

## Trabajo Fin de Grado

# DISEÑO Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE UNA LÍNEA ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN CON UN TRAMO AÉREO Y OTRO SUBTERRÁNEO

Autor

Jesús Marco Lara

Director

Antonio Joaquín Montañés Espinosa

Facultad. Universidad de Zaragoza (EINA)

Año. 2020 – 2021



# ÍNDICE

1.	RESUMEN .....	1
2.	INTRODUCCIÓN .....	2
2.1.	<i>PALABRAS CLAVES</i> .....	3
2.2.	<i>OBJETO DEL PROYECTO</i> .....	3
2.3.	<i>ANTECEDENTES</i> .....	4
3.	REGLAMENTACIÓN APLICABLE PARA LÍNEAS ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN .....	5
4.	ÁMBITO DE APLICACIÓN.....	6
5.	CARACTERÍSTICAS Y ESTUDIO DE LÍNEA ALTA TENSIÓN .....	8
5.1.	<i>CARACTERÍSTICAS LÍNEA ELÉCTRICA TIPO</i> .....	8
5.2.	<i>LÍNEA ELÉCTRICA AÉREA Y SUBTERRÁNEA. VENTAJAS Y DESVENTAJAS</i> .....	9
5.3.	<i>COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES ELEMENTOS A INSTALAR EN LÍNEAS AT</i> .....	12
6.	PLAN DE MANTENIMIENTO .....	14
6.1.	<i>PERIODOS DEL MANTENIMIENTO SEGÚN TIPOLOGÍA</i> .....	14
6.2.	<i>TIPOS DE MANTENIMIENTO</i> .....	15
6.2.1.	Mantenimiento predictivo .....	18
6.2.2.	Mantenimiento preventivo .....	20
6.2.3.	Mantenimiento correctivo .....	31
7.	PRECIOS REFERENCIALES DE LÍNEAS ELÉCTRICAS SEGÚN TIPOLOGÍA .....	32
7.1.	<i>TRAMO AÉREO</i> .....	32
7.2.	<i>TRAMO SUBTERRÁNEO</i> .....	33
8.	RECOMENDACIONES.....	35
9.	CONCLUSIONES.....	36
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	37
11.	ANEXOS .....	39
11.1.	<i>Anexo 1. Normas y legislación</i> .....	39
11.2.	<i>Anexo 2. Mantenimiento subestación eléctrica</i> .....	43
11.3.	<i>Anexo 3. Elementos redes de alta tensión</i> .....	45
11.4.	<i>Planos</i> .....	67

# ÍNDICE TABLAS Y FIGURA

Tabla. N.º 1. Datos línea eléctrica aérea .....	8
Tabla. N.º 2. Datos línea eléctrica subterránea .....	8
Tabla. N.º 3. Ventajas y desventajas línea eléctrica aérea y subterránea .....	10
Tabla. N.º 4. Componentes a instalar en las líneas eléctricas .....	13
Tabla. N.º 5. Periodos de mantenimientos línea eléctrica .....	14
Figura. N.º 1. Inspecciones termográficas .....	18
Figura. N.º 2. Mantenimiento de cajas .....	20
Figura. N.º 3. Mantenimientos seccionadores .....	21
Figura. N.º 4. Mantenimientos Líneas aéreas .....	23
Figura. N.º 5. Topografía de nivelación .....	23
Figura. N.º 6. Mantenimientos amortiguadores de fase .....	24
Figura. N.º 7. Mantenimientos de conductores .....	25
Figura. N.º 8. Mantenimiento sistemas de puesta a tierra .....	26
Figura. N.º 9. Mantenimiento empalmes .....	27
Figura. N.º 10. Mantenimiento grapa de sujeción .....	28
Figura. N.º 11. Mantenimiento cadena de aisladores .....	29
Figura. N.º 12. Mantenimiento puentes .....	29
Figura. N.º 13. Mantenimiento herrajes .....	30
Figura. N.º 14. Mantenimiento transformador .....	30
Figura. N.º 15. Mantenimiento postes .....	31
Tabla. N.º 6. Precio tramo aéreo .....	33
Tabla. N.º 7. Precio tramo subterráneo .....	34
Tabla. N.º 8. Datos subestación eléctrica .....	43
Tabla. N.º 9. Plan de mantenimiento subestación eléctrica .....	44
Figura N.º 16. Características Conductores Tipo AL1/ST1A Normalizados .....	46
Figura N.º 17. Características Conductores tipo AL1/A20SA Normalizados .....	47

Figura N.º 18. Características cables de tierra tipo ST1A .....	47
Figura N.º 19. Características cables de tierra tipo A20SA .....	48
Figura N.º 20. Características fibra óptica aérea .....	49
Figura N.º 21. Cable subterráneo .....	50
Figura N.º 22. Característica cable subterráneo .....	51
Figura N.º 23. Característica de la fibra óptica subterránea .....	52
Figura N.º 24. Sección del conductor unipolar Cu de puesta a tierra .....	52
Figura N.º 25. Sección de cables concéntricos .....	53
Figura N.º 26. Características técnicas cable de puesta a tierra .....	53
Figura N.º 27 Características técnicas de los apoyos .....	54
Figura N.º 28 Nivel de aislamiento .....	55
Figura N.º 29 Características de los aisladores de vidrio .....	56
Figura N.º 30 Dimensión de los aisladores de composite .....	56
Figura N.º 31 Cadenas de vidrio normalizadas .....	57
Figura N.º 32 Aisladores de composite normalizados .....	57
Figura N.º 33 Características de las canalizaciones .....	58
Tabla. N.º 10 Cámara de empalmes .....	60
Figura N.º 33 Temperaturas máximas para el conductor .....	61
Figura N.º 34 Intensidades de cortocircuito normalizadas en el conductor .....	61
Figura N.º 35 Intensidades de cortocircuito normalizadas en las pantallas .....	61
Figura N.º 36 Valores de diámetros nominales .....	62
Figura N.º 37 Valores de diámetros nominales y tolerancias .....	62
Figura N.º 38 Detalle de un empalme termo-retráctil .....	63
Figura N.º 39 Detalle de un empalme premoldeado .....	63
Figura N.º 40: Detalle de un empalme prefabricado .....	64
Figura N.º 41 Dimensiones en metros de las cámaras de empalme .....	65
Figura N.º 42 Diseño típico de las cámaras de empalme .....	65



## 1. RESUMEN

El presente trabajo expone las ventajas y posibilidades de las líneas eléctricas, es decir, que se pueden aplicar de manera aérea o subterránea dependiendo de la necesidad y complejidad del proyecto. También sobre el mantenimiento de la línea eléctrica que se debe realizar.

Para diseñar un proyecto de línea eléctrica se debe conocer todos los detalles y analizar punto a punto sin dejar nada a la interpretación. El primer paso es conocer el nivel de tensión que se va a transmitir por esta, así como el recorrido y tipo de terreno donde se desea implementar. Gracias a los equipos de topografías se pueden evaluar las estructuras que se deben utilizar y con los cálculos de ingeniería se definen los conductores y tipos de protecciones que aplican, todo estos deben ser entre las normas nacionales e internacionales.

Las líneas eléctricas son susceptibles a presentar averías lo que genera interrupción en el servicio. También el enfoque de este proyecto es analizar estrategias de mantenimiento que ayuden a minimizar el número de paralizaciones del sistema de transmisión eléctrica, tomando como base que cada parada tiene asociado un tiempo cuantificable que se requiere para restablecer el servicio de energía eléctrica. Motivado a esto es que se les da un punto muy importante a los planes de mantenimiento, como una herramienta para establecer una mejor calidad de servicio en la distribución de energía eléctrica.

El proyecto no engloba, pero también estaría dentro de los apartados del diseño de una línea eléctrica, verificar todos los detalles de su recorrido, con esta información se definen los tramos de la línea eléctrica aérea y los tramos de línea eléctrica subterránea. Esta información se complementa con los estudios de topografías que nos permiten evaluar las condiciones del terreno y definir las estructuras metálicas que se deben utilizar para soportarla.

A través de cálculos de ingeniería se pueden definir los diámetros de los cables y tipos de protecciones necesario para la línea eléctrica, tomando como referencia el nivel de voltaje y la distancia del recorrido del sistema de transmisión, tomando como base las normas nacionales e internacionales y las buenas prácticas de la ingeniería.

Para el desarrollo del proyecto se tomaron como fuentes de información, planes de mantenimientos que ya se realizan directamente en las líneas de transmisión, con base a esto tomamos los más resaltantes y considerados como críticos del sistema, ya que se detectaron las fortalezas y debilidades en cuanto a los procedimientos de trabajo.

## 2. INTRODUCCIÓN

En las comunidades se hace imprescindible el impacto que tiene una línea de transmisión de energía, gracias a esto se eleva la calidad de vida. Estos sistemas de energías deben contar con parámetros técnicos que permitan operar de manera segura, esto se logra conseguir cuando se combinan dos ramas de la ingeniería como son la ingeniería civil y la ingeniería eléctrica. Estas se encargan de estudiar y realizar los cálculos detallados, incluyendo aquellos factores que puedan impactar sobre el diseño de este tipo de proyectos. La ingeniería civil se encarga de la parte estructural y estudios del suelo, mientras que la ingeniería eléctrica sobre los equipos, cálculos y materiales que se requieren para la construcción, seguridad de operaciones y planes de mantenimiento.

En el desarrollo de una línea eléctrica como la que se trabaja en este proyecto se tiene complejidad a la hora de mezclar la línea eléctrica dentro de dos alternativas como son las líneas aéreas y las líneas subterránea, para la conversión de tipología de la línea también se requieren realizar cálculos que nos permitan diseñar los soportes y las estructuras necesarias para poder lograr la conversión y no se vea afectada.

Para poder llevar a cabo cualquier proyecto es necesario estudiar las ventajas y desventajas que nos ofrecen, así como las alternativas que podemos exponer a la hora de desarrollar un proyecto de esta tipología, muchos estudios indican los problemas y beneficios que tienen las líneas aéreas y las líneas subterráneas de acuerdo con su aplicabilidad.

