerzos resultantes máximos, considerando los factores de seguridad apropiados.

##### 4.2.7.4.1 Conjuntos en suspensión

Los esfuerzos a los que se somete un conjunto en suspensión, son transmitidos en dos direcciones:

- Horizontalmente por la acción del viento sobre las áreas que exponen a los conductores y a los mismos conjuntos, más la componente transversal, que representa la tensión longitudinal de los conductores, debido a la deflexión que existe en la suspensión de la línea de transmisión.
- Verticalmente cuando la carga depende del propio peso de los conductores, herrajes y aisladores, considerando eventualmente una carga adicional por la presencia de hielo depositado sobre los conductores.

##### 4.2.7.4.1.1 Cadenas en ``T``

Este tipo de arreglo tiene como característica la facilidad de poderse balancear, considerando como pivote el punto de enganche en la torre, cuando se encuentra bajo la acción del viento, por lo tanto, la resultante de la acción del viento y las cargas verticales, actúan en la misma dirección en que se balancea la cadena.

En la Fig. 4.23, se ilustra el detalle de la cruceta de una torre autosoportada con un arreglo de aisladores en ``T``, indicando el desplazamiento (balanceo) del arreglo ante la acción del viento, así como el diagrama de fuerzas resultantes:

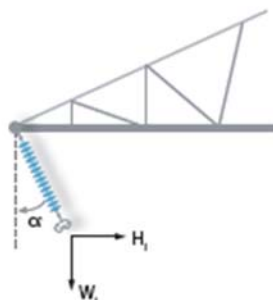


Fig. 4.23 Cruceta con aisladores en ``T`` [16].

Sin embargo cuando se presenta una deflexión en una torre de transmisión con este tipo de arreglos, existen dos condiciones:

- La acción del viento se afecta en este caso, en función del coseno de la semi-deflexión de la línea, debido a la dirección no perpendicular del viento sobre la línea de transmisión.
- Se incrementa por efecto de las componentes transversales de la tensión longitudinal de los conductores, debido a la deflexión ( $2 \cdot T_c \cdot \text{Sen}(\theta/2)$ ) como se muestra en la siguiente figura:

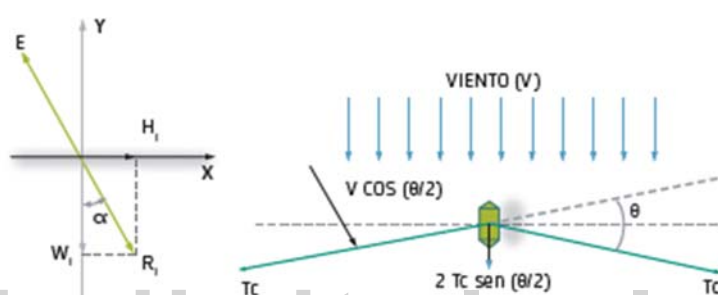


Fig. 4.24 Deflexión de una línea de transmisión ante condiciones de viento [16].

#### 4.2.7.4.1.2 Cadenas en "V"

En este tipo de arreglo la carga horizontal y vertical se modifican por que el arreglo de la cadena es diferente, es decir, horizontalmente se incrementa por la acción del viento sobre una cadena más, por lo que es necesario considerar el peso de la cadena en "V".

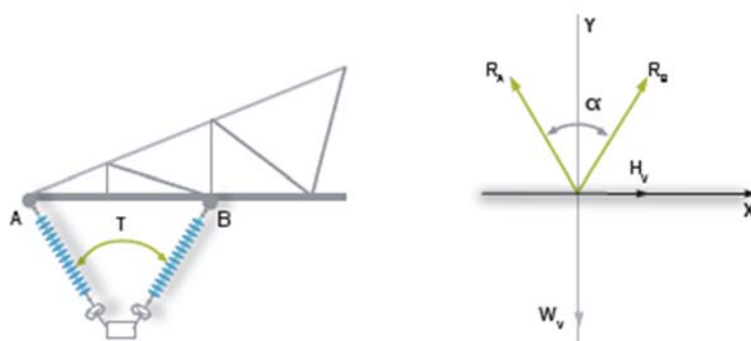


Fig. 4.25 Cruceta con arreglo de aisladores en "V" [16].

El buen desempeño de operación de una línea de transmisión depende, en gran medida, de la adecuada selección de cantidad y tipos de aisladores. Este estudio se conoce como

“coordinación de aislamiento”, por lo que es importante considerar las zonas geográficas con altos índices de contaminación y problemas de vandalismo.

#### **4.2.7.5 Selección de un aislador**

Un aislador debe ser especificado considerando los esfuerzos mecánicos, eléctricos y ambientales a los que se verá sometido. De acuerdo a su uso, los aisladores se verán sometidos a tres tipos de esfuerzos [13].

Esfuerzos Eléctricos:

- Sobretensiones a frecuencia nominal
- Sobretensiones por rayo
- Sobretensiones por maniobra
- Corriente del arco de potencia
- Tensión

Esfuerzos Mecánicos:

- Compresión
- Flexión (cantiléver)
- Torsión
- Vibración
- Sacudidas (sismos)

Esfuerzos Ambientales:

- Variaciones de temperatura
- Luz ultravioleta
- Viento
- Hielo, nieve
- Humedad, lluvia
- Altitud
- Contaminación
- Descargas atmosféricas
- Cargas y esfuerzos combinados
- Contaminación y temperatura

#### 4.2.7.6 Distancia de aislamiento (DA)

Es la distancia más corta o la suma de distancias entre dos partes conductoras, Fig. 4.26. También se le conoce como distancia mínima de aislamiento o distancia de arco [9].

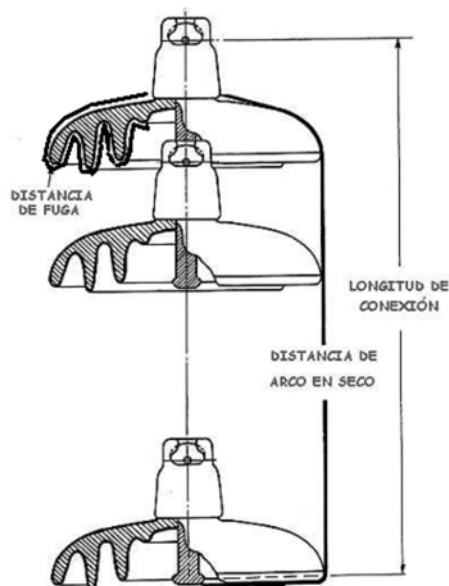


Fig. 4.26 Distancia de aislamiento en cadena de aisladores [13].

#### 4.2.7.7 Distancia de fuga (DF)

Es la trayectoria más corta entre los extremos de un aislamiento sólido, pero siguiendo su superficie exterior o contorno. Puede estar sometido al fenómeno de envejecimiento, dependiendo del material aislante, causando deterioro o disminución de sus características. La distancia específica de fuga: se obtiene de la DF dividida entre la tensión máxima del sistema [13].

#### 4.2.8 Herrajes:

Los herrajes son los elementos metálicos que cumplen la función de fijación, empalme, reparación, separación, amortiguamiento y protección eléctrica o mecánica de los cables conductores y de guarda de una línea de transmisión. Sirven para unir a las estructuras de soporte y mantener la configuración de cables, así como también para protegerlos contra los efectos electromecánicos durante la operatividad de la línea de transmisión, ensamblan cada uno de los elementos de los conjuntos de tensión y suspensión. Como requerimiento de operación de la línea de transmisión, el diseño de los herrajes debe ser libre de efecto corona.

La unión entre los herrajes, aisladores y accesorios se hace a través de una articulación mecánica [16].

#### 4.2.8.1 Diseño de los herrajes

Estos elementos se diseñan con base en parámetros mecánicos y eléctricos, lo que conlleva al uso de diversos metales y métodos de fabricación. En el diseño de la línea de transmisión es sumamente importante la selección adecuada de los conjuntos de herrajes para garantizar la transmisión de energía, tener una operación segura y optimizar el mantenimiento.

Las características de diseño de los herrajes están determinadas por la tensión eléctrica de la línea de transmisión, tipo de conductores, configuración del haz de conductores, tipo de estructura y utilización del conjunto de herrajes [16].

##### 4.2.8.1.1 Características eléctricas

El conjunto de herrajes y aisladores deben estar dimensionados de manera que no rebasen las distancias dieléctricas mínimas horizontales y verticales a los cuerpos de las estructuras considerando el balanceo angular máximo.

Los herrajes en sus cantos y aristas deben tener forma redondeada a fin de eliminar el efecto corona.

##### Características Mecánicas

La importancia de los herrajes y conjunto de herrajes, estriba en la función mecánica que transmiten a las estructuras las fuerzas mecánicas producidas por el propio peso del cable, por la acción del viento y a los esfuerzos de tracción de los cables debido a su carga.

Las capacidades mecánicas de herrajes para cable conductor están en función de la tensión eléctrica de la línea de transmisión y se resumen en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Capacidades mecánicas para cable conductor.

Voltaje (kV)	Tensión Mecánica (111 kN)	Tensión Mecánica (160 kN)
115	Cadenas en suspensión y tensión	
230	Cadenas en suspensión y tensión	
400	Cadenas en suspensión para dos conductores por fase	Cadenas en tensión para dos conductores por fase
		Cadenas en suspensión y tensión para tres conductores por fase



La capacidad mecánica para conjuntos de sujeción de cables de guarda es de:

- 80 kN en conjuntos para suspensión
- 95% de la tensión de ruptura del cable en conjuntos para tensión.

Todos los herrajes deben soportar las condiciones de operación presentes en las diferentes zonas climáticas en donde estén instalados.

#### 4.2.8.1.2 Clasificación de acuerdo a su uso

La clasificación de los herrajes depende de su uso, el cual puede ser:

- Enganche de cable de guarda
- Conformación de cadena de aisladores
- Sujeción de cable de conductor
- Accesorios para la disipación de vibraciones eólicas
- Accesorios de reparación y protección
- Para estructuras conformadas por postes de madera o concreto
- Pernos, tornillos, roldanas, tuercas y chavetas.

#### 4.2.8.2 Herrajes para enganche de cable de guarda

La acción primordial de estos elementos es dar continuidad a los cables de guarda (con o sin fibras ópticas integradas) de línea de transmisión; por un lado al blindaje aéreo de los conductores y por otro a las comunicaciones. Para la sujeción de los cables de guarda se utilizan grapas de suspensión o tensión, eslabones y conectores a compresión cable-cable y cable-solera como se representa en la Fig. 4.27.



Fig. 4.27 Herraje para cables de guarda.

#### 4.2.8.2.1 Grapas de suspensión

Son elementos cuya capacidad mecánica está en función de la tensión de ruptura del cable de guarda, las grapas de suspensión soportan una carga de ruptura vertical y de deslizamiento, por lo que es indispensable que sean livianas; su momento inercial con relación al eje de suspensión debe ser lo mínimo posible, con el fin de minimizar la concentración de esfuerzos, el apriete del cable debe ser circunferencial [16].

#### 4.2.8.2.2 Grapas de tensión

Son elementos mecánicos caracterizados por una fuerza mecánica que se manifiesta en el fenómeno de deslizamiento, además de que está en función de la tensión de ruptura del cable de guarda, ver Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Capacidades mecánicas de grapas y empalmes para cables de guarda

Herraje	Resistencia al deslizamiento (%)	Resistencia a la tensión (kN)
Grapa de suspensión	20	76
Conector a compresión cable-cable (suspensión)	5	-
Grapa de tensión tipo compresión	-	40
Conector a compresión cable-solera (suspensión y tensión)	5	-
Empalme a compresión	95	40

Para la instalación se recomienda lo siguiente:

- Comprimir el conductor verificando que la estructura interna de la grapa quede hermética al agua.
- Asegurar que la resistencia eléctrica del tramo comprendido entre los extremos de las grapas de tensión tipo compresión, no sea superior a la del conductor de la misma longitud.
- Verificar que los elementos de sujeción sean de acero galvanizado debido a su buena respuesta mecánica.
- Verificar que las grapas cuenten con un ojal auxiliar para facilitar el tensado.

Las características y recomendaciones de instalación de las grapas de suspensión y tensión para cables de guarda sin fibra óptica, son iguales para las grapas para cable conductor. Para cable de guarda con fibras ópticas integradas se debe tomar en consideración las recomendaciones del fabricante. El cuerpo de la grapa se fabrica con aleación de aluminio-silicio de alta resistencia. Las grapas deben cumplir con las características del tipo de cable de guarda que puede ser con o sin fibras ópticas [16].

