

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Influencia de la pérdida por caída de tensión  
en la línea de transmisión de la selva oriental  
San Martín**

Jose Miguel Serrano Carhuallanqui

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

**ASESOR**

Ing. Cesar Quispe López

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente agradezco a Dios por darme la sabiduría, buena salud, vida y fortaleza para enfrentar los inconvenientes y lograr este sueño tan anhelado.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de la Universidad Continental, por haberme permitido formarme en sus aulas.

Mi agradecimiento sincero al Señor Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental.

Al Señor Dr. Felipe Gutarra Meza, por su valioso aporte al desarrollo de las ciencias de Ingeniería y su constante preocupación para motivarnos en el desarrollo de la investigación científica y engrandecimiento de la Universidad.

Al Asesor Ing. Cesar Quispe Lopez, por sus acertadas sugerencias y orientaciones en el campo metodológico de la Ingeniería Eléctrica, quien con su destreza y habilidades nos conduce por el camino exitoso de la investigación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres por ser ejemplo a seguir, por la orientación que me dieron, para ir por el camino del bien. Y también a tu ayuda incondicional, a pesar de los momentos muy difíciles, que pasamos, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían.

# ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE .....	V
LISTA DE TABLAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE ECUACIONES .....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....</b>	<b>14</b>
1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.2. Formulación del problema.....	15
1.2.1. Problema general .....	15
1.2.2. Problema específico .....	16
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo general. ....	16
1.3.2. Objetivo específico. ....	16
1.4. Justificación e importancia. ....	16
1.4.1. Justificación social.....	16
1.4.2. Justificación técnica.....	17
1.4.3. Justificación económica.....	17
1.4.4. Importancia.....	18
1.5. Formulación de hipótesis .....	18
1.5.1. Hipótesis general.....	18
1.5.2. Hipótesis específicas.....	18
1.6. Descripción de variables .....	18
1.6.1. Definición de la variable independiente: Líneas de transmisión. ....	18
1.6.2. Definición de la variable dependiente: pérdida por caída de tensión. ....	19
1.7. Operacionalización de las variables.....	20
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.1. Antecedentes de la investigación.....	21
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	22
2.2. Líneas de transmisión eléctrica.....	24
2.2.1. Fundamentos de la transmisión. ....	25
2.3. Líneas eléctricas.....	32
2.4. Clasificación de las líneas eléctrica.....	33
2.4.1. Líneas de transmisión .....	33
2.4.2. Líneas de distribución.....	34
2.5. Componentes de una línea aérea .....	34
2.5.1. Conductores: .....	34
2.5.2. Aisladores:.....	44
2.5.3. Estructuras Soportes .....	48
2.6. Conductores aislados .....	51
2.6.1. El conductor:.....	51
2.6.2. Cubierta Semiconductora .....	52
2.6.3. El Aislante:.....	52
2.6.4. La pantalla .....	54
2.6.5. Cubierta .....	54
2.7. Parámetros eléctricos.....	54

2.7.1.	Parámetros eléctricos longitudinales.....	55
2.7.2.	Parámetros eléctricos transversales .....	67
<b>CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....</b>		<b>81</b>
3.1.	Método, tipo y nivel de la investigación.....	81
3.1.1.	Método de la investigación .....	81
3.1.2.	Tipo de investigación.....	81
3.1.3.	Nivel de investigación.....	82
3.2.	Diseño de la investigación.....	82
3.3.	Población y muestra de la investigación .....	83
3.3.1.	Población.....	83
3.3.2.	Muestra.....	83
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	83
3.4.1.	Técnicas utilizadas en la recolección de datos. ....	83
3.5.	Técnicas de tratamiento de datos. ....	84
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>85</b>
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	85
4.1.1.	Incidencia de fenómenos ambientales en la región .....	87
4.2.	Discusión de resultados .....	89
4.2.1.	Seguridad de las personas.....	89
4.2.2.	Operación del sistema.....	90
4.2.3.	Análisis de los resultados e hipótesis general .....	92
4.2.4.	Análisis de los resultados e hipótesis específicas .....	92
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>94</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>95</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>96</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>97</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de las variables.....	20
Tabla 2: Principales variables de la transmisión eléctrica. ....	27
Tabla 3: Características del cobre y el aluminio .....	43
Tabla 4: Relación de características entre cobre y aluminio. ....	43
Tabla 5: Fallas a causa de fenómenos ambientales.....	85
Tabla 6: Otros tipos de falla .....	86
Tabla 7: Cuadro de pérdidas de energía .....	87
Tabla 8: Parámetros de la configuración del sistema .....	87
Tabla 9: Incidencia de fallas por fenómenos ambientales que probabilidades se tendría en la región, en %. ....	88
Tabla 10: Nivel de aislamiento de conductores. ....	89
Tabla 11: Resumen de valores de cálculo de cortocircuito .....	90



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Líneas eléctricas. ....	25
Figura 2: Transmisión de potencia en corriente directa. ....	28
Figura 3: Reducción de pérdidas con mayor voltaje. ....	31
Figura 4: Conductores homogéneos de aluminio. ....	38
Figura 5: Sección transversal de un conductor con refuerzo de acero con 7 hilos de acero y 24 de aluminio. ....	39
Figura 6: Conductor ASCR/AE. ....	40
Figura 7: Aisladores fijos. ....	44
Figura 8: Aisladores en cadena. ....	45
Figura 9: Aisladores en cadena de suspensión y aisladores en cadena de amarre. ....	46
Figura 10: Aislador tipo campana. ....	46
Figura 11: Elemento de la cadena de aisladores. ....	47
Figura 12: Herrajes. ....	47
Figura 13: Torre de suspensión de doble terna. ....	49
Figura 14: Torre de retención angular. ....	50
Figura 15: Cable unipolar. ....	51
Figura 16: Conductores subterráneos. ....	51
Figura 17: Constitución de un cable eléctrico. Comparación entre longitudes. ....	58
Figura 18: Constitución de un cable eléctrico. Comparación entre secciones. ....	59
Figura 19: Comparación entre conductores de cobre y aluminio a igualdad de resistencia. ....	62
Figura 20: Campos magnéticos y eléctricos asociados a una línea bipolar. ....	63
Figura 21: Ley de Gauss. Superficie Gaussiana con cargas eléctricas en su interior. ....	69
Figura 22: Representación de la impedancia. Resistencia, reactancia inductiva y reactancia capacitiva. ....	71
Figura 23: Efecto Aislador. Paso de los electrones a través y por la superficie de los aisladores de una línea. ....	73
Figura 24: Cadena de aisladores formada por discos acoplados. ....	74
Figura 25: Efecto Corona. Gradiente de potencial en un cable eléctrico. ....	76
Figura 26: Efecto Corona y efecto Aislador. Pérdida de electrones a través del aire. ....	77
Figura 27: Reducción de la corriente de coque. ....	90
Figura 28: Influencia de la componente unidimensional. ....	91
Figura 29: Influencia de la disminución de $I_{cco}$ . ....	91
Figura 30: Densidad de la corriente de corto circuito. ....	92

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ecuación de la potencia. ....	26
Ecuación 2: Ley de Ohm .....	28
Ecuación 3: Voltaje en un tramo .....	29
Ecuación 4: Pérdida de potencia.....	29
Ecuación 5: Potencia inicial.....	29
Ecuación 6: Cálculo de la potencia. ....	30
Ecuación 7: Pérdidas en una línea de corriente alterna. ....	30
Ecuación 8: Ecuación en un transformador. ....	30
Ecuación 9: Conversión en un transformador.....	31
Ecuación 10: Pérdida Joule.....	33
Ecuación 11: Potencia a transmitir.....	33
Ecuación 12: Potencia Joule resultante. ....	33
Ecuación 13: Ley de trenzado de conductores.....	35
Ecuación 14: Cálculo de la resistencia. ....	56
Ecuación 15: Cálculo de la resistencia en función a la resistividad.....	56
Ecuación 16: Cálculo de la resistividad.....	60
Ecuación 17: Ley de Ampere. ....	63
Ecuación 18: Cálculo de la Inductancia .....	64
Ecuación 19: Inductancia .....	64
Ecuación 20: Fórmula de la Inductancia .....	64
Ecuación 21: Reactancia Inductiva .....	65
Ecuación 22: Relación de impedancias. ....	65
Ecuación 23: Inductancia en una línea de transmisión.....	66
Ecuación 24: Inductancia en líneas. ....	66
Ecuación 25: Inductancia en líneas. ....	66
Ecuación 26: Inductancia resultante. ....	67
Ecuación 27: Densidad del flujo eléctrico. ....	69
Ecuación 28: Capacitancia.....	70
Ecuación 29: Capacitancia en condiciones geométricas.....	70
Ecuación 30: Reactancia capacitiva. ....	70
Ecuación 31: Impedancia de circuito. ....	70
Ecuación 32: Fórmula de la conductancia. ....	71
Ecuación 33: Conductancia en fase.....	72
Ecuación 34: Conductancia en función al efecto aislador. ....	74
Ecuación 35: Conductancia resultante.....	75
Ecuación 36: Pérdidas totales.....	75
Ecuación 37: Tensión crítica disruptiva.....	78
Ecuación 38: Densidad relativa del aire.....	79
Ecuación 39: Pérdidas por efecto corona. ....	79
Ecuación 40: Potencia total.....	80
Ecuación 41: Pérdidas por conductancia.....	80
Ecuación 42: Conductancia total.....	80

## RESUMEN

TÍTULO: INFLUENCIA DE LA PÉRDIDA POR CAÍDA DE TENSIÓN EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE LA SELVA ORIENTAL - SAN MARTÍN

AUTOR: Jose Miguel Serrano Carhuallanqui.

La investigación responde al problema ¿Cómo Influye la pérdida por caída de tensión en la línea de transmisión de la Selva Oriental – San Martín?, como objetivo pretende, determinar la influencia de la pérdida por caída de tensión en la línea de transmisión de la Selva Oriental – San Martín y como hipótesis se plantea que la pérdida por caída de tensión influye negativamente en la línea de transmisión de la Selva Oriental – San Martín. A quien se aplicó la experimentación, basada en el análisis de criticidad que permitió mejorar la confiabilidad operacional de la línea de transmisión de la selva Oriental. Concluyendo que al presentarse fallas e interrupciones en una LT, la calidad de energía se ve afectada porque se presentarían sobretensiones transitorias que se detalla en el informe de investigación como son los armónicos, salidas de servicio (cortes de energía no programadas), los daños a los equipos serían muy relevantes, así también las pérdidas económicas por el servicio interrumpido por fracciones de tiempos que representan pérdidas económicas hacia la empresa prestadora de este servicio, no es de esperarse también las sanciones y multas del Organismo Supervisor de la Inversión de la Inversión en Energía.

**Palabras claves:** Pérdidas por caída de tensión, Líneas de transmisión.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** INFLUENCE OF THE LOSS OF LOSS OF TENSION IN THE TRANSMISSION LINE OF THE ORIENTAL JUNGLE - SAN MARTÍN

**AUTHOR:** Jose Miguel Serrano Carhuallanqui.

The investigation responds to the problem How does the loss due to voltage drop affect the transmission line of the Eastern Jungle - San Martín ?, As objective aims, Determine the Influence of the loss due to voltage drop in the transmission line of the Eastern Jungle - San Martín. and as a hypothesis it is proposed that the loss due to voltage drop negatively influences the transmission line of the Selva Oriental - San Martín. To whom was applied the experimentation, based on the criticality analysis that allowed to improve the operational reliability of the transmission line of the Eastern jungle. Concluding that When faults and interruptions occur in an LT, the quality of energy is affected because there would be transient overvoltages that are detailed in the research report such as harmonics, service outputs (unscheduled power outages), damage to the equipment would be very relevant, as well as the economic losses for the service interrupted by fractions of time that represent economic losses to the company providing this service, it is not to be expected also the sanctions and fines of the Supervisory Body of the Investment of the Investment in Energy.

**Keywords:** Lost due to voltage drop, transmission lines.

## INTRODUCCIÓN

En el sector eléctrico es de primordial importancia tener un pleno conocimiento y control de las líneas de transmisión de energía eléctrica y las líneas de distribución de energía eléctrica, para lo cual se debe analizar las pérdidas propias de estas líneas para evitar o en su defecto controlar estas pérdidas, de esta manera poder proporcionar energía de calidad.

Esta investigación busca analizar las pérdidas producidas en la transmisión de energía, a su vez identificar la causa de estas y su posible reducción en las líneas de transmisión en el departamento de San Martín en la región de Selva oriental.

El capítulo I, trata sobre el planteamiento del estudio, nuestro principal problema radicó en la deficiencia del control en las líneas de transmisión en Selva oriental que se viene operando, a causa de esto se produjo las pérdidas de tensión en el circuito, para ello se implementó el sistema de control automático y la manera que influye y determina en la reducción de pérdidas de tensión, así como en la optimización del proceso. También se determinó las hipótesis de cada variable y la identificación de la variable dependiente e independiente.

El capítulo II, contiene el marco teórico en donde se muestra los antecedentes de la investigación: nacionales, internacionales y los fundamentos teóricos. Dividiéndolos en seis grupos: por fundamentos de la transmisión de la energía eléctrica, dando énfasis a las características y análisis del problema. Más adelante se analiza la clasificación de las líneas de transmisión. Después pasamos a estudiar los componentes de una línea de transmisión y la influencia de estos en las pérdidas de tensión. Luego se estudiará los conductores aislados y finalmente estudiar los parámetros eléctricos a fin de elegir las técnicas y metodologías más adecuadas para este proyecto.

El capítulo III, contiene la metodología de la investigación. El método es cuantitativo y analítico. El tipo de investigación es aplicada porque se evaluó sus causas y efectos que produjeron las pérdidas de tensión. El diseño de la investigación es experimental porque se probó el sistema de control automático por simulaciones. Luego se menciona la población, muestra y las técnicas e instrumentos que se está utilizando.

El capítulo IV, trata de explicar los resultados del tratamiento y análisis de datos de los resultados obtenidos.

Y por último se presenta las conclusiones que se arriban con este proyecto de investigación en la cual se explica su importancia y las consecuencias del estudio arribado.

El autor

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La distribución de electricidad que atiende a más de un millón de clientes en la Selva Oriental de San Martín del Perú, en el marco de su plan de crecimiento continuo de sus clientes, transmite un nivel de tensión que actualmente es de 220 kV. Lo cual les permitirá mejorar la calidad del servicio y atender la demanda creciente del sector. Es decir, los nuevos proyectos en Alta tensión, deben adecuarse a las nuevas normas eléctricas; el sistema debe ser capaz de operar para esos niveles de tensión (220 kV) esto le brindará mayor flexibilidad y confianza al sistema eléctrico.

La Zona de transmisión de la Selva Oriental es una entidad pública, de atención al servicio de la comunidad, es un organismo descentralizado autónomo del sector, y tiene entre sus principales funciones y atribuciones el de dictar las políticas y normas técnico - registrales que integran el Sistema Nacional, planificar y organizar, normar, dirigir, coordinar y supervisar el Sistema.

En busca de cumplir con su Misión y Visión de cada vez mejorar la calidad de sus servicios que brinda a la sociedad en el marco de sus competencias, requiere realizar el servicio de “Modernización de la Línea de transmisión”, asegurando la confiabilidad y operatividad en forma continua al sistema eléctrico.

Actualmente los componentes y accesorios que forman parte del sistema de energía, de la subestación como: Interruptores, Conductores, Tableros y otros, que permiten la transmisión, se encuentran funcionando de forma deficiente, debido a su antigüedad (aproximadamente 20 años), lo cual pone en riesgo la operatividad del sistema eléctrico generando pérdidas en el trayecto.

Este trabajo de investigación se basará en analizar las variaciones del nivel de tensión de la línea de transmisión de 220 Kv; por incremento de carga. La línea de transmisión es un componente importante del sistema eléctrico de potencia, debido a que cumple con la función de interconectar y transportar la energía eléctrica a lo largo del país entre sus diferentes plantas de generación y las subestaciones, para satisfacer la demanda eléctrica del país. Uno de los principales problemas que se tiene en esta jurisdicción es que existe un ineficiente suministro de energía eléctrica que se caracteriza por la insuficiente de cobertura, pues no se cuenta con la oferta disponible por haberse sobrecargado la LST y la mala calidad de tensión, por variaciones bruscas en la carga.

Por ello, una vez identificado el problema y habiendo planteado las alternativas de solución se busca el mecanismo que lleve una solución adecuada y posteriormente a la selección de la mejor alternativa. Debido a ello, el presente trabajo permitirá seleccionar la mejor alternativa de solución al problema identificado en base a los indicadores técnicos.

El avance tecnológico en el campo eléctrico ha dado pasos agigantados en el mundo en los últimos años, específicamente en las líneas eléctricas y equipos que lo conforman, tienen ventajas mucho más beneficiosa para el hombre, el equipo y el medio ambiente, motivo por el cual las normas técnicas legales vigentes en el Perú las exigen, es por ello que la siguiente investigación tiene como principal motivo el estudio técnico económico en la línea de transmisión eléctrica para mejorar el servicio eléctrico con el uso de tecnología moderna menos contaminante, por ello se propondrá una solución ante los cambios y sus consecuencias.

Entonces podemos indicar que el buen funcionamiento de la línea de transmisión, está en función del tipo pérdida que se genera siendo el más común la caída de tensión. Por estas consideraciones nuestra pregunta de investigación se ha formulado de la siguiente manera.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cómo Influye la pérdida por caída de tensión en la línea de transmisión de la Selva Oriental – San Martín?



### **1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO**

- a. ¿Cuáles son los factores que generan la caída de tensión en la Selva Oriental – San Martín?
- b. ¿Cuáles son las pérdidas comunes en la línea de transmisión de la Selva Oriental – San Martín?

## **1.3. OBJETIVOS.**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL.**

Determinar la Influencia de la pérdida por caída de tensión en la línea de transmisión de la Selva Oriental – San Martín.

### **1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.**

- a. Estimar los factores que generan la caída de tensión en la Selva Oriental – San Martín.
- b. Estimar pérdidas comunes en la línea de transmisión de la Selva Oriental – San Martín.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.**

### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

Tener cultura social es ver la seguridad humana y la concientización de peligros que se tiene con la energía y su alcance hacia las instalaciones eléctricas es un requisito primordial, para cualquier operación que se interesa por la seguridad de personas ante cualquier eventualidad que signifique un riesgo para la salud. Si no, pensamos en una buena coordinación de protección del sistema eléctrico que nos proteja de estos fenómenos de la naturaleza, que la mayoría de los casos son perturbaciones causadas por descargas atmosféricas y sobretensiones.

Para contribuir a una concientización y cultura ética del ser humano y evitar grandes peligros para el ser humano se evalúa y se pone en conocimiento las cinco reglas de oro frente a una operación en la línea de transmisión de la selva oriental - San

Martín para operar y hacer su mantenimiento respectivo y así evitar riesgos y perjuicios tanto para la empresa como para la vida del ser humano.

#### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

El tema de investigación de este estudio estará orientado al funcionamiento, operación y mantenimiento de la Línea de transmisión bajo la influencia de las pérdidas por caída de tensión y las consecuencias que puede sufrir el sistema en caso no se tomaran las previsiones correspondientes, también estará orientado a conclusiones tomadas en base al comportamiento del sistema en conjunto.

La importancia de identificar la caída de tensión radica en que cualquier tipo de daño puede ocasionar la interrupción en el servicio eléctrico y esto a su vez detener la operación de un proceso completo y continuo que es la operatividad de la línea de transmisión. Por lo cual la necesidad de una buena identificación de pérdidas que se generan en la línea de transmisión.