El sistema eléctrico español, dentro de sus normativas ha hecho que se ponga especial atención a un tema tan importante como es el mantenimiento de las líneas eléctricas, ya que la misión fundamental es generar y entregar energía de calidad, que requiere el consumidor final.

Al no cumplir con estas condiciones de continuidad de servicios implicaría al país un limitante en su progreso o desarrollo económico, así como también pérdidas en producción que acarrearían conflicto a los consumidores en todos los sectores tanto residencial, comercial e industrial. Todas estas pérdidas se las puede calcular sobre la base de estudios económicos que realiza la empresa suministradora del servicio de energía.

Para minimizar los impactos negativos se debe disponer de metodologías de mantenimiento que se adapten a los requerimientos y necesidades de las empresas, será la base para obtener una alta confiabilidad. Además, por la complejidad de los sistemas de potencia se requiere que continuamente se introduzcan nuevos planes y programas de mantenimiento.

Para la época se han realizado muchos avances en planes de mantenimiento que son tareas que realizan empresas especialistas, estas pueden agruparse en diferentes niveles de tensión de trabajos, así como en diferentes cantidades de equipos. Es muy importante que se documente todos los planes que se realicen de acuerdo con sus características y alcance de trabajo realizado.

Todos los planes de mantenimiento deben tener referencias y procedimientos para realizar los trabajos de mantenimiento con líneas eléctricas energizadas o desenergizadas. Este tipo de mantenimiento es realizado por especialistas y se considera una herramienta principal para apoyar a mejorar el servicio en el suministro de energía eléctrica y sea considerado de mayor calidad, los usuarios consideran que todas las empresas que ofrecen este tipo de servicio tienen la responsabilidad de garantizar un servicio continuo y estable, es fundamental la continuidad y confiabilidad del sistema eléctrico para que este sea de alta calidad.



## 2.1. PALABRAS CLAVES

Línea eléctrica, alta tensión, aérea, subterránea, poste, torre, aislador, conductor, fibra óptica, cable de guarda, puesta a tierra, transformador, barra, seccionador, mantenimiento, posibilidades, alternativas, entre otros.

## 2.2. OBJETO DEL PROYECTO

Hoy en día se considera la electricidad como la forma de energía más utilizada dentro de las principales industrias como dentro de nuestro hogar. Esta ofrece múltiples beneficios entre estos tenemos que la electricidad es relativamente sencilla de producir en grandes cantidades, se pueden transportar a largas distancias con pocas pérdidas de energía, se puede transformar en diferentes tipos de energía y es económicamente rentable en comparación con otros sistemas de energía. Con la evolución de las máquinas la electricidad se encuentra en todos los procesos industrializados y no industrializados, es decir, que prácticamente está involucrado en las diferentes actividades humanas siendo considerada como un bien básico irremplazable.

Por la importancia del suministro, el proyecto aborda las alternativas de diseño y plan de mantenimiento de una línea de alta tensión (LAT) aérea - subterránea de 132 kV que transcurrirá a través de la comunidad de Aragón, específicamente por la provincia de Zaragoza. Para poder aplicar la normativa especificada en el apartado 6 de este proyecto.

El recorrido de la línea de alta tensión (LAT) estará diseñada en dos modalidades tendrá un primer tramo de línea aérea y un segundo tramo de línea subterránea. Observando los diferentes materiales y derivaciones que se deben realizar para convertir el tramo aéreo a subterráneo, se estudia en este proyecto conjuntamente las ventajas y desventajas que presenta este tipo de construcción.

El reglamento de línea de alta tensión (RLAT), normas UNE y demás disposiciones oficiales vigente en España indican que se deben contar con parámetros técnicos reales que permitan realizar el diseño de un plan de mantenimiento para realizar de manera segura los trabajos sobre la línea eléctrica, gracias a estos se reducen de forma exponencial las futuras interrupciones del servicio.

Trabajaremos sobre los siguientes objetivos específicos con la finalidad de definir y estructurar mejor el alcance del desarrollo del trabajo:

- Evaluar las líneas eléctricas de alta tensión (LAT)
- Estudiar las alternativas de elementos en LAT de diseño aéreo.
- Estudiar las alternativas de elementos en LAT de diseño subterráneo.
- Analizar las ventajas y desventajas que ofrecen línea de alta tensión aérea y subterránea.
- Estudiar los parámetros que debe cubrir el plan de mantenimiento de línea eléctrica de alta tensión (LAT), tanto la parte aérea como la subterránea.

## 2.3. ANTECEDENTES

Tras haber finalizado mis estudios y a solo un paso de recibir mi título, comencé mi experiencia laboral en el departamento de líneas eléctricas de alta tensión y subestaciones, durante un año. A lo largo de ese periodo este sector me llamó mucho la atención, por ello decidí comenzar mi trabajo de fin de grado sobre las alternativas y diferencias entre distintas tipologías de líneas eléctricas de alta tensión, tramo aéreo y subterráneo.

Posteriormente inicié otra experiencia laboral en el mismo sector, el departamento que pasé a formar parte se dedicaba mayoritariamente al mantenimiento de instalaciones eléctricas de alta tensión. Por lo que me surgió la idea de plasmarlo también en mi trabajo como el plan de mantenimiento de las infraestructuras eléctricas.

Por todo ello, a través de este trabajo se pretende reflejar las diferencias entre un tramo aéreo y otro subterráneo de una línea eléctrica de alta tensión, junto con el plan de mantenimiento completo de cada una de las tipologías de infraestructuras.

### **3. REGLAMENTACIÓN APLICABLE PARA LÍNEAS ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN**

Para llevar a cabo el diseño, construcción, operación, mantenimiento de las líneas eléctricas, sistema de generación y/o sistema de distribución, el personal encargado debe conocer los procedimientos y normas que aplican para minimizar los riesgos en los trabajos que se ejecuten tomando como referencia los siguientes documentos:

- Real decreto 337/2014, de 9 de mayo, por lo que se aprueba el reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-RAT-01 a 23.
- Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión 223/2008, 15 febrero BOE 19-03-08: Reglamento sobre condiciones y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión (RLTA).
- Real decreto 222/2008 de 15 de febrero por el que se establece el régimen redistributivo de la actividad de distribución eléctrica.
- Instrucciones técnicas complementarias al Real Decreto 223/2008, ITC-LAT 1 a 9 (BOE del 19 de marzo de 2008).
- Instrucciones técnicas complementarias al Real Decreto 3275/82, (BOE del 25 de noviembre de 1984)
- Ley del Sector Eléctrico (Ley 24/2013, 26 de diciembre).
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, en el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimiento de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (R.D. 337/2014, 9 de mayo).
- Normas DIN.
- Normas UNE.
- Recomendaciones UNESA.
- Procedimientos de operación Red Eléctrica de España (REE)
- Normas de las compañías eléctricas de Españas

Existen otras normas, procedimientos y legislaciones que se encuentran en los anexos asociados en este documento, no es que estas normas sean menos importantes que los que se han nombrado en este apartado, sino que se relacionan de esta manera para poder resaltar las principales normas que aplican en nuestro caso de estudio.

## 4. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Todas las líneas eléctricas de transporte o distribución de energía deben estar enmarcada dentro de las disposiciones y sus reglamentos teniendo como aplicación todas las líneas eléctricas de alta tensión (LAT) que trabajan en frecuencia de 50 Hz, estas deben ser superiores a un kilovoltios ( $>1$  Kv), cuando se diseñen líneas eléctricas diferentes a las indicadas en las normas deben ser objetos de una justificación especial, esto aplica para aquellas líneas de transporte o distribución en corriente continuo o corriente alterna monofásica entre otras. Están deben adaptarse al principio básico del reglamento.

De acuerdo al reglamento indicado en el punto 6 aplica para:

- Para líneas eléctricas nuevas, modificaciones y ampliaciones.
- Líneas eléctricas existentes que sean objetos de modificaciones con virada del trazado en el diseño original de la línea, que impacta en las disposiciones de los reglamentos únicamente al tramo transformado.
- Instalaciones eléctricas existentes, sobre régimen de inspección y planes de mantenimientos para líneas eléctricas aéreas donde se utilizan cable de conductores desnudos esta debe estar soportador sobre las normas y reglamentos que han sido aprobados y para el resto de las líneas eléctricas se deben aplicar criterios técnicos en virtud de las instalaciones y autoridad para ponerla en servicios.

De acuerdo al reglamento de líneas, está fuera de la presente norma aquellos sistemas eléctricos que este cerca de rutas de ferrocarriles eléctricos (líneas de contacto) o algún otro medio de transporte que necesite ser energizado.

Las instrucciones técnicas complementarios que forman parte de este reglamento son consideradas como de carácter general en unas y específicos en otras. Siendo el criterio más conservador que las normas específicas puedan sustituir, modificar o complementar aquellas normas generales de acuerdo al criterio técnico.

La norma del real decreto 614/2001, de 8 de junio, indica cuales deben ser las disposiciones mínimas que se deben cubrir en materia de la seguridad y salud de los trabajadores cuando están expuesto al riesgo eléctrico, aunque existen otras normativas que se deben conocer para aplicar en estos casos.

Las líneas eléctricas atendiendo a su tensión nominal se clasifican de acuerdo al reglamento en las categorías siguientes:

- Línea de categoría especial: de acuerdo al artículo 5 del real decreto 1955/200 son las líneas cuya tensión nominal es igual o superior a los 132 kV. Utilizando la tensión menor para regular las actividades de transporte, distribución de cargas, comercialización de energía, suministro eléctrico y procesos de instalaciones de líneas eléctrica.
- Línea de Primera categoría: Esta en el rango donde la tensión nominal inferior es de 220 kV y superior a 66 kV.
- Línea de segunda categoría: Donde la tensión nominal igual o menor a los 66 kV y superior a los 30 kV.
- Línea de tercera categoría: los límites de la tensión nominal son igual o inferior a 30 kV y por encima de 1 kV.