#### 4.2.8.2.3 Herrajes para conformación de cadenas de aisladores.

Los herrajes para enganche a la torre y a los conductores son:

##### 4.2.8.2.3.1 Grillete

Sirve para fijar la cadena de aisladores con las torres de forma mecánica, El grillete está compuesto de dos partes:

- El cuerpo que es una barra de acero cilíndrica en forma de "U" con dos agujeros en sus extremos, y
- Un pasador que se introduce para sujetarlo a la torre

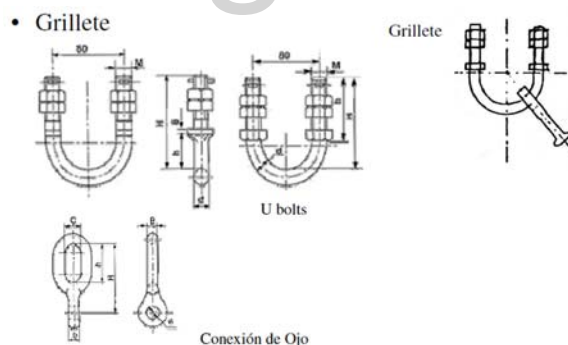


Fig. 4.28 Herrajes de fijación [17].

Los herrajes que se utilizan para unir los conductores a las cadenas de aisladores son los siguientes:

##### 4.2.8.2.3.2 Ojo bola y anilla bola

Son exactamente como su nombre lo indica, por un ojo o una anilla unida a una bola, el cual se inserta en la cavidad del aislador. La diferencia entre ambos es que en un caso se emplean un ojo (aro) y en el otro caso un anillo elíptico.

El ojo bola, permite sólo el uso de un pasador de ajuste completo. La anilla bola permite el paso de cualquier pieza y por lo tanto produce un ajuste más holgado. El material usado para su fabricación es acero forjado y galvanizado [17].

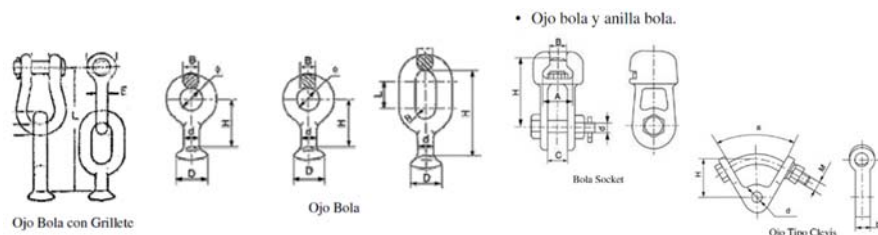


Fig. 4.29 (a) Herrajes de unión [17].

#### 4.2.8.2.3.3 Yugo

Su función es constituir un elemento de fijación para las cadenas de aisladores y conductores de las fases.

Los yugos son de forma triangular, trapezoide o recto, pueden ser para líneas con 1, 2 o más conductores por fase, y están hechos de acero forjado o galvanizado [17].

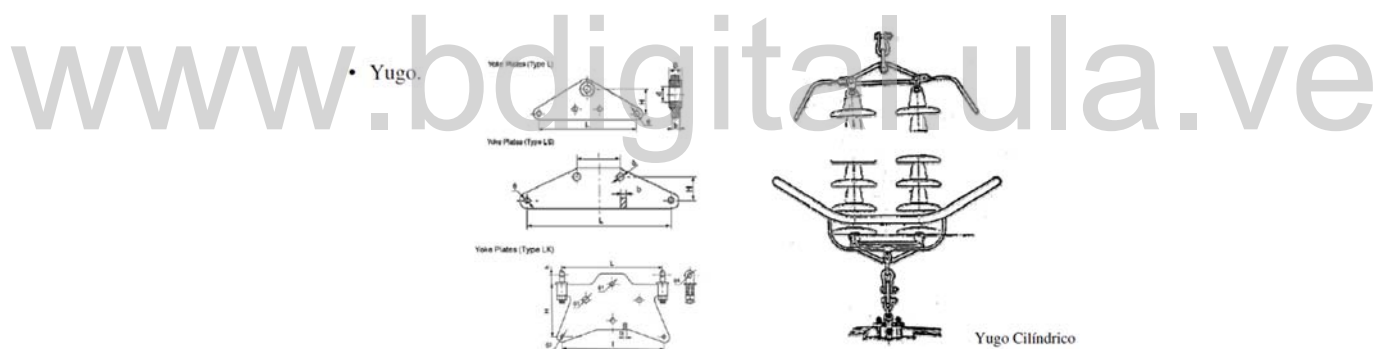


Fig. 4.29 (b) [17].

#### 4.2.8.2.3.4 Horquilla ojo, horquilla bola y horquilla anillo

Este herraje es muy importante para enlazar entre si los yugos tipo macho con los herrajes de la cadena que sustentan o amarran a los conductores con los aisladores. Estos herrajes por un extremo tienen una horquilla y por el otro lado un ojo, que se puede dar movilidad a otros herrajes. Se construyen de hierro forjado y galvanizados [16].

- Horquilla Ojo, Horquilla Bola y Horquilla Anillo

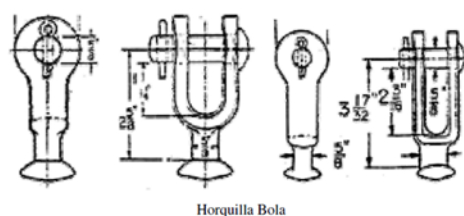


Fig. 4.29 (c) [17].

#### 4.2.8.2.3.5 Eslabón o anillo

El eslabón tiene la misma función del doble ojo, sin embargo, su forma es diferente a éste. El eslabón está formado por una pieza única en forma ovalada, que permite la movilidad del grillete de sujeción a la torre con el yugo. El material usado para la fabricación es acero forjado y galvanizado en caliente.

- Eslabón o anillo

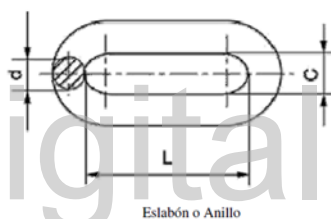


Fig. 4.29 (d) [17].

#### 4.2.8.2.3.6 Mordazas de suspensión

Es un soporte, que cuelga de un balancín de cuerpo en forma de canal con un pasador y en ese canal aloja el conductor, para evitar el desplazamiento del mismo, Otro de la misma forma completa la fijación, presionando el conductor mediante una abrazadera en forma de U [18].

#### 4.2.8.2.3.7 Mordaza de amarre

Es el elemento que ayuda a fijar la estructura, la cadena de aisladores, y el conductor mecánicamente.

Existen dos clases de mordazas:

- Mordazas de tipo compresión: para el uso de esta mordaza es necesario realizar un corte en el conductor.
- Mordazas de tipo pistola y tipo cuña: con esta mordaza el conductor se mantiene íntegro lo cual es una ventaja.



Fig. 4.30 Conjunto de herrajes para líneas de transmisión [18].

#### 4.2.8.2.4 Herrajes para sujeción de cable de conductor

La continuidad de las fases del o de los circuitos se da a través del enganche de los conductores a las grapas de suspensión o tensión del conjunto de herrajes.

Los herrajes característicos para la sujeción de los conductores son las grapas para sujeción de cable de conductor, en su utilización para suspensión o para tensión. Sin embargo, en conjunción con aisladores, herrajes para aisladores y yugos, se conforman en conjuntos de suspensión. Los yugos son los elementos de soporte de las grapas para cables conductores (dos o más cables conductores por fase), estos elementos reducen los esfuerzos de flexión en los aisladores y se fabrican en acero estructural galvanizado [16].

Capacidades mecánicas de grapas y empalmes para cables conductores

Tabla 4.6 Capacidades mecánicas de grapas y empalmes para cables conductores.

Herraje	Resistencia al deslizamiento (%)	Resistencia a la tensión (kN)
Grapa de suspensión con o sin varillas protectoras	20	111
Grapa de tensión tipo compresión	95	-
Empalme a compresión y manguito de reparación a compresión	95	-

Los conjuntos de suspensión para cable conductor deben utilizar herrajes cortos en caso de ser instalados en postes troncocónicos, estructuras "H" formadas por postes de concreto o madera, y las cadenas en "V" de la fase central de las torres de un circuito con disposición de fases horizontal. El uso de estos herrajes, en conjunto con las cadenas de aisladores, aseguran

las distancias dieléctricas. En la siguiente figura se muestran los conjuntos de herrajes para diferentes configuraciones del haz de conductores.

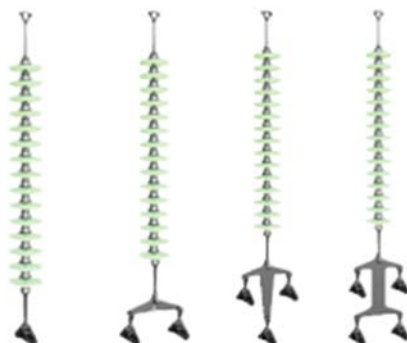


Fig. 4.31 Conjunto de herrajes para cable conductor, de izquierda a derecha conjunto para 1 conductor por fase, 2 conductores por fase, 3 conductores por fase y 4 conductores por fase respectivamente [16].

La longitud de los conjuntos de herrajes es la sumatoria de las longitudes de cada uno de los elementos que la componen (distancias verticales entre ejes de enganche), a continuación la siguiente tabla muestra el cálculo de longitud para el conjunto de suspensión en "V", torre autoportada, tipo 2D2, suspensión, 230 kV, 2 circuitos, 1 conductor por fase.

Tabla 4.7 Calculo de longitud de conjunto de herrajes (suspensión).

Herraje	Dimensiones mínimas (mm)	Dimensiones máximas (mm)
Herraje propio de la torre	174	174
Horquilla "Y" - bola larga	237	250
16 Aisladores	2336	2336
Calavera – horquilla "Y" larga	250	262
Yugo triangular V1	102	108
Horquilla "Y" - ojo corta	60	65
Grapa de suspensión sin varilla protectora	61	82
Subtotal de herrajes y aislamiento	3220	3227
Alargadera (de longitud variable)	1380	1323
Total de longitud de la cadena	4600	4600

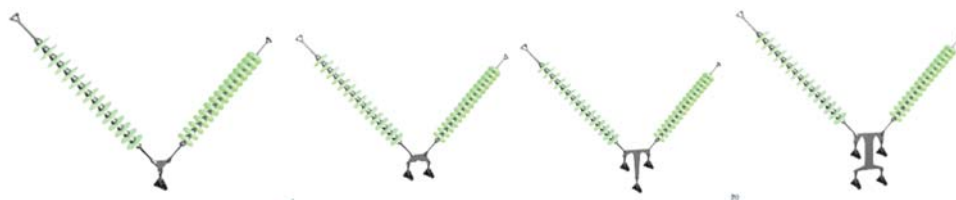


Fig. 4.32 Conjuntos de suspensión en "V" de uno, dos, tres y cuatro conductores por fase [16].



Fig. 4.33 Conjuntos de tensión de doble cadena de un conductor por fase, dos conductores por fase, tres conductores por fase y cuatro conductores por fase respectivamente [16].

www.bdigital.ula.ve

#### 4.2.9 Sistemas de puesta a tierra

Son las conexiones directas de todas las partes metálicas de una instalación, sin fusibles ni otros sistemas de protección, a uno o varios electrodos enterrados en el suelo, que permiten la desviación de corrientes de falla o descargas atmosféricas.

La importancia de los cables de guarda, que proporcionan el blindaje ante descargas atmosféricas en una línea de transmisión, es complementada con el sistema de puesta a tierra que provee una conexión de baja impedancia entre las estructuras y la tierra física.

El sistema de puesta a tierra comprende los siguientes elementos:

- Hilos de guarda
- Conexión del cable de guarda con la estructura (cola de rata)
- Estructuras
- Conductor de puesta a tierra (bajante), estos se instalan únicamente en estructuras formadas por postes de madera y/o en casos especiales.
- Red de puesta a tierra (electrodos y contra – antenas).
- Tierra natural o relleno.



- Conectores.

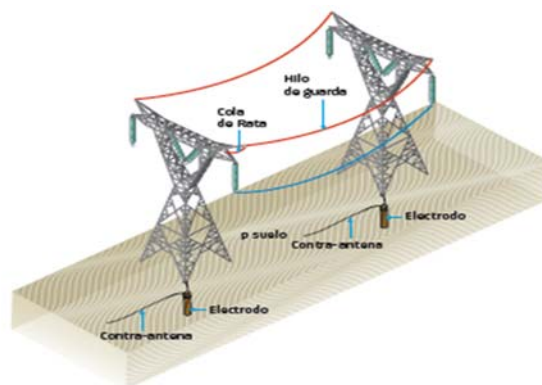


Fig. 4.34 Elementos del sistema de puesta a tierra [16].