1

#### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

El deterioro electrónico es el desgaste de componentes electrónicos debido al efecto acumulativo y paulatino de las sobretensiones eléctricas de bajo y alto nivel. Por lo general, estos daños o deterioros se producen en industrias que carecen de protección adecuada contra sobretensiones, y en viviendas que no cuentan con la protección para descargas internas como externas.

Sin embargo, con frecuencia las líneas de transmisión que pasan por la selva Oriental de San Martín se encuentran propensos a interrupciones que son provocados por fenómenos de la naturaleza, que severamente son perturbaciones eléctricas producidas por descargas tanto atmosféricas que ocasionan la apertura de circuitos y la paralización inesperada de los alimentadores y presiones de vientos fuertes, lluvias, etc. A la vez de todo el sistema de procesos, ocasionando grandes pérdidas en la producción.

Con la identificación de la pérdida de caída de tensión en la línea de transmisión se estaría evitando las interrupciones del sistema, y así reduciríamos pérdidas económicas que afectan al desarrollo económico de la Selva Oriental de San Martín.

#### **1.4.4. IMPORTANCIA**

La finalidad de la tesis es que se cumplan las políticas mundiales, nacionales y las normas de electricidad para la confiabilidad del sistema y la reducción de las interrupciones que se dan en el sistema para una mejor calidad de suministro y utilización de esta.

Es por ello que se plantea la influencia de la pérdida de caída de tensión en la línea de transmisión, para la reducción del número de interrupciones que se está dando en el sistema eléctrico de la Selva Oriental de San Martín.

Determinar situaciones que se presentan en las actividades cotidianas de las empresas que dependen de la energía no lleva a determinar que, este estudio contendrá un análisis basado en datos reales de operación y mantenimiento que son recopilados en función a las condiciones de trabajo que requiere para evitar las pérdidas y estas afecten a utilización en las diferentes localidades de la Selva oriental.

### **1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

#### **1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La pérdida por caída de tensión Influye negativamente en la línea de transmisión de la Selva Oriental – San Martín

#### **1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- a. Los factores que generan la caída de tensión en la Selva Oriental – San Martín. Son altos.
- b. Las pérdidas comunes en la línea de transmisión de la Selva Oriental – San Martín. Son altas.

### **1.6. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES**

#### **1.6.1. DEFINICIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE: LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.**

Es el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión y distribución de la energía eléctrica, está constituida por: conductores, estructuras de soporte, aisladores, accesorios de ajustes entre aisladores y estructuras de soporte, y cables de guarda.

#### **1.6.2. DEFINICIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE: PÉRDIDA POR CAÍDA DE TENSIÓN.**

Las pérdidas por caída de tensión, es el potencial que existe entre los extremos de cualquier conductor, semiconductor o aislante, este valor se mide en voltios y representa el gasto de fuerza que implica el paso de la corriente por él mismo.

## 1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 1: Operacionalización de las variables

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	instrumentos
Líneas de transmisión	Es el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión y distribución de la energía eléctrica, está constituida por: conductores, estructuras de soporte, aisladores, accesorios de ajustes entre aisladores y estructuras de soporte, y cables de guarda.	Controlador de potencia	Equipamientos electrónicos con la función de controlar y limitar la potencia eléctrica entregada a una carga eléctrica genérica.	Base de datos.
		Perturbaciones eléctricas	Operará en el entorno de una Red Inteligente (Smart Grid).	Instrumentos socio métricos.
		Transmisión de energía.	Eficiencia en el proceso de la transmisión de energía eléctrica.	Base de datos.
Pérdidas por caída de tensión.	Está formado por algunos de los siguientes elementos: resistencia, inductancia, capacidad y conductancia	conductores	Método del circuito equivalente en "T". Método del circuito equivalente en "TT"	Instrumentos de medición eléctrica
		aisladores	Capacidad del aislador. Resistencia electromecánica nominal.	Instrumentos de medición eléctrica

Fuente: Propia

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Se revisó diferentes tesis de páginas webs acerca de nuestro tema, para así obtener mayor información y ver los diferentes puntos de vista de distintas personas, a nivel nacional e internacional.

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.**

Menciona MARTÍNEZ Rodríguez, Jesús. Método para evaluar la calidad del aislamiento en terminales de media tensión a partir de pruebas de HI-POT. Trabajo de titulación. Las tendencias en las redes de distribución, incluyendo los sistemas eléctricos industriales son hacia la utilización de sistemas subterráneos. Esto incrementará el número de interconexiones con los sistemas de distribución aéreos a través de terminales de empalmes.

La apropiada instalación de los terminales y empalmes permite aumentar la confiabilidad de las instalaciones, considerando los límites de operación por sobre voltajes originados por distintas razones, como descargas atmosféricas, maniobras de cierre y apertura de interruptores y cuchillas, y ferro resonancia entre otras.

El problema principal asociado a la instalación de terminales y empalmes es la presencia de corriente de fuga, significa que el aislamiento del cable. Altos valores de corriente de fuga, significan que el aislamiento del cable está degradado, lo cual puede ocurrir por diversas razones, como son el daño físico durante la instalación de la terminal (o empalme), humedad o aire atrapado. Esto prueba provocar la falla

de la terminal en forma prematura; en este sentido, se considera que el tiempo de vida útil del cable debe ser de 25 o 30 años aproximadamente.

Una alternativa para evaluar la integridad del aislamiento después del montaje de un terminal es a través de una prueba de Hi-Pot, que consiste en aplicar un voltaje de *cd* entre la terminal y el aislamiento y medir la corriente de fuga resultante. La prueba se hace en etapas hasta un valor máximo de voltaje que depende del voltaje de operación nominal del cable, obteniéndose una gráfica del comportamiento de la corriente de fuga.

Tradicionalmente, el criterio utilizado para determinar el estado del aislamiento después del montaje se basa en la estabilización de la corriente de fuga hacia la parte final de la prueba de Hi-Pot, de tal forma que, con independencia del valor final de la corriente de fuga, si esta se estabiliza en un valor final, se considera que la instalación fue correcta, y se acepta para su operación. En caso contrario, si la corriente presenta una tendencia a aumentar para valores de voltaje para mayores, se considera que hubo problemas en la instalación, y el montaje no se acepta.

Tesis Nacional: Costa, Marcos, (2010) – Pontificia Universidad Católica del Perú; publicó la Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico, "Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción", la cual consistió en evaluar una serie de motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción con el fin de analizar el comportamiento de los tiempos entre fallas y mejorar la confiabilidad operacional.

Peralta, Diego., (2009) – Pontificia Universidad Católica del Perú; publicó un artículo de investigación titulado "Sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Operacional de Perforadoras y Palas Eléctricas Bucyrus, en una mina a tajo abierto", el cual consistió en proponer mejoras basadas en la implementación de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad operacional de perforadoras y palas eléctricas Bucyrus; cuyo alcance a mediano plazo asegure un cambio profundo en la cultura organizacional de la empresa y el uso de adecuadas y modernas herramientas de gestión.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.**

Reinoso (2013), desarrollo un trabajo de investigación "Diseño y Simulación de una línea de transmisión de extra alta tensión de 500 kv" desarrollado en la ciudad de

Lima en donde plantea lo siguiente “El sector eléctrico en el Perú ha experimentado sorprendentes mejoras en los últimos 15 años. Nuestro sistema eléctrico ha crecido y a la vez mejoró la calidad y la eficacia de la prestación del servicio. Estas mejoras fueron posibles gracias a las privatizaciones posteriores a las reformas iniciadas en el año de 1992. Al mismo tiempo, las tarifas de electricidad han permanecido en consonancia con el promedio de América Latina.

Sin embargo, aún quedan muchos retos. Los principales son el bajo nivel de acceso en las áreas rurales y el potencial sin explotar de algunas energías renovables, en concreto la energía eólica y la energía solar.

La capacidad actual de generación de electricidad está dividida de manera uniforme entre las fuentes de energía térmica e hidroeléctrica. El renovado y reciente dinamismo del sector eléctrico del país se basa en el cambio por plantas a gas natural, fomentado por la producción del campo de gas de Camisea en la selva amazónica.

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) abastece al 85% de la población conectada, con varios sistemas “aislados” que cubren el resto del país. A pesar de que la inversión en generación, transmisión y distribución en las áreas urbanas es principalmente privada, los recursos para la electrificación rural provienen únicamente de recursos públicos.

En nuestro país, la entidad encargada de coordinar la operación de corto, mediano y largo plazo de nuestro sistema eléctrico, preservar la seguridad del sistema y el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos es el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES)”.

Dammert, García, Molinelli (2008), desarrollaron un libro “Regulación y supervisión del sector eléctrico” desarrollado en la ciudad de Lima en donde plantea lo siguiente “La operación económica de los sistemas eléctricos, la evaluación las decisiones de inversión en transmisión e incluso los métodos de asignación de costos entre los usuarios están condicionados por las leyes físicas que gobiernan el funcionamiento de estos sistemas. Por ello, para entender los métodos de regulación de esta actividad es conveniente resumir algunas leyes del funcionamiento de los sistemas eléctricos de potencia. En primer lugar, debemos considerar las variables físicas que intervienen en la transmisión de electricidad.



Se denomina corriente continua o directa cuando tanto el voltaje como la intensidad de corriente también conocida como amperaje son constantes en magnitud y dirección. Se denomina corriente alterna cuando el voltaje y la intensidad de corriente varían en magnitud y dirección, formando ciclos en el tiempo. La frecuencia es el número de ciclos por segundo y se mide en hertz (H), que corresponde a un ciclo por segundo.

La posibilidad de transmitir un mismo nivel de potencia modificando el voltaje y la intensidad tiene una serie de consecuencias sobre la operación de los sistemas eléctricos, lo cual se ilustra en el siguiente ejemplo sobre cambios en el nivel de voltaje y reducción de las pérdidas de energía.

Según Céspedes Zúñiga, Alfredo. Diseño de mejora de calidad para la puesta en servicio de la línea de transmisión Villa Rica – Puerto Bermudez en 60 kV. Trabajo de titulación; concluye que la coordinación de protección actúa frente a la calidad de suministro de la energía eléctrica y la reducción de tiempos de actuación de los equipos ante una perturbación frente al sistema eléctrico de la subestación Chumpe.

Finalmente se concluye que la coordinación de protección influye directamente en la calidad de suministro ya que se analiza desde un punto de conexión y relación con las variables e indicadores y se ve continuidad, mejora con menos interferencias e interrupciones en la minera.

El presente trabajo proporciona una guía práctica para establecer un sistema simple para monitorear la energía, a la vez muestra como las curvas de coordinación de los equipos pueden reducir el costo de su operación y mantenimiento, haciendo uso de la información cotidiana acerca de la energía y sus procesos en el sistema eléctrico de la subestación Chumpe.

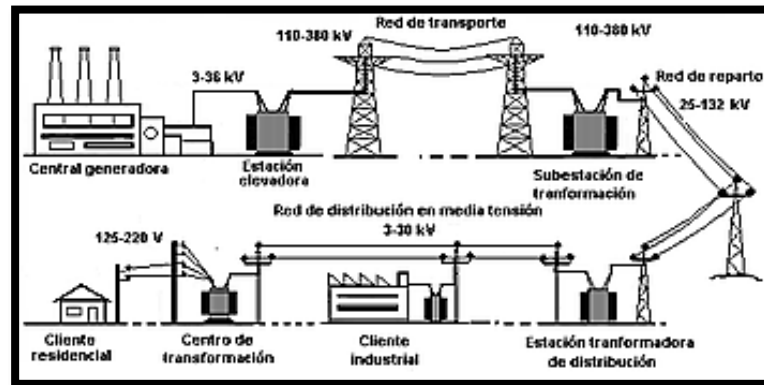
## **2.2. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA**

La función de las líneas eléctricas es transmitir energía entre dos puntos en forma técnica y económicamente conveniente, para lo cual se busca optimizar las siguientes características: (1)

- Resistencia eléctrica, ligada a las pérdidas.
- Resistencia mecánica, ligada a la seguridad.

- Costo limitado, ligado a la economía.

Figura 1: Líneas eléctricas.



Fuente: Red de distribución eléctrica.

En el diseño se trata de buscar soluciones que reduzcan el costo de la instalación y también de reconstrucción después de eventos destructivos. (1)

Las características de las líneas que son de mayor importancia son su longitud y su tensión. Los parámetros eléctricos de importancia para observar su comportamiento en la red son resistencia, reactancia inductiva y capacitancia derivación. (1)

A veces las líneas tienen cables de guarda, estos apantallan los conductores, protegiéndolos de descargas atmosféricas directas (rayos), recientemente han comenzado a difundirse cables de guarda con fibra óptica que se utiliza como vector de transmisión de información entre las estaciones que une la línea. (1)

### 2.2.1. FUNDAMENTOS DE LA TRANSMISIÓN.

La operación económica de los sistemas eléctricos, la evaluación las decisiones de inversión en transmisión e incluso los métodos de asignación de costos entre los usuarios están condicionados por las leyes físicas que gobiernan el funcionamiento de estos sistemas. Por ello, para entender los métodos de regulación de esta actividad es conveniente resumir algunas leyes del funcionamiento de los sistemas eléctricos de potencia. En primer lugar, debemos considerar las variables físicas

que intervienen en la transmisión de electricidad, las cuales se resumen en el cuadro 1. (2)

La potencia eléctrica ( $W$ ) es igual al producto del voltaje ( $V$ ) por la intensidad de la corriente ( $I$ ). Esta relación se denota por:

**Ecuación 1: Ecuación de la potencia.**

$$W = V \times I$$

Se denomina corriente continua o directa cuando tanto el voltaje como la intensidad de corriente, también conocida como amperaje, son constantes en magnitud y dirección. Se denomina corriente alterna cuando el voltaje y la intensidad de corriente varían en magnitud y dirección, formando ciclos en el tiempo. La frecuencia es el número de ciclos por segundo y se mide en Hertz (H), que corresponde a un ciclo por segundo. (2)

La posibilidad de transmitir un mismo nivel de potencia modificando el voltaje y la intensidad tiene una serie de consecuencias sobre la operación de los sistemas eléctricos, lo cual se ilustra en el siguiente ejemplo sobre cambios en el nivel de voltaje y reducción de las pérdidas de energía. (2)

**Tabla 2: Principales variables de la transmisión eléctrica.**

Variable	Definición	Símbolo	Unidad de medida	Símbolo de la unidad de medida	Significado de la unidad de medida
Intensidad de corriente	Se refiere a la cantidad de electrones que pasa por una sección del conductor eléctrico por unidad de tiempo.	$I$	Amperio	$A = C / s$	Un amperio representa a $1,25 \times 10^{18}$ electrones (1 coulomb = 1 C) que atraviesan una sección del conductor por segundo (s).
Voltaje	Representa la fuerza motriz que permite mover los electrones de un punto a otro punto. También se le conoce como <i>diferencia de potencial</i> . (*)	$V$	Voltios	$V = J / C$	Un voltio representa un joule de fuerza (J) empleado para mover $1,25 \times 10^{18}$ electrones (C).
Potencia eléctrica(**)	Es la cantidad de trabajo que realiza una corriente eléctrica por una unidad de tiempo.	$W$	Watts	$W = J / s$	Un watt o vatio representa el trabajo realizado por $1,25 \times 10^{18}$ electrones para desplazarse de un punto a otro punto, empleando un joule de fuerza (J) durante un segundo (s).

**Fuente: Alfredo Dammert, Raúl García, Fiorella Molineli**

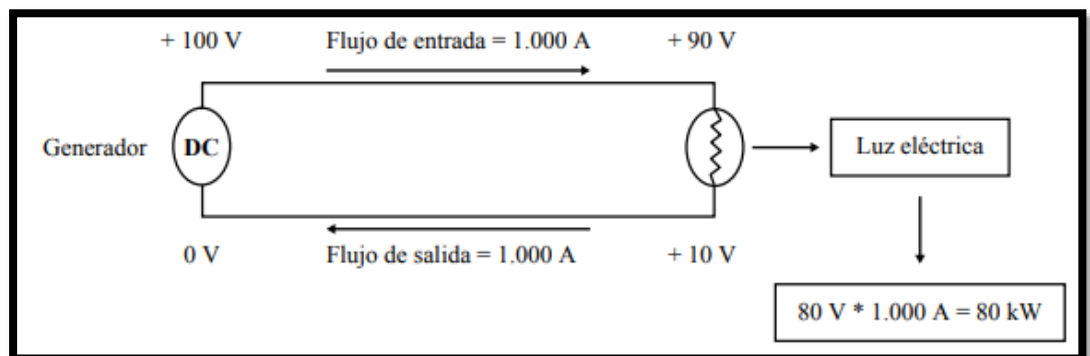
(\*) El potencial eléctrico en un punto es el trabajo que debe realizar una fuerza eléctrica para mover una carga unitaria desde ese punto hasta el infinito, donde el potencial es cero. Dicho de otra forma, es el trabajo que debe realizar una fuerza externa para traer una carga unitaria desde el infinito hasta el punto considerado en contra de la fuerza eléctrica. Si dos puntos que tienen una diferencia de potencial se unen mediante un conductor, se producirá un flujo de corriente eléctrica. El potencial eléctrico se mide en voltios. (2)

(\*\*) Utilizaremos  $W$  en lugar de  $P$ , como símbolo de la potencia eléctrica, con la finalidad de evitar confusiones, pues el símbolo  $P$  se utiliza en el texto para denotar precios. (2)

En la figura 2, se aprecia que la potencia ( $W$ ) utilizada por un conjunto de luminarias para producir luz eléctrica es igual producto del voltaje ( $V$ ) por el flujo de corriente ( $I$ ) que atraviesa el conjunto de luminarias, es decir,  $W = 80 V \times 1.000 A = 80 kW$ . (2)

En cambio, la potencia producida por el generador es  $100 \text{ V} \times 1.000 \text{ A} = 100 \text{ kW}$ . La diferencia son las pérdidas que se dan en el circuito eléctrico,  $10 \text{ kW}$  en cada segmento, debido a que la existencia de fricción en la transmisión de electricidad hace difícil el paso de esta a través de las líneas. Por ello se da una disminución del potencial eléctrico entre ambos extremos de la línea pasándose de  $100 \text{ V}$  a  $90 \text{ V}$ . Es decir, que el potencial eléctrico, también medido en voltios, en el flujo de entrada es mucho mayor que en el flujo de salida. (2)

**Figura 2: Transmisión de potencia en corriente directa.**



**Fuente: Stoft 2002**

La relación entre voltaje que viene a medir esta diferencia de potenciales, corriente y fricción se expresa a través de una igualdad entre el voltaje y el producto de la intensidad de la corriente por la resistencia (ley de Ohm):

**Ecuación 2: Ley de Ohm**

$$V = I \times R$$

Donde la resistencia ( $R$ ) se mide en ohmios. Esta ecuación 2 es importante porque la resistencia es un valor fijo para el segmento de la línea. Con dicha ecuación podemos calcular la resistencia entre cada uno de los tramos de la línea mostrados en la figura 2. En este caso, el voltaje o diferencia de potencial entre dos segmentos ha disminuido a  $10 \text{ V} = 10 - 0 = 100 - 90 = 1.000 \times R$ , lo que da  $R = 0,01$  ohmios. (2)

Ahora cambiemos el generador de la figura 2 para que produzca con 1.000 V y solo 100 A de intensidad de corriente, manteniendo la potencia en 100 kW, tal como se muestra en la figura 3. Utilizando la ecuación 3 se puede obtener el voltaje del mismo tramo de la línea considerado anteriormente: (2)