Cuando en una línea eléctrica hay circuitos o elementos que trabajen en distintas tensiones, la línea será considerada para efecto administrativo, con el mayor valor de la tensión nominal.

En aquellos diseños de nuevas líneas donde el valor nominal supere los 400kV, la administración responsable deberá establecer la tensión que debe autorizarse, garantizando la seguridad e integridad.

Las líneas eléctricas de alta tensión (LAT), deberán tener equipos que permitan integrarse con otras instalaciones, es decir, estas deberán estar dotadas de los elementos necesarios que al momento de su utilización e incidencia no produzca perturbaciones anormales en el funcionamiento de otras instalaciones eléctricas.

Aquellas líneas con dimensionamientos y modificaciones realizadas a otras instalaciones, como consecuencia de los cambios realizados en las redes eléctricas de alta tensión (LAT), deberán ser desembolsados por el propietario de la línea eléctrica, siendo este quien podrá reclamar sobre el causante de las últimas modificaciones realizadas.

De conformidad con los artículos y normas de los reglamentos se considera que todas las instalaciones eléctricas cuentan con las condiciones de seguridad, siendo que estas técnicas son exigibles, a fin de garantizar la vida de las personas y los bienes (equipos e instalaciones), cuando se utilizan de acuerdo con su aplicabilidad.

Todos los artículos descritos en las normas y sus reglamentos serán de mínimos obligatorios y estas serán complementadas con las normas internacionales que apliquen a cada caso.

Los órganos responsables en España, para atender situaciones puntuales y excepcionales a solicitud de alguna parte interesada, podrá aprobar para ciertos casos, algunos procedimientos diferentes a los que ya están aprobados en los reglamentos, siempre y cuando estos garanticen un nivel de seguridad equivalente o mayor preferiblemente.

Las ITCs recomienda el cumplimiento obligatorio de las normas UNE así como de otras normas reconocidas internacionalmente, de carácter total o parcial, a fin de proporcionar la adaptabilidad de la técnica de cada proyecto.

La norma ITC-LAT-02 tiene clasificado el listado de las normas citadas en el texto de instrucciones, estas se encuentran identificadas por títulos y numeraciones, adicional se incluye el año de edición y última revisión con sus respectivas modificaciones.

En las demás ITCs se utilizan referencias por regla general, sin mostrar el año de publicación de las normas.

Cuando las normas varíen su año de publicación, o se realicen modificaciones posteriores a estas, deben ser actualizadas en el listado de normas.

## 5. CARACTERÍSTICAS Y ESTUDIO DE LÍNEA ALTA TENSIÓN

### 5.1. CARACTERÍSTICAS LÍNEA ELÉCTRICA TIPO

Las características de una línea de transmisión se determinan por sus propiedades eléctricas como es la frecuencia, tensión nominal de la línea, máxima tensión en la red, capacidad térmica, temperatura en operación, número de circuito, número de fase, especificaciones del cable, sistema de puesta a tierra y longitud del recorrido, de acuerdo a estos datos, se presentan las siguientes tablas donde se indican las características técnicas en nuestra línea eléctrica tipo:

- Tramo de la línea eléctrica aérea:

Descripción	Características
Sistema de corriente	Alterna Trifásica
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal de la línea	132 kV
Tensión más elevada de la red	245 kV
Capacidad térmica de transporte por circuito	425 MVA
Temperatura máxima admisible en el conductor en régimen permanente	90 °C
Número de circuitos	2
Número de conductores por fase	1
Tipo de Cable	AL1/ST1A Acero galvanizado.
Nº de cables compuesto tierra-óptico	2
Factor de carga	1
Puesta a tierra de las pantallas metálicas	CrossBonding
Longitud total aérea de la línea eléctrica	5 kilómetros

Tabla. N.º 1. Datos línea eléctrica aérea

Fuente: autor

- Tramo de línea eléctrica subterránea:

Descripción	Características
Sistema de corriente	Alterna Trifásica
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal de la línea	132 kV
Tensión más elevada de la red	245 kV
Capacidad térmica de transporte por circuito	425 MVA
Temperatura máxima admisible en el conductor en régimen permanente	90 °C
Número de circuitos	2
Número de conductores por fase	1
Tipo de Cable	2.000 mm <sup>2</sup> XLPE
Nº de cables compuesto tierra-óptico	2
Factor de carga	1
Tipo de canalización	zanja hormigonada / entubada
Disposición de los conductores	tresbolillo
Puesta a tierra de las pantallas metálicas	CrossBonding
Longitud total aérea de la línea eléctrica	5 kilómetros

Tabla. N.º 2. Datos línea eléctrica subterránea

Fuente: autor

## 5.2. LÍNEA ELÉCTRICA AÉREA Y SUBTERRÁNEA. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Existen dos formas de transportar la electricidad desde los sistemas de generación hasta las casas y/o empresas: por líneas de transmisión aéreas o subterráneas. Es difícil poder decidir por uno solo, pues hay que analizar muchos aspectos importantes antes de determinar cuál es la más efectiva en un lugar determinado. En esta ocasión vamos a estudiar cuales son las ventajas y desventajas en cada sistema:

	Línea aérea	Línea subterránea
<b>Ventajas</b>	Transmisión de alta fuerza energía.	Mejor estética: como no se observa la línea eléctrica, se tiene una mejor imagen visual del entorno
	La instalación y los materiales tienen costos más bajos.	Seguridad: el riesgo de que el público en general haga contacto con un elemento energizado y se produzca un accidente eléctrico es sumamente bajo, ya que las líneas se encuentran escondidas bajo tierra
	Pueden realizarse transmisión de energía a larga distancia.	Mantenimiento: Son acondicionadas para que sean de cero mantenimientos.
	Para ubicar fallas o daños es mucho más fácil.	Las pérdidas de energía que se produce en una línea eléctrica subterránea son muy inferiores a la de una línea eléctrica aéreo.
	Para realizar el mantenimiento es más sencillo que una línea eléctrica subterránea.	Al ser menor su reactancia inductiva se producen menos caída de tensión en una línea eléctrica subterránea.
	No presenta ninguna dificultad realizar extensiones o reemplazar tramos dañados de las líneas eléctricas.	Los cables utilizados en las redes subterráneas usan material dieléctrico, lo que hace que estas se comportan como condensadores, haciendo que la corriente que transporta puede ser mejor que la red aérea.
	la construcción puede ser más rápida debido a que no es necesario realizar excavaciones.	Minimiza los riesgos generados para la avifauna, reduce los riesgos de incendios en las masas forestales y la inconformidad del aspecto visual.
	Pueden construirse prácticamente en cualquier zona siempre y cuando el terreno lo permita	No necesita de grandes estudios para su construcción. Estas pueden instalarse prácticamente en cualquier lugar.

	Línea aérea	Línea subterránea
<b>Desventajas</b>	Muchas conexiones generan mal aspecto estético	El costo inicial de inversión es alto
	Poseen menor confiabilidad	Es muy difícil para localizar las fallas
	Tienen muy poca seguridad (ofrece más peligro para los transeúntes)	Es muy complicado realizar el mantenimiento es y las reparaciones son más demoradas
	Son susceptibles de fallas y cortes de energía constante, estas se encuentran expuestas a atmosferas como: rayos, lluvia, granizo, nieves, polvo, temblores y gases tóxicos	Están expuesta a la acción de roedores y alta humedad.
	Alto costo para la interconexión con la red eléctrica principal.	Se destruye la capa vegetal para implementar la construcción de cajas de empalmes.
	Construcciones ubicadas, imprudentemente, muy cerca de los conductores	Los conductores están sometidos a un calentamiento adicional debido a su campo electromagnético que generan.
	Accidentes automovilísticos contra los postes, algunos incluso se desploman, cortando así el servicio de manera indefinida	Tienen mayores problemas de mantenimiento, así con la continuidad eléctrica y posible ingreso de humedad en el conductor.
	Robo de herrajes, conductores y en ciertas ocasiones hasta postes	El alto costo en la construcción de este tipo de redes de distribución se debe a que se requieren mayor inversión en materiales, excavaciones y empalmes.
	Las lluvias y tormentas eléctricas representan también un peligro latente para la continuidad del servicio, ya que los herrajes y apoyos se van deteriorando con el paso del tiempo	Es necesario construir tanquillas de empalmes.
	En las zonas marginales, los habitantes se conectan de manera ilegal a la red eléctricas, utilizando materiales no diseñados para este fin, provocando así cortos circuitos en las viviendas e incluso incendios.	Es caso de falla del conductor es necesario reemplazar todo el tramo dañado.

Tabla. N.º 3. Ventajas y desventajas línea eléctrica aérea y subterránea

Fuente: autor



Una vez conocida las ventajas y desventajas que pueden tener las líneas aéreas y subterráneas vamos a enfocar el estudio en un breve análisis para tener comparaciones y diferencia entre ellas, la finalidad de esta no es decidir cuál es el mejor sistema para la distribución ya que la mayoría del sistema eléctrico tiene combinación de este tipo de redes instalado, aclarado el punto presentamos:

a) Redes de distribución subterráneas

Este tipo de redes consiste en instalar los conductores eléctricos debajo de las calles, ocultos a la vista, ya sea directamente o por medio de tuberías o ductos. Los conductores para este tipo de líneas deben ser totalmente aislados de acuerdo con el nivel de voltaje en operación y deben estar conformados por varias capas aislantes y cubiertas protectoras. Este tipo de redes de energía se utiliza principalmente en aquellas zonas que, por razones de desarrollo, decorativa, o condiciones de seguridad para las personas, no es aconsejable realizarlas o no es factible utilizar el sistema aéreo.