- Objetivos del sistema de puesta a tierra:

- 1) Proteger y mejorar el desempeño de líneas de transmisión ante descargas atmosféricas:

- Provee una trayectoria de baja impedancia a tierra usando conexiones de puesta a tierra, eléctrica y mecánicamente robustas.
- Limita las diferencias de potencial en las cadenas de aisladores y evitar flameos inversos (*back-flashover*) cuando se presente el impacto de descargas atmosféricas sobre las estructuras o cables de guarda.
- Reduce la cantidad de flameos o incidencias directas de descargas atmosféricas sobre los conductores (fallas de blindaje) que puedan ocurrir en las líneas de transmisión.

- 2) Asegurar la correcta operación del equipo de control y protección del sistema de transmisión:

- Provee una baja impedancia a las corrientes de falla.
- Asegura una adecuada coordinación entre relevadores y fusibles.
- Elimina riesgos asociados al drenar corrientes de retorno en sistemas desbalanceados.

- 3) Garantizar la seguridad del personal ante posibles descargas eléctricas:

- Permite rápida identificación de las condiciones de falla, lo cual reduce la duración de la misma.
- Limita los potenciales de paso y toque a valores seguros de corriente para el cuerpo humano.

- 4) Disminuir la interferencia electromagnética al suprimir voltajes y corrientes inducidas.

#### 4.2.9.1 Electrodo

Son elementos metálicos compuestos de una aleación de conductores (acero galvanizado, acero inoxidable, cobre, aluminio) la sección del material dependerá de las características del terreno. Generalmente se emplean varillas de acero-cobre de tres metros de longitud que se anclan en el terreno y son enterrados; su función es establecer el contacto o conexión con la tierra y son interconectados a conductores desnudos, con el fin de mantener un mismo potencial de tierra en todos los conductores que estén conectados a ellos y así disipar en el terreno todas las corrientes de falla.

Resistencia al pie de la torre con diferentes configuraciones de electrodos de tierra:

Tabla 4.8 Resistencia al pie de la torre con diferentes configuraciones de electrodos de tierra [16].

Cantidad de electrodos	Separación (m)	Resistencia ( $\Omega$ )
1	-	104,02
2	0,8	70,18
2	1,0	66,18
4	0,6	51,87
4	1,0	45,87

#### 4.2.9.2 Conductores

Estos sirven para formar el sistema de tierras y para conexión a tierra de los equipos, los conductores empleados en los sistemas de tierra son generalmente cable concéntrico formado por varios hilos, donde los materiales más utilizados son: cobre, cobre estañado copperweld, acero, acero inoxidable, acero galvanizado o aluminio; sin embargo la mayoría de los materiales más comunes se corroen por lo que el cobre ha destacado en este aspecto.

### 4.2.9.3 Conectores

Los conectores, son los elementos que nos sirven para unir los conductores del sistema de tierra a los electrodos, así como para la conexión de los equipos a través de conductores al sistema de tierra. Los conectores utilizados en los sistemas de tierra son principalmente:

- Mecánicos
- A presión
- Mediante soldadura exotérmica

### 4.2.9.4 Contra – antenas

Esta red de puesta a tierra se hace con conductores que pueden ser de:

- Acero (en terreno no corrosivo, como son los terrenos de cultivo o seco)
- Cobre o aluminio (para terrenos corrosivos).

Este tipo de redes busca mayor área de contacto con el terreno, por ello se diseñan:

- Como trayectorias horizontales.
- No se entierran a gran profundidad (50-60 cm).
- El calibre del conductor o su diámetro de preferencia debe ser el mismo que el del cable de guarda.

La resistencia al pie de la torre se calcula con la expresión:

$$R = \frac{\rho d}{\pi l} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot l}{\sqrt{4ad}}\right) - 1 \right) \quad 4.1$$

$l$ : longitud total de la contra – antena (m) (en forma independiente de en cuantas secciones se divide)

$d$ : es la profundidad a la cual se entierra la contra – antena (m).

$a$ : es el radio del conductor de la contra – antena (m).

$\rho d$ : es la resistividad del terreno ( $\Omega$ -m)

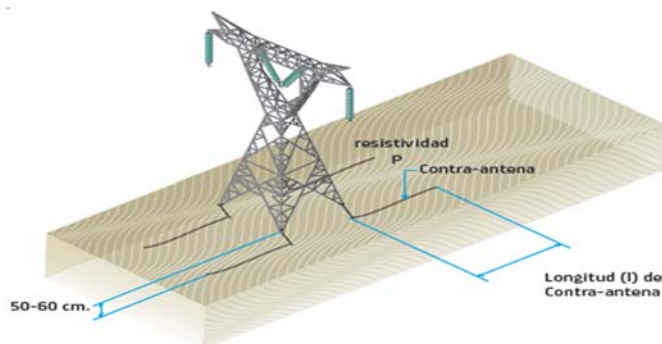


Fig. 4.35 Esquema del uso de contra-antena (contrapeso) [16].

#### 4.2.9.4.1 Medición de la resistividad del terreno.

Para medir la resistividad del terreno se necesita hacer que circule una corriente a través de él. Para esto se requiere insertar electrodos en el suelo que propicien tal circulación de corriente. El método generalmente utilizado es el de los cuatro electrodos.

#### 4.2.9.4.2 Desempeño de líneas de transmisión ante descargas atmosféricas.

Un impacto directo de una descarga atmosférica sobre una línea de transmisión se presenta cuando la descarga incide sobre:

- Los conductores de fase, o
- Los hilos de guarda o sobre la estructura.

Evaluación del comportamiento de líneas de transmisión en descargas atmosféricas:

Tabla 4.9 Comportamiento de la línea de transmisión ante descargas atmosféricas.

Tipo de falla	Se presenta cuando la cadena de aisladores de transmisión.
Flameo inverso (back-flashover)	Sufre un flameo debido al impacto directo de una descarga atmosférica sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• La estructura o</li> <li>• Los hilos (o cables) de guarda a lo largo del claro.</li> </ul>
Falla en el blindaje en una línea de transmisión	Sufre un flameo debido al impacto directo de una descarga atmosférica en los conductores de fase.

Cuando una descarga atmosférica incide sobre los cables de guarda o directamente en una torre, las ondas de corriente son conducidas sobre el mismo cuerpo de la torre y enviadas a tierra, de manera que los elementos de conexión a tierra de la torre, en forma combinada, proporcionen un valor, conocido como resistencia al pie de la torre, lo suficientemente bajo para evitar el fenómeno de reflexión de ondas en forma importante.

#### 4.2.9.5 Boyas de señalización

Las boyas se usan para la señalización de conductores y cables de guarda y sirven para resaltar la presencia de los cables aéreos de las líneas de transmisión.

Las boyas más utilizadas son las de láminas de aluminio o fibra de vidrio.

La siguiente figura muestra algunas características físicas de las boyas:

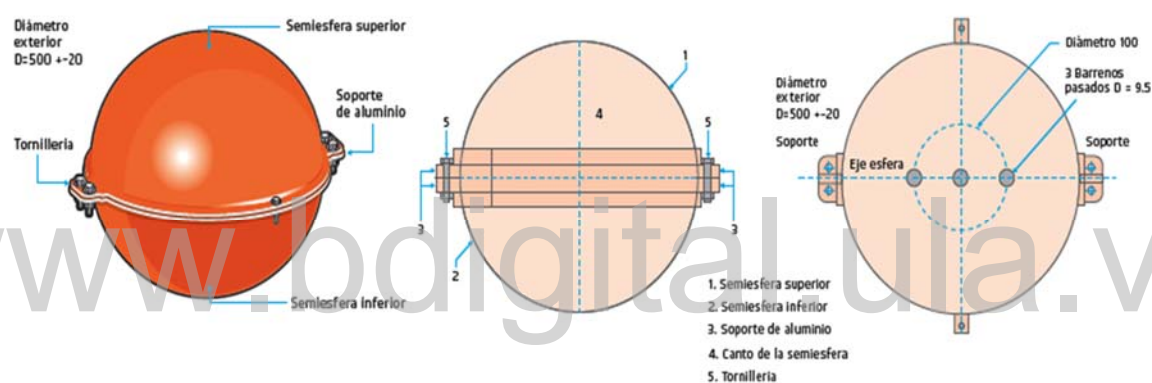


Fig. 4.36 Perfil y planta de Boyas de Señalización [16].

- Características físicas:

Las boyas de señalización se fabrican con distintos materiales, entre otros:

- Fibra de vidrio.
- Aluminio.
- Materiales termoplásticos.
- Acrílicos.

Originalmente las boyas eran fabricadas de aluminio, ahora se ha diversificado el uso de materiales sintéticos y de aleaciones especiales para su fabricación. Algunas características de las boyas, según el material de fabricación, son:

Tabla 4.10 Características de las boyas según su material

Boya	Características generales
De aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricada con aleaciones especiales de aluminio con alta disipación de calor.</li> <li>• Se especifican para la señalización de cables de alta temperatura y baja flecha con temperatura continua de 250 °C.</li> </ul>
De fibra de vidrio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altamente reflejantes dada su superficie lisa.</li> <li>• Proveen protección contra la radiación solar.</li> <li>• Alta resistencia a la intemperie.</li> <li>• Alta resistencia mecánica.</li> </ul>
Material termoplásticos (como ABS estireno del acrilonitrilo butadieno)	De alto desempeño a altas y bajas temperaturas y de bajo costo.
Plásticos de ingeniería (como PMMA polimetilmetacrilato o acrílico).	De alta resistencia al impacto y al medio ambiente.

www.bdigital.ula.ve

# **CAPITULO 5**

## **APLICACIÓN DE LAS TECNICAS DE MANTENIMIENTO A LINEAS DE TRANSMISION**

Las inspecciones son el primer paso para planear los trabajos de mantenimiento a las líneas de transmisión, ya que al realizarlas, se obtienen los resultados de anomalías que pudieran presentarse en las líneas, además de evitar posibles disparos que provoquen la interrupción de la energía eléctrica suministrada a una gran cantidad de usuarios, en ocasiones se hacen cuando hay salidas programadas de los circuitos, para lo cual se plantean los siguientes lineamientos para llevar a cabo un efectivo mantenimiento.

### **5.1 Lineamientos Generales para la elaboración de un plan de Mantenimiento**

Para una correcta actuación de los grupos de mantenimiento, es necesario elaborar un esquema de trabajo en el cual se definen las prioridades necesarias permitiendo un control eficiente del mantenimiento a realizar. La planificación de mantenimiento por lo general se programa anualmente pudiéndose dividir en programas trimestrales, contemplando los siguientes aspectos:

Para el mantenimiento preventivo de las líneas se procede a la inspección de las condiciones físicas de los componentes y elementos de las líneas de transmisión, el cual se ejecuta de la siguiente manera:

- Inspección de ancho de corredor
- Inspección de caminos de acceso
- Inspección de pica
- Lavado de cadenas de aisladores

- Medición de puesta a tierra
- Inspección de conductores
- Inspección de aisladores
- Inspección de herrajes
- Inspección de estructura
- Inspección de efecto corona
- Inspección termografía
- Inspección de sitios críticos

Para el mantenimiento Predictivo:

- Inspección con ultrasonido
- Inspección de efecto corona
- Inspección termografía
- Inspección con drones.

Para el Mantenimiento Correctivo:

- Sustitución de aislamiento
- Reparación de conductor roto

La periodicidad de las inspecciones debe ser definida básicamente en función del tiempo de operación, desempeño de la línea, e importancia operacional.

Los programas anuales se basan principalmente, en los análisis de las inspecciones realizadas y deben relacionar todos los servicios a ser desarrollados por los grupos de mantenimiento durante el periodo a considerar.

Para dichos programas es necesario conocer:

- Las X horas hombres disponibles
- Los defectos detectados en las inspecciones
- Los servicios pendientes

Las horas - hombre disponible representan la cantidad de personal versus tiempo disponible para los trabajos de mantenimiento a ser programados.



El análisis de los defectos de las inspecciones determinarán las prioridades de ejecución de los servicios de mantenimiento. Para la elaboración del programa se debe conocer también la cantidad de hombres por hora necesarios para la ejecución de cada servicio a ser programado.

De acuerdo a las necesidades del sistema; podrían incluirse otras programaciones para la ejecución de otros servicios tales como:

- Entrenamientos.
- Inspecciones Especiales
- Limpieza de ancho de corredor
- Mantenimiento de caminos de acceso, etc.

Estos servicios deben de ser de prioridad absoluta a ser analizados y definidos como de fundamental importancia para el sistema.

Los servicios pendientes del periodo anterior serán contabilizados con los nuevos servicios resultados de las nuevas inspecciones, debiendo ser verificada la posibilidad de su programación.

Los programas deben especificar las desconexiones que serán realizadas, considerando:

- Nombre de la línea
- Fecha
- Horario (inicio-Termino)
- Cantidad de trabajadores necesarios
- Servicio programado
- Detalle y listado
- Estructuras a ser atendidas

Por ello se justifica la importancia que tiene el mantenimiento preventivo programado, ya que se efectúa con el fin de evitar fallas que generen trabajos de mantenimiento correctivo y se programa en una o más rutinas sobre la base de parámetros de diseño y condiciones de trabajo apoyadas en las experiencias mismas de la operación, y en las recomendaciones de los fabricantes aportadas en las guías, manuales e inspecciones ejercidas a las líneas, lográndose de esta manera evitar improvisaciones o daños innecesarios que ocasionen los trabajos de reparación.