**Ecuación 3: Voltaje en un tramo**

$$V = 100 \times 0,01 = 1 \text{ voltio} = 1 - 0 = 1.000 - 999$$

De la expresión anterior se aprecia que la disminución del voltaje es mucho menor si el generador tiene un voltaje mayor (10 voltios versus 1 voltio). Por otro lado, vimos que la corriente es menor (100 A), de modo que la potencia luego de la generación de luz eléctrica, que denominaremos «pérdida de potencia» (L) y que vuelve para cerrar el circuito eléctrico, es solamente de: (2)

**Ecuación 4: Pérdida de potencia.**

$$L = 1V \times 100 A = 100 W$$

Cuando originalmente era:

**Ecuación 5: Potencia inicial.**

$$L = 10V \times 1.000 A = 10.000 W$$

Vemos entonces que elevando el voltaje 10 veces, las pérdidas de transmisión se reducen en 100 veces, sin que se reduzca la potencia transmitida. Las pérdidas de transmisión en el primer caso fueron de 20 kW (100 kW que se produjeron menos 80 kW que llegaron al conjunto de luminarias, perdiéndose 10 kW en cada segmento del circuito), mientras que en el segundo caso solo ascendieron a 0,2 kW (100 kW que se produjeron menos 99,8 kW que llegaron al conjunto de luminarias, 0,1 kW en cada segmento del circuito). (2)

Las pérdidas de transmisión también se pueden analizar reemplazando la ecuación 5 en la 6 para obtener una expresión de la potencia en función de la resistencia y el voltaje: (2)

**Ecuación 6: Cálculo de la potencia.**

$$W = V \times I = I \times R \times I = R \times I^2$$

Como se comentó, esta potencia medida luego de la generación de energía en forma de luz eléctrica vendría a representar la pérdida de energía. Se aprecia claramente que las pérdidas de transmisión son directamente proporcionales a la resistencia y al cuadrado de la intensidad de la corriente. Este resultado es exacto en una línea de corriente directa y aproximado en una línea de corriente alterna. Alternativamente, las pérdidas también se pueden expresar de la siguiente forma: (2)

**Ecuación 7: Pérdidas en una línea de corriente alterna.**

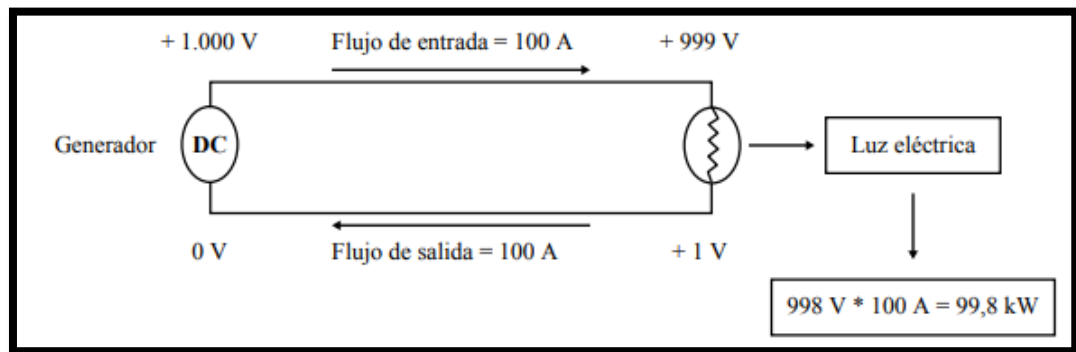
$$L = \frac{R \times W^2}{V^2} = aW^2$$

Dado que es más económico usar las líneas de alto voltaje para la transmisión, pero que, por otro lado, dichos voltajes no se pueden usar para el consumo doméstico, pues se incrementan los problemas de seguridad, se requieren transformadores. Un transformador cambia el voltaje y el flujo de corriente sin cambiar la potencia; es decir, si por una línea ingresa a un transformador un voltaje  $V_1$  y una corriente  $I_1$ , y por el otro lado egresa un voltaje  $V_2$  y una corriente  $I_2$ , tenemos que: (2)

**Ecuación 8: Ecuación en un transformador.**

$$W = V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2$$

Figura 3: Reducción de pérdidas con mayor voltaje.



Fuente: Stoft 2002

Por ejemplo, si una línea de alta tensión tiene un voltaje de 10.000 V y transporta una corriente de 100 A, e ingresa a un transformador que convierte el voltaje a 220 V, la corriente que egresa será de:

Ecuación 9: Conversión en un transformador.

$$I_2 = \frac{V_1 \times I_1}{V_2} = \frac{10.000V \times 100A}{220V} = 4.545A$$

Dado que la sección de los conductores de las líneas de transporte de energía eléctrica depende de la intensidad de corriente que se requiere transmitir (cuanto menor es la intensidad es factible usar líneas de transmisión de menor diámetro), podemos entonces, mediante un transformador, elevar el voltaje hasta valores altos alta tensión. Con esto la misma energía puede ser distribuida a largas distancias con bajas intensidades de corriente y, por tanto, con bajas pérdidas por causa del efecto Joule. Una vez en el punto de utilización o en sus cercanías, el voltaje puede ser de nuevo reducido para su uso industrial o doméstico de forma cómoda y segura. Sin embargo, para que se puedan utilizar transformadores se requiere corriente alterna, pues no es posible modificar el voltaje cuando se utiliza corriente continua. (2)



### 2.3. LÍNEAS ELÉCTRICAS.

Las líneas constituyen uno de los principales elementos que intervienen en la composición de una red eléctrica. La interconexión de sistemas y el transporte, reparto y distribución de la energía dentro de un sistema determinado se realizan por medio de líneas aéreas o cables aislados. (1)

La interconexión entre redes regionales o nacionales, así como el transporte entre grandes centros de producción y consumo, para los que siempre se emplean altas tensiones con distancias de orden elevado, son dominio exclusivo de las líneas aéreas. (1)

En las redes de distribución en media tensión, comienzan ya a existir dos campos de utilización perfectamente delimitados: las líneas aéreas y los cables aislados. Cuando se trata de redes rurales, provinciales, o cuando las distancias superan algunos kilómetros, predominan las líneas aéreas. Cuando se trata de centros urbanos, zonas industriales densas o distancias muy cortas, es práctica normal utilizar las líneas subterráneas. (1)

En las redes de distribución en baja tensión podemos hacer las mismas consideraciones que en el caso de media tensión, si bien por tratarse en general de distancias cortas y distribuciones muy directas a los elementos de consumo, predominan claramente los conductores aislados. (1)

La elección de un sistema u otro, depende de un gran número de factores. Las consideraciones económicas constituyen el principal factor de decisión. El coste de un sistema enterrado puede alcanzar de 5 a 10 veces el coste de un sistema aéreo. Un sistema aéreo de distribución puede tener una vida útil de 25 años, mientras que un sistema enterrado puede alcanzar los 50 años. (1)

Un sistema aéreo es más propenso a sufrir mayor número de averías como consecuencia del viento, hielo, nieve o accidentes de todo tipo, sin embargo, conviene no olvidar que la reparación y localización de averías es mucho más sencilla en un sistema aéreo que en un sistema subterráneo. (1)

Cuando se deben transmitir grandes potencias desde la generación hasta los centros de consumo, es necesario en la electrotecnia de potencia el uso de tensiones elevadas. La corriente se conduce a través de conductores metálicos. (1)

Por lo tanto se producen pérdidas, entre las cuales la pérdida por efecto Joule es la más importante. La pérdida Joule,  $P_j$  en un sistema de transmisión trifásico, cuando la resistencia óhmica de una fase es igual a  $R$ , resulta:

**Ecuación 10: Pérdida Joule.**

$$P_j = 3I^2 R$$

**Ecuación 11: Potencia a transmitir.**

$$P = \sqrt{3}UI \cos\varphi$$

**Ecuación 12: Potencia Joule resultante.**

$$P_j = P^2 \frac{R}{U^2 (\cos\varphi)^2}$$

Esta expresión muestra que la pérdida Joule de una línea es proporcional al cuadrado de la potencia a ser transmitida  $P$ , y a la resistencia óhmica  $R$  de la línea, además, inversamente proporcional al cuadrado de la tensión  $U$  y al factor de potencia  $\cos \phi$ . (1)

Las pérdidas, por motivos económicos, no deben superar un determinado porcentaje de la potencia a ser transmitida. De esta expresión surge que la conclusión más eficaz es la elevación de la tensión a utilizar. (1)

Con una elevación de la tensión, también, se eleva el costo de la instalación. Por eso es necesario, al proyectar una instalación de transmisión de potencia, considerar todos estos aspectos que inciden en el costo del sistema de transmisión. (1)

## **2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICA.**

Las líneas eléctricas se pueden clasificar por su función en:

### **2.4.1. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

Son aquellas que se utilizan para transportar la energía eléctrica a grandes distancias, a niveles de voltajes superiores a los 34.500v. Estas constituyen el

eslabón de unión entre las centrales generadoras y las redes de distribución. Para la construcción de estas líneas se utilizan casi exclusivamente conductores metálicos desnudos, que se obtienen mediante cableado de hilos metálicos (alambres) alrededor de un hilo central. (3)

#### **2.4.2. LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.**

Son aquellas que van desde las subestaciones hasta los centros de consumo como son las industrias, domicilios y alumbrado público, los niveles de tensión utilizados son por debajo de los 34.500v. Los conductores en media tensión siguen siendo desnudos, pero en baja tensión se usan conductores aislados, para mayor seguridad en zonas urbanas. (3)

### **2.5. COMPONENTES DE UNA LÍNEA AÉREA**

Las líneas aéreas están constituidas tanto por el elemento conductor, usualmente cables de cobre o aluminio, como por sus elementos de soporte, las Torres de alta tensión, y los aisladores. (3)

#### **2.5.1. CONDUCTORES:**

En la construcción de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica, se utilizan casi exclusivamente conductores trenzados, los cuales son cables formados por alambres, en capas alternadas, enrolladas en sentidos opuestos. Esta disposición alternada de las capas evita el desenrollado y hace que el radio externo de una capa coincida con el interior de la siguiente. El trenzado proporciona flexibilidad con grandes secciones transversales. (3)

El conductor trenzado puede realizarse con hilos del mismo metal, o de distintos metales, según cuales sean las características mecánicas y eléctricas deseadas. Si los hilos son del mismo diámetro, la formación obedece a la siguiente ley: (3)

**Ecuación 13: Ley de trenzado de conductores.**

$$nh = 3c^2 + 3c + 1$$

Siendo:

nh = número de hilos

c = número de capas

Por lo tanto, es común encontrar formaciones de 7, 19, 37, 61, 91 hilos, respectivamente 1 a 5 capas. (3)

Los metales utilizados en la construcción de líneas aéreas deben poseer tres características principales: baja resistencia eléctrica, elevada resistencia mecánica, de manera de ofrecer resistencia a los esfuerzos permanentes o accidentales y bajo costo. (3)

Los metales que satisfacen estas condiciones son relativamente escasos, los cuales son: cobre, aluminio, aleación de aluminio y combinación de metales (aluminio acero) Conviene para cada caso particular investigar el metal más ventajoso, teniendo en cuenta las observaciones generales que siguen. (3)

#### **2.5.1.1. Cobre**

El tipo de cobre que se utiliza en la fabricación de conductores es cobre electrolítico de alta pureza. Se obtiene electrolíticamente, por refinado: un electrodo de cobre hace de cátodo y un electrodo de cobre con impurezas hace de ánodo; el cobre electrolítico se deposita sobre el cátodo. Las características del cobre electrolítico coinciden, casi exactamente con las del cobre puro, ya que el contenido mínimo de cobre ha de ser de 99.9 %. Este tipo de cobre se presenta en los siguientes grados de dureza o temple: (3)

- **Cobre recocido.** El cobre recocido llamado también cobre blando tiene una resistencia a la rotura de 22 a 28 [Kg/mm<sup>2</sup>]. El cobre recocido a 20° C de temperatura ha sido adoptado como cobre-tipo para las transacciones comerciales en todo el mundo. El cobre

recocido es dúctil, flexible y se utiliza, sobre todo, para la fabricación de conductores eléctricos que no hayan de estar sometidos a grandes esfuerzos mecánicos. (3)

- **Cobre semiduro.** Tiene una resistencia a la rotura de 28 a 34 [Kg./mm<sup>2</sup>] y no es tan dúctil ni maleable como el cobre recocido. (3)
- **Cobre duro.** El cobre duro trabajado en frío adquiere dureza y resistencia mecánica, aunque a expensas de su ductilidad y maleabilidad. El cobre duro tiene una resistencia a la rotura de 35 a 47 [Kg/mm<sup>2</sup>] y sus buenas propiedades mecánicas se emplea para conductores de líneas eléctricas exteriores, donde han de estar sometidos a esfuerzos mecánicos elevados; este tipo de cobre no es muy empleado en instalaciones interiores, debido a que se manipula más difícilmente, que el cobre recocido. (3)

#### 2.5.1.2. Aleaciones de Cobre

Los que son solubles en cantidad moderada en una solución sólida de cobre, tales como el manganeso, el níquel, el zinc, el estaño, el aluminio, etc., generalmente endurecen el cobre y disminuyen su ductilidad, pero mejoran sus condiciones de laminado y de trabajo mecánico. (3)

De una forma general se puede decir que las aleaciones de cobre mejoran algunas de las propiedades mecánicas o térmicas del cobre puro, pero a excepción de las propiedades eléctricas. Las aleaciones de cobre las utilizadas son las siguientes: (3)

- **Latones**

Los latones son aleaciones de cobre y zinc con un 50 % de este último metal como máximo, ya que, a partir de dicho porcentaje, las aleaciones resultan frágiles. La conductividad eléctrica es relativamente baja, por lo que su empleo no es tan extendido. (3)

- **Bronces**

Los broncees son aleaciones de cobre y estaño. Pero actualmente las aleaciones dejaron de ser binarias para pasar a ser ternarias, introduciendo un tercer elemento, además del cobre y el estaño,

como fósforo, silicio, manganeso, zinc, cadmio, aluminio; según el tercer elemento es el nombre del bronce, por ejemplo: bronce fosforoso, bronce silicioso, etc. (3)

Cuando un conductor está destinado a líneas aéreas, el mismo debe ser capaz de satisfacer las exigencias mecánicas a las que estará sometido una vez tendido. Las mismas son del resultado de la acción de su propio peso y de los agentes mecánicos exteriores (viento, hielo, etc.). De ahí que el conocimiento de su carga de rotura total a la tracción sea imprescindible. Con el objeto de aumentar en todo lo posible la resistencia específica a la tracción, el material deberá estar al estado puro, o sea su característica metalográfica básica serán los granos pequeños. Ello como es lógico, acarrea la disminución de su conductividad eléctrica, la cual desciende más cuanto mayor sea el grado de dureza obtenido. En la práctica se han definido sólo los estados extremos, y es así que se utilizan dos tipos de cobres, según sea destinado a líneas aéreas (cobre duro), o a usos no aéreos (cobre recocido, en el que es crítico el conocimiento de su conductividad). (3)

Pese a la menor resistencia eléctrica y superiores aptitudes mecánicas el cobre ha dejado de ser utilizado en la construcción de líneas aéreas, esto es especialmente notado en alta y muy alta tensión. (3)

### **2.5.1.3. Aluminio**

El aluminio es el material que se ha impuesto como conductor de líneas aéreas, debido a su menor costo y ligereza con respecto a los de cobre para un mismo valor de resistencia. También es una ventaja el hecho de que el conductor de aluminio tenga un mayor diámetro que el de cobre con la misma resistencia. Con un diámetro mayor, las líneas de flujo eléctrico que se originan en el conductor, se encuentran más separadas en su superficie para el mismo voltaje. Esto significa que hay un menor gradiente de voltaje en la superficie del conductor y una menor tendencia a ionizar el aire que rodea al conductor. La ionización o descargas eléctricas debido a la ruptura del dieléctrico del aire producen un fenómeno indeseable llamado Efecto Corona. (3)

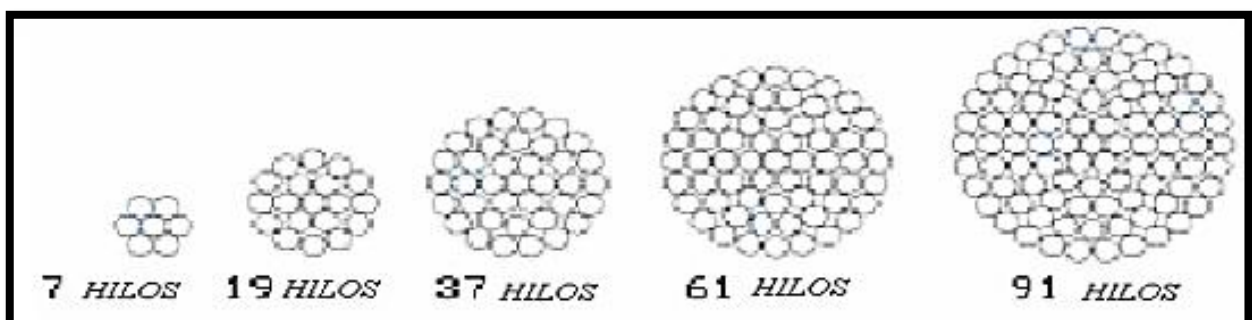
Los conductores en base a aluminio utilizados en la construcción de líneas aéreas se presentan en las siguientes formas:

### **Conductor homogéneo de aluminio puro (AAC)**

El aluminio es, después del cobre, el metal industrial de mayor conductividad eléctrica. Esta se reduce muy rápidamente con la presencia de impurezas en el metal, por lo tanto para la fabricación de conductores se utilizan metales con un título no inferior al 99.7%, condición esta que también asegura resistencia y protección de la corrosión. Los conductores de aluminio 1350 se clasifican de la siguiente forma: (3)

- Clase AA: Conductores normalmente usados en líneas de transmisión aéreas.
- Clase A: Conductores a ser recubiertos por materiales resistentes al clima y conductores desnudos con alta flexibilidad.
- Clase B: Conductores a ser aislados con diversos materiales y conductores que requieren mayor flexibilidad.
- Clase C: Conductores que requieren la más alta flexibilidad. (3)

**Figura 4: Conductores homogéneos de aluminio.**



Fuente: Sector Electricidad

### **Conductor homogéneo de aleación de aluminio (AAAC)**

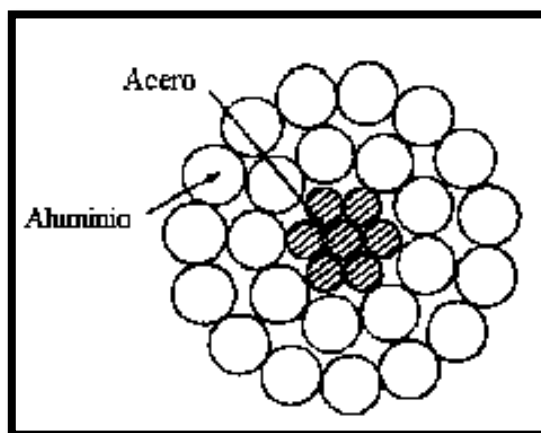
Se han puesto a punto aleaciones especiales para conductores eléctricos. Contienen pequeñas cantidades de silicio y magnesio (0.5 0.6 % aproximadamente) y gracias a una combinación de tratamientos térmicos y mecánicos adquieren una carga de ruptura que duplica la del aluminio (haciéndolos comparables al aluminio con alma de acero), perdiendo solamente un 15 % de conductividad (respecto del metal puro). (3)