Adicionalmente, las redes de distribución eléctrica subterránea presentan ciertas ventajas para la labor del mantenimiento y calidad del servicio en cuanto a continuidad. Algunas de estas son:

- La mayor parte de los daños siempre están reflejados en las redes aéreas y estas no afectan a las redes eléctricas subterráneas.
- Estas redes no interfieren con la estética de las ciudades, las mismas no se encuentran a la vista.
- Son mucho más seguras que las redes aéreas, no se exponen a riesgos eléctricos a aves ni a los humanos.
- No están ostentadas a robos.
- Se evitan realizar algunos planes de mantenimiento preventivo como poda y lavado.
- Se protege en un alto porcentaje al medio ambiente y su fauna.
- Estas líneas de energía son menos susceptibles a tener interrupciones durante las tormentas de vientos fuertes y rayos.
- Para la ciudad, brinda mejor estética a las zonas urbanas y modernas eliminando la contaminación visual.
- Es recomendable utilizarla donde es imposible instalar puntos de apoyos para los tendidos de líneas aéreas.
- Aplican en la construcción de conjuntos residenciales cerrados, parcelaciones, donde existen apartamentos existentes y zonas comunes donde no se pueden construir líneas aéreas.
- Estas líneas son ideales para utilizarlas en la fase de distribución, ya que se emplea en ciudades, ya que la pérdida de tensión, la distancia y el impacto visual de las líneas subterráneas son menores.
- Estas líneas presentan menos averías, pero son mucho más graves y muy difíciles de detectar
- Es necesario extender la zanja para facilitar la evacuación del calor
- Tiene una duración aproximada de 50 años en funcionamiento, con cero mantenimientos.

## b) Redes de distribución aéreas

En España se encuentran mucho estas redes los sistemas de distribución de energía. Una de las principales razones para su uso es el costo inicial de su construcción, pero también tiene muchas otras ventajas sobre las redes eléctricas subterráneas, algunas de estas son las siguientes:

- Son las más comunes y por lo tanto para su construcción se necesitan materiales de fácil adquisición.
- La fase inicial de construcción es mucho más baja.
- Tiempos de construcción muchos más rápidos y menos gastos.
- Fácil mantenimiento.
- Es mucho más simple para localizar las fallas.
- Los tiempos que se invierten para la reparación de los daños es mucho menor
- Se utiliza fuera de las principales ciudades, y en el transporte de energía eléctrica, aunque también aplica en los sistemas de distribución cuando el consumo de energía y la densidad de personas es pequeño. También se usa cuando la tensión que circula y la distancia que recorre el conductor son altas. Se evalúa el precio de instalación de postes versus el coste por excavar una zanja de varios kilómetros.
- Más averías, pero menos graves
- Solo se requiere de la sustitución conductores únicamente
- Tiene una duración aproximada de 25 años en funcionamiento siendo expuesta a: viento, nieve, radiación solar, vibraciones, esfuerzos mecánicos.
- Tiene Impacto visual, genera mucho ruido audible, genera grandes campos electromagnéticos, y tiene afección sobre la avifauna

### 5.3. COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES ELEMENTOS A INSTALAR EN LÍNEAS AT

De acuerdo al tramo de la línea eléctrica y su configuración se deben utilizar una serie de elemento y materiales para su correcta instalación, es decir, que los elementos varían si el tramo es aérea o subterráneo, para conocer más detalle de estos lo indicamos en la siguiente tabla:

Descripción del material	Línea aérea	Línea subterránea
Apoyos	Estos son contruidos en sección cuadrada o poste tipo telescópico según Norma UNE.	No aplican
Conductor eléctrico	Conductores Tipo AL1/ST1A construido en aluminio con alma de acero galvanizado.	Conductor armado XLPE calibre 1x630mm <sup>2</sup> Al, con pantalla protectora de 120mm <sup>2</sup> Cu
Fibra óptica	OPGW	Cable de fibra óptica con protección con roedores.
Aislador	U120AB132P	No aplican

Descripción del material	Línea aérea	Línea subterránea
Herrajes	Para unir el cable conductor con la cadena de aisladores y de ésta al apoyo, deben ser dimensionados mecánicamente, construido en material de galvanizado en caliente para la protección anticorrosiva	No aplican
Grapas	Construido en neopreno, siendo aplicado sobre el cable, unas varillas preformadas, que suavizan el ángulo de salida de la grapa, y el cuerpo de la misma que aprieta el conjunto y pende de la cadena de aisladores	No aplican
Puesta a tierra	Se utilizan barras y conductor de cobre.	
Cimentación / Canalización	Obra civil para garantizar el soportar de la estructura metálicas.	Obra civil para el zanjados de la canalización del cable de potencia y fibra óptica, adicional se construyen las tanquillas de empalmes y pruebas.
Amortiguadores	Estos equipos se aplican sobre el cable, previo estudio y simulación de su necesidad.	No aplica
Numeración y señalización	Se debe identificar todos los tramos de las líneas (aérea y subterránea), indicando el recorrido, progresiva y nivel de tensión.	
Cámara de empalmes	No aplica, a excepción de las cajas de empalmes que se utiliza en el cable de fibra óptica.	Donde esté prevista la confección de empalmes del cable subterráneo, se instalarán cámaras de empalme con las dimensiones adecuadas, previendo que los empalmes de distintos circuitos se realicen en el interior de la misma cámara.

Tabla. N.º 4. Componentes a instalar en las líneas eléctricas

Fuente: autor

## 6. PLAN DE MANTENIMIENTO

### 6.1. PERIODOS DEL MANTENIMIENTO SEGÚN TIPOLOGÍA

Todas las instalaciones eléctricas son susceptibles a sufrir daños con el transcurrir del tiempo se planifican los periodos de revisión y evaluación de estos, esto periodos han ido variando debido al desarrollo tecnológico, gracias a estos avances se pueden implementar nuevas y mejores técnicas para realizar las pruebas, sistemas de verificación, supervisión, monitoreo y diagnósticos de fallas. No obstante, para tomar como referencia se indican en la siguiente tabla algunas recomendaciones básicas de los periodos mínimos de mantenimiento que se deben cumplir cada empresa que fabrica estos equipos tienen una serie de recomendaciones sobre los tiempos de mantenimiento que se deben cumplir, siendo responsabilidad de cada departamento encargado realizar sus planes de mantenimiento siendo estos los responsables de garantizar el buen funcionamiento de las mismas:

Equipo	Actividad	Periodo	
		Meses	Años
Tramo aéreo			
Transformadores	Prueba eléctrica		1
	Nivel de aceite	6	
	Mantenimiento, secado, cambio de aceite en derivaciones y devanados	6	
	Nivelación de soportes y fijación en altura	6	
Seccionadores y celdas de cortes	Limpieza, lubricación y engrase		1
	Pruebas eléctricas	6	
Red de tierra	Prueba y mantenimiento		3
Conductor	Prueba y mantenimiento	6	
Amortiguadores	Prueba y mantenimiento	6	
Contrapeso	Prueba y mantenimiento		3
Cable de guarda	Prueba y mantenimiento		3
Tala de arboles	Corte	6	
Empalmes	Prueba y mantenimiento		1
Aisladores	Prueba y mantenimiento	6	
Grapas	Prueba y mantenimiento	6	
Puentes	Prueba y mantenimiento	6	
Herrajes	Prueba y mantenimiento	6	
Tramo subterráneo			
Conductor	Prueba y mantenimiento		5
Tubería	Prueba y mantenimiento		5
Cámaras de empalmes	Prueba y mantenimiento		1
Cajas de conexión	Prueba y mantenimiento	6	
Canalizaciones y tanquillas	Mantenimiento	6	
Señalizaciones	Mantenimiento	6	
Sistema puesto a tierra	Prueba y mantenimiento		1

Tabla. N.º 5. Periodos de mantenimientos línea eléctrica

Fuente: autor

## 6.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Los mantenimientos se pueden diferenciar dependiendo de la detección de las averías en los siguientes tipos de mantenimientos:

- **Tipo Predictivo:** son pruebas planificadas que se realizan sobre los equipos con el propósito de verificar su estado actual y eliminar las posibles fallas que se podrían dar. El resultado obtenido sobre este mantenimiento permite tomar acciones asertivas y planificar los mantenimientos correctivos y/o preventivos para optimizar el funcionamiento.
- **Tipo Preventivo:** es un mantenimiento planificado que se realiza a bien, este se ejecuta para sobre servicio o instalación con el único propósito de minimizar las probabilidades de falla, así se mantiene en condiciones seguras y de operación, prolongando la vida útil de equipo y evitar futuros accidentes.
- **Tipo Correctivo:** sirve para realizar reparación, se ejecuta el servicio o la instalación una vez que se ha producido y detectado la falla con el objetivo de colocar en funcionamiento el equipo y eliminar la causa que ha generado la falla.

El mantenimiento eléctrico se realiza para que el sistema de transformación de energía eléctrica funcione en las industrias, se mantenga en condiciones adecuadas y comprenda por completo la planeación de dicho sistema, es necesario conocer la función de cada una de sus partes y el lugar que estas ocupan en el sistema general. En la actualidad la técnica de mantenimiento se desarrolla bajo el concepto de minimizar los tiempos de interposición sobre el equipo, con el fin de lograr la menor indisponibilidad del servicio.

### ❖ Calidad de la gestión de mantenimiento

La apropiada práctica de los procedimientos y la clasificación de los procesos, aseguran la reproducibilidad de las operaciones con lo cual se certifica la calidad y se soluciona la necesidad del cliente. Internamente se brinda la oportunidad de mejoras útil que se pueden aplicar en la gestión de mantenimiento, hay que destacar que los principales procesos de calidad deben aplicarse a los servicios e incluso a los productos, parte del seguimiento es que estos sean mantenidos y aplicados adecuadamente.

La calidad es un principio que se enfoca en como las personas hacen las cosas mas no está aplicada en las cosas que hacen ellas, de allí nace el compromiso de parte de las personas que dicha gestión involucra para ser consistentes, contundentes y altamente efectivos. Es decir, que la aplicación adecuada de los procesos de calidad sigue una correcta culturización con el fin de buscar la excelencia.