Sin embargo, no es el trabajo de mantenimiento preventivo el que deberá ser planeado, sino todas las actividades atrasadas como reparaciones, partes de stock, órdenes de trabajo inconclusas, etc.

Un programa de mantenimiento requiere:

- Registro de líneas
- Actividades por línea
- Procedimientos

En esta sección se describe un método para la elaboración del programa de mantenimiento, a través de bases de datos que posibilitan diversos análisis y aplicaciones relativos al programa [19].

## **5.2 Inspección aérea**

Se efectúa para sobrevolar todas o la mayoría de las líneas en un tiempo record y así observar cualquier anomalía que pueda tener determinada línea, tales como: cadenas pasadas, árboles cerca del conductor, torres en extremo peligro, pica mala [9].

El mantenimiento y la inspección de líneas de transmisión es una tarea ardua ya que en su mayoría se encuentran suspendidas en el aire, lo que dificulta el acceso a los operarios, además de tomar en cuenta el peligro al que se someten por alguna descarga o arco eléctrico, o caída desde alguna torre. En muchos de los casos pueden sufrir algún grave accidente o la muerte, por lo mismo cada día es más habitual el uso de robots para las inspecciones, además de lograrse una inspección más exhaustiva y eficiente, lo que mantiene a los operarios a salvo de riesgos innecesarios.

### **5.2.1 Inspección de líneas de transmisión por medio del uso de drones**

Con estos dispositivos se pueden llegar a las torres en cuestión de unos pocos minutos, aunque estén ubicados en sitios de difícil acceso, hay que considerar, el tipo de estructuras a inspeccionar, las alturas, entrenamiento, software, conexión con el dispositivo, factor humano, etc.

## Inspección Visual:

En la actualidad en Venezuela se realizan las inspecciones de las condiciones en que se encuentran los caminos de acceso y ancho de corredor a pie, por linieros, inspectores, etc. Muchas de las torres se encuentran en sitios de acceso complicado, cerros, montañas, etc. También se realizan inspecciones de conductores haciendo un recorrido entre torres a lo largo de los vanos, observando si hay polos rotos, conductores en mal estado, amortiguadores corridos, varillaje de armado corrido, etc. Subiendo torre por torre también se inspeccionan las condiciones en las que se encuentren las cadenas de aisladores, observando cadenas pasadas, platos de aisladores que estén partidos y herrajes observando si faltan cupillas en las mordazas, en los grilletes preformados, si hay herrajes partidos, y en las estructuras, observando si hay piezas dobladas, faltantes, falta de tornillos, tornillos flojos, etc.

Con el uso de drones se puede efectuar estos trabajos de inspección en corto tiempo, como se muestra en la Figs. 5.1-5.6, sin exponer a riesgos al personal para inspecciones visuales. Se puede supervisar también los trabajos electromecánicos que se realizan en las torres.

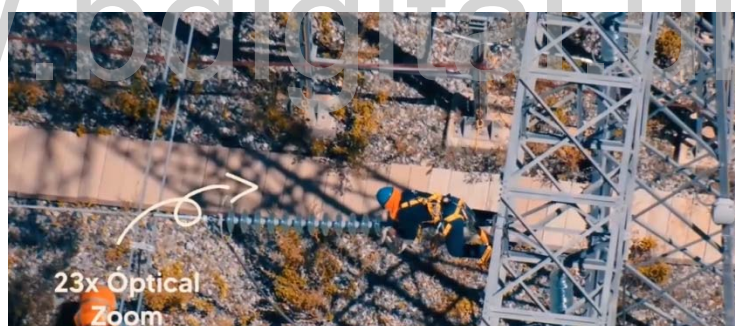


Fig. 5.1 Vista aérea del dron en trabajos electromecánicos realizados en la parte superior de una torre de transmisión a una cadena de aisladores [10].

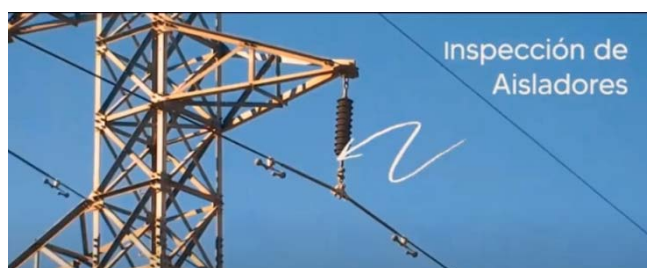


Fig. 5.2 Imagen aérea tomada con un dron para verificar las condiciones de los elementos, en esta imagen de la cadena de aisladores [10].



Fig. 5.3 Imagen aérea tomada con un dron para verificar las condiciones de los herrajes y la estructura [10].



Fig. 5.4 Evaluación Geográfica realizada con un dron, verificando las condiciones de los caminos de acceso [10].



Fig. 5.5 Evaluación del camino de acceso con la cámara de un dron [10]



Fig. 5.6 Imagen Visual tomada por un dron [10].

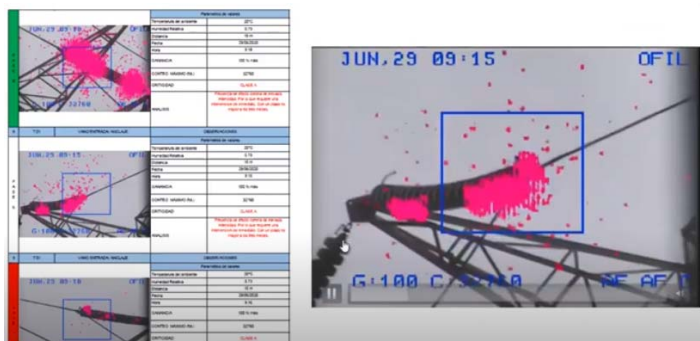


Fig. 5.7 Imagen tomada por Cámara Coronográfica, donde se observan los fotones producidos por la descarga parcial [10].

Hoy en día los drones vienen con cámaras híbridas incorporadas, cámaras termográficas, cámaras de efecto corona, de inspección visual. Sin embargo no permite cuantificar el estado de criticidad del estado de los componentes de las torres, ni proporciona inspección cualitativa de condición si hay puntos calientes o no. Estas observaciones hay que realizarlas y compararlas con las cámaras termográficas y las coronográficas convencionales para poder ver y cuantificar la criticidad que tienen los componentes. Lo recomendable por el tiempo es primero hacer la inspección rápida con dron a las torres y en las que se encuentren puntos calientes realizar nuevamente la inspección con una cámara termografía o termovisor de buena precisión y así determinar la criticidad por la variación de temperatura entre fases.

Con las tres técnicas integradas con el dron se hace una buena y rápida inspección las cuales son: inspección visual para examinar las condiciones de la estructura, detección de puntos calientes con la cámara termografía y detección de descargas parciales por efecto corona con la cámara UV [20].

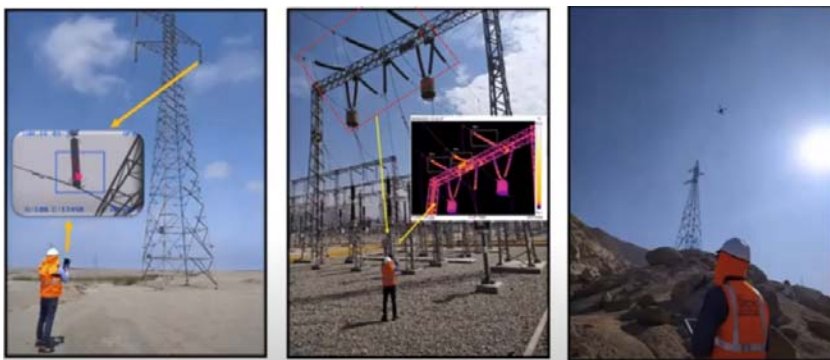


Fig. 5.8 Las tres técnicas integradas en un drone: coronográfica, termografía y visual respectivamente [20].



Fig. 5.9 Recorrido de un Drone por caminos de acceso para llegar a una torre [20]



Fig. 5.10 (a) Parte de una inspección visual con Drone de estructura y herrajes [20].



Fig. 5.10 (b)



Fig. 5.10 (c).

### 5.3 Manual de trabajo

El manual de trabajo debe contener la información necesaria para preparar los programas de mantenimiento, además, constituye una herramienta de trabajo para elaborar los diversos planes y programas propios de la función de mantenimiento, es decir, planes y programas de:

- Recursos humanos y materiales
- Recursos financieros
- Capacitación

En la figura 5.11 se presenta un modelo de hoja de reporte de mantenimiento de líneas; la misma contendrá todos los detalles de las líneas. Para realizar este reporte, el jefe de la unidad de mantenimiento señalará fecha y recursos necesarios para desarrollar el trabajo.

La hoja de reporte del mantenimiento consta de los siguientes puntos:

- Numero de estructura y tipo de estructura
- Nivel de voltaje
- Camino de acceso
- Estado de aisladores
- Estado de puesta a tierra
- Faltante de ángulos
- Construcción de casas
- Estado de bases y estabilidad del terreno
- Desbroce de vegetación
- Estado de tensores
- Puntos calientes
- Observaciones
- Revisado
- Aprobado





(a un año); y también aquellas que se realizarán mediante la apertura de órdenes de trabajo como: programar los gastos específicos de: reubicación de torres, construir cunetas, sembríos, etc. Otro recurso que hay que tomar en cuenta es la contratación de un ingeniero geólogo y personal especializado para mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.

- Recursos de capacitación

En cuanto a este punto se refiere, la empresa ha creado un fondo general de capacitación, dentro del cual un empleado o un ingeniero de cualquier área pueda solicitar un curso de capacitación sobre un tema específico que a la empresa le interese [19].

### **5.3.2 Coordinación en cuanto a desenergización de líneas**

De acuerdo al tipo de mantenimiento que requiera la línea de transmisión, se procede a programar para desenergizarla. Para este trabajo, se cuenta con un sistema scada que indica el flujo de potencia mediante el cual se ve si es factible la transferencia de carga o no.

Para desenergizar una línea se sigue los siguientes procedimientos:

- a) Programación de recursos
- b) Comunicaciones entre subestaciones (S/E) para realizar maniobras y centro de control.
- c) Coordinación para crear avisos de suspensión de servicios.

### **5.3.3 Horarios propicios**

Para el mantenimiento de las líneas de transmisión, la empresa considera conveniente que se comience las labores de mantenimiento desde las 8 a.m. hasta las 4 p.m. en una sola jornada debido a que los recorridos son extensos y laboriosos.

### **5.3.4 Programa de mantenimiento preventivo.**

Los programas de mantenimiento, serán los documentos definitivos del mantenimiento preventivo programado, y se obtiene de procesar la información obtenida en la elaboración del programa anual preliminar de mantenimiento.

### **5.3.5 Programa anual de mantenimiento preliminar**

Cada jefe de mantenimiento debe realizar el programa anual de las actividades por equipos de su respectiva área, con ayuda del supervisor y sus ejecutores.

Las informaciones obtenidas durante estas actividades suelen ser voluminosas por lo cual es conveniente e importante que el personal tenga una concepción clara del potencial de la informática como herramienta útil y eficaz para este tipo de actividades. Por este motivo es conveniente digitalizar e ingresar a sistema toda la información necesaria en base de datos, ya que tiene grandes ventajas como flexibilidad, ajustes y correcciones rápidas, intercambiar información mediante redes, etc.

### **5.3.6 Programación de recursos utilizados**

La programación de los recursos tanto humanos como materiales será elaborada tomando en cuenta la recopilación de la información siguiente:

- En los requerimientos del personal para el cumplimiento del programa, hay que resaltar un aspecto muy importante relacionado a la cuadrilla de personas, que con experiencias de años anteriores han venido desarrollando destrezas y habilidades en ciertas funciones como por ejemplo: tendido de líneas, parada de postes de 16,5 mts, montajes de torres, fiscalización de obras civiles, detección de fallas, trabajos manuales, etc. Por lo tanto, es más fácil reparar un daño si se toma en cuenta la consideración anterior.
- Requerimiento de suministros: materiales, repuestos, herramientas, y equipos para el cumplimiento del programa.
- Disponibilidad de recursos materiales en almacén.

La información obtenida en el cronograma puede ser utilizada para planificar los recursos humanos y materiales del año correspondiente, ya que permite determinar las épocas de uso intensivo de esos recursos; o los que requerirán de contrataciones temporales en aquellas épocas de menor necesidad, para facilitar al personal el uso de sus vacaciones, cursos de capacitación u otros aspectos. Para el financiamiento de los recursos económicos necesarios para el cumplimiento del programa, se deberá elaborar el presupuesto correspondiente y enviarlo al departamento financiero.