Utilizado normalmente para distribución eléctrica primaria y secundaria. Posee una alta relación resistencia/peso. La aleación de aluminio del cable AAAC ofrece mayor resistencia a la corrosión que el cable ACSR. Una de las aleaciones de aluminios más conocida es el ARVIDAL. (3)

### **Conductor mixtos aluminio con alma de acero (ACSR)**

Estos cables se componen de un alma de acero galvanizado recubierto de una o varias capas de alambres de aluminio puro. El alma de acero asigna solamente resistencia mecánica del cable, y no es tenida en cuenta en el cálculo eléctrico del conductor. (3)

**Figura 5: Sección transversal de un conductor con refuerzo de acero con 7 hilos de acero y 24 de aluminio.**



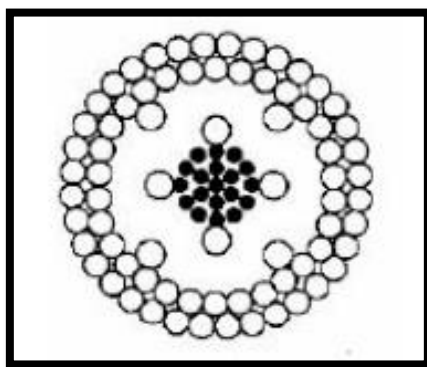
Fuente: Sector Electricidad



En la Figura 5 se muestra la sección transversal de un cable de aluminio con refuerzo de acero (ACSR). El conductor que se muestra tiene 7 hilos de acero que forman el núcleo central alrededor del cual hay dos capas de hilos de aluminio. Hay 24 hilos de aluminio en las capas externas. El conductor trenzado se especifica como 24 A1/7 St, o simplemente 24/7. Se obtienen diferentes esfuerzos de tensión, capacidades de corrientes y tamaños de conductores al usar diferentes combinaciones de acero y aluminio. Otros tipos de ASCR son: (3)

- **ACSR/AW** – Conductor de Aluminio con Refuerzo de Acero Aluminizado: El conductor ACSR/AW ofrece las mismas características de fortaleza del ACSR pero la corriente máxima que puede soportar el cable y su resistencia a la corrosión son mayores debido al aluminizado del núcleo de acero. Provee mayor protección en lugares donde las condiciones corrosivas del ambiente son severas. (3)
- **ACSR/TW** – Conductor de Aluminio con Refuerzo de Acero: Las estructuras a utilizar deben ser evaluadas cuidadosamente debido al gran peso de este conductor. (3)
- **ACSR/AE** – Conductor de Aluminio con Refuerzo de Acero: Como su nombre lo indica, el ACSR/AE (Air Expanded) ACSR es un conductor cuyo diámetro ha sido incrementado o “expandido” por espacios de aire entre las capas exteriores de aluminio y el núcleo de acero. (3)

**Figura 6: Conductor ACSR/AE**



**Fuente: Sector Electricidad**

#### **2.5.1.4. Conductores De Aluminio Con Alma De Aleación (ACAR)**

EL ACAR tiene un núcleo central de aluminio de alta resistencia rodeado por capas de conductores eléctricos de aluminio. (3)

Independientemente de las características eléctricas y mecánicas que conducen a la elección de un tipo de conductor u otro, no se deben perder nunca de vista los principios básicos de uso de conductores de aluminio: (3)

- a. Los conductores de aluminio se utilizan siempre en forma de conductores trenzados, debido a que poseen mejor resistencia a las vibraciones que los conductores de un único alambre. (3)
- b. Expuestos a la intemperie se recubren rápidamente de una capa protectora de óxido insoluble y que protege al conductor contra la acción de los agentes exteriores. Pese a esto deberá prestarse atención cuando hay ciertos materiales en suspensión en la atmósfera, zonas de caleras, cementeras, etc. exigen seleccionar una aleación adecuada. (3)
- c. Ciertos suelos naturales atacan al aluminio en distintas formas, por lo que no es aconsejable utilizarlo para la puesta a tierra de las torres, al menos cuando se ignoran las reacciones que el suelo puede producir. (3)
- d. El aire marino tiene una acción de ataque muy lenta sobre el aluminio, de todos modos, numerosas líneas construidas en la vecindad del mar han demostrado óptimo comportamiento, en estos casos se deben aumentar las precauciones en lo que respecta al acierto en la elección de la aleación y su buen estado superficial, en general el ataque será más lento cuanto menos defectos superficiales existan. Los defectos superficiales son punto de partida de ataques locales que pueden producir daños importantes, si no se presentan entalladuras o rebabas (que pueden ser causadas por roces durante el montaje) los hilos serán menos sensibles al ataque exterior. (3)

- e. El aluminio es electronegativo en relación a la mayoría de los metales que se utilizan en las construcciones de líneas, y por esto se debe tener especial cuidado en las uniones. (3)
- f. La temperatura de fusión del aluminio es 660 grados C (mientras el cobre funde a 1083 grados C) por lo tanto los conductores de aluminio son más sensibles a los arcos eléctricos. (3)

A su vez los conductores de aleación de aluminio presentan algunas ventajas respecto de los de aluminio acero, a saber:

Mayor dureza superficial, lo que explica la más baja probabilidad de daños superficiales durante las operaciones de tendido, particularidad muy apreciada en las líneas de muy alta tensión, ya que como consecuencia se tendrán menos pérdidas por Efecto Corona, y menor perturbación radioeléctrica. Menor peso, por lo que es más económico. (3)

Una desventaja que debe señalarse para la aleación de aluminio es que por ser sus características mecánicas consecuencia de tratamientos térmicos, el cable es sensible a las altas temperaturas (no debe superarse el límite de 120 grados C) por lo que debe prestarse especial atención al verificar la sección para las sobre corrientes y tener particularmente en cuenta la influencia del cortocircuito. (3)

Para concluir, el conductor es el componente que justifica la existencia de la línea, por lo tanto, toda la obra se hace para sostenerlo, y entonces es válida la afirmación de que su elección acertada es la decisión más importante en la fase de proyecto de una línea. (3)

Además, no debe olvidarse de respetar los límites de temperatura con la corriente de régimen, y con la máxima solicitud de cortocircuito, no se debe alcanzar una temperatura tal que provoque una disminución no admisible de la resistencia mecánica del conductor. En la siguiente tabla se puede apreciar las características físicas y eléctricas tanto del cobre como del aluminio. (3)

**Tabla 3: Características del cobre y el aluminio**

<b>Propiedades</b>	<b>Aluminio 99,5%</b>	<b>Cobre</b>
Densidad a 20°C	2,7	8,90
temperatura de fusión o de fusión incipiente °C	658	1.083
Coeficiente de dilatación lineal entre 20 y 100°C	23.10-6	16,4.10-6
Calor específico cal/g °C a 20°C	0,28	0,09
Conductibilidad térmica cal.cm/cm2.seg.°C a 20°C	0,52	0,92
Resistividad eléctrica Ohm.cm2/m a 20°C	0,0285	0,017
Módulo de elasticidad kg/mm2	6.900	11.200

**Tabla 4: Relación de características entre cobre y aluminio.**

		Aluminio	Cobre
<b>A IGUAL CONDUCTIBILIDAD ELÉCTRICA</b>	Relación de las secciones	1.64	1
	Relación de los diámetros	1.28	1
	Relación de los pesos	0.50	1
	Relación de las cargas a la rotura	0.78	1
<b>A IGUAL CALENTAMIENTO</b>	Relación de las secciones	1.405	1
	Relación de los pesos	0.424	1
<b>A IGUAL SECCIÓN</b>	Relación de las conductividades	0.61	1
	Relación de los pesos	0.30	1

### 2.5.2. AISLADORES:

Sirven de apoyo y soporte a los conductores, al mismo tiempo que los mantienen aislados de tierra. El material más utilizado para los aisladores es la porcelana, aunque también se emplea el vidrio templado y materiales sintéticos. (3)

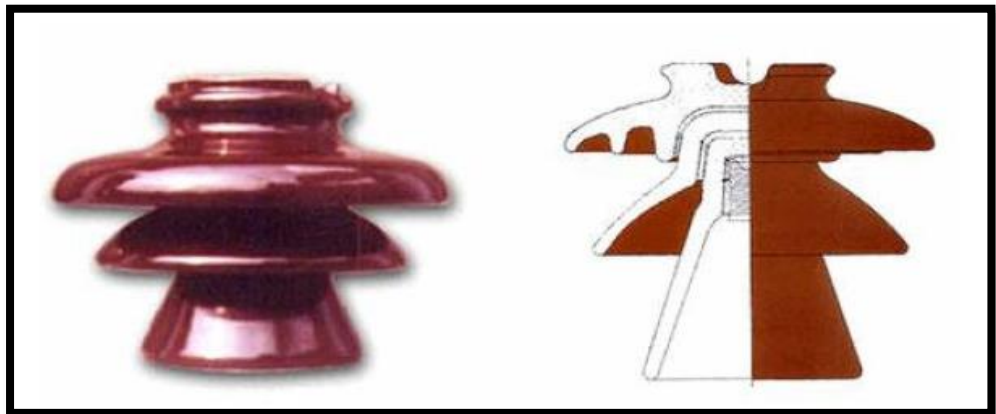
Bajo el punto de vista eléctrico, los aislantes deben presentar mucha resistencia ante las corrientes de fuga superficiales y tener suficiente espesor para evitar la perforación ante el fuerte gradiente de tensión que deben soportar. Para aumentar la resistencia al contacto, se moldean en forma acampanada. (3)

Bajo el punto de vista mecánico, deben ser suficientemente robustos para resistir los esfuerzos debidos al peso de los conductores. Existen 2 tipos principales:

#### 2.5.2.1. Aisladores Fijos:

Unidos al soporte por un herraje fijo y no pueden, por consiguiente, cambiar normalmente de posición después de su montaje. (3)

Figura 7: Aisladores fijos.



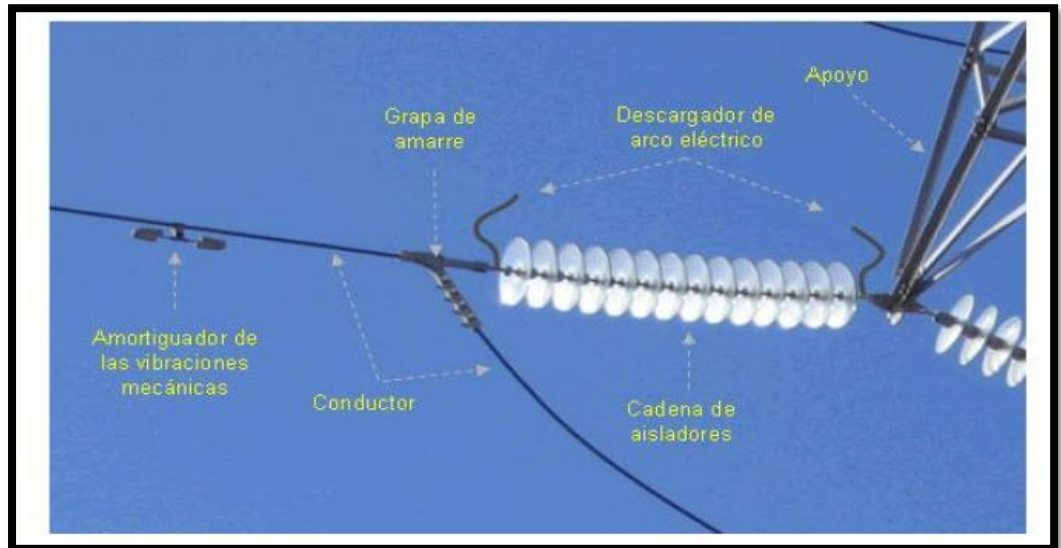
Fuente: Sector Electricidad.

#### 2.5.2.2. Aisladores en cadenas

Constituidos por un número variable de elementos según la tensión de servicio; formando una cadena móvil alrededor de su punto de unión al

soporte. Este es el tipo de aislador más empleado en media y en alta tensión. (3)

**Figura 8: Aisladores en cadena.**

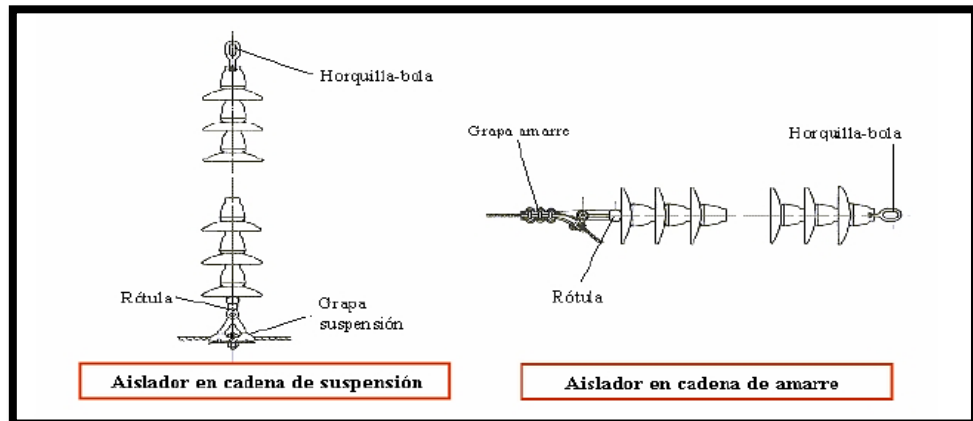


**Fuente: Sector Electricidad**

Existen diversos tipos de aisladores de cadena que a continuación se detallan:

- **Caperuza-vástago**, este aislador se compone de una campana de porcelana o vidrio templado, en forma de disco y que lleva en su parte inferior algunas ondulaciones. En la parte superior de la campana está empotrada una caperuza de fundición o acero, y en su parte inferior en un hueco bastante reducido, lleva un vástago sellado al aislador. La figura 8 muestra la disposición de los aisladores en una cadena de suspensión o en una cadena de amarre.

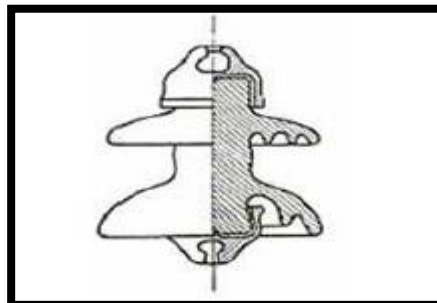
Figura 9: Aisladores en cadena de suspensión y aisladores en cadena de amarre.



Fuente: Sector Electricidad

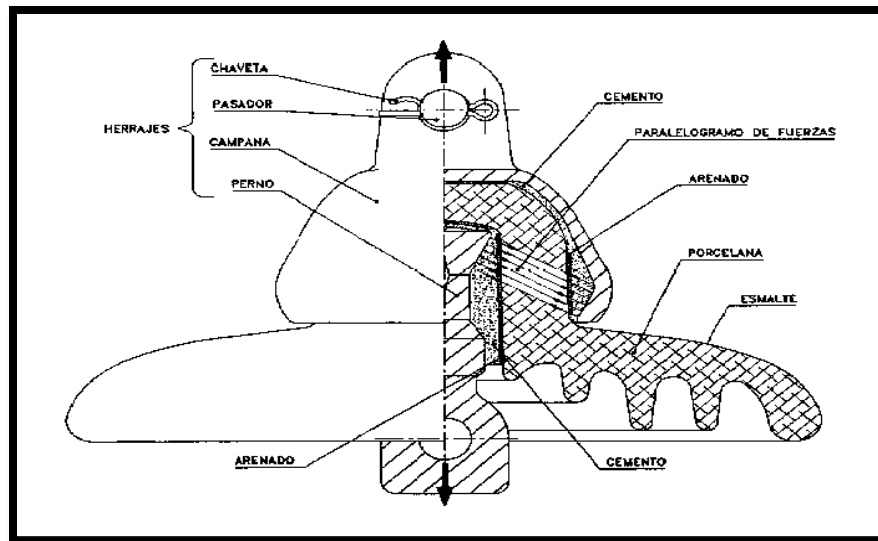
- **Campana (discos)**, este elemento está constituido por un núcleo cilíndrico de porcelana de diámetro comprendido entre 60 y 85 mm., y provisto de dos faldas anchas. La unión de los aisladores campana entre sí se hace con un pequeño vástago cilíndrico terminado en dos rótulas fig. 9 .La diferencia esencial entre el aislador campana y el elemento caperuza-vástago, reside en el hecho de que el primero es rigurosamente imperforable en servicio, mientras que el segundo puede, en ciertas circunstancias, perforarse antes de ser contorneado, especialmente por la acción simultánea de esfuerzos mecánicos y acciones eléctricas.

Figura 10: Aislador tipo campana.



Fuente: Sector Electricidad

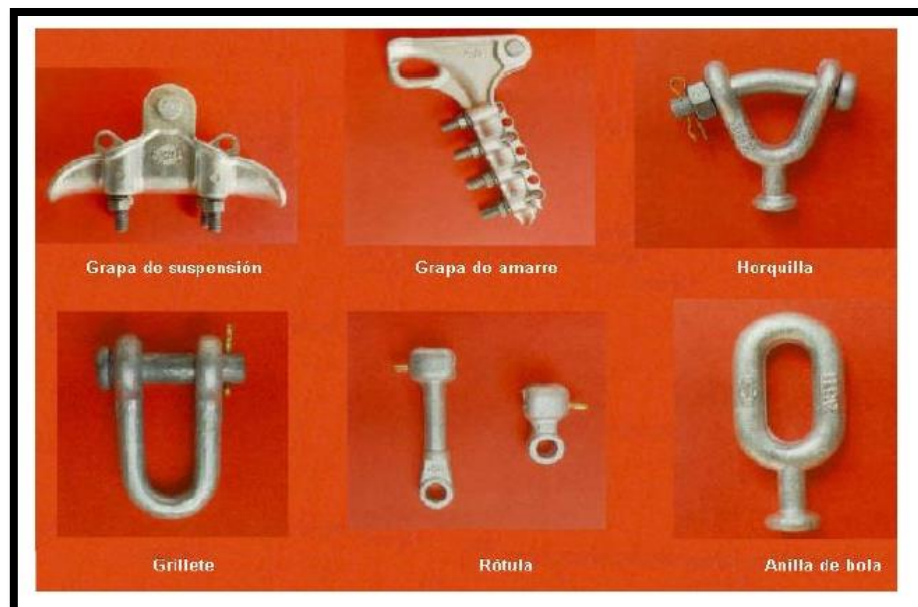
Figura 11: Elemento de la cadena de aisladores.



Fuente: Sector Electricidad

La sujeción del aislador al poste se realiza por medio de herrajes. En la figura 12 se muestran los diferentes tipos de herrajes.

Figura 12: Herrajes



Fuente: Sector Electricidad



### **2.5.3. ESTRUCTURAS SOPORTES**

Estas deben mantener los conductores a suficiente altura sobre tierra y distanciados entre sí. En la parte más alta de la torre, se ponen conductores desnudos, llamados de guarda, que sirven para apantallar la línea e interceptar los rayos antes que alcancen los conductores activos situados debajo. Estos no conducen corriente alguna, por lo que normalmente se hacen de acero y se conectan solidariamente a tierra en cada torre. Las torres se conectan solidariamente a tierra, tomándose grandes precauciones para asegurar que la resistencia a tierra sea baja. (3)

Las estructuras de una línea pueden ser clasificadas en relación a su función, la forma de resistir los esfuerzos, y los materiales constructivos.