❖ Normas que seguir en el mantenimiento

- a) Solo personal con experiencia calificable y que cuente con la licencia o permiso de trabajo correspondiente para poder ejecutar estas actividades en las instalaciones eléctricas y lugares peligrosos.
- b) Siempre se debe considerar que todos los cables y equipos están energizados (corriente) mientras no se notifique lo contrario.
- c) Se debe minimizar en la medida de lo posible, el trabajo en conductores o equipos energizados.
- d) Se debe, invariablemente, poner candados y etiquetas de seguridad a los equipo o dispositivo del sistema de control eléctrico donde se harán los trabajos.
- e) Para liberar los conductores o equipos energizados antes de efectuar cualquier operación se debe aplicar el procedimiento con objetos de:
  - Obstaculizar el flujo de la corriente eléctrica.
  - Aplicar múltiples medidas preventivas que también son necesarias para reducir los riesgos, como son colocar candados o avisos, que impidan que se conecte de nuevo el equipo a la corriente eléctrica.
  - Utilizar equipos de medición para verificar que no circulen corrientes eléctricas por los conductores y los equipos.
  - Conectar al sistema de puesta a tierra y en cortocircuito los cables y los equipos.
  - Resguardar los elementos energizados que este cerca de las inmediaciones y puedan ocasionar un contacto accidental.
- f) Después de haberse realizado cualquier trabajo, solo se debe energizar por orden de una persona autorizada.
- g) Aplicar los procedimientos de seguridad que se requieran en los trabajos, siempre de conformidad con lo establecido las normas nacionales e internacionales.
- h) Mantener visible la identificación de los equipos y dispositivos (tableros, gabinetes, interruptores) mostrando las características eléctricas con que trabaja el equipo que se energiza.
- i) No mover los aparatos eléctricos portátiles mientras estén acoplados a la fuente de energía.
- j) Los aparatos eléctricos portátiles y las herramientas no deben emplearse en atmosferas inflamables o explosivas a menos que se indiquen en las especificaciones de los equipos que son aptos para trabajar en atmosferas a pruebas de explosión.
- k) Se debe conectar al sistema de puesta a tierra el armazón de las herramientas, así como los aparatos de mano portátiles, exceptos aquellas herramientas que ya poseen doble aislamiento.
- l) Se debe someterse a prueba de continuidad y conservar el registro del sistema de puesta a tierra de toda la instalación.
- m) Se debe disponer de las herramientas y equipos de protección personal (EPP) adecuado para trabajar en instalaciones eléctricas como son: guantes dieléctricos de cuero (carnaza), estereras y mantas aislantes.
- n) Si se debe emplear aparatos a la intemperie para la conexión de tipo abierto:
  - Todos los elementos bajo tensión eléctrica deben protegerse contra contacto accidentales mediante cubiertas especiales o bien situándolos a cierta altura que no represente un riesgo potencial.
  - En torno a los elementos energizados se debe garantizar un amplio espacio de trabajo.

- Se deben proteger con cercas metálicas que se encuentren conectados al sistema de puesta a tierra todos los aparatos de conexión, los transformadores y demás aparatos energizados.

❖ Para las actividades de mantenimiento se debe tener:

- Planos del diagrama unifilar y al menos el cuadro general de cargas del circuito que corresponda a la zona donde se realizará el trabajo de mantenimiento.
- Las autorizaciones por escrito que correspondan, deben indicar de forma detallada las actividades a ejecutar, hora de inicio del trabajo, una estimación de la duración de la actividad, persona responsable quien autorizo la entrada y la salida, el tipo de la reparación (temporal o permanente) e indicar si se realizara el mantenimiento con la instalación eléctrica energizada o con las medidas de seguridad para sacarla de operación.
- Poseer las instrucciones concretas sobre las actividades a desarrollar.
- Las indicaciones por escrito para poder identificar las instalaciones eléctricas que representen mayor peligro para todos los trabajadores encargados de realizar el mantenimiento.
- Los procedimientos de seguridad que incluyan medidas de seguridad necesarios para impedir daños al personal expuesto y las acciones que se deben aplicar antes, durante y después en los equipos o áreas donde se realizaran las actividades de mantenimiento.
- Se debe indicar donde se van a colocar las señales, avisos, candados de seguridad, etiquetas de para las instalaciones eléctricas que están en proceso de mantenimiento.
- Se debe observar la distancia de seguridad para cuando los dispositivos de protección abran con carga eléctrica.

❖ Señalización y delimitación de zona de trabajo:

En todos los trabajos de mantenimiento a las instalaciones eléctricas aéreas o subterránea que se realicen, o en sus proximidades, se debe delimitar la zona de trabajo y colocar señales de seguridad que:

- a) Se debe indicar que está prohibido la entrada de maquinarias eléctricas no autorizadas.
- b) Está prohibido el acceso a personas no autorizadas para manipular los aparatos eléctricos.
- c) Delimitar el área de mantenimiento mediante la instalación de:
  - Cuerdas y cintas de plásticos de color naranja y argollas para su enganche.
  - Barreras visibles de color rojo o color naranja provista de cintas en sus extremos opuesta para su detención.
  - Banderolas
  - Estandartes
  - Cintas de color rojo para señalar la zona de trabajo.
  - Carta de autorización de liberación de trabajo indicando la información de quien realiza, quien autoriza, cuando se inicia y cuando se debe finaliza el trabajo a ejecutar.
- d) Colocar de uno a cuatro candados e identificar los dispositivos de enclavamiento.

### 6.2.1. Mantenimiento predictivo

#### ❖ Mantenimiento predictivo líneas eléctricas

- Inspección visual: Reconocimiento de acabados, ajuste de piezas, condición de la pintura y niveles de aceite en los transformadores.
- Prueba termográfica: se realiza la medición del calor emitido por los equipos y accesorios de la línea eléctrica. los resultados de estas pruebas permiten detectar temperaturas elevadas durante el funcionamiento, conexiones desenganchas o dañadas, descompensación de fases de líneas (circuitos sobrecargados, inestabilidades de carga), mal aislamiento, mala conexión a tierra y/o interruptores dañados.



Figura. N.º 1. Inspecciones termográficas  
Fuente: ingelmec.com

Durante los periodos de máxima demanda del sistema se deben realizar las inspecciones termográficas, para identificar las posibles fallas presentadas y el nivel de emergencia para su reparación.

- Prueba aceite transformador (rigidez dieléctrica): se realiza a través de medidor de aceite dieléctrico (chispó metro), para determinar la tensión de ruptura del líquido aislante del transformador.
- Prueba de Aislamiento de los Devanados: Medición de la resistencia mínima que debe soportar el aislamiento del transformador mientras el equipo se encuentra en operación. Esta prueba permite comprobar la calidad que tienen los aislamientos, así como la adecuada conexión entre los devanados y el sistema de puesta a tierra, determinar el porcentaje de humedad y detectar posibles daños en el aislamiento.
- Resistencia y prueba de relación de transformación: Para verificar el correcto estado de las bobinas de alta y baja tensión se deben de realizar estas dos pruebas e identificar posibles contactos de cortocircuitos entre las espiras.
- Análisis y medición de carga en el transformador: Esta medida permite conocer los niveles de carga del transformador y comprobar la potencia a la cual está trabajando el equipo. Para garantizar una completa efectividad de la prueba realizada se debe ejecutar cuando el transformador este trabajando a la máxima carga instalada con el fin



de verificar si la demanda excede los límites permisibles a los cuales está diseñado el equipo y tomar acciones correctivas si es necesario.

- Calidad de energía del sistema: Permite estudiar cómo se encuentra el sistema de energía en cuanto a las perturbaciones que la pueden afectar, estas pueden intervenir en el análisis de la calidad e indicar el comportamiento del sistema.
- Pruebas mecánicas al sistema: Se deben ejecutar hasta 20 ciclos de apertura y cierre en los seccionadores para comprobar el correcto funcionamiento de los mecanismos de accionamiento, alineación y velocidad.

Disparo Automático con Fusible: En esta prueba se debe realizar para verificar el sistema de protección (apertura) por fusible fundido.

#### ❖ Mantenimiento predictivo en transformador

Se deben realizar las siguientes actividades de mantenimiento predictivo en el transformador:

- Inspección visual del equipo
- Termografía
- Prueba de rigidez dieléctrica (aceite transformador)
- Prueba de los devanados (aislamiento)
- Medición de la resistencia óhmica (devanados)
- Prueba en la relación de transformación
- Análisis y medición de carga del transformador
- Análisis y medición de calidad de la Energía.

#### ❖ Mantenimiento predictivo celdas de corte, seccionadores y protección.

Para el mantenimiento predictivo se deben ejecutar las siguientes actividades asociados a las celdas de corte, seccionadores y sistema de protección:

- Registro e inspección visual de todo el sistema
- Prueba de los devanados (aislamiento)
- Termografía
- Limpieza de las partes móviles y elementos aislantes del sistema
- Lubricación de todas las partes móviles del sistema
- Pruebas mecánicas
- Pruebas del disparo automático con fusible
- Validación de puntos de contacto, material aislantes y sistema de extinción de arco eléctrico.
- Comprobar el nivel de aislamiento que poseen los elementos aislantes.

### 6.2.2. Mantenimiento preventivo

#### ❖ Mantenimiento preventivo instalaciones eléctricas

Para las instalaciones y las líneas eléctricas, el mantenimiento preventivo se planifica teniendo como referencia las siguientes consideraciones:

- No es necesario desenergizar el sistema, equipos y líneas para su ejecución
- Verificar el estado exterior de los equipos a través de una inspección visual
- Seguimiento continuo durante su intervención.

#### ❖ Mantenimiento preventivo en líneas eléctricas

Para el óptimo funcionamiento de las líneas eléctricas es necesario ejecutar las siguientes actividades:

- Trabajar sobre la limpieza de cárcamos, inspección de cajas de paso y demás elementos para el acceso a las canalizaciones.



Figura. N.º 2. Mantenimiento de cajas

Fuente: autor

- Para realizar el mantenimiento en cables y elementos eléctricos activos se deben utilizar alcohol isopropílico algún componente similar.
- Para el mantenimiento de los terminales premoldeados se deben utilizar el kit de limpieza 3M o algún equipo similar.