### **5.3.7 Control en la programación del mantenimiento**

Los sistemas administrativos del mantenimiento tienen el propósito de conservar, administrar y operar las instalaciones, asegurando la confiabilidad y disponibilidad de los mismos al

mínimo costo. El objetivo del control en el programa de mantenimiento es el de canalizar, planificar y programar la demanda del trabajo, como por ejemplo que el volumen de trabajo esté de acuerdo con los recursos disponibles (mano de obra, materiales y contratos).

Los elementos que se pueden controlar y que tienen relación con el mantenimiento son:

- Las personas que ejecutan las labores de mantenimiento.
- Los equipos e instalaciones que requieren esfuerzos de operación y mantenimiento.
- Los materiales y repuestos.
- Los costos de mantenimiento.

Por lo tanto las áreas de responsabilidad de un sistema de administración de mantenimiento serían:

- Control del trabajo
- Control de equipos
- Control de materiales
- Control de costos

1) Control del trabajo

Este tipo de control se constituye como una guía tanto para la operación como para el mantenimiento, lográndose un trabajo óptimo y confiable. Esto implica la toma de decisiones en el ámbito de supervisión basándose en lo siguiente:

- A) La planificación es la base para el control
- B) La información es la guía para el control
- C) La acción es la esencia para el control

El sistema de control del trabajo a diseñar, estará fundamentado en pasos básicos del flujo de procesamiento y de control de una orden de trabajo; ya sea que se genere del programa actual de mantenimiento o a través de una solicitud de trabajo.

El documento básico de comunicación en el sistema de control de trabajo, es la orden de trabajo en donde además de ésta se puede obtener información con respecto a:

- Qué actividades se realizaron
- En dónde se realizaron

- Quién las realizo
- Quién lo autorizo
- Cuánto tiempo se empleó
- Materiales utilizados
- Costos

## 2) Control de equipos

El objetivo será el de archivar, informar y permitir el análisis de la información significativa sobre las actividades de mantenimiento realizadas.

El control de los equipos tiene las siguientes responsabilidades:

- Seleccionar los equipos a ser utilizados en el monitoreo de las líneas
- Identificación y codificación de los equipos
- Desarrollo de los programas de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Actualización de los programas de mantenimiento de acuerdo a los resultados prácticos de su aplicación.
- Abrir y actualizar archivos técnicos e historiales, biblioteca técnica y una planoteca.
- Mantener archivos técnicos e historiales para cada línea.

El sistema de control de líneas constará de los siguientes archivos:

- Archivo técnicos de las líneas.-  
Contempla la información básica como: planos, especificaciones, pruebas, lista de repuestos, órdenes de compra, contratos de mantenimiento, etc.
- Historial de las líneas e instalaciones.-  
Información dinámica como: órdenes de trabajo, fallas, reparaciones, inspecciones, etc.

## 3) Control de materiales y repuestos

En la elaboración de los procedimientos asociados a las actividades de mantenimiento por líneas intervienen, entre otros factores, los materiales, repuestos y herramientas cuya existencia deberá ser verificada por el responsable de almacén de la unidad operativa. En el caso de no existir los materiales requeridos será necesario la realización de adquisiciones a

través de compras locales o importaciones que serán supervisadas por el departamento de administración.

En el reporte del trabajo de mantenimiento realizado se dispone de la información acerca de los materiales y repuestos utilizados, cuyos costos son cuantificados por el delegado administrativo y el asistente de programación y control.

#### 4) Control de costos

Establecer los costos referentes a mano de obra, materiales, repuestos y otros, los mismos que serán contabilizados en el reporte del trabajo realizado.

Finalmente el jefe de mantenimiento deberá explorar y mejorar permanentemente los sistemas de control y evaluación a su alcance, de tal forma que el ejercicio de planeación sea lo más real posible; para cumplir los objetivos y metas inicialmente establecidos.

### 5.3.8 Diagramas de flujo, orden de trabajo, solicitud de trabajos y reportes.

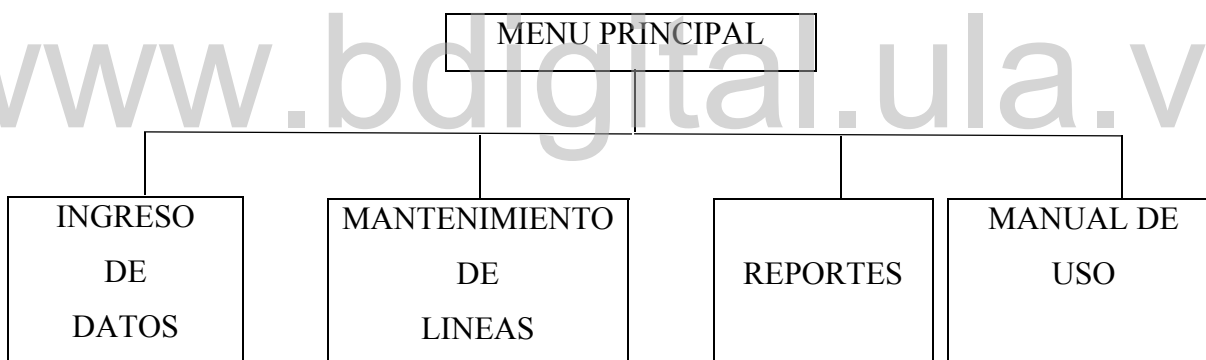


Fig. 5.12 Diagrama de flujo de Mantenimiento.

Ingreso de datos:

- Crea datos del reporte de mantenimiento
- Crea datos generales de las líneas (por códigos, características, estructuras)
- Crea datos de mantenimiento realizado

Mantenimiento de líneas:

Preventivo:

- Crea/Edita el último mantenimiento.

- Crea/Edita códigos y características de las líneas
- Programa los recursos necesarios
- Analiza transferencia de carga
- Analiza quienes ejecutan la obra
- Crea/Edita el próximo mantenimiento

#### Predictivo:

- Crea/Edita el último mantenimiento.
- Crea/Edita códigos y características de las líneas
- Programa los recursos necesarios
- Analiza transferencia de carga
- Analiza quienes ejecutan la obra
- Crea/Edita el próximo mantenimiento

#### Correctivo:

- Crea/Edita el último mantenimiento
- Crea/Edita Códigos y características de las líneas.
- Programa los recursos necesarios.
- Analiza la transferencia de carga
- Analiza quienes ejecutan la obra.
- Crea/Edita el próximo mantenimiento
- Crea/Edita respaldos.

#### Reportes:

- Indica códigos y características de las líneas, por estructuras y por número de estructura.
- Último mantenimiento (preventivo, predictivo o correctivo)
- Nuevo mantenimiento (preventivo, predictivo o correctivo) con sus respectivos recursos en caso de existir, de lo contrario se debe contratar personal privado.
- Planificación del trabajo.
- Trabajos ejecutados.
- Actualiza datos.

- Impresión de resultados.
- Diarios de labores.

Manual de uso:

- Manejo del programa
- Instrucciones de ayuda
- Tipo de lenguaje utilizado y versión

Para una correcta programación del mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, el personal encargado de la programación y control; tendrá que seguir paso a paso los siguientes diagramas de flujo.

### **5.3.9 Orden de trabajo**

Su objetivo es llevar en forma organizada la ejecución de los trabajos y obtener la información para la administración del mantenimiento.

La orden de trabajo permite el control tanto del trabajo como de los costos de mantenimiento, además de ayudar a preparar los informes que evalúan la carga y la cantidad de trabajo. Suministra también información para crear un historial por cada labor que se realice en determinada línea y facilita la información para actualizar el archivo técnico y el inventario de la línea, considerando los materiales y repuestos empleados.

La empresa eléctrica realiza una orden de trabajo cuando las actividades a realizarse son de gran magnitud con un elevado gasto económico, dando a entender que trabajos pequeños como limpieza de vegetación en el ancho de corredor, mantenimiento de las torres, cambio de aisladores rotos, etc., no son llevados con un régimen administrativos, con la respectiva apertura de la orden de trabajo.

### **5.3.10 Solicitud de trabajo**

Conceptualmente todo trabajo que implique intervención a las líneas del sistema de potencia y que no esté incluido en el programa anual de mantenimiento, deberá ser solicitado a través de la apertura del formulario de apertura de solicitud de trabajo; este trámite se realizará especialmente en los casos donde no exista la apertura de la orden de trabajo.

### 5.3.11 Adquisición y control de Stocks.

Es importante que el capital no esté amortizado innecesariamente en stocks como partes de repuestos. Los niveles de restitución son reestablecidos para cada uno de los ítems del stock, que harán que una orden de requisición sea emitida o solicitada cuando el nivel de existencia haya llegado al punto en el que debe realizarse el pedido [19].

### 5.4 Inspección de ancho de corredor.

Una actividad muy importante del mantenimiento a las líneas de transmisión es conservar limpio el camino de acceso de éstas, como se muestra en la fig. 5.12, para evitar salidas de líneas por maleza, quema de arbustos, caída de árboles o ramas, ya que en ocasiones, los dueños de las zonas aledañas realizan quemas y provocan salidas de líneas [10].

El personal designado para esta actividad debe recorrer desde las bases de las torres, todo el camino de acceso.

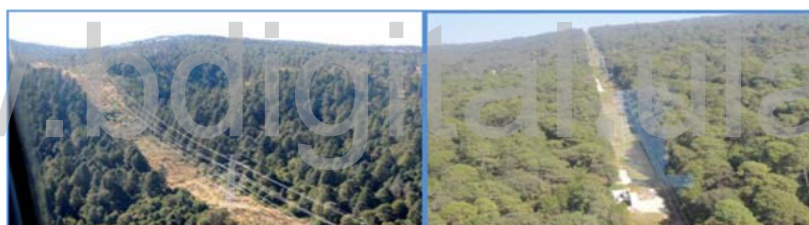


Fig. 5.12 Ancho de corredor de líneas de transmisión

La periodicidad de limpieza del ancho del corredor y la manutención de accesos es función del crecimiento vegetativo reinante y del levantamiento en el campo. En los programas se debe informar cuales son las líneas y los meses que deben realizarse los servicios relacionados.

### 5.5 Mantenimiento de caminos de acceso.

Comprende la limpieza y arreglo de los desperfectos ocasionados por las lluvias, derrumbes, crecimiento de maleza, u otras causas en los caminos de acceso. El camino se hará de 3 m de ancho y la cantidad de caminos se distribuirá a lo largo de toda la pica y donde el supervisor lo crea conveniente [2].



## 5.6 Control de vegetación

La empresa nombra los inspectores y éstos serán los encargados de que los trabajos sean realizados a satisfacción. Los inspectores utilizan cintas métricas para medir la anchura de la pica de acuerdo al nivel de tensión. En el caso de 115 kV se debe tener un ancho total de 20 m, del eje de las torres hacia cada lado 10 m, y para 230 kV se debe tener un total de ancho de 30 m, del eje de las torres 15 m hacia cada lado. Los árboles que estén debajo o a un lado de la línea, le corresponde una distancia de 3,4 m entre el conductor y el árbol. El contratista tiene que ponerse de acuerdo con los inspectores para pedir un permiso de consignación para sacar la línea fuera de servicio y proceder a cortarlos [2].

## 5.7 Lavado de cadena de aisladores

Es una técnica de mantenimiento preventivo que consiste en el lavado mediante la aplicación de agua mineralizada, pulverizada y a presión en aisladores que componen las estructuras, como se muestra en la Fig. 5.13, ya que éstos están expuestos constantemente a polución, contaminación, etc. Si hay quema de maleza en las cercanías, industrias, etc., es mayor la cantidad de residuos depositados en los aisladores, lo que ocasiona aumento del efecto corona y crea caminos de corrientes de los cables conductores a las estructuras, este método podría considerarse que es el más aplicado a nivel mundial ya que puede hacerse con la línea energizada; básicamente consiste en aplicar al aislamiento un chorro de agua a presión con la finalidad de eliminar la capa contaminante depositada en el mismo. Este método es efectivo cuando los agentes contaminantes sean solubles al agua o cuando presenten poca adherencia a la superficie del conductor. Se puede aplicar de forma manual utilizando surtidores portátiles de agua y de forma automática por medio de bombas de alta presión que atomizan directamente sobre los aisladores.

Al momento de aplicar el lavado en caliente se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los aisladores se deben lavar totalmente y con la periodicidad adecuada entre un lavado y otro, con la finalidad de evitar la formación de una capa contaminante que ponga en riesgo al aislador.
- El lavado no debe generar flameo sobre los aisladores, es por ello que se debe iniciar desde la parte inferior e ir subiendo progresivamente por ellos, evitando el

flujo de agua contaminada y posibles flameos; luego se realizara un segundo lavado con la finalidad de eliminar el agua residual.