Por su función las estructuras se clasifican en:

#### **2.5.3.1. Estructuras de suspensión.**

Los conductores están suspendidos mediante cadenas de aisladores, que cuelgan de las ménsulas de las torres. Resisten las cargas verticales de todos los conductores (también los cables de guarda), y la acción del viento transversal a la línea, tanto sobre conductores como sobre la misma torre. No están diseñadas para soportar esfuerzos laterales debidos al tiro de los conductores, por lo que se instalan en tramos rectos. (3)

**Figura 13: Torre de suspensión de doble terna.**



**Fuente: Sector Electricidad**

### **2.5.3.2. Estructuras de retención**

Son para los lugares en donde la línea debe soportar esfuerzos laterales, producto del cambio de dirección o finales de línea básicamente se distinguen tres tipos:

#### **Terminal.**

La disposición de los conductores es perpendicular a las ménsulas, la torre se dimensional para soportar fundamentalmente el tiro de todos los conductores de un solo lado, y en general es la estructura más pesada de la línea. (3)

#### **Angular.**

Se ubica en los vértices cuando hay cambio de dirección de la línea, la carga más importante que soporta es la componente del tiro (debida al ángulo) de todos los conductores. (3)

### **Rompetramos.**

Algunas normas de cálculo sugieren el uso de estas estructuras con la finalidad básica de limitar la caída en cascada (dominó) de las estructuras de suspensión, y para facilitar el tendido cuando los tramos rectilíneos son muy largos. Cuando el diseño de las suspensiones se hace con criterio de evitar la caída en cascada el uso de estructuras rompetramo se hace innecesario. (3)

**Figura 14: Torre de retención angular.**



**Fuente: Sector Electricidad**

Respecto de los esfuerzos, puede decirse que las estructuras de la línea resisten en general tres tipos de esfuerzos en condiciones normales:

- Cargas verticales debidas al peso propio, conductores, aisladores.
- Cargas transversales debidas al viento sobre estructuras y conductores.
- Cargas longitudinales debidas al tiro de los conductores. (3)

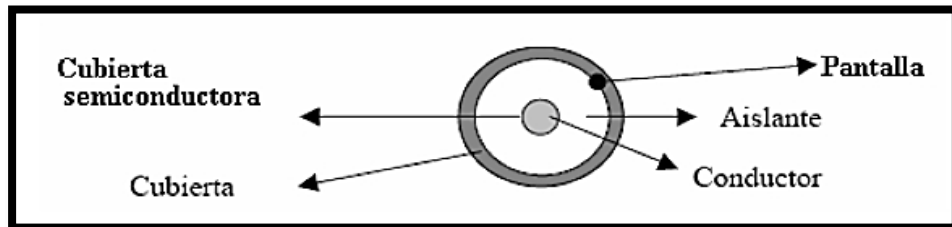
Los materiales empleados usualmente para realizar la estructura son: madera, hormigón, acero y en zonas de difícil acceso en algunos casos se emplea el aluminio. (3)

## 2.6. CONDUCTORES AISLADOS

Los cables aislados consisten, esencialmente, en uno o más conductores aislados mediante material enrollado sobre los conductores; además, dependiendo del tipo de cable y de la tensión para la que está diseñada, existen otros elementos que tienen principalmente por objeto lograr el mejor aprovechamiento de las cualidades de los aislamientos y la preservación de esas cualidades. Estos cables pueden clasificarse en cable mono polar y cable tri polar. (3)

En el caso general pueden distinguirse las siguientes partes componentes en un cable:

Figura 15: Cable unipolar

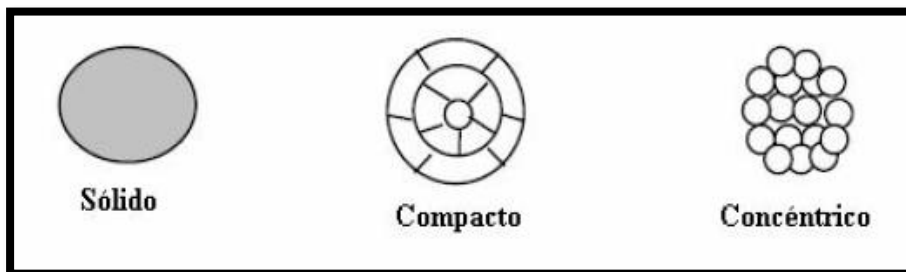


Fuente: Sector Electricidad

### 2.6.1. EL CONDUCTOR:

Puede ser de cobre o aluminio y presentar una de las formas siguientes: sólido, compacto o concéntrico.

Figura 16: Conductores subterráneos



Fuente: Sector Electricidad

### **2.6.2. CUBIERTA SEMICONDUCTORA**

La cubierta semiconductor que se coloca inmediatamente sobre el conductor, tiene por objeto uniformar el gradiente eléctrico en la superficie del conductor, eliminando las distorsiones del campo eléctrico debidas a las protuberancias constituidas por los hilos de la capa exterior. El uso de materiales semiconductores se debe a que en esta forma se reduce la intensidad de las cargas eléctricas que pueden producir ionización, con respecto a la que se tendrá si se utilizasen cubiertas metálicas. (3)

La cubierta semiconductor puede estar constituida por una cinta de papel saturado en carbón coloidal, enrollada directamente sobre el conductor. Esta disposición se usa, por ejemplo, en los cables aislados con papel impregnado. En cables con aislamientos extraídos de construcción moderna, la cubierta semiconductor se aplica por extrusión usando un material semiconductor adecuado. (3)

### **2.6.3. EL AISLANTE:**

Papel impregnado fue uno de los primeros materiales utilizados para el aislamiento de los cables para la transmisión de energía eléctrica y continúa siendo el mejor aislamiento para cables de alta tensión. Sus principales características son las siguientes: Alta rigidez dieléctrica, bajas pérdidas dieléctricas, resistencia elevada a las descargas parciales (ionización), posee buenas características térmicas. (3)

Su gran desventaja consiste en que es muy higroscópico y que la absorción de la humedad deteriora considerablemente sus cualidades dieléctricas, por esta razón el aislamiento de papel debe secarse perfectamente durante el proceso de fabricación del cable y protegerse con un forro hermético. (3)

Para realizar este tipo de aislamiento se enrolla sobre el conductor cintas de papel, helicoidalmente, en capas superpuestas, hasta obtener el espesor de aislamiento deseado; a continuación, se seca y se desgasifica el aislamiento calentándolo y sometándolo a un vacío elevado y se impregna con aceite mineral. Este aceite mineral para la impregnación se mezcla con una resina vegetal para aumentar su viscosidad y evitar así la migración del aceite aislante por gravedad hacia las partes más bajas de la instalación. En cables para tensiones más elevadas, el aislamiento se mantiene bajo presión por diferentes medios. (3)

- Termoplásticos: Son materiales orgánicos sintéticos obtenidos por polimerización. Se vuelve plástico al aumentar la temperatura lo que permite aplicarlos por extrusión en caliente sobre los conductores, solidificándose después al hacer pasar el cable por un baño de agua fría. Los termoplásticos más utilizados como aislamientos de cables eléctricos son el cloruro de poli vinil (PVC) y el polietileno. El PVC mezclado con otra sustancia se utiliza extensamente como aislante sobre todo en cables de baja tensión, debido a su bajo costo, a su mayor resistencia a la ionización comparado con otros aislamientos orgánicos sintéticos y a poder obtenerse con mezclas adecuadas, temperaturas de operación que van desde 60° C a 150° C. Tiene el inconveniente de tener una constante dieléctrica elevada y en consecuencia pérdidas eléctricas altas, lo que limita su empleo en tensiones más elevadas. Actualmente se fabrica cable con aislamiento de PVC para tensiones hasta de 23000V. (3)
- El polietileno que se obtiene por polimeración de gas etileno, tiene excelentes características como aislante eléctrico: rigidez dieléctrica comparable a la del papel impregnado y pérdidas dieléctricas menores. Tienen también una conductividad térmica mayor que el papel impregnado, lo que facilita la disipación del calor. Las desventajas del polietileno es que puede producirse deterioro del aislamiento debido a descargas parciales producidas por ionización, su punto de fusión es bastante bajo del orden de los 110° C lo que limita la temperatura de operación de los cables aislados con polietileno a 75° C. Para mejorar las características térmicas se han desarrollado el polietileno de alta densidad y el polietileno vulcanizado o de cadena cruzada. El polietileno de alta densidad tiene un punto de fusión de 130° C mejores cualidades mecánicas y un costo menor. (3)
- Termofijo: Los aislamientos agrupados bajo el nombre de termofijos están constituidos por materiales que se caracterizan porque, mediante un proceso de vulcanización, se hace desaparecer su plasticidad y se aumenta su elasticidad y la consistencia mecánica. Estos se aplican generalmente por extrusión y se someten a un proceso de vulcanización elevando la temperatura a los valores requeridos. Los más usados son el hule natural y los hules sintéticos, conocidos con el nombre genérico de elastómeros y más reciente algunos derivados del polietileno. (3)

#### **2.6.4. LA PANTALLA**

Está constituida por una capa conductora colocada sobre el aislamiento y conectada a tierra, que tiene por objeto principal crear una superficie equipotencial para obtener un campo eléctrico radial en el dieléctrico. La pantalla sirve también para blindar el cable contra potenciales inducidos por campos eléctricos externos y como protección para el personal, mediante su conexión efectiva en tierra. Puede realizarse mediante una cinta de papel metalizado o una cinta de un metal no magnético (cobre o aluminio) de un espesor del orden de los .8 mm, enrollada sobre el aislamiento. En los cables para alta tensión en los que los gradientes eléctricos aplicados al aislamiento son bajos, no se requiere un control de la distribución del campo eléctrico y por lo tanto puede prescindirse de la pantalla metálica; sin embargo, ésta se usa en ocasiones en cables de baja tensión, para evitar la inducción de potenciales en los conductores, debidos a los campos eléctricos externos. (3)

#### **2.6.5. CUBIERTA**

Esta se coloca para proteger al cable contra agentes externos: humedad, calor, agentes químicos, esfuerzo mecánico durante el tendido. Puede ser metálica (plomo), termoplástica (PVC), elastomérica (neopreno) o textil (yute impregnado en asfalto), según la aplicación del cable. En cables empleados en las redes de distribución, se recubre todo además con cinta de acero para protección mecánica (flejes de acero), en cuyo caso el cable se llama “armado”. (3)

### **2.7. PARÁMETROS ELÉCTRICOS.**

Cualquier circuito eléctrico está formado por algunos de los siguientes elementos: resistencia, inductancia, capacidad y conductancia. Con estos componentes se forman la totalidad de los sistemas eléctricos actuales, desde un simple circuito hasta los más complejos sistemas de potencia. (4)

Es posible realizar una clasificación de los elementos eléctricos, dependiendo de la forma en que estos influyen dentro de un sistema eléctrico. Así, se crean dos grupos diferenciados: los parámetros eléctricos longitudinales, formados por la resistencia y la

inductancia; y los parámetros eléctricos transversales, formados por la capacidad y la conductancia. (4)

- **Parámetros longitudinales.**

$R \Leftrightarrow$  RESISTENCIA  $\Rightarrow$  Ohmios

$L \Leftrightarrow$  INDUCTANCIA  $\Rightarrow$  Henrios

- **Parámetros transversales.**

$C \Leftrightarrow$  CAPACIDAD  $\Rightarrow$  Faradios

$G \Leftrightarrow$  CONDUCTANCIA  $\Rightarrow$  Siemens

Existen otras magnitudes que matemáticamente sirven de nexo de unión de los parámetros anteriores, algunas de las más importantes son:

$Z=(R+jX) \Leftrightarrow$  IMPEDANCIA  $\Rightarrow$  Ohmios

$Y= (G+jB) \Leftrightarrow$  ADMITANCIA  $\Rightarrow$  Siemens

$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \Leftrightarrow$  REACTANCIA INDUCTIVA

$B = C \cdot \omega = C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \Leftrightarrow$  SUSCEPTANCIA

### **2.7.1. PARÁMETROS ELÉCTRICOS LONGITUDINALES**

Los parámetros eléctricos que influyen de forma decisiva a lo largo de la longitud de una línea eléctrica son la resistencia y la inductancia. Aunque se agrupan formando la impedancia (una vez se ha producido la conversión de inductancia a reactancia inductiva), su comportamiento eléctrico difiere sustancialmente; así, mientras que el efecto inductivo producido por las bobinas permite acumular energía eléctrica bajo la forma de campo magnético, la consecuencia más importante de la existencia de una resistencia en un circuito eléctrico lo constituye las pérdidas producidas por efecto Joule. (4)



### 2.7.1.1. Resistencia. R ( $\Omega$ )

La resistencia es la oposición que cualquier material ofrece al paso de la corriente eléctrica. Aunque su estudio se remonta a los primeros descubrimientos eléctricos, no se interrelacionó con otras magnitudes eléctricas hasta que George Simón Ohm formuló su ley fundamental, base de toda la electricidad, que ligaba esta oposición con la tensión o diferencia de potencial y la intensidad que circulaba por un circuito. (4)

**Ecuación 14: Cálculo de la resistencia.**

$$R = \frac{U}{I}$$

Conceptualmente la resistencia de cualquier elemento conductor depende de sus dimensiones físicas y de la resistividad, pudiéndose expresarse como:

**Ecuación 15: Cálculo de la resistencia en función a la resistividad**

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Donde:

R = Resistencia eléctrica a 20°C (en  $\Omega$ )

$\rho$  = Resistividad (en  $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ )

L = Longitud del cable (en m)

S = Sección del cable (en  $\text{mm}^2$ )

Analicemos cada uno de los factores de la expresión anterior.

- **Longitud**

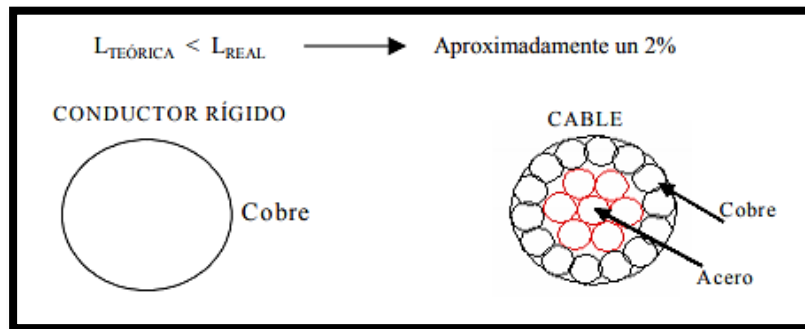
La longitud de un conductor es directamente proporcional a la resistencia del mismo, ya que la trayectoria que los electrones deberán recorrer será proporcional a la longitud de la línea. (4)

En los sistemas de potencia, con grandes tensiones e intensidades, hacen falta conductores de tamaños considerables para ser capaces de transportar tales energías. Entre los materiales más empleados se halla el cobre, que como cualquier otro metal presenta unas características de maleabilidad. Pero esta adaptabilidad, con conductores de 20mm o 30mm de diámetro, es prácticamente inexistente comportándose los mismos no como conductores flexibles y adaptables, sino más bien como auténticas varillas rígidas, inutilizables para los menesteres a los que están encomendados. (4)

Así, cuando un conductor excede de un determinado diámetro, ya no se construye de forma maciza, sino con la unión de múltiples hilos formando un cable. Por tanto, un cable no es más que un conductor compuesto por múltiples hilos enrollados en haz para mantener su consistencia mecánica y al mismo tiempo permitir, aun con diámetros considerables, las flexibilidades y torsiones adecuadas a su uso. (4)

Si nos centramos en cables, su longitud no coincide con la longitud de los hilos que lo forman, ya que el cable, como conjunto, no tendrá en cuenta el efecto de trenzado al que sí se han visto sometidos cada uno de los hilos que lo componen. Esta es la razón por la que existen dos longitudes: una real (la de los hilos) y una teórica (la del cable), siendo la longitud real mayor que la longitud teórica. La longitud que los electrones realmente deberán recorrer la longitud real y no la teórica. La siguiente figura muestra estos pormenores. (4)

Figura 17: Constitución de un cable eléctrico. Comparación entre longitudes.



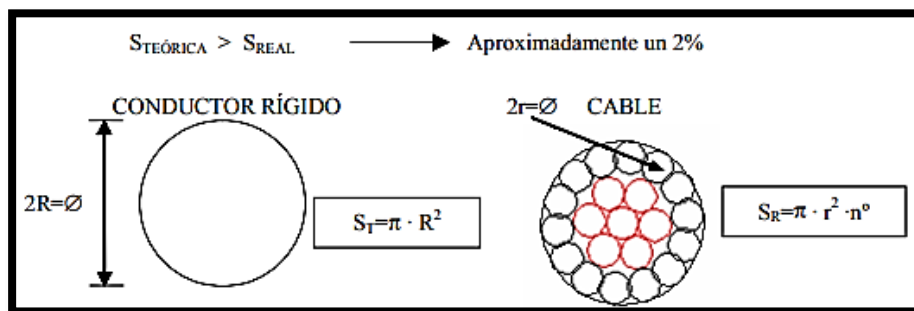
Fuente: Joseph Reinoso

Un cable con una longitud de 1m ( $L_{TEÓRICA}$ ) estará formado por hilos entrelazados o trenzados con una longitud de 1.02m ( $L_{REAL}$ ). En consecuencia, el valor de la resistencia real debería estar influenciada por este aumento de valor. En realidad, los fabricantes de cables, al realizar sus tablas de valores, ya tienen en cuenta esta variación, considerando para el cálculo de la resistencia los valores reales de la longitud. (4)

- **Sección**

A mayor sección, menor resistencia, ya que los electrones disponen de más espacio para circular por el conductor. Aparte, algo parecido a la longitud ocurre con la sección; así, si consideramos la sección del cable en su conjunto ( $S$  teórica), estaremos añadiendo los espacios entre hilos (aire, pequeños residuos, aceites, etc.) que no están ocupados por cobre. Se tendría que considerar realmente sólo la superficie real ( $S$  real), es decir, la verdaderamente ocupada por el material conductor, el cobre. (4)

Figura 18: Constitución de un cable eléctrico. Comparación entre secciones.



Fuente: Joseph Reinoso

La sección real es por término medio un 1% o 2% menor que la teórica, lo que repercute en el valor final de la resistencia. También, con este parámetro los fabricantes de cables, consideran para el cálculo de los valores que leemos en tablas, la sección real.