- ❖ Mantenimiento preventivo para celdas de corte, seccionadores y protección.

Para preservar el correcto funcionamiento de las redes eléctricas se deben realizar las siguientes actividades:

- Ajuste de tornillería
- Lubricación y limpieza asociado al sistema mecánico
- Limpieza de aisladores

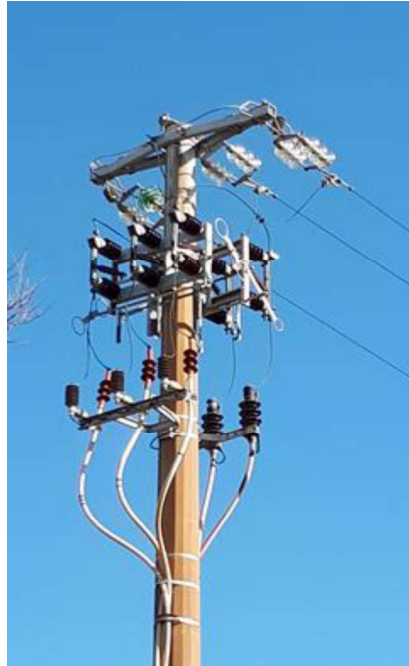


Figura. N.º 3. Mantenimientos seccionadores  
Fuente: autor

- ❖ Validación de la resistencia de la malla de puesta a tierra

Para realizar el mantenimiento predictivo del sistema de puesta a tierra se debe considerar lo siguiente:

- Inspección visual del pozo donde se encuentran hincado los electrodos de la malla.
- Verificación de la resistencia del sistema de puesta a tierra, para esto se utiliza un telurómetro certificado.

Los hallazgos encontrados durante las labores de mantenimiento predictivo nos permiten planificar acciones correctivas para preservar los elementos críticos que hacen parte del sistema eléctrico.

Las actividades de mantenimiento deben ser registradas en el formato acorde para estos trabajos esto incluye aquellos trabajos preventivos, predictivos y/o correctivos y se deben notificar sus respectivos hallazgos a través de informes.

Para notificar los hallazgos encontrados durante las actividades de mantenimiento se deben utilizar el formato de mantenimiento establecido utilizando la siguiente nomenclatura de acuerdo a las normas y especificaciones ENDESA:

Para Seccionadores de Corte y Protección en A.T.

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
SCC - 1	Falta bloqueo de la puerta
SCC - 2	No tiene marcación los conductores
SCC - 3	Falta de identificar la celda
SCC - 4	El seccionador no trabaja correctamente
SCC - 5	Falta limpieza en los aisladores de corriente
SCC - 6	Tiene mucha corrosión en el mecanismo de disparo
SCC - 7	Mal estado de la celda (Corrosión, Aberturas prohibidas)

Para Redes Eléctricas

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
RMT - 1	Falta lecho de grava en celda de inspección
RMT - 2	Falta marcar los conductores eléctricos de la línea
RMT - 3	Falta identificación en la celda de inspección
RMT - 4	Mal estado de las tapas
RMT - 5	Filtraciones severas de humedad y celda Inundada
RMT - 6	Mal estado de los conductores eléctricos
RMT - 7	Mal estado de los Empalmes eléctricos
RMT - 8	Conductores con bajo aislamiento
RMT - 9	Falta aterramiento de la pantalla cable
RMT - 10	Cable en mal estado y chaqueta rota
RMT - 11	Radios de curvatura muy cerrados en los conductores

Para Transformadores:

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
TR - 1	Alta temperatura captados en los bornes de baja tensión.
TR - 2	Alta temperatura captados en los en bornes de alta tensión.
TR - 3	Alta temperatura en la bóveda del transformador.
TR - 4	Escape de aceite en los radiadores o cuba.
TR - 5	Mal estado del empaque del transformador.
TR - 6	Baja resistencia de aislamiento A.T / B.T.
TR - 7	Baja resistencia de aislamiento B.T. / puesta a tierra.
TR - 8	Baja resistencia de aislamiento A.T / puesta a tierra.
TR - 9	Falta quitar el polvo de la cuba del transformador.
TR - 10	Deficiencia en el sistema de puesta a tierra del transformador.
TR - 11	Falta marcar los conductores (código de colores).
TR - 12	Riesgo eléctrico, distancias de aislamiento bornes A.T.
TR - 13	Falla del confinamiento del transformador (Celda cortafuegos).
TR - 14	Sistemas de carga desbalanceada.
TR - 15	Se genera alto contenido de armónico.
TR - 16	Sobretensión de corriente y problemas de calidad de energía.

#### ❖ Mantenimiento de líneas de transmisión aéreas

Se observa mediante binoculares u otros medios visuales el estado de los conductores en el tramo anterior a la estructura, con relación a hilos rotos y altas corrosiones, especialmente en las zonas cercanas a empalmes y grapas de remate, suspensión y/o amortiguadores.



Figura. N.º 4. Mantenimientos Líneas aéreas  
Fuente: autor

#### ❖ Verificación de la nivelación del conductor

Comprobación visual, con pértiga aislada de medida, teodolito u otros medios, que los conductores del tramo anterior a la estructura, la diferencia de las flechas (combas) de una fase respecto a la otra, no sobrepase los valores normales.

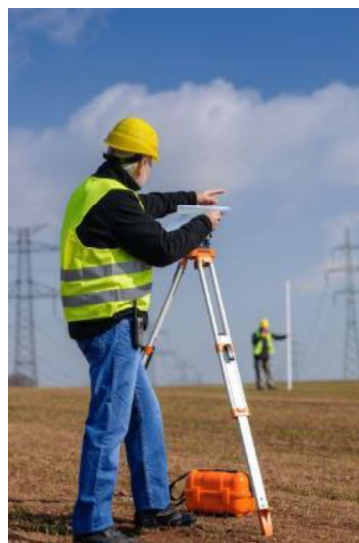


Figura. N.º 5. Topografía de nivelación  
Fuente: autor

#### ❖ Protector preformado

Con binoculares se observa u otros medios visuales, el estado del protector preformado del conductor, con relación a deformaciones en el trenzado, rotura de los hilos, con énfasis en la zona cercana a la grapa.

#### ❖ Amortiguador de conductor de fase

Observar con binoculares u otros medios visuales, el estado del anti vibradores o amortiguadores del conductor, con relación a rotura o falta de ellos, especialmente para verificar si las vibraciones del conductor se transmiten en la zona cercana a la grapa.

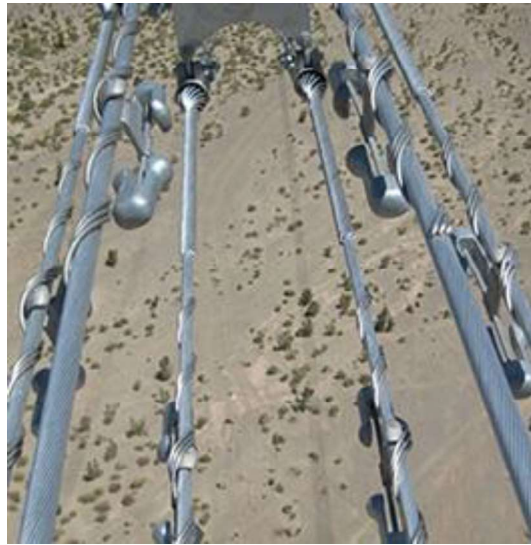


Figura. N.º 6. Mantenimientos amortiguadores de fase  
Fuente: autor

#### ❖ Contrapesos

Con binoculares u otros medios visuales, observar el estado de los contrapesos del conductor, con relación a rotura o falta de ellos, especialmente para verificar si ejerce correctamente su función de mantener el conductor en el punto deseado y si la distancia de seguridad se conserva adecuadamente.

#### ❖ Estado físico del cable de hilo de guarda

Observar con binoculares u otros medios visuales, el estado del cable de hilo de guarda, en el tramo anterior a la estructura, con relación a deformaciones en el trenzado, rotura de los hilos, especialmente en las zonas cercanas a empalmes y grapas de suspensión y/o remate.



Figura. N.º 7. Mantenimientos de conductores  
Fuente: autor

#### ❖ Verificación de la nivelación de la línea de guarda

Comprobación con binoculares u otros medios visuales, que la diferencia de la flecha del cable de línea de guarda en el tramo anterior a la estructura, con respecto a la flecha de los conductores de las fases, no sobrepasan los valores normales.

#### ❖ Amortiguador de hilo de guarda

Observar con binoculares u otros medios visuales, el estado del anti vibradores o amortiguadores del hilo de guarda, con relación a rotura o falta de ellos, especialmente para verificar si las vibraciones del conductor se transmiten en la zona cercana a la grapa.

#### ❖ Estado de las conexiones de bajada a tierra

A través de binoculares u otros medios visuales, comprobar el estado de las conexiones de los cables de bajada a tierra, con el hilo del cable de guarda, con relación a conectores con alta corrosión, etc.

#### ❖ Estado físico del cable de bajadas a tierra

Observar con binoculares u otros medios visuales donde sea posible, el estado del cable de las bajadas a tierra, con relación a deformaciones en el trenzado y rotura de los hilos.

#### ❖ Existencia de varilla de tierra / contra antenas

Comprobar al pie de las estructuras de metal, el estado de las conexiones del cable de bajada a la varilla de tierra, con relación a la corrosión, oxidación, flojedad; así como carencia de la misma.

#### ❖ Prueba de resistencia en puesta a tierra

Se mide con Telurómetro o medidor de tierra del tipo varilla o de gancho, la resistencia de la varilla de puesta a tierra, la cual se deberá efectuar de preferencia cuando el suelo se encuentre seco. La lectura no deberá ser mayor de 10 ohmios, de modo que la corriente producida por descargas electro atmosféricas sea drenada hacia el suelo efectivamente y no se produzcan flameos en los aisladores (esta medición no se realiza con frecuencia, pero está contemplada dentro de la realización de un mantenimiento preventivo).