- Se deben tomar todas las medidas de seguridad necesarias para evitar que ocurran flameos hacia los surtidores o atomizadores, la manguera debe estar conectada sólidamente a tierra y el operador deberá permanecer en una plataforma elevada.

El problema más grande de seguridad que debe resolverse en la aplicación de esta técnica es el evitar la electrocución del operario en el momento de efectuar el lavado. Se tienen ciertos elementos que no pueden controlarse totalmente como son: el chorro de agua, la distancia desde la boquilla al elemento aislante, la presión del chorro y la conductividad del agua, las características de la boquilla y la velocidad de lavado [21].



Fig. 5.13 Lavado de Cadena de aisladores con helicóptero

Limpieza manual: se realiza con paños y materiales para el retiro de residuos que no pueden ser retirados mediante el lavado de los aisladores en redes eléctricas [21].

## 5.8 Medición de resistencia de puesta a tierra

La medición se realiza utilizando el método de caída de potencial, como se muestra en la Fig. 5.14. Esto es necesario debido a los factores de envejecimiento y corrosión de conexión que presenta algunos materiales; durante este mantenimiento se realizan las siguientes actividades:

- Medición de la resistencia de puesta a tierra de la estructura.
- Revisión de las conexiones de los cables de guarda a la estructura, colas de rata, bajantes de las patas de la estructura a la cimentación.
- Reparación de los sistemas de puesta a tierra que presenten daños físicos.
- Corrección o mejoramiento de la red de puesta a tierra.

Este método se basa en la inyección de una corriente de prueba en el electrodo bajo análisis (red de puesta a tierra), Para ello, se toman las medidas de la tensión a diferentes distancias, tomando como base la distancia que existe entre patas 1 y 4. Para el electrodo auxiliar de potencial P, el valor representativo se centra cuando la diferencia máxima de resistencia entre mediciones sea menor a  $5 \Omega$ , lo que se considera aceptable.

La dirección de la medición debe ser perpendicular o longitudinal a la línea. Se instala el electrodo auxiliar de corriente C y su cable asociado en la dirección seleccionada, a 50 m del electrodo E cuando la longitud de la contra-antena sea menor o igual a 12 m; para longitudes mayores la distancia debe ser de 75m del electrodo E.

En este método es necesario realizar 3 mediciones:

- Primera Medición:

Colocar el electrodo auxiliar de potencial P y su cable asociado en la dirección al electrodo de corriente al 52% de la medición entre patas 1-3 o 2-4 multiplicado 4 veces.

- Segunda Medición:

La segunda medición se realiza instalando el electrodo P, a 62% de la distancia de la medición entre patas 1-3 o 2-4 multiplicado 4 veces.

- Tercera Medición:

La última medición se efectúa instalando el electrodo P, a 72 % de la distancia de la medición entre patas 1-3 o 2-4 multiplicado 4 veces.

El valor representativo de la resistencia (R) de la red de puesta a tierra se considera lo correspondiente a la lectura realizada cuando el electrodo se encuentra a 62%.

Tendido del cable de inyección de corriente:

- Para la inyección de la corriente, se emplea un cable de  $10 \text{ mm}^2$ .
- Si el recorrido del cable de inyección de corriente es por zonas con tráfico vehicular, se dispondrá de todas las medidas preventivas como letreros de avisos de peligro.

Casos no recomendables para las mediciones:

- No realizar estas pruebas si hubo lluvia en la zona por lo menos en los dos días anteriores o en temporada de lluvias y tormentas.
- Durante alto porcentaje de humedad relativa.
- Cuando hay conductores muy desgastados, sulfatados y no se logra buen contacto con el conector.
- Durante la ejecución de trabajos de mantenimiento sobre la infraestructura de las proximidades.

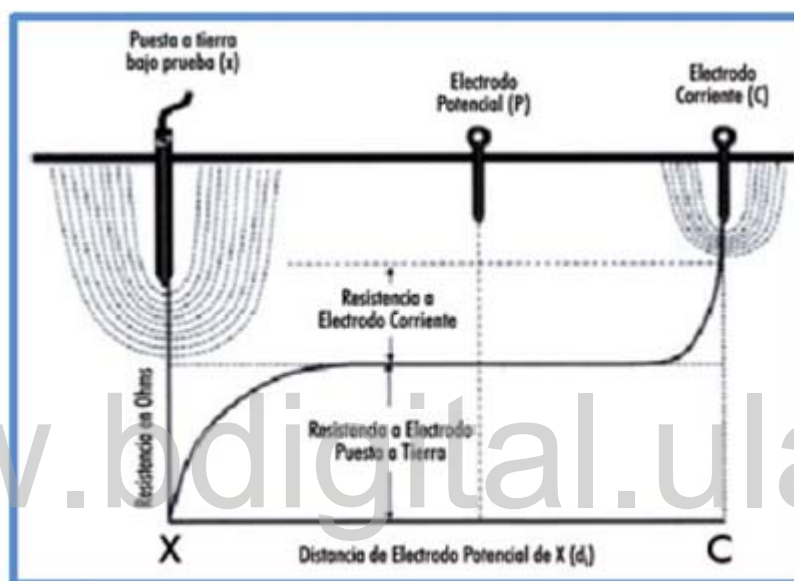


Fig. 5.14 Medición de puesta a tierra [12].



Fig. 5.15 Equipos empleados para las mediciones de puesta a tierra [20].

### 5.8.1 Método directo

Consiste en medir la resistencia de la conexión del sistema de tierra de la estructura, desde la conexión del cable de guarda a la conexión de sistema de tierra de la estructura, sin pasar la

medición de  $0,08 \Omega$ . En el caso de que la medición sea mayor, es necesario limpiar y reapretar las conexiones para tener la certeza de que podrá drenar alguna posible descarga atmosférica que pueda llegar a caer en las líneas de transmisión; los trabajos se pueden realizar con la línea energizada, siempre y cuando se tomen las medidas preventivas correspondientes, ya que de no realizar las actividades con precaución pueden ocurrir accidentes.

La actividad consta de hacer la medición de la resistencia del terreno en cada estructura que conforme la línea de transmisión antes de las épocas de estiaje para que en temporadas de lluvia tener la seguridad de que se puedan drenar las posibles descargas eléctricas que lleguen a caer sobre las líneas.

## 5.9 Inspección por efecto corona

Factores que influyen en el efecto corona:

- Presión atmosférica: si baja la presión atmosférica disminuye la rigidez dieléctrica del aire por lo tanto contribuye a la aparición y aumento del efecto corona.
- Humedad: el aumento de la humedad relativa favorece las descargas del efecto corona.
- Temperatura: a temperatura alta la presión atmosférica es baja, disminuye la rigidez dieléctrica del aire y por lo tanto aumenta el efecto corona [12].

### Flujograma de Criticidad:

La cámara de coronografía o cámara de ultravioleta es un equipo de alta tecnología que permite detectar la fuente de generación UV y medir su intensidad en unidades relativas que se identifican como fotones, a esta medición de la intensidad se le llama "conteo". El fabricante líder mundial de tecnología óptica y digital de detección e imágenes UV, OFIL, recomienda ciertos parámetros que definen la criticidad del efecto corona de acuerdo al conteo obtenido en campo, al utilizar una cámara ultravioleta [20].

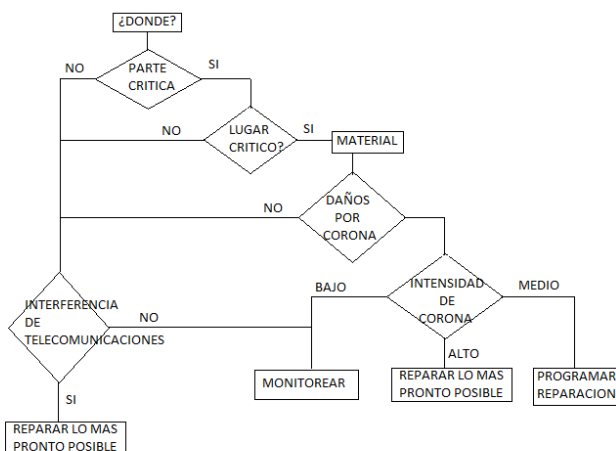


Fig. 5.16 Flujograma de toma de decisiones ante la presencia de efecto corona [20].

La cámara hace un conteo de fotones y de acuerdo a la siguiente tabla se puede determinar la cantidad de efecto corona se está produciendo

TABLA DE CRITICIDAD > 115 KV				
Clase	Conteo	Criticidad	Comentario	Periodo
Clase A	Mayor a 10000	Alto	Presencia Alto de Efecto Corona. Por lo que requiere hacer una intervención inmediata.	0-90 DIAS
Clase B	5000-10000	Medio	Presencia Media de Efecto Corona. Por lo que requiere hacer un seguimiento y ver la evolución de fotones en el próximo reporte.	15-90 DIAS
Clase C	0-5000	Bajo	Presencia de efecto corona de baja intensidad. Por lo que no requiere ninguna actuación hasta el próximo reporte de UV.	6-12 MESES

Fig. 5.17 Tabla de criticidad de efecto corona [20]

Los programas para mantenimiento predictivo son los siguientes:

Programa de inspección termografía con uso de drones con cámaras termográficas:

En Venezuela actualmente se realiza este programa como parte del mantenimiento predictivo ejecutándose dos veces al año por personal especializado de la división de transmisión.

Consiste en la observación visual de todos los puntos de conexión, con el uso del termovisor. Esta inspección se realiza normalmente en horas de mayor carga en las líneas y cuando la luz solar sea más débil para evitar resultados erróneos.

Con los modelos de dron en los cuales vienen integradas las cámaras termográficas se puede realizar, mientras se recorre la línea, la termografía a las líneas de transmisión, empleando el equipo respectivo, para encontrar puntos críticos con alto grado de temperatura, lo cual indica que tienen que ser atendidas. No requiere contacto físico con el sistema, como se muestra en las Fig. 5.18 y 5.19, por lo que pueden realizarse las inspecciones a plena condiciones de operación, por lo cual la empresa no tendría tiempo de inactividad ni parada de producción. Es una técnica de mantenimiento predictivo que puede ser usada para el monitoreo de la condición de máquinas, estructuras y sistemas. También se pueden detectar anomalías. Por ejemplo en áreas que están a más alta o más baja temperatura de lo que deberían estar, es decir fuera del rango de temperatura del funcionamiento normal.



Fig. 5.18 Inspección termográfica con termovisor o cámara infrarroja de piso [20].

Una vez localizado, se procede a corregir el punto caliente; algunos de estos puntos pueden encontrarse en los siguientes elementos:

- Hilos rotos en conductores
- En herrajes de remate de conductores (pistolas mecánicas o a compresión)
- Herrajes de suspensión de conductores
- Empalmes de conductores

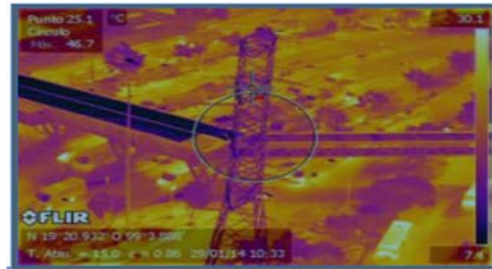


Fig. 5.19 Imagen térmica de una torre [12].

Otro factor a considerar es el siguiente: antes de hacer la medición de temperatura de las líneas se debe saber en cuanto está la carga, como se muestra en la Fig. 5.22, es decir en cuanto está la magnitud de las corrientes, las cuales se pueden ver en los relés de protección que además indican el porcentaje de carga [20].



Fig. 5.20 Relé de protección, indicando los valores de las corrientes en las líneas [20]

Otra consideración a tomar es la velocidad del viento. Para poder tomar una medición correcta de temperatura se recomienda con velocidad del viento menor a 5 m/s; de lo contrario los valores tomados de temperatura no serían confiables. Para esto se trabaja con un anemómetro el cual mide la velocidad del viento. Ver Fig. 5.21.





Fig. 5.21 Anemómetro, medidor de velocidad del viento [20].

A continuación se presenta los siguientes criterios de evaluación para la inspección termografía:

- Los gradientes de temperatura menores a 5° C no indican problema alguno, por lo tanto la inspección se considera normal.
- Los gradientes de temperatura entre 5 y 10° C, ameritan monitoreo de los elementos bajo estudio y esperar una próxima inspección.
- Los gradientes de temperatura entre 10 y 20° C, indican hacer reparaciones lo antes posible.
- Un gradiente de temperatura mayor a 20° C, indica que hay que reparar la falla inmediatamente.