Es decir, las tablas de resistencias para los distintos materiales ya tienen presentes estos desajustes entre los valores reales y teóricos dados para la longitud y la sección en los conductores tipo cable. (4)

- **Resistividad**

La resistividad es la última magnitud a tener presente en el cálculo de la resistencia de un material. Se define como la resistencia específica, es decir, la oposición que ofrece un material al paso de la corriente eléctrica por unidad de longitud y superficie (normalmente para su cálculo se utilizan varillas del material a calcular con unas dimensiones específicas de 1m de longitud y 1cm<sup>2</sup> de sección). (4)

La resistividad es la parte más importante de la resistencia, ya que es la que realmente nos identifica si un material es buen conductor o por el contrario es un aislante. Hasta el momento, y considerando solamente la longitud y la sección, tendría la misma resistencia una varilla de madera que una de cobre, suponiendo igualdad en las dimensiones físicas. Era pues necesario otro parámetro que dependiera del material, la resistividad. (4)

Sí la resistividad dependiera solamente del tipo de material, no habría complicaciones, ya que, construida la tabla correspondiente, estarían tabuladas todas las resistividades de los materiales más frecuentemente empleados. Pero la resistividad también depende de la temperatura, requiriéndose innumerables tablas (una para cada intervalo de la temperatura) para su completa identificación. (4)

El problema se solucionó, en parte, con una única tabla; esta tabla se corresponde con una temperatura estándar de 20°C, estando representados en ella los valores de la resistividad de la mayor parte de materiales interesantes desde el punto de vista eléctrico. Si la temperatura no coincide con los 20°C, aplicando la siguiente fórmula, se obtiene el valor de la resistividad a cualquier otra temperatura. (4)

**Ecuación 16: Cálculo de la resistividad.**

$$\rho_0 = \rho_{20^\circ\text{C}} + \rho_{20^\circ\text{C}} \cdot \alpha (T - 20^\circ)$$

Donde:

$\alpha$  = Coeficiente de temperatura a 20°C  $\Rightarrow$  es un valor tabulado en las tablas

$\rho_0$  = Resistividad a la temperatura deseada

$\rho_{20^\circ\text{C}}$  = Resistividad a 20°C (la de las tablas)

T = Temperatura a la que se desea determinar la resistividad (en °C)

Ya sabemos que la resistividad de un material es función del tipo de material y de la temperatura a la que se encuentra el mismo, pero, ¿un aumento de temperatura significa siempre un aumento de la resistividad? La respuesta es no; así, mientras que para un material formado por un enlace metálico (conductores) un aumento de temperatura representa un aumento del coeficiente de temperatura, y por consiguiente, un aumento de la resistividad, con materiales formados por enlaces covalentes (semiconductores), los aumentos de temperatura se traducen en

disminuciones del coeficiente de temperatura, y por tanto de la resistividad. Finalmente, para los materiales formados mediante enlaces iónicos (aislantes), el coeficiente de temperatura no experimentará cambios sustanciales con las variaciones de la temperatura. (4)

- **Materiales empleados en la construcción de líneas aéreas**

El material empleado en electricidad es por excelencia el cobre. Es un material dúctil, muy buen conductor y bastante fácil de manejar, en otras palabras, un material sin problemas. (4)

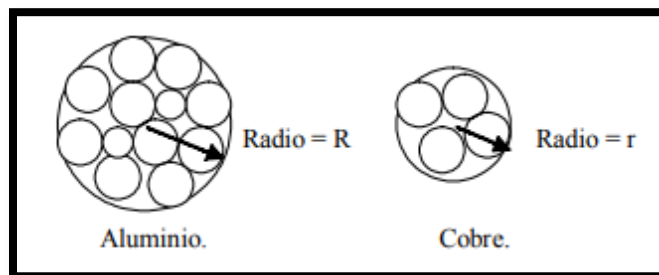
No existiría ninguna razón para suplirlo si no fuera simplemente porque su uso se ha extendido tanto como su precio. Al ser utilizado en la construcción de máquinas eléctricas, de circuitos de baja tensión, de líneas de transporte de energía eléctrica, etc., su valor ha ido en aumento, lo que ha estimulado la búsqueda de nuevos de materiales alternativos. (4)

Algunas de las características eléctricas y mecánicas de algunos materiales susceptibles de ser empleados en electricidad son las siguientes:

- Cobre:	Resistividad $\Rightarrow \rho = 0.0176 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ Densidad $\Rightarrow \delta = 8.9 \text{ kg}/\text{dm}^3$ Fuerza a la tracción: $\Rightarrow \chi = 28 \text{ kg}/\text{cm}^2$
- Aluminio:	Resistividad $\Rightarrow \rho = 0.0260 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ Densidad $\Rightarrow \delta = 2.7 \text{ kg}/\text{dm}^3$ Fuerza a la tracción: $\Rightarrow \chi = 14 \text{ kg}/\text{cm}^2$
- Acero:	Resistividad $\Rightarrow \rho = 0.0350 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ Densidad $\Rightarrow \delta = 7.8 \text{ kg}/\text{dm}^3$ Fuerza a la tracción: $\Rightarrow \chi = 42 \text{ kg}/\text{cm}^2$

El primer material que se empleó como sustituto para el cobre fue el aluminio. Es un material con una resistividad mayor que la del cobre, pero sigue siendo buen conductor, es menos pesado y presenta un precio sustancialmente más bajo. Si los comparamos tendremos:

Figura 19: Comparación entre conductores de cobre y aluminio a igualdad de resistencia.



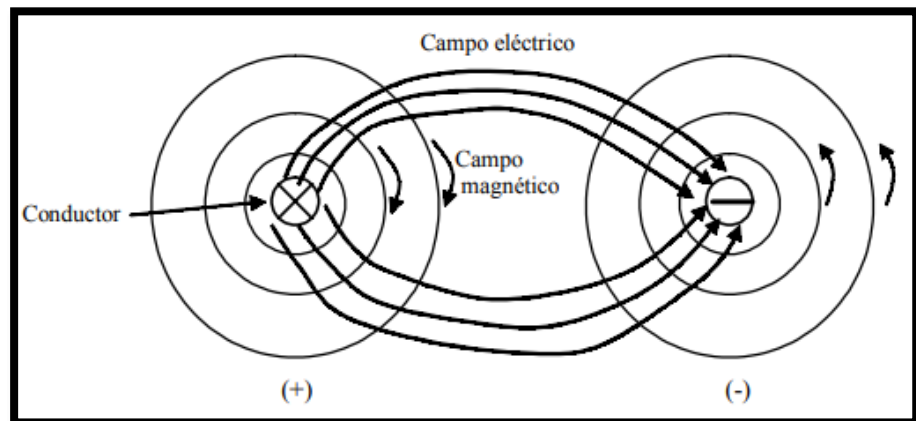
Fuente: Joseph Reinoso

### 2.7.1.2. Inductancia L (H)

El concepto de inductancia fue estudiado y descubierto por Faraday en 1831. De forma general, la inductancia es la propiedad de un elemento del circuito que aprovecha la capacidad de la energía de almacenarse en una bobina en forma de campo magnético. Sin embargo, una característica importante y distintiva de la inductancia es que, su presencia sólo se percibe cuando existe corriente alterna. Así, aunque un elemento pueda tener inductancia en virtud de sus propiedades geométricas y magnéticas, su presencia en el circuito no será efectiva a menos que exista un cambio de la corriente en función del tiempo (corriente alterna, AC). El campo magnético creado por un conductor depende de la corriente que circule por el mismo en el instante considerado. (4)

Cuando una corriente circula por un circuito eléctrico, los campos magnético y eléctrico formados, nos explican algo sobre las características del circuito. En la siguiente figura se representa una línea bipolar abierta y los campos magnéticos y eléctricos asociados a ella. (4)

Figura 20: Campos magnéticos y eléctricos asociados a una línea bipolar.



Fuente: Joseph Reinoso

Las líneas de flujo magnético forman anillos cerrados que rodean a cada conductor; las líneas del campo eléctrico nacen en las cargas positivas, sobre un conductor, y van a parar a las cargas negativas, sobre el otro conductor. Toda variación de la corriente que pasa por los conductores produce una variación en el número de las líneas de flujo magnético que atraviesan el circuito. Por otra parte, cualquier variación del campo magnético induce una fuerza electromotriz (f.e.m.) en el circuito, siendo esta fuerza proporcional a la velocidad de variación del flujo. La inductancia es la propiedad de un circuito que relaciona la f.e.m. inducida (por la variación de flujo) con la velocidad de variación de la corriente (es decir, con la frecuencia). (4)

Ecuación 17: Ley de Ampere.

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{L} = \sum i$$

Esta es la ley fundamental en el estudio de los campos magnéticos. No obstante, existen otras expresiones derivadas de la anterior, más interesantes para el cálculo de las líneas eléctricas a nivel industrial.

Así, y recordando que la inductancia es:



### Ecuación 18: Cálculo de la Inductancia

$$d\Phi = \frac{L}{N} \cdot di \quad L = N \cdot \frac{d\Phi}{di}$$

Entonces

### Ecuación 19: Inductancia

$$e_{ind} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -N \cdot \frac{L}{N} \cdot \frac{di}{dt} = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

Despejando (L), obtendremos otra expresión de la inductancia:

### Ecuación 20: Fórmula de la Inductancia

$$\boxed{L = - \frac{e_{ind}}{di/dt}} \Rightarrow L = N \cdot \frac{\Phi}{I} = \frac{N \cdot \frac{\theta^{AV}}{\mathfrak{R}}}{I} = \frac{N \cdot N \cdot I}{\mathfrak{R} \cdot I} \Rightarrow \boxed{L = \frac{N^2}{\mathfrak{R}}}$$

La primera expresión es la fórmula exacta de la inductancia definiéndola como la relación, cambiada de signo, entre la tensión inducida por un campo magnético en un circuito y la velocidad con la que varía la intensidad. (4)

Una segunda expresión, la ecuación de la derecha, es una aproximación de la primera, aunque ampliamente aceptada. En ella se observa que la inductancia depende del número de espiras o vueltas de las que disponga un conductor, dividido por el valor de la reluctancia, que como vimos depende del tipo de material empleado y de sus dimensiones. (4)

Cabe recordar que la inductancia se mide en (H, Henrios), y para las aplicaciones eléctricas es mejor emplear ( $\Omega$ ). El paso de una unidad a la

otra se realiza multiplicando la inductancia por la pulsación (en radianes por segundo), obteniéndose la reactancia inductiva. (4)

#### Ecuación 21: Reactancia Inductiva

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

En corriente continua (DC) la frecuencia es nula, ya que no existe variación de la corriente respecto el tiempo. Esto implica que la reactancia inductiva sea también nula. (4)

Analizando la expresión de la impedancia de un circuito, obtenemos valores diferentes según el tipo de corriente empleada (corriente continua o alterna). (4)

#### Ecuación 22: Relación de impedancias.

$$DC \rightarrow \vec{Z} = (Z_{DC} < Z_{AC} = R$$

$$AC \rightarrow \vec{Z} = (R_{SI} + jX_{SI})$$

En corriente continua no tendremos reactancia inductiva ( $X_L$ ), por lo que la impedancia será menor que en corriente alterna. En los dos casos tendremos la misma resistencia. (4)

Esta es una conclusión importante, ya que nos indica que existirá una mayor oposición al paso de los electrones (intensidad), en corriente alterna que en corriente continua. (4)

- **Inductancia de una línea eléctrica**

La inductancia industrial de una línea se determina en Henrios (H), utilizando la siguiente expresión:

**Ecuación 23: Inductancia en una línea de transmisión.**

$$L = \left[ \frac{\mu}{2 \cdot n} + 2 \cdot \ln \left( \frac{D_e}{r_e} \right) \right] \cdot l \cdot 10^{-4} \cdot \text{long}$$

Donde,

n = Número de cables por fase

D<sub>e</sub> = Distancia media geométrica entre fases (mm)

R<sub>e</sub> = Radio equivalente (mm)

L = Longitud de la línea (km)

μ = Permeabilidad

La inductancia en las líneas se acostumbra a determinar en (H/Km), de forma que la expresión anterior queda de la siguiente forma:

**Ecuación 24: Inductancia en líneas.**

$$L_K = \left[ \frac{\mu}{2 \cdot n} + 2 \cdot \ln \left( \frac{D_e}{r_e} \right) \right] \cdot 10^{-4} \quad \left[ \frac{H}{Km} \right]$$

Pasando de logaritmos neperianos a logaritmos decimales, obtenemos:

**Ecuación 25: Inductancia en líneas.**

$$L_K = \left[ \frac{\mu}{2 \cdot n} + 4'6 \cdot \log \left( \frac{D_e}{r_e} \right) \right] \cdot 10^{-4} \quad \left[ \frac{H}{Km} \right]$$

La permeabilidad depende de las características del material y de las condiciones eléctricas a las que esté sometido:

Permeabilidad:	$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$
Permeabilidad absoluta:	$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$
Permeabilidad relativa:	$\mu_r \rightarrow$ (Tablas,...)

$\mu = 1 \Rightarrow$  Cu, Al, aleaciones.  
 $\mu = 200 \Rightarrow$  Acero galvanizado

Como normalmente se utilizan conductores de cobre, aluminio o aleaciones de este último, y prácticamente todos disponen del mismo coeficiente de permeabilidad, podemos sustituir este valor en la fórmula anterior, resultando:

**Ecuación 26: Inductancia resultante.**

$$L_K = \left[ \frac{l}{2 \cdot n} + 4'6 \cdot \log \left( \frac{D_e}{r_e} \right) \right] \cdot 10^{-4} \quad \left[ \frac{H}{Km} \right]$$

Esta es la fórmula en la que nos basaremos para expresar la inductancia de los diferentes circuitos. Esta inductancia depende del radio equivalente ( $r_e$ ), y de la distancia media geométrica entre fases ( $D_e$ ). Estas dos magnitudes son función de la geometría del circuito, y por tanto, de la disposición de los cables en la torre metálica. (4)

**2.7.2. PARÁMETROS ELÉCTRICOS TRANSVERSALES**

Los parámetros eléctricos que influyen transversalmente en las líneas de transporte de energía eléctrica son la capacidad y la conductancia. Aunque se agrupan formando la admitancia (una vez producida la conversión de la capacidad a susceptancia) su comportamiento eléctrico difiere sustancialmente; así, mientras que el efecto capacitivo producido por los condensadores permite acumular energía eléctrica bajo la forma de campo eléctrico, la consecuencia más importante de la

existencia de la conductancia en un circuito eléctrico la constituye las pérdidas producidas por los efectos Aislador y Corona. (4)

### **2.7.2.1. Capacidad, C (F)**

Este es el primero de los dos parámetros transversales que forman las líneas eléctricas. La capacidad de una línea de transmisión de energía eléctrica es el resultado de la diferencia de potencial entre los conductores que la forman. Esta diferencia de potencial origina que los conductores se carguen de la misma forma que las placas de un condensador cuando entre ellos aparece una diferencia de potencial. La capacidad entre conductores paralelos es la carga por unidad de diferencia de potencial, siendo una constante que depende del tamaño de los conductores y de su distancia de separación. El efecto de la capacidad suele ser pequeño y despreciable en líneas eléctricas con menos de 80 km de longitud, aunque para líneas con longitudes mayores es un parámetro a tener presente. (4)

Un voltaje alterno, en una línea de transmisión de energía, tiene como consecuencia que la carga en los conductores aumente o disminuya con el aumento o disminución del valor instantáneo de este voltaje entre los diversos conductores que forman la línea. La corriente es un flujo de cargas, y la corriente que se origina por las cargas y descargas alternas de una línea debidas al voltaje alterno se denomina, corriente de carga de la línea. Como la capacidad es una derivación entre conductores, la corriente de carga fluye en una línea de transmisión aun cuando está abierta (circuito abierto). La capacidad afecta tanto a la caída de voltaje a lo largo de la línea como a su eficiencia, al factor de potencia y a la estabilidad del sistema del cual la línea forma parte. (4)

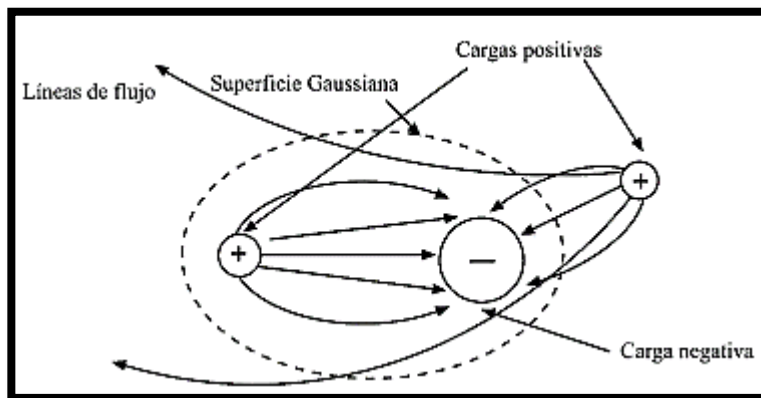
La base para el análisis de la capacidad es la ley de Gauss para campos eléctricos. Esta ley establece que la carga eléctrica total dentro de una superficie cerrada es igual al flujo eléctrico total que sale o entra de la superficie. En otras palabras, la carga total dentro de una superficie cerrada es igual a la integral sobre la superficie de la componente normal de la densidad de flujo eléctrico. (4)

Ecuación 27: Densidad del flujo eléctrico.

$$\iint B \cdot ds = \sum Qi$$

Las líneas de flujo eléctrico tienen su origen en las cargas positivas y terminan en las negativas. La densidad de carga perpendicular a la superficie se designa (B) y es igual a  $(\epsilon \cdot E)$ , donde  $(\epsilon)$  es la permitividad del material que rodea a la superficie, siendo (E) es la intensidad de campo eléctrico. (4)

Figura 21: Ley de Gauss. Superficie Gaussiana con cargas eléctricas en su interior



Fuente: Joseph Reinoso

Nótese que las líneas que no acaban o terminan en el interior de la superficie Gaussiana no cuentan, ya que éstas entran, pero vuelven a salir atravesando la superficie. Es decir, sólo contarán las líneas que entran o salen de la superficie Gaussiana sin retorno. Si en el interior hay más de una carga, en primer lugar, se equilibrarán entre ellas, atravesando la superficie exterior sólo las líneas de flujo sobrantes, es decir, las que representan a la carga equivalente. (4)

Hay otras fórmulas útiles para expresar la capacidad de un circuito derivadas de la anterior. Concretamente la capacidad de una línea con dos conductores, puede calcularse de forma indirecta conociendo la carga y la diferencia de potencial a la que se encuentran sometidos los conductores. (4)

**Ecuación 28: Capacitancia.**

$$C = \frac{q}{V} (\text{Faradio})$$

Donde (q) es la carga sobre la línea en coulombs y (V), es la diferencia de potencial entre los conductores en voltios. (4)

La capacidad depende de las condiciones geométricas existentes (superficie "S" y distancia entre placas "d"), y del tipo de material que forma los conductores (permitividad "ε"), es por tanto para un circuito dado, una constante independiente de las condiciones eléctricas o magnéticas que puedan existir. (4)

**Ecuación 29: Capacitancia en condiciones geométricas.**

$$C = \frac{S}{d} \epsilon$$

Una fórmula que permite el paso de faradios (F) a Ohmios (Ω) es, al igual que en el caso de la inductancia, la reactancia, pero esta vez capacitiva:

**Ecuación 30: Reactancia capacitiva.**

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C} (\Omega)$$

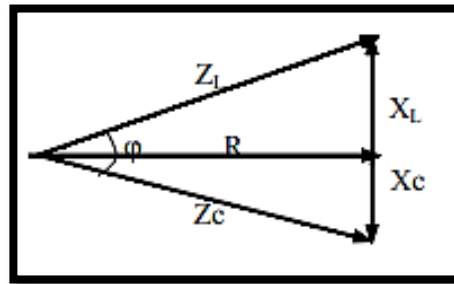
Esta reactancia capacitiva, combinada con la resistencia, forma la impedancia del circuito.

**Ecuación 31: Impedancia de circuito.**

$$Z = (R - jX_C) = Z \angle -\phi$$

Finalmente, cabe recordar que la reactancia inductiva es de signo positivo, mientras que la reactancia capacitiva es de signo negativo, siendo este el motivo por el cual para compensar el efecto inductivo o capacitativo se emplean condensadores o bobinas respectivamente. (4)

**Figura 22: Representación de la impedancia. Resistencia, reactancia inductiva y reactancia capacitiva.**



Fuente: Joseph Reinoso

### 2.7.2.2. Conductancia, G (S)

La conductancia es el último parámetro importante eléctrico dentro de los circuitos convencionales. La conductancia es la facilidad que un material ofrece al paso de la corriente eléctrica, es decir, la inversa de la resistencia. Es un parámetro transversal, al igual que la capacidad, en contra de la resistencia o la inductancia. Su unidad es la inversa del ohmio (S, siemens), y su unión con la susceptancia forma la Admitancia transversal de un sistema eléctrico. (4)

Una fórmula típica de representar la conductancia es la siguiente:

**Ecuación 32: Fórmula de la conductancia.**

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{V}{I}} = \frac{I}{V} = \frac{\frac{P}{V}}{V} = \frac{P}{V^2}$$



Si expresamos la fórmula anterior en km de recorrido y en valores de fase obtenemos:

**Ecuación 33: Conductancia en fase.**

$$G_k = \frac{P_{\text{fase-km}} (kW)}{V_{\text{fase}}^2 (kV)^2} \cdot 10^{-3} \{ \text{siemens / km fase} \}$$

Esta será la fórmula a aplicar para hallar la conductancia industrial.