Figura. N.º 8. Mantenimiento sistemas de puesta a tierra  
Fuente: autor

#### ❖ Objetos extraños en conductor o aislador del vano

Comprobar con binoculares u otros medios visuales, si existe algún objeto extraño en el conductor y/o aislador del vano anterior a la estructura como: alambres, barriletes, cintas, etc., que puedan presentar peligro para el buen funcionamiento de la línea el personal o para el sistema.

#### ❖ Objeto extraño en la estructura

Observar si existe algún objeto extraño sobre la estructura revisada en el tramo tales como: mantas, rótulos, señales de tránsito, cables de señal de televisión, etc., que puedan presentar peligro para el personal o para el sistema.

#### ❖ Marcador de líneas

Comprobación visual con binoculares u otros medios visuales, si existe marcador de línea en los tramos que se encuentran cercanos a pistas de aterrizaje, aeropuertos, etc., que puedan presentar peligro para la navegación aérea y riesgo para el sistema.



❖ Verificar distancia de ramas al conductor

Observar que la distancia de la vegetación al conductor de fase más cercana en sus diferentes posiciones (arriba, al lado, debajo de y a través de) sea conforme se requiere en las normas, por lo que cualquier obstáculo (arbustos, ramas enredaderas u otros) dentro de dicha distancia, debe ser retirada. Además, se observa si las ramas cercanas a los conductores presentan quemaduras, un notorio cambio de coloración de las hojas o daño que indique que el conductor ha estado en contacto con las ramas, debido a oscilaciones provocadas por el viento o al incremento de peso, debido al rebrote de follaje.

❖ Tala de árboles debajo del conductor

Cuando se observen árboles debajo de las líneas y que su crecimiento afecte o amenace con interferir en las mismas, se recomienda la tala de este, tomando en cuenta la inaccesibilidad del área urbana en donde se facilite el manejo de la vegetación en una forma más constante.

❖ Crecimiento de enredaderas en estructuras y tirantes

Observar el crecimiento de plantas de hábito trepador, cerca de postes, tirantes, soportes para tirante y otros que sirvan de sostén para que la vegetación de dichas plantas no alcance las líneas aéreas.

❖ Estado de los empalmes

Comprobación con binoculares u otro medio visual, si es necesario, si los empalmes de los conductores del vano anterior al poste presentan dobladuras o roturas que reduzca su capacidad mecánica, impidiéndoles cumplir su misión con seguridad.



Figura. N.º 9. Mantenimiento empalmes  
Fuente: autor

#### ❖ Aisladores con alta contaminación

Por medios visuales, observar el grado de contaminación de los aisladores tipo poste y/o bandera, teniendo en cuenta si el material contaminante depositado, reduce en condiciones de humedad, sus características aislantes o que presente flameos o chisporroteos principalmente en horas de la noche o la madrugada.

#### ❖ Condiciones de las grapas de suspensión para aisladores tipo poste

Por medio de binoculares u otros medios visuales, si es necesario, el estado de las grapas de suspensión para aislador, comprobando si presenta dobleces o roturas, corrosión avanzada, falta de pasadores de seguridad, tornillos, tuercas y arandelas de presión, que reduzcan su resistencia mecánica.

#### ❖ Flameo o rotura de aisladores

Observar con binoculares u otros medios visuales, los posibles flameos, roturas o grietas en la superficie de los aisladores que pueda dar indicio a fallas en el aislador en condiciones de humedad.

#### ❖ Anillos corona en mal estado

Comprobación visual mediante binoculares u otros medios visuales, si los anillos para distribución uniforme del campo eléctrico y/o efecto corona, presentan alto grado de corrosión, rotura o inexistencia de los mismos.

#### ❖ Estado de las grapas de suspensión en las cadenas de aisladores

Observar con binoculares u otros medios visuales, si es necesario, el estado de las grapas de remate o de suspensión de las cadenas de aisladores, si presenta dobleces o roturas, corrosión avanzada, falta de pasadores de seguridad, tornillos, tuercas y arandelas de presión, que reduzcan su resistencia mecánica.



Figura. N.º 10. Mantenimiento grapa de sujeción  
Fuente: autor

❖ Estado de los discos de las cadenas de aisladores

Comprobar mediante binoculares u otros medios visuales, si las cadenas de remate o de suspensión, presentan alto grado de contaminación, desgaste, rajaduras, flameado parcial o totalmente destruido, que les impida cumplir su función aislante con seguridad.



Figura. N.º 11. Mantenimiento cadena de aisladores  
Fuente: autor

❖ Estado de los puentes de los conductores de la línea

Comprobación mediante binoculares u otros medios visuales, el estado de los puentes en cruces de líneas, en lo referente a rotura de hilos o corrosiones.



Figura. N.º 12. Mantenimiento puentes  
Fuente: autor

❖ Longitud de puentes en cruces de líneas

Comprobar visualmente que la longitud de los puentes de las líneas, sea lo suficientemente amplia y la conformación sea la adecuada, como para poder cortar y realizar un empalme sin necesidad de cambiarlo, y que esté dentro de lo permitido por las distancias mínimas de seguridad, fase a tierra o entre líneas.

#### ❖ Estado físico de los herrajes en líneas

Mediante binoculares u otros medios visuales, comprobar si es necesario, el estado de los herrajes utilizados en las líneas de 132KV, si presentan alto grado de oxidación, corrosión, pérdida del galvanizado, flojedad, dobladura en abrazaderas, tornillos, arandelas, hembras de extensión, eslabones, pasadores, bayonetas, etc.



Figura. N.º 13. Mantenimiento herrajes  
Fuente: autor

#### ❖ Estado físico del poste

En caso de estructuras en línea 132KV de poste de concreto se observará toda la superficie del poste, comprobando si existen grietas o roturas del concreto que presupongan un próximo afloramiento del hierro, penetración de agua hasta el poste o la existencia propia del afloramiento parcial de varillas en grado parcial o total.

#### ❖ Mantenimiento preventivo para transformadores en los apoyos de AT

Para garantizar el correcto funcionamiento de los transformadores se deben realizar las siguientes actividades:

- Limpiar los aisladores, cuba y zona circundante del equipo.
- Verificar la limpieza de las zonas circundantes al transformador, así como de los demás elementos.
- Ajuste de tornillería



Figura. N.º 14. Mantenimiento transformador  
Fuente: autor

### 6.2.3. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo puede ser de dos tipos:

a) Mantenimiento correctivo planificado

- 1er Paso: Incidencia detectada por cliente o en un mantenimiento preventivo.
- 2o Paso: Solicitar oferta a empresa contratista para valorar procedimiento y presupuesto.
- 3er Paso: Aceptar oferta por parte de cliente.
- 4o Paso: Acopiar material de la intervención por parte de la contrata.
- 5o Paso: Planificar los trabajos de la oferta.
- 6o Paso: Realizar la intervención en la instalación.
- 7o Paso: Enviar informe detallado.
- 8o Paso: Enviar certificación según presupuesto y realizar el pago a la contrata.

b) Mantenimiento correctivo no planificado (Avería)

Este tipo de mantenimiento, por líneas generales si las empresas tienen un contrato de mantenimiento tienen contratado el servicio de “Guardia retén” con unas condiciones determinadas según precio, trabajos e incidencias ocurridas. El servicio suele ser 24h.

- 1er Paso: Aviso de centro de control de cliente por incidencia o avería en la instalación.
- 2o Paso: Acudir por parte de la contrata por urgencia.
- 5o Paso: Realizar la intervención de urgencia en la instalación.
- 7o Paso: Enviar informe detallado, con la mayor brevedad posible.
- 8o Paso: Enviar certificación y realizar el pago a la contrata, según contrato.

❖ Ejemplo de mantenimiento correctivo no planificado: Poste desplomado

En caso de estructuras de línea en 132KV con poste de metal se observará mediante binoculares u otros medios visuales, si el poste metálico presenta algún grado de oxidación, desplome pérdida del galvanizado o dobladura que reduzcan sus características mecánicas.



Figura. N.º 15. Mantenimiento postes  
Fuente: autor

## 7. PRECIOS REFERENCIALES DE LÍNEAS ELÉCTRICAS SEGÚN TIPOLOGÍA

De acuerdo con la comparación realizada y teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que pueden presentar la construcción de una línea eléctrica aéreas y subterráneas se procedió a consultar algunos precios del mercado sobre una base segura para presupuestos, algunos de los materiales que se indican se han tomado teniendo en cuenta otros proyectos que se han construidos y los materiales típicos que aplican para una línea eléctrica aérea / subterránea.