**Criterios de evaluación.**

Clasificación	Diagnóstico	ITC*	NETA	B.EXP	US Navy	Código Color	CRITERIO DE EVALUACION SEGÚN EXPERIENCIA		
							Diferencia de temperatura	Relevancia	
Menor	Sospecha de falla	<5°C	1-3°C	0-10°C	10-24°C	00000000	Menor a 5°C	1	Normal
Intermedio	Falla probable	N/A	4-15°C	10-20°C	25-39°C	00000000	5°C a 10°C	2	Leve
							10°C a 20°C	3	Grave
Serio	Falla a ocurrir	5-30°C	N/A	20-40°C	40-69°C	00000000	Mayor a 20°C	4	Muy crítico
Inmediato	Falla inminente	>30°C	>15°C	>40°C	>70°C	00000000			

Fig. 5.22 Tablas de criterios de evaluación según las diferencias de temperaturas entre fases [20].



Fig. 5.23 Imagen aérea termografía tomada por un dron matrice 300 rtk [20].

Con el uso de drones para inspecciones se puede hacer correctamente la georreferenciación con su conexión GPS para las torres y verse con más detalles, las condiciones físicas de los elementos y componentes por la alta resolución de sus cámaras, a continuación se muestran algunas imágenes captadas por un dron en inspección de líneas:

Torres a las que se les realiza la inspección, y el reporte de las condiciones termográficas.

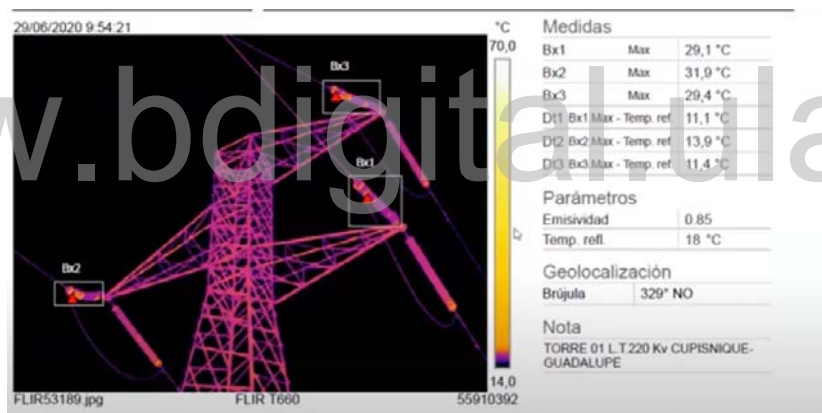


Fig. 5.24 Resultados de inspección termografía de torre [20].

Para el mantenimiento correctivo de las líneas se procede a las siguientes actividades:

### 5.10 Sustitución de aislamiento

Esta actividad de mantenimiento correctivo será realizada con la línea desenergizada y con previa programación de salida de línea para no afectar el servicio o restar confiabilidad a la red eléctrica de la zona [12].

Como se sabe existen dos tipos de estructuras:

- Suspensión
- Tensión

### 5.10.1 Sustitución de aislamiento en estructuras de tipo suspensión

- Se debe preparar el material y las herramientas a utilizar en la maniobra; además es necesario que toda la cuadrilla esté enterada de todo el procedimiento a realizar.
- Se tramita la autorización con el área de control central, para poder aterrizar en las subestaciones e instalar tierras auxiliares donde se va a realizar el trabajo. Esta actividad la puede desempeñar el responsable de los trabajos (jefe de Oficina y liniero).
- Instalación de polea y soga mandadera para subir herramienta como montacargas, yugos y estrobos de acero; esta actividad la puede desempeñar el liniero o ayudante liniero.
- El liniero que se encuentra en el conductor, acciona el montacargas para aflojar la cadena, también retira la chaveta del aislador inferior y tensiona el montacargas para aflojar la cadena.
- El liniero que se encuentra en el conductor, retira el aislador inferior de la calavera e instala estrobo entre el cuarto o quinto aislador de la cadena, de arriba hacia abajo, sujetando la soga mandadera.
  - El personal que se encuentra debajo de la estructura, amarra la nueva cadena de aislamiento con la soga mandadera; es necesario que la mandadera quede tensionada.
  - El liniero retira chaveta de aislador superior con ayuda de pinzas y desarmador, luego desengancha la cadena, cargando en la soga mandadera para que esta quede tensionada.
- La maniobra de bajar cadena de aislamiento retirada y al mismo tiempo subir cadena nueva.
- Colocar chaveta de aislador superior e inferior, colocación de calavera inferior.
- El personal baja la herramienta utilizada en dicha maniobra así como el retiro de las tierras auxiliares.

Si no se van a realizar más trabajos sobre la línea en cuestión, se retira la autorización en el área de control central.



Fig. 5.25 Maniobra cambio de aislamiento en estructura de suspensión.

### 5.10.2 Sustitución de aislamiento en estructura de tensión

- Preparar el material y la herramienta a utilizar en la maniobra; además es necesario que toda la cuadrilla esté enterada del procedimiento a realizar.
- Cerciorarse que se encuentre aterrizado en ambos extremos de la línea para poder instalar las tierras auxiliares. Instalar polea mandadera, estobos en trabe y yugo delantero, así como montacargas.
- Una vez instalado el montacargas se tensiona para poder sacar el aislador de la calavera y aflojar lentamente la cadena.
- Se baja la cadena a retirar y al mismo tiempo se sube la cadena nueva.
- Se engancha el aislador en la calavera del yugo delantero.
- Se afloja montacargas para instalar la chaveta.
- Retirar equipo y material utilizado.
- Retirar tierras auxiliares para energizar la línea [12].



Fig. 5.26 Maniobra de cambio de aislamiento en estructura de tipo tensión [12].

### 5.11 Si se encuentra un conductor roto

- Selección de material y vehículo de doble tracción
- Señoritas de 1 ½ y 3 toneladas
- Cortina metálica
- Mecates de fuerza

- Mecates de servicios
- Escaleras de linieros
- Máquinas de empalme
- Empalme de conductores
- Grilletes y estribos
- Pértigas de aterramiento
- Caja de herramientas
- Botiquín de primeros auxilios
- Poleas para conductor, poleas para guayas y de servicio
- Conductor de mismo calibre del conductor averiado
- Equipos y herramientas por lindero (cinturón de seguridad, casco de seguridad, botas de seguridad, alicate, llave ajustable, destornilladores, etc.)

### 5.12 Cadena de aislamiento perforada

Puede presentarse fallas en las líneas por descargas atmosféricas, aunque la función del cable de guarda es recibir las mismas hay una baja probabilidad de que aun así las descargas ocurran sobre los cables conductores o los aisladores. Si no hay un buen aterramiento puede ocurrir un flameo inverso que perfore las cadenas de aislamiento, ocasionado por onda viajera en la estructura después de la descarga atmosférica y no se drene de manera efectiva la corriente a tierra.



Fig. 5.27 Cadena de aislamiento flameada [12].

Una vez se encuentra el lugar de la falla se procede a realizar un estudio y coordinación de aislamiento de las líneas. Esto ayuda a obtener la selección adecuada del nivel de aislamiento, en relación a las tensiones que pueden presentarse en el sistema, así como saber los valores del sistema de tierra y terreno cuando se determina que existió flameo inverso en una de las líneas.

Para realizar el estudio de la coordinación de aislamiento de las líneas

Pasos a seguir para la sustitución de una cadena de aislamiento:

- Solicitar permiso de consignación
- Conectar a tierra ambos extremos de la línea fallada.
- Proceder al cambio de la cadena utilizando los siguientes materiales y equipos:
  - Mecate de servicio con polea.
  - Una señorita de 1, 1 ½ y 3 toneladas.
  - Una escalera
  - Grilletes y estribos.
  - Platos de aisladores
  - Un liniero con todos sus implementos de trabajo.
- Al finalizar los trabajos se procede a quitar el aterramiento y participarle al jefe de consignación que los trabajos fueron concluidos y que el personal se encuentra fuera de peligro, por lo tanto pueda energizar la línea [12].

www.bdigital.ula.ve

## CONCLUSIONES

Un sistema eléctrico de potencia, dado su complejidad e importancia, exige el desarrollo de buenas técnicas de mantenimiento porque de ello dependerá notablemente su funcionamiento y vida útil. Para las líneas de alta tensión, debido, a que se encuentran en el exterior, están expuestos a diversas condiciones climáticas, se hace necesario normalizar cada una de las actividades de mantenimiento planteadas y así lograr un buen rendimiento económico y operativo.

Con la normalización de las técnicas de inspección y mantenimiento antes planteadas y las ejecuciones de rutina (reportes de mantenimiento, ordenes de trabajo) se puede lograr una buena planificación en los sistemas eléctrico, lo cual influye de manera importante en la prestación y calidad del servicio a los sectores industrial, comercial y residencial.

Es de suma importancia que el personal esté capacitado y orientado en cuanto a las nuevas técnicas de inspección y mantenimiento adecuados para optimizar los procesos de los mismos y en consecuencia un buen funcionamiento de los componentes de las líneas de alta tensión durante su periodo de vida útil.

Con el programa de mantenimiento que en el presente trabajo se contempla, el control y seguimiento de las condiciones de los componentes de las líneas de alta tensión, el llevar un registro histórico de fallas y una planificación de generación de reportes y órdenes de trabajo, reducirá de manera significativa la posibilidad de accidentes para el personal de mantenimiento. Se deben llevar a cabo las técnicas de inspección con el uso de drones, para además prevenir o reducir fallas por maniobras incorrectas.

## RECOMENDACIONES

- El personal del departamento de mantenimiento debe recibir el entrenamiento, la capacitación y estar familiarizado con las nuevas técnicas de mantenimiento para así desarrollar una buena planificación de los programas de mantenimiento.
- Se sugiere periódicamente la revisión de las políticas de mantenimiento con el fin de actualizar y optimizar las actividades que se llevan a cabo de mantenimiento.
- Con los nuevos lineamientos de mantenimiento, desarrollar en el sistema de líneas de alta tensión un buen plan de mantenimiento.
- Con el estudio realizado en esta investigación, en el área de mantenimiento de líneas de transmisión, se evalúa el objetivo de su organización, determina oportunidades de mejora, calcula su carga de trabajo y propone las acciones que de allí se deriven.
- El crecimiento del sistema de transmisión y su constante aumento en la exigencia de la prestación del servicio, la oportuna atención a las contingencias que se presentan, ameritan la aplicación y actualización de las nuevas técnicas de mantenimiento.



## GLOSARIO

**Aluminio 1350-H19:** Cableado concéntrico construidos con un alambre redondo, recto central, rodeado por una o más capas de alambres colocadas helicoidalmente. Los conductores son para uso general con fines eléctricos.

**Aluminio 6201-T81:** son utilizados para líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, cuando por razones de diseño de la línea, se necesita un esfuerzo de tensión elevado y una elevada relación esfuerzo mecánico-peso

**Amortiguadores:** Dispositivo mecánico integrado por una grapa de sujeción, cable mensajero y dos contrapesos, cuyo objetivo es el de atenuar la amplitud de las vibraciones eólicas, para efectos de protección de los cables en líneas aéreas contra fallas por fatiga de los puntos de restricción en movimiento

**Anemómetro:** es un aparato meteorológico utilizado para medir la velocidad del viento

**Anilla:** Sirve para estabilizar el campo alrededor del aislador y cadena para condición estable y en transitorio durante falla, para minimizar la rotura del aislador (vidrio) o flameo (porcelana) y también de completar con aros descargadores para proteger el aislamiento

**Cámara angular:** Cámara con Lente de longitud focal corta, cuyo ángulo de visión es más amplio que el del ojo humano, aproximadamente entre 60 y 180 grados. Varía entre 10 a 35mm. Alarga los objetos y las distancias entre estos, y hace ver las escenas más espaciosas.

**Cantiléver:** Es un elemento estructural rígido que se extiende horizontalmente y se apoya en un solo extremo.

**Carga disruptiva:** son aquellas en las que la corriente consigue atravesar por completo el aislante que separa a dos conductores de diferente potencial.

**Carga mecánica de ruptura:** Carga que causa la fractura en un ensayo de tracción, compresión, flexión o torsión.

**Cargas zonales:** Son aquellas que se posan en las capas superficiales o poco profundas del suelo, por tener éste suficiente capacidad portante o por tratarse de construcciones de importancia secundaria y relativamente livianas. En este tipo de cimentación, la carga se reparte en un plano de apoyo horizontal.

**Celosía:** es una construcción marco hecha de perfiles de acero o de aluminio. Torres de celosía se utilizan para líneas eléctricas de todas las tensiones, y son el tipo más común para

las líneas de transmisión de alto voltaje. Torres de celosía se hacen generalmente de acero galvanizado.

**Celosías arriostradas** consistente en pórticos de fachada atirantados, formados por pilares unidos entre sí mediante barras diagonales.

**Cerámico piezoeléctrico:** son el elemento principal de los transductores y convertidores ultrasónicos y son responsables por la conversión de la energía eléctrica en ondas de ultrasonidos y viceversa a través del efecto piezoeléctrico.

**Cimentaciones:** Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales de una estructura cuya misión es transmitir sus cargas o elementos apoyados en ella al suelo, distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales.