La conductancia tiene en cuenta las corrientes de fuga tanto de los aisladores que sostienen a las líneas aéreas como las pérdidas ocasionadas por los electrones al saltar a través del aire. La conductancia depende de numerosos factores, entre ellos los climáticos y los medioambientales, factores difíciles de predecir y que no se mantienen constantes a lo largo de toda la línea. (4)

Los cálculos de la conductancia suelen presentar valores pequeños, en comparación con los efectos resistivos, inductivos o capacitivos vistos anteriormente. Es una suerte que la conductancia represente sólo una pequeña participación en el total de los efectos eléctricos de un circuito, ya que resulta del todo imposible su cálculo exacto, despreciándose en la mayoría de las ocasiones. (4)

La conductancia se divide en dos efectos mayoritarios: el efecto Aislador y el efecto corona.

- **Efecto Aislador**

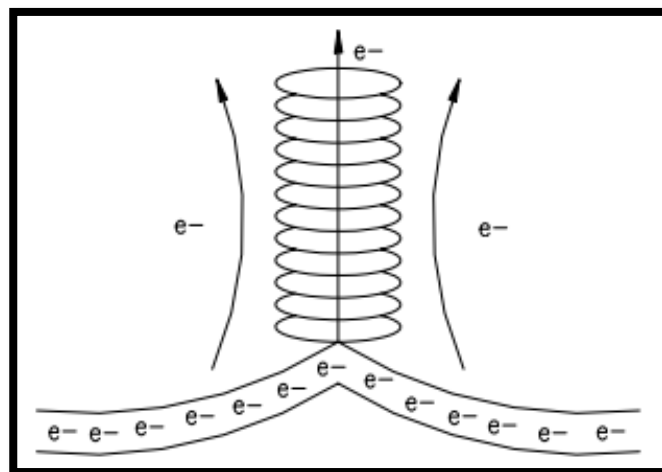
Los centros de consumo suelen estar alejados de los centros de producción de energía eléctrica, imponiéndose un transporte que a menudo representa grandes distancias. Estas distancias deben ser cubiertas sin que en ningún momento se produzca contacto entre los conductores y otra parte activa cercana a la línea, ya que, si esto

ocurriera, la energía pasaría a través de esta parte activa (que no tiene por qué ser un conductor metálico, puede ser incluso un árbol, una pared, etc.), impidiendo su llegada al centro receptor o de consumo. (4)

Para que esto no ocurra, y teniendo presente que los postes o torres eléctricas actuales son frecuentemente metálicas, es necesario incorporar a las mismas, aisladores que las aislen de los conductores que transportan la energía eléctrica. El tamaño de estos aisladores dependerá del valor de la tensión de la línea (recordar que en condiciones normales por cada 10.000V los electrones son capaces de saltar a través del aire una distancia aproximada de 1cm); así, cuanto mayor sea el potencial de la línea, mayor será el tamaño de sus aisladores. (4)

Los aisladores se fabrican de materiales altamente aislantes, pero, aun así, con condiciones atmosféricas adversas (lluvia, nieve o heladas), o medioambientales (ambientes contaminados de zonas industriales), algunos electrones son capaces de desplazarse por la superficie del aislante hasta alcanzar la torre metálica, desde la cual llegarán a tierra. Incluso algunos electrones llegan a pasar a través del aislante y por tanto importándoles poco las condiciones medioambientales. (4)

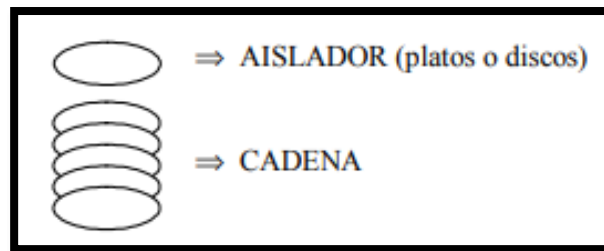
**Figura 23: Efecto Aislador. Paso de los electrones a través y por la superficie de los aisladores de una línea.**



Fuente: Joseph Reinoso

En la figura 23 se aprecia el paso de los electrones por la superficie y a través del propio aislador. Debido a este efecto, siempre existirán pérdidas, por mucho que se mejoren los materiales constructivos, las formas o las disposiciones que adopten los aisladores, ya que no existe un material perfectamente conductor, así como tampoco existe un aislante perfecto. (4)

**Figura 24: Cadena de aisladores formada por discos acoplados.**



**Fuente: Joseph Reinoso**

Nótese que los aisladores se construyen de formas muy diversas, aunque predominan las redondeadas. Los grandes aisladores están formados por multitud de aisladores unitarios que reciben el nombre de discos o platos, denominándose a la agrupación de estos discos o platos cadena del aislador. La longitud de estas cadenas dependerá del nivel de tensión existente en las líneas y no de la intensidad que pasa por las mismas. (4)

La fórmula para determinar el efecto aislador por km y fase será la dada para la conductancia en general:

**Ecuación 34: Conductancia en función al efecto aislador.**

$$G_{Fase-km} = \frac{P_{fase-km} (kW)}{V_{fase}^2 (kV)^2} \cdot 10^{-3} \{siemens / km \cdot fase\}$$

La conductancia total se obtendrá multiplicando la conductancia por km y fase por el número de fases y por la longitud total de la línea (en km).

**Ecuación 35: Conductancia resultante.**

$$G_{TOTAL} = G_{Fase-km} \cdot Long \cdot n^{\circ} \text{ fases} \{siemens\}$$

Mientras que las pérdidas de potencia totales simplemente serán las pérdidas producidas por un aislador, multiplicadas por el número de aisladores totales.

**Ecuación 36: Pérdidas totales.**

$$P_T = P_{AISLADOR} \cdot N^{\circ} \text{ AISLADORES}$$

- **Efecto Corona**

Este es quizás uno de los efectos más llamativos de los fenómenos eléctricos. Consiste en que algunos electrones adquieren la suficiente energía para abandonar el conductor por donde circulan, siendo capaces de saltar hacia el aire circundante, que teóricamente no es conductor. Esto provoca que se forme un haz luminoso en torno a los conductores, que en noches oscuras es visible desde grandes distancias. (4)

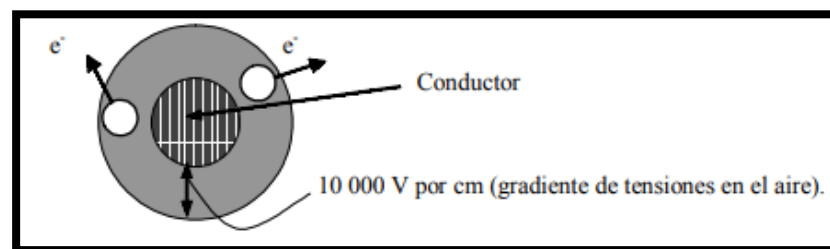
El proceso real es algo más complicado de explicar. Los electrones siempre se mueven a través de materiales metálicos, el aire es un material aislante, y por tanto no apto para el paso de los electrones. Pero bajo ciertas condiciones, como puede ser un valor de tensión más elevado de lo normal en una línea (debido a un fallo o mal funcionamiento de la misma), unido a unas condiciones medioambientales adversas (ambiente húmedo o contaminado), pueden llegar a producir este efecto. (4)

Todo ocurre como si el aire se volviera conductor (o como mínimo menos aislante), que unido a unas condiciones anormales de funcionamiento de la línea (exceso de tensión) permiten a algunos electrones dejar su vía normal de circulación para saltar a través del aire. Pero claro, el aire no es un metal, por tanto estos electrones que viajan a través de él se verán frenados, desde las grandes velocidades que poseen al dejar el

conductor, hasta velocidades nulas en cuestión de unos pocos centímetros (recordar que cada cm. de aire representa aproximadamente una pérdida de 10000V). Este rozamiento provocará un aumento de la temperatura en los electrones, llevándolos al estado incandescente. (4)

La unión de millones electrones incandescentes formará un halo luminoso alrededor del conductor. Este halo seguirá la forma del conductor ya que así lo harán las líneas de tensión a él asociadas (gradiente de tensión), pero como normalmente los conductores tienen forma cilíndrica, el halo luminoso también tendrá esta forma, pareciendo que el conductor lleve un halo o Corona luminosa. Incluso en inglés se conserva el nombre español de efecto Corona, para designarlo. (4)

**Figura 25: Efecto Corona. Gradiente de potencial en un cable eléctrico.**



**Fuente: Joseph Reinoso**

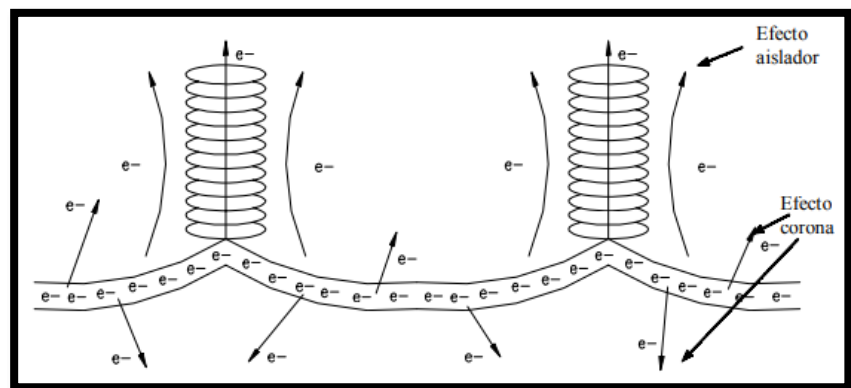
La intensidad de este efecto puede determinarse a través del color del halo luminoso. Si el color del halo es rojizo el efecto no es muy importante (menor temperatura), en cambio cuando el halo presenta tonalidades blancas o azuladas significa que el efecto se produce con mayor intensidad (mayor temperatura). (4)

Uno de los ingenieros pioneros en el estudio del efecto Corona fue el norteamericano Peek, que ya desde principios de siglo dedujo de forma experimental unas fórmulas que permitían su cálculo. (4)

Se definieron tres tensiones para su estudio:

- **Tensión crítica disruptiva:** es la tensión o resistencia del aire, que los electrones deben vencer para iniciar su paso a través de él, abandonando el material conductor. Es la tensión más importante.
- **Tensión crítica visual:** es la tensión o resistencia del aire que deben vencer los electrones para que el efecto sea visible, y por tanto que el aporte de electrones hacia el aire sea ya importante. Es mayor que la tensión crítica disruptiva, pero no es de tanta importancia en el cálculo del efecto, ya que lo que realmente interesa es el momento en que se produce y no cuando éste es visible.
- **Tensión más elevada:** es la tensión que puede adquirir una línea en condiciones normales de funcionamiento por la variabilidad de las cargas a ella conectadas. Se obtiene mediante tablas, aunque su valor suele estar comprendido entre un 10% y un 20% superior al nominal, siendo muy frecuente adoptar un 15% superior a la tensión nominal. (4)

Figura 26: Efecto Corona y efecto Aislador. Pérdida de electrones a través del aire.



Fuente: Joseph Reinoso

Después de estas definiciones estamos en condiciones de entender el método que aplicó Peek.

- Se calcula la tensión que puede aguantar el aire tanto en ambientes secos como húmedos (tensión crítica disruptiva).

- Se calcula la máxima tensión que puede alcanzar la línea en condiciones normales (tensión más elevada).
- Se comparan las dos tensiones: si la tensión crítica disruptiva (la que aguanta el aire) es mayor que la tensión más elevada (tensión de los electrones), los electrones no tendrán suficiente energía para saltar al aire y no se producirá efecto corona. Si por el contrario la tensión crítica disruptiva es menor que la tensión más elevada, se producirá el efecto corona y deberemos calcular sus pérdidas.
- Mediante unas fórmulas empíricas se calculará las pérdidas por efecto corona. (4)

Es necesario, pues, hallar la expresión de la tensión crítica disruptiva y, asimismo, la de las pérdidas por efecto corona. Pero vayamos por partes, y procedamos con la primera: la tensión crítica disruptiva. (4)

**Ecuación 37: Tensión crítica disruptiva.**

$$U_c = 84 \cdot m_c \cdot m_t \cdot r \cdot \delta \cdot \log \frac{D_c}{r_c} (KV)$$

Donde:

- 84 = es una constante que define el paso de las tensiones de un valor máximo a uno eficaz. Esta constante tiene pues unidades, que son (kV/cm)

- mc = coeficiente del conductor empleado. Recordar que cuanto más plano sea un material más difícil es que de él puedan desprenderse electrones. En cambio, con materiales circulares o con pertuberancias, estas actúan de trampolín para los electrones, de forma que a igualdad de tensión, saltan del material más fácilmente. Así:

mc = 1 para conductores nuevos

mc = 0.93 a 0.98, para conductores viejos (con pertuberancias)

mc = 0.83 a 0.87, para cables (formados por hilos)

- $m_t$  = coeficiente medioambiental. El aire será más conductor si está húmedo o contaminado. Así:

$m_t = 1$ , cuando el aire es seco

$m_t = 0.8$ , cuando el aire está húmedo o contaminado

- $r_e$  = radio del conductor en (cm). Es muy importante colocar correctamente las unidades para que la fórmula final tenga coherencia

- $D_e$  = distancia media geométrica entre fases. Se explicó como calcularla en la sección de la inductancia o capacidad. Las unidades tienen que ser iguales que las del radio del conductor para que el resultado del logaritmo sea lógico.

- $\delta$  = densidad relativa del aire. No tiene unidades y depende de las condiciones medioambientales y de la altura topográfica. (4)

**Ecuación 38: Densidad relativa del aire.**

$$\delta = \frac{(25 + 273)^{\circ} k}{76(\text{cmHg})} \frac{h(\text{cmHg})}{(273 + \Theta)^{\circ} k} = \frac{3.921h}{273 + \Theta}$$

### **Pérdidas por efecto Corona**

**Ecuación 39: Pérdidas por efecto corona.**

$$\text{Potencia.pérdida.por.fase.y.por.km} = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r_e}{D_e}} \left[ \frac{U_{me}}{\sqrt{3}} - \frac{U_c}{\sqrt{3}} \right]^2 \cdot 10^{-5}$$

Donde todos los términos son conocidos y explicados en los apartados precedentes.

Siendo la potencia total en kW (expresada la longitud en km).



**Ecuación 40: Potencia total.**

$$Potencia - total = Potencia.pérdida.por.fase.y.por.km \bullet n^{\circ} fases \bullet long [1.56]$$

Es interesante, también, calcular las pérdidas debidas a la conductancia por km y fase:

**Ecuación 41: Pérdidas por conductancia.**

$$G_{Fase-km} = \frac{P_{fase-km} (kW)}{V_{fase}^2 (kV)^2} \cdot 10^{-3} \langle siemens / km \rangle$$

Donde la potencia por fase corresponde a la hallada con la fórmula anterior, y la tensión de fase corresponde a la tensión de fase crítica disruptiva también hallada anteriormente (se halló la tensión de línea crítica disruptiva). (4)

La conductancia total en Siemens (expresada la longitud en km)

**Ecuación 42: Conductancia total.**

$$G_{TOTAL} = G_{Fase-km} \bullet n^{\circ} fases \bullet long \langle siemens \rangle$$

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

De (Castro, 2016), en concordancia con los propósitos de este trabajo de investigación y de la naturaleza del problema hallado, el tipo de investigación se enmarca dentro de la investigación: científico - experimental, porque nos permitirá demostrar la validez, aplicabilidad, importancia práctica y con la mira a descubrir y dar respuesta al problema general de nuestro trabajo

##### **3.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

El tipo de investigación que se utilizó en este trabajo de investigación es:

##### **Tipo Aplicativa.**

El tipo de investigación fue aplicada porque se evaluó, sus causas y efectos que producen las pérdidas por caída de tensión. Por otro lado se profundizó los conocimientos prácticos de la pérdida por caída de tensión, con la finalidad de hacerlo más eficiente el sistema eléctrico.

### 3.1.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

El Método General aplicado es el Método Científico y de acuerdo a la naturaleza de la investigación, se enmarcará en el Método Experimental, en sus niveles de:

- Nivel TECNOLÓGICO; ya que nuestra investigación se aplicará conocimientos científicos de ingeniería para buscar resultados de eficiencia y rendimiento energético.
- Nivel LÓGICO – TEÓRICO; en cuanto que a partir del método histórico – lógico nos permitirá el estudio de los antecedentes, causa y las condiciones históricas en los que surgió y se desarrolló el problema de investigación.
- Nivel MATEMÁTICO – ESTADÍSTICO; en cuanto se hará uso de la estadística descriptiva.

A partir de esta comprobaremos que la pérdida por caída de tensión influye negativamente en la línea de transmisión de la selva oriental.

### 3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

El diseño para el presente estudio será el PRE EXPERIMENTAL, esquematizado de la siguiente manera:

O1                    X                    O2

**O1**     : Con pérdida por caída tensión.

**Xi**     : Línea de transmisión selva oriental SAN MARTÍN

**O2**     : Con mínimas pérdidas por caída de tensión.

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. POBLACIÓN**

Está constituido por la LÍNEA DE ALTA TENSIÓN, ubicado en zona de LA SELVA ORIENTAL, distrito de MOYOBAMBA, provincia de SAN MARTÍN de la región San Martín.

#### **3.3.2. MUESTRA.**

Para fines de nuestra investigación se toma como población muestra NO PROBABILÍSTICA, y el tipo de muestreo es INTENCIONADO, LINEA DE ALTA TENSIÓN, ubicado en zona de LA SELVA ORIENTAL, distrito de MOYOBAMBA, provincia de SAN MARTÍN de la región San Martín.

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

#### **3.4.1. TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.**

##### **3.4.1.1. Observación.**

Para la investigación se utilizará la técnica de OBSERVACIÓN para la recopilación de datos históricos y estadísticos, con la obtención de datos documentados de curvas de generación y potencias años y semestres. Así también con el apoyo de instrumentos de fichas de observación, la estadística general de los registros diarios, semanales y mensuales. Esto datos no servirá para analizar y comparar el antes y después de la influencia de la pérdida de caída de tensión en la línea de transmisión de la selva oriental de San Martín.