### 7.1. TRAMO AÉREO

Denominación de material	Importe €
Apoyo	1.75 x Kg
Cimentaciones	70 x m <sup>2</sup>
Puesta a tierra	100 x und
<b>Grapas y herrajes línea</b>	
Conductor de fase	2282 x km
Conductor de protección	3072 x km
Grapa de Amarre	18.50 x und
Grapa de suspensión	8.65 x und
Grilletes Recto	6.29 x und
Eslabón	6 x und
Yugo	12.40 x und
Descargador	10 x und
Horquilla de bola	7 x und
Descargador	10 x und
Rotula Horquilla	7 x und
Yugo	12.40 x und
Horquilla Revirada	12.40 x und
Alargadera simple	9.22 x und
Grilletes Recto	4 x und
Anilla bola	12.21 x und
Aislador cadena amarre	16.8 x und
Aislador cadena suspensión	14.9 x und
<b>Grapas y herraje fibra óptica</b>	
Grapa de Amarre	15 x und
Grapa de Suspensión	13 x und
Grilletes Recto	6 x und
Grilletes Normal	8 x und
Eslabón revirado	8 x und
Grapa paralela	10 x und
Grapa de Puesta a tierra	9 x und
Retención preformada	8 x und
Guardacable	5 x und
Varilla de refuerzo	10 x und
Tirante	13 x und

Denominación de material	Importe €
<b>Mano de obra</b>	
Montaje, armado e izado de apoyos	1200 x kg
Excavación y hormigonado	3 x m <sup>3</sup>
Montaje de puestas a tierra de apoyos	40 x und
Tendido, tensado y engrapado del conductor de fase	2165 x km
Tendido, tensado y engrapado del conductor de protección	3512 x km
<b>Dotación de seguridad</b>	
Material de asignación personal	22243 x und
Material de asignación colectiva	4388 x und
Formación+ medicina preventiva	10608 x und
Control de seguridad	17204 x und

Tabla. N.º 6. Precio tramo aéreo  
Fuente: autor

## 7.2. TRAMO SUBTERRÁNEO

Denominación de material	Importe €
Cable subterráneo 1x1000mmCuXLPE132KV	1800 x Km
Cable de fibra óptica	900 x Km
Tubos PVCØ160mm para cable de fase	500 x Km
Tendido, tensado y engrapado del conductor de protección	300 x Km
<b>Cámara de empalmes</b>	
Cámara de empalme	23.01 x und
Empalmes 132KVcom Montaje	12.57 x und
<b>Accesorios</b>	
Juego de 3 Botellas Terminales 132KV para cable de aislamiento seco con montaje	70017
Auto válvulas 132KV con montaje	700 x und
Cajas de Conexión y cable correspondientes (Cross Bonding, botella terminal y Auto válvulas)	320 x und
Arquetas prefabricadas de Hormigón	70
<b>Sistema de puesta a tierras de pantallas</b>	
Puesta a tierra de las pantallas Cross Bonding	200 x und
<b>Mano de Obra</b>	
Montaje puesto a tierra de las pantallas Cross Bonding	305 x und
Excavación, hormigonado y trazado de zanjas en terrizo	35704 m3
Excavación, hormigonado y trazado de zanjas en acerado o calzada	1562 m3

Denominación de material	Importe €
Tendido/Canalización cable subterráneo	18766 m
Tendido/ Canalización fibra óptica	4557 m
Ensayos finales	17948 x und
Montaje puesto a tierra de las pantallas Cross Bonding	305 x und
Dotación de seguridad	
Material de asignación personal	3497 x persona
Material de asignación colectiva	1203 x persona
Formación+ Medicina Preventiva	14267 x persona

Tabla. N.º 7. Precio tramo subterráneo

Fuente: autor

Hay que destacar que estos precios son basados para la construcción, no para el mantenimiento de la línea, las empresas dedicadas a los mantenimientos de líneas eléctricas, valoran una serie de variables a considerar como son: condición de línea, distancia del recorrido, factores de riesgos y seguridad, maniobras de trabajo, trabajos en línea des energizadas o líneas energizadas entre otras que pueden incrementar los costos del mantenimiento.




## 8. RECOMENDACIONES

- Todos los departamentos deben contar con personal especializado técnicamente para realizar los planes de mantenimiento en líneas aéreas o subterráneas. Así como contar con una cantidad suficiente de personal para organizar grupos de guardia retén.
- Monitorear las incidencias de fallas a través de graficas de históricos, y así tener un mejor conocimiento de las posibles fallas que puedan ocurrir.
- Reemplazar los equipos que han cumplido con su vida útil de operación y no sobre cargar las líneas eléctricas de potencias excesivas. Los responsables del centro de control deben organizar las cargas de las líneas de alimentación y evacuación para minimizar este tipo de fallas.
- Para reducir los cortes de energía es necesario adiestrar al personal para realizar mantenimientos preventivos y/o correctivos de líneas energizadas, son los denominados TeT, los cuales se realizan cuando existen líneas en antena o sin posibilidad de quitar tensión por otra causa.

## 9. CONCLUSIONES

- Se ha cumplido con los objetivos planteados para el desarrollo de este trabajo final de grado, desarrollando temas concisos sobre ellos.
- Uno de los principales aspectos estudiados son las alternativas y aplicabilidad que tienen las líneas eléctricas y las líneas subterráneas, así como conocer un poco más sobre cuáles son las ventajas y las desventajas que están presentando. Para decidir cuál sería la alternativa más conveniente hay que hacer referencias a los costos de inversión que se deben realizar para construir y operar dichos sistemas, siendo este uno de los puntos. También se debe conocer el trazado que debe tener la línea eléctrica y las zonas por donde va a cruzar, gracias a esto podemos definir si aplica uno de los métodos descritos o se deben combinar, es decir, realizar tramos aéreos fuera de la ciudad y tramos subterránea dentro de esta.
- Para mantener las líneas eléctricas en óptimo funcionamiento es muy importante realizar su mantenimiento preventivo, siendo que esta tarea se encuentra muy relacionada a los costos de incidencias. Es decir, que el costo de un mantenimiento preventivo sale mucho más económico que realizar un mantenimiento correctivo y este depende de averías se presenten.
- Existe un tema que no se ha profundizado como es el costo de interrupción de energía, aunque no es del alcance el trabajo, hay que mencionar como afecta al consumidor final y las pérdidas que se le generan a estos. Para minimizar estos impactos negativos es muy importante mejorar la calidad del mantenimiento preventivo.
- Los planes de mantenimiento deben estar documentados, indicando responsables de los trabajos, fecha y hora, tipo de mantenimiento, equipo o línea intervenida, descripción de los trabajos realizados, fallas encontradas y conclusiones generales. Si el equipo de trabajo observa que se deben realizar correcciones deben ser notificadas urgente para ser tratadas con prioridad y evitar fallas mayores en los sistemas.
- Si para realizar el mantenimiento es necesario sacar fuera de servicio el equipo o el circuito se debe programar una hora donde el impacto sea lo mínimo posible y se debe notificar con antelación a los afectados para que tomen sus previsiones correspondientes.
- Cuando se trate de líneas eléctricas subterráneas que presentan fallas se debe tener alternativa de alimentación para minimizar los tiempos de interrupción del cliente final, con esto se puede garantizar el sistema de energía mientras se realizan los trabajos de reparación.

En Zaragoza, día 17 de Junio de 2021



---

Fdo. Jesús Marco Lara

Ingeniero técnico industrial

Colegiado XXXXX

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Enríquez, «Sistemas de Transmisión y distribución de potencia eléctrica», México: Limusa, 2008.
- [2] F. Gonzalez, «Elementos de líneas de transmisión aérea,» Febrero 2016. [En línea]. [Último acceso: Mayo 2018].
- [3] A. Galindo, «Líneas de Transmisión,» [En línea]. Available: [http://www.academia.edu/9959494/CAP%C3%8DTULO\\_1\\_L%C3%8DNEAS\\_DE\\_TRANSMISI%C3%93N](http://www.academia.edu/9959494/CAP%C3%8DTULO_1_L%C3%8DNEAS_DE_TRANSMISI%C3%93N).
- [4] A. M. Mendoza, «Diseño eléctrico y Mecánico de la línea de transmisión Cuenca-Loja Tramo 2, (km 47 AL km 95) A 230kV,» 2014. [En línea]. Available: <http://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/reducacue/5702/1/Monografia%20Andres%20Matute.pdf>.
- [5] Á. Rodríguez, «Cables de guarda en torres de alta tension y rayos,» 10 Marzo 2010. [En línea]. Available: <http://www.ea1uro.com/ea1gx/CABLES-DEGUARDA-EN-TORRES-DE-ALTA-TENSION-Y-RAYOS.pdf>. [10] P. Simón Comín, F. Garnacho Vecino y J. Moreno Mohíno, Cálculo y Diseño de Líneas Eléctricas de Alta Tensión, Madrid: Garceta, 2011.
- [6] T. y. C. Ministerio de Industria, Real Decreto 222/2008, de 15 de febrero, por el que se establece el régimen retributivo de la actividad de distribución de energía eléctrica, «BOE» núm. 67, de 18 de marzo de 2008.
- [7] M. d. Economía, Corrección de errores del Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica, España, «BOE» núm. 62, de 13 de marzo de 2001, páginas 9065 a 9066.
- [8] M. d. Economía, Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica, España, «BOE» núm. 310, de 27 de diciembre de 2000.
- [9] R. M. y. otros., «Overview of the Quality of Electricity Supply in Spain. Visión general de la Calidad del Suministro Eléctrico en España,»
- [10] J. d. Estado, Ley 34/1998, de 7 de octubre, del sector de hidrocarburos, «BOE» núm. 241, de 8 de octubre de 1998. [29] J. d. Estado, Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. «BOE» núm. 310, de 27 de diciembre de 2013.
- [11] E. Y. T. MINISTERIO DE INDUSTRIA, [www.minetur.gob.es](http://www.minetur.gob.es), 2015.
- [12] OMEL, [www.omelholding.es](http://www.omelholding.es).
- [13] J. d. Estado, Ley 49/1984, de 26 de diciembre, sobre explotación unificada del sistema eléctrico nacional, «BOE» núm. 312, de 29 de diciembre de 1984.
- [14] R. E. d. España, [www.ree.es](http://www.ree.es).
- [15] R. E. d. España, [www.ree.es](http://www.ree.es).

[16] Ministerio de Industria, «[www.minetur.gob.es](http://www.minetur.gob.es),» [En línea]. [Último acceso: 23 diciembre 2014].

[17] T. y. C. Ministerio de Industria, Real Decreto 485/2009, de 3 de abril, por el que se regula la puesta en marcha del suministro de último recurso en el sector de la energía eléctrica, «BOE» núm. 82, de 4 de abril de 2009.

[18] J. d. Estado, Ley 3/2014, de 27 de marzo, por la que se modifica el texto refundido de la Ley General para la Defensa de los Consumidores y Usuarios y otras leyes complementarias, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2007, de 16 de noviembre, «BOE» núm. 76, de 28 de marzo de 2014.

[19] d. 2. d. m. d. 2. «BOE» núm. 122, Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética, «BOE» núm. 122, de 23 de mayo de 2011.

[20] <https://ingelmec.com.pe/servicios/pruebas-electricas/lineas-de-transmision/analisis-termografico->

[21] <https://www.ede-ingenieros.com/termografia-infrarroja-para-un-mantenimiento-predictivo-eficaz/>