**Claro interpostal:** es la distancia horizontal de separación entre torres a lo largo de un vano.

**Clemas:** es un tipo de conector eléctrico en el que un cable se aprisiona contra una pieza metálica mediante el uso de un tornillo.

**Cojinetes:** elemento mecánico que restringe el movimiento relativo entre dos partes de un mecanismo, permitiendo solo el movimiento deseado y reduciendo la fricción entre ambos.

**Cola de rata:** Tramo de cable de acero galvanizado usado para conectar el hilo de guarda a la estructura.

**Contra – antenas:** cables conductores conectados a las estructuras de las torres, van enterrados en el suelo, la resistencia disminuirá con el aumento de la longitud y con aumento del diámetro de la contra – antena enterrada, si el suelo tiene muy alta resistividad los contrapesos entre estructuras se conectan entre sí.

**Críticidad:** Actitud, proceso o condición de crítico (relativo a la crítica, relativo a la crisis, decisivo, que juzga con rigor).

**Crucetas:** son las encargadas de sostener los aisladores y el conductor de la línea aérea.

**Cupilla:** pasador de seguridad que llevan los grilletes.

**Chaveta:** Se llama chaveta a una pieza mecánica que permite unir dos elementos de una forma específica.

**Desbroce:** Consiste en extraer y retirar de las zonas designadas, todos los árboles, plantas, maleza, maderas caídas, escombros, basura o cualquier otro material indeseable a juicio del director de las obras.

**Diseño térmico:** es una rama del diseño de ingeniería, una contraparte del diseño de máquinas que típicamente incluye energía, flujo de fluidos, termodinámica y transferencia de calor.

**Efluvios:** Emisión de vapor o de partículas muy pequeñas, que se desprenden de un cuerpo.

**Energía acústica:** es la energía que transmiten o transportan las ondas sonoras. Procede de la energía de la vibración del foco sonoro y se propaga a las partículas del medio que

atraviesan en forma de energía cinética (movimiento de las partículas), y de energía potencial (cambios de presión producidos en dicho medio o presión sonora).

**Energía infrarroja:** es una radiación electromagnética cuya longitud de onda comprende desde los 760-780 nm, limitando con el color rojo en la zona visible del espectro, hasta los 10.000 o 15.000 nm, limitando con las microondas.

**Enfoque sistemático:** representa la secuencia lineal de acontecimientos.

**Esfuerzos de tracción:** es el esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.

**Estañado:** Operación y resultado de cubrir un objeto con estaño.

**Estratos:** Masa mineral en forma de capa de espesor más o menos uniforme, que constituye los terrenos sedimentarios.

**Estriba:** apoyarse, sostenerse o reposar en algo firme.

**Estrobo:** También denominado eslinga, consiste en un cable, cadena o cinta de material resistente con sus extremos en forma de ojales.

**Fatiga:** fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas se produce más fácilmente que con cargas estáticas.

**Fenómeno de galopeo:** Es una vibración de las líneas eléctricas de baja frecuencia y gran amplitud inducida por la acción de los vientos fuertes que son constantes.

**Fiabilidad:** la fiabilidad se refiere a la estabilidad de los resultados obtenidos cuando una misma prueba de evaluación es realizada por los mismos individuos en distintas ocasiones o por diferentes individuos de niveles similares.

**Fibra óptica:** Filamento de material dieléctrico, como el vidrio o los polímeros acrílicos, capaz de conducir y transmitir impulsos luminosos de uno a otro de sus extremos; permite la transmisión de comunicaciones telefónicas, de televisión, etc., a gran velocidad y distancia, sin necesidad de utilizar señales eléctricas.

**Filtro UV:** Filtro que no afecta a la imagen por ser incoloro. Su factor filtro es 0, y se suele utilizar para proteger los objetivos absorbiendo los rayos ultravioletas.

**Flameo inverso:** Es la descarga que cae en conductores de guarda o directamente en la torre, esta descarga genera una corriente que se dirige hacia el sistema de puesta a tierra que, al no poder disipar gran cantidad de corriente generada, la corriente regresa por la torre generando una sobretensión.

**Fotón:** Partícula mínima de energía luminosa o de otra energía electromagnética que se produce, se transmite y se absorbe.

**Georreferenciación:** es la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos.

**Haz sónico:** Son ondas sonoras corresponden a la rarefacción y compresión periódica del medio en el cual se desplazan.

**impedancia acústica:** es la resistencia que opone un medio a las ondas sonoras que se propagan sobre este y por lo tanto es equivalente a la impedancia eléctrica, es decir una forma de disipación de energía de las ondas que se desplazan en un medio. Se define como la razón entre la presión sonora ( $p$ ) y la velocidad de las partículas ( $v$ ) de un medio material. La impedancia acústica es una propiedad de estado intensiva.

**Índice de protección IP54:** protección contra los depósitos de polvo y el contacto. Las proyecciones de agua procedentes de cualquier dirección tampoco penetrarán en el interior de la carcasa.

**Ionización:** Conversión de los átomos de un compuesto en átomos cargados eléctricamente.

**Ménsula:** Elemento perfilado con diversas molduras que sobresale de un plano vertical y sirve para recibir o sostener algo.

**Palpadores:** son sensores muy empleados en la industria y en los ensayos. Miden la distancia, posición lineal o desplazamiento lineal con gran resolución.

**Parvadas:** grupo de aves que vuelan en grupo mientras se encuentran en la búsqueda de comida.

**Pértigas:** son herramientas creadas para garantizar la distancia de seguridad y aislamiento en la realización de trabajos con o sin tensión y de tareas en las que se deben accionar elementos a grandes distancias o a gran altura.

**Pivote:** Extremo cilíndrico o puntiagudo de una pieza, donde se apoya o inserta otra, bien con carácter fijo o bien de manera que una de ellas pueda girar u oscilar con facilidad respecto de la otra.

**Planoteca:** son elementos esenciales para guardar y mantener en perfecto estado los planos de una construcción. Su estructura cuenta con diseños prácticos que son ideales para almacenar este tipo de documentos de una forma segura, además permanecerán intactos a través de los años.

**Aisladores de Porcelana:** son los elementos que cumplen la función de sujetar mecánicamente a los conductores que forman parte de la línea, manteniéndolos aislados de tierra y de otros conductores.

**Relevadores:** Conocidos también como relés, son dispositivos electromagnéticos que se encargan de abrir y cerrar el paso de la corriente eléctrica y son accionados bajo este mismo tipo de energía.

**Riostras:** Pieza que se coloca oblicuamente en una armazón para asegurar que no se deforme

**Roldanas:** es una polea compuesta por una rueda acanalada, que sirve para aguantar una correa de transmisión, un cable de acero o una cuerda.

**Sistema scada:** es una herramienta de automatización y control industrial utilizada en los procesos productivos que puede controlar, supervisar, recopilar datos, analizar datos y generar informes a distancia mediante una aplicación informática. Su principal función es la de evaluar los datos con el propósito de subsanar posibles errores.

**Stock:** Conjunto de mercancías o productos que se tienen almacenados en espera de su venta o comercialización.

**Talud:** Inclinación de un terreno o de un muro.

**Tirfo:** máquina de elevación y tracción segura, fiable y eficiente, adecuada para muchas aplicaciones

**Transductor:** es un dispositivo capaz de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente de salida, pero de valores muy pequeños en términos relativos con respecto a un generador.

**Vano:** Distancia horizontal entre las torres que soportan la línea de transmisión.

**Zapatas:** Pieza horizontal que se coloca sobre una columna y sobre la que se apoya una estructura superior, especialmente una viga.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## REFERENCIAS

- [1]. [https://www.youtube.com/watch?v=KLS\\_iYCXxxs](https://www.youtube.com/watch?v=KLS_iYCXxxs). Nuevas técnicas de inspección de líneas de transmisión de alta tensión, ING. Gabriel Contreras, T&D Electric, 18/05/2022.
- [2]. Leonardo Arellano (2003). Diseño de un Sistema de Mantenimiento de Equipos Eléctricos en Sistemas de Potencia Eléctrica en 115 kV y 230 kV.
- [3]. <https://envira.es/es/diferentes-tipo-dede-mantenimiento-existen-empresa/>, EUROFILMS Ingenieros y Asociados, 18/05/2022
- [4]. [https://www.significados.com/mantenimiento-correctivo/#:~:text=El%20mantenimiento%20correctivo%20programado%20o,de%20un%20momento%20a%20otro,Empresa 7 graus, Rúa da Lionesa 446, 4465 Matosinhos, Portugal. 02/06/2022](https://www.significados.com/mantenimiento-correctivo/#:~:text=El%20mantenimiento%20correctivo%20programado%20o,de%20un%20momento%20a%20otro,Empresa%207%20graus,Rúa%20da%20Lionesa%20446,4465%20Matosinhos,Portugal.02/06/2022).
- [5] [https://envira.es/es/la-lubricacion-como-parte-del-mantenimiento-industrial/#:~:text=La%20lubricaci%C3%B3n%20es%20una%20operaci%C3%B3n,la%20operaci%C3%B3n%20se%20denomina%20engrasado, Eurofilms Ingenieros y Asociados, 18/05/2022](https://envira.es/es/la-lubricacion-como-parte-del-mantenimiento-industrial/#:~:text=La%20lubricaci%C3%B3n%20es%20una%20operaci%C3%B3n,la%20operaci%C3%B3n%20se%20denomina%20engrasado,Eurofilms%20Ingenieros%20y%20Asociados,18/05/2022)
- [6] <https://blog.infraspeak.com/es/mantenibilidad/>, Infraspeak Luis Martins, Carrera de Lluís Muntadas, 808035 Barcelona, España
- [7] [https://envira.es/es/como-crear-plan-mantenimiento-preventivo/#:~:text=Un%20plan%20de%20mantenimiento%20es,y%20por%20ende%20ampliar%20la, EUROFILMS Ingenieros y Asociados, 18/05/2022](https://envira.es/es/como-crear-plan-mantenimiento-preventivo/#:~:text=Un%20plan%20de%20mantenimiento%20es,y%20por%20ende%20ampliar%20la,EUROFILMS%20Ingenieros%20y%20Asociados,18/05/2022).
- [8] <https://debitoor.es/glosario/costes-indirectos>, Debitoor, 02/06/2022.
- [9] <https://conceptodefinicion.de/dron/>, Adrian Yirda distribución de contenido informativo para usuarios de habla hispana, muestra de publicidad, y recomendación de productos de afiliado., 02/06/2022.
- [10] [https://www.youtube.com/watch?v=KLS\\_iYCXxxs](https://www.youtube.com/watch?v=KLS_iYCXxxs), Nuevas técnicas de inspección de líneas de transmisión de alta tensión, ING. Gabriel Contreras, T&D Electric, 18/05/2022.

- [11] Guía Básica de termografía Land Instrument International (2004).
- [12] Raúl Miguel Meza Hernández. Trabajo de mantenimiento a líneas de transmisión, modalidad de titulación opción VI: Trabajo profesional, Comisión Federal de electricidad, Universidad nacional autónoma de México, Facultad de ingeniería.
- [13] José Alonzo Zorrilla Salas (2019). Propuesta de implementación del plan de mantenimiento basado en criterios de RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) para una línea de transmisión de 500 kV.
- [14] <https://www.monografias.com/trabajos60/inspeccion-ultrasonido-materiales/inspeccion-ultrasonido-materiales>, 10/06/2022
- [15] <https://es.wikipedia.org/wiki/Diagn%C3%B3stico>, enciclopedia web multilingüe de contenido libre basado en un modelo de edición abierta, 10/06/2022
- [16] Comisión Federal de Electricidad México (2012). Manual Para Diseño Electromecánico de Líneas de Transmisión Aéreas.
- [17] <https://informacionclasesiupsm.webnode.com.ve/transmision-de-energia-electrica-ii/>. Ing. Orlando Gómez, unidad II líneas de transmisión elementos constituyentes, 15/06/2022.
- [18] Jovana Mayta (2018). Plan de Mantenimiento para reducir las Interrupciones Imprevistas de la Línea de Transmisión de 60 kV, L-621 S.E. Azángaro – S.E. San Rafael de Electro Puno reportadas al OSINERGMIN. Lima – Perú.
- [19] Eddy Mauricio Abril Pico (1999). Tesis Previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico con la especialización en Sistemas Eléctricos de Potencia. Quito – Ecuador.
- [20] <https://www.youtube.com/watch?v=TYisql0-nsI>, Ing. Gabriel Contreras, Nuevas técnicas de detección en líneas de transmisión, T&D Electric, Lima Perú.  
<https://www.youtube.com/watch?v=jMM6zWMrJwY>, 01/07/2022
- [21] Jesús J. Ceballos. (Mérida, Marzo 2012). Herramienta Computacional para el Diseño del Aislamiento de una Línea de Transmisión.