##### **3.4.1.2. Medición.**

Se empleó la medición para identificar la cantidad de pérdidas por caída de tensión en la línea de transmisión en la selva oriental

### **3.5. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE DATOS.**

Las informaciones obtenidas mediante el instrumento de recolección de datos serán expresadas a través de cuadros estadísticos y gráficos, utilizando la media aritmética, la mediana, la moda, desviación estándar, coeficiente de variación; datos que nos permitirán hacer visibles y objetivos los resultados experimentales obtenidos. Para la prueba de hipótesis se recurrirá a las curvas de rendimiento y potencia de la Línea de Transmisión. Para todo el tratamiento y procesamiento de los datos adquiridos se empleará el programa I.B.M. SPSS v.22

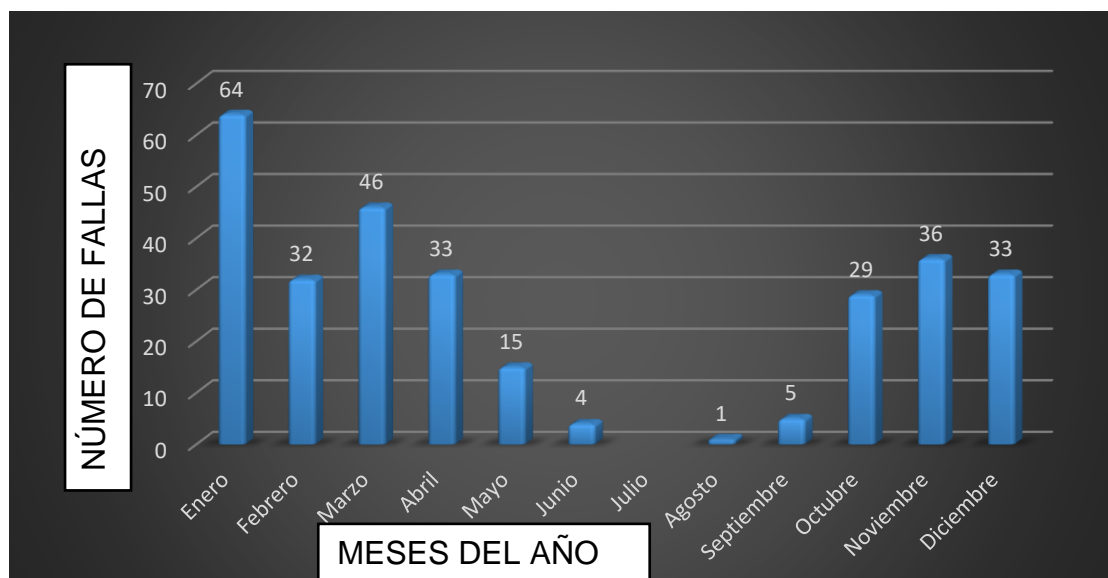
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El índice de pérdidas de energía nos refleja la energía que se disipa en el proceso de entregar el servicio a los usuarios finales, los cuales incluyen las pérdidas técnicas y no técnicas que son considerados dentro de la tarifa eléctrica, pero solo aquellas pérdidas que se encuentren en un nivel óptimo establecido por Osinergmin.

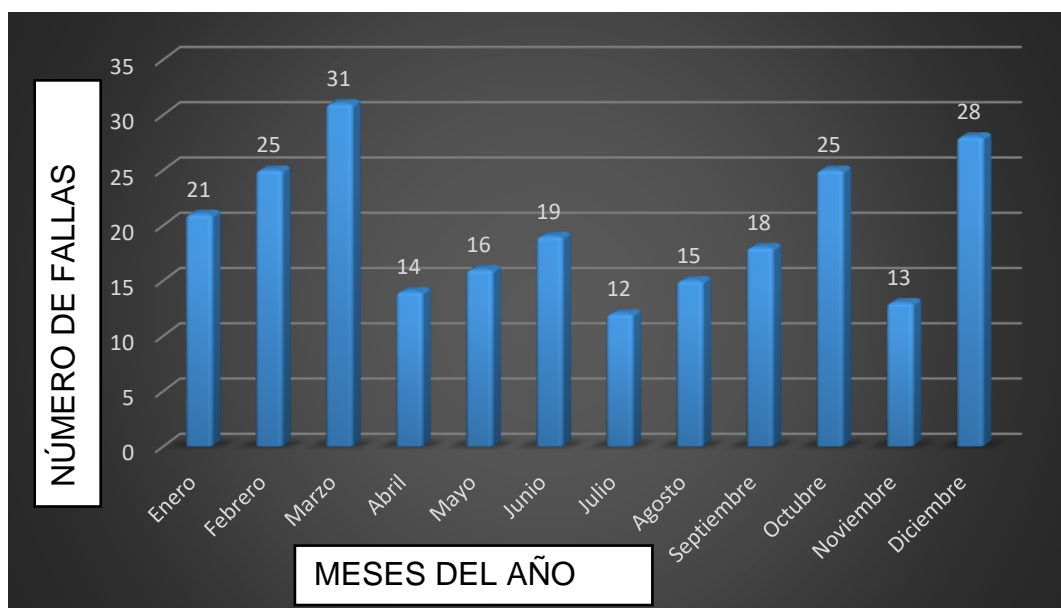
Tabla 5: Fallas a causa de fenómenos ambientales



Fuente: Elaboración propia.

Las fallas por fenómenos ambientales se presentaron con mayor número en el mes de enero haciendo un total de 64 fallas y el mes más próximo con mayores fallas fue el mes de marzo. Al observar esas diferencias que existe en estos meses la incidencia de lluvias son bastante fuertes en la región y con ello las descargas atmosféricas en lugares con mayor altitud.

**Tabla 6: Otros tipos de falla**



**Fuente: Elaboración propia.**

Las fallas en equipo de la línea de transmisión con mayor incidencia fueron en el mes de octubre, haciendo un total de 9 fallas y el mes que le antecede es el mes de agosto con un total de fallas de 8. Estas fallas se presentan en temporadas de inicios de lluvias, se estaría deduciendo que se debe a los efectos de la contaminación que ocurre por el polvo y presencia de partículas en los aisladores y equipos.

En el mes de abril la presencia de fallas en los equipos es nulo, se interpretaría por la ausencia de lluvias y son los momentos en los que se realizan los mantenimientos a los diferentes equipos.

Tabla 7: Cuadro de pérdidas de energía

<b>CUADRO DE PÉRDIDAS</b>	
<b>TIPO DE PÉRDIDAS</b>	<b>VALOR EN KVA(S)</b>
<b>Pérdidas en acometidas y líneas de transmisión</b>	10.57
<b>Pérdidas de alumbrado público</b>	1.882
<b>Pérdidas de energía no registrada</b>	1.2
<b>Pérdidas internas de medidores</b>	0.857
<b>Total de pérdidas</b>	14.509

#### 4.1.1. INCIDENCIA DE FENÓMENOS AMBIENTALES EN LA REGIÓN

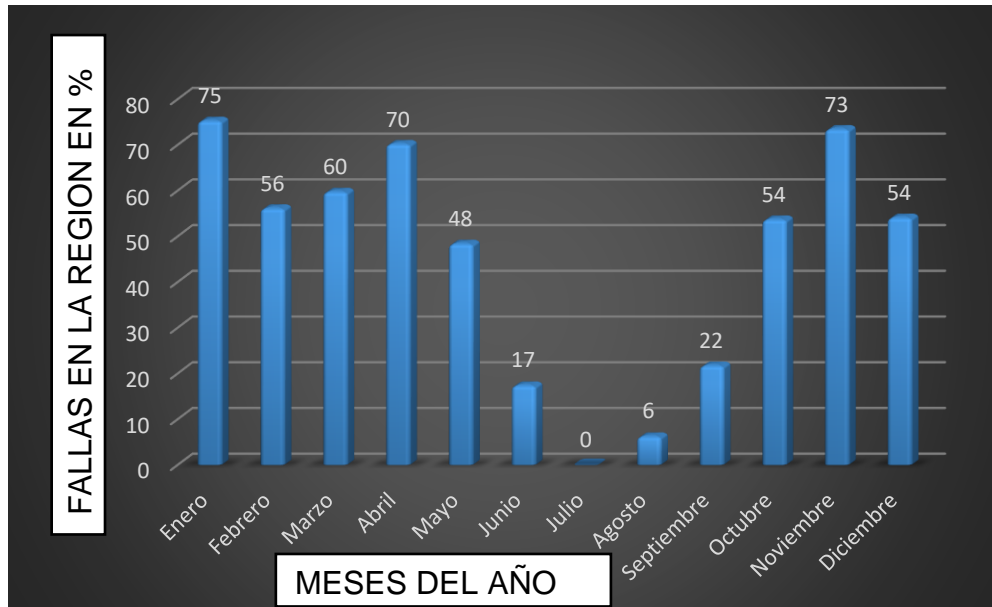
Tabla 8: Parámetros de la configuración del sistema

<b>ITEM</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MAGNITUD</b>
1	Tensión Nominal de servicio	[kV]	22,9
2	Máxima Tensión de Servicio	[kV]	24
3	Altura máxima	[msnm]	4000
4	Nivel de contaminación ambiental (MEDIO)	[mm/kV]	20
5	Tipo de Conexión del Neutro		Efectivamente Puesta a Tierra
6	Nivel Cerámico		30

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 9: Incidencia de fallas por fenómenos ambientales que probabilidades se tendría en la región, en %.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Realizando una comparación en porcentaje sobre las incidencias de fallas en la línea con otros tipos orígenes, se puede observar en el gráfico que los meses con mayor incidencia de fallas por fenómenos ambientales serán los meses de enero con 75%, abril con 70% y el mes de noviembre con 73% de probabilidades que se pueda presentar fallas por la ya mencionada.

Se puede observar también que en el mes de julio con 0%, existe una probabilidad que no se presente ninguna falla de este tipo de origen (fallas por fenómenos naturales), se deduciría que por efectos de mantenimiento y la ausencia de lluvias no se presentan ningún tipo de fallas de este origen.

Tabla 10: Nivel de aislamiento de conductores.

Tensión máxima del equipo (kV)	Tensión de sostenibilidad a frecuencia Industrial de corta duración (kV)	Tensión de sostenibilidad de impulso tipo rayo (kV)
12	28	60 75 95
17.5	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según las normas DGE (2003). Los criterios para el dimensionamiento de las puestas a tierra en las líneas de media tensión, incluyendo las de electrificación rural son los siguientes:

- Seguridad de las personas.
- Operación del sistema.
- Descargas atmosféricas.
- Facilidad para el recorrido a tierra de las corrientes de fuga.

### 4.2.1. SEGURIDAD DE LAS PERSONAS

Este es el criterio más exigente, puesto que toma en cuenta las tensiones de toque, paso y de transferencia, en consecuencia, no sólo es necesario obtener un bajo valor de la resistencia de puestas a tierra, sino también una adecuada configuración de ésta para reducir el gradiente de potencial. En las líneas primarias, sobre todo en las de electrificación rural, debido a su recorrido por zonas con escaso tránsito de personas, no se toma en cuenta este criterio. [30]

#### 4.2.2. OPERACIÓN DEL SISTEMA

En este tipo de sistema, el criterio es el de obtener una resistencia equivalente total de todas las puestas a tierra, menor o igual a 3 Ohmios para garantizar que durante una falla de fase a tierra, el fenómeno de desplazamiento del neutro no produzca sobretensiones importantes en las fases no falladas. [30]

Tabla 11: Resumen de valores de cálculo de cortocircuito

Conductor	T. inicial	T. final	m	n	$I''_{cco}$	$I_m$	Densidad de I max	Sección mínima
	°C	°C			kA	kA	A/mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>
AAAC	40	160	0	0.85	5.05	2.08	91	22.86

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27: Reducción de la corriente de coque.

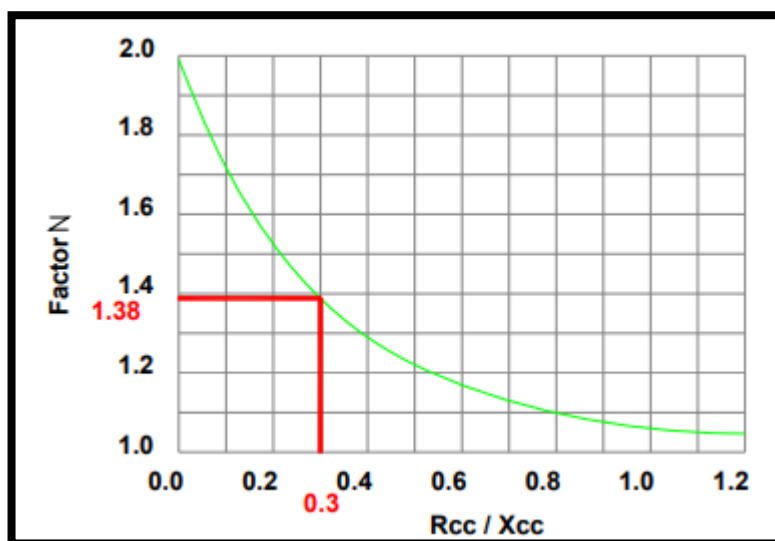


Figura 28: Influencia de la componente unidimensional

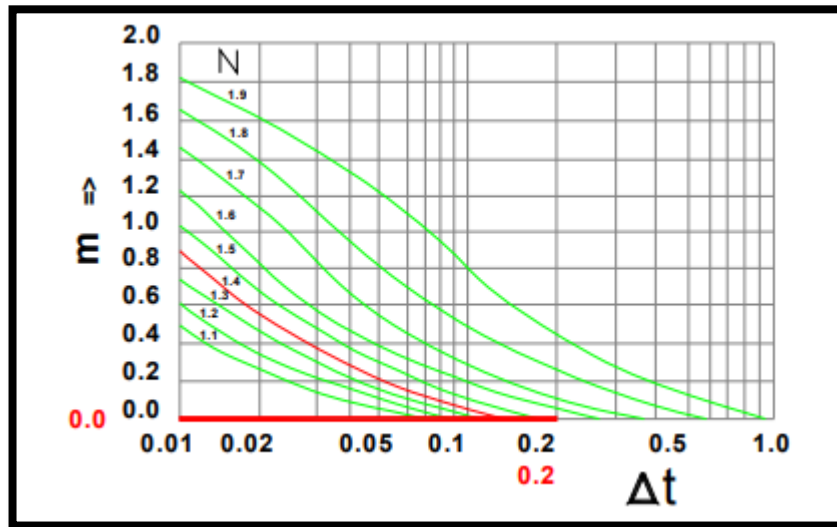


Figura 29: Influencia de la disminución de  $I_{cco}$ .

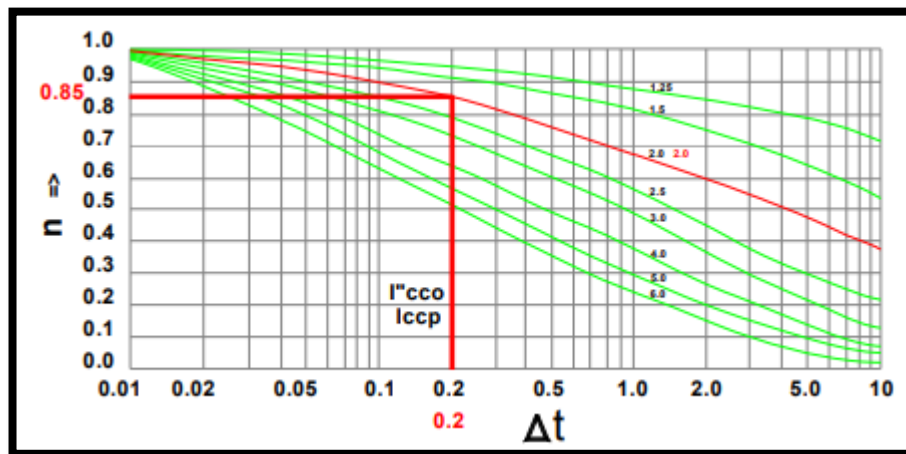
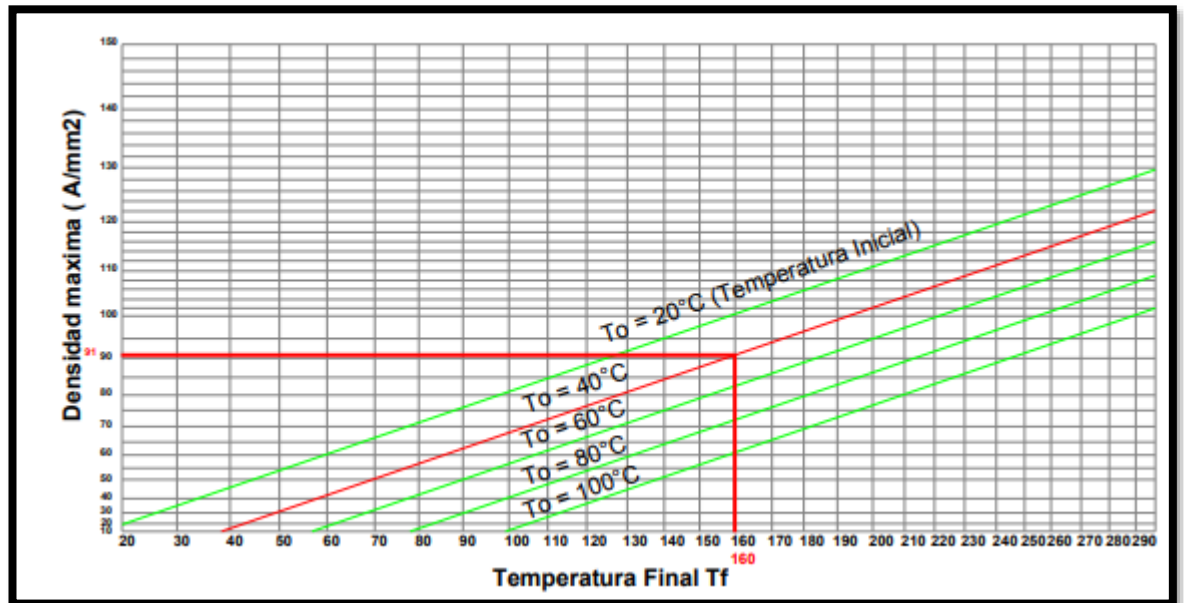


Figura 30: Densidad de la corriente de corto circuito



#### 4.2.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E HIPÓTESIS GENERAL

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que la pérdida por caída de tensión si influye negativamente en la línea de transmisión de la Selva Oriental – San Martín. Además, se puede afirmar que los datos correspondientes no permiten rechazar la Ho.

De manera general, las pérdidas por caída de tensión sobrepasan el

límite tolerable por lo que se requiere de una medida correctiva para modificar y disminuir estas pérdidas.

#### 4.2.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El trabajo realizado en el campo permitió observar que los factores que generan la caída de tensión son altos en la Selva Oriental - San Martín son muy elevados dentro de un margen aceptable de acuerdo a las estadísticas establecidas por el ente regulador Osinergmin.
- Con los datos obtenidos por el análisis de flujos de potencia que se refleja en las líneas de transmisión de la Selva Oriental – San Martín se encuentran

sobre el valor tolerable, siendo estas muy altas por lo que se requiere de una medida correctiva para disminuir estas pérdidas.

## CONCLUSIONES

1. La reducción en la influencia de pérdidas se realiza mediante la coordinación de los sistemas de protección garantizando un margen normalizado donde los niveles de tensión se mantengan dentro del rango regulado.
2. Las pérdidas en las líneas de transmisión de la Selva Oriental – San Martín reflejan el déficit de tecnología en el sistema de medición de consumo de la energía y la descoordinación del manejo y mantenimientos de estas líneas incluyendo su sistema de seguridad y protección de los mismos.
3. La reducción de pérdidas se puede lograr mediante la coordinación y planificación de un plan de mantenimiento de las líneas de transmisión en la Selva Oriental – San Martín y un control de reducción de pérdidas con el fin de brindar un servicio de calidad y confiable.
4. En el estudio realizado se muestra los valores de pérdidas que tiene las líneas de transmisión en la Selva Oriental – San Martín constituye un indicador importante en la toma de decisiones con el objetivo de disminuir estas pérdidas y realizar acciones en la mejora del servicio eléctrico.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de mejor tecnología la cual llegaría a dar una eficiencia en las líneas de transmisión de la Selva Oriental – San Martín para el control de pérdidas, por lo cual dicha tecnología no debería tomarse como un gasto sino como un beneficio en busca de la mejora para el consumidor final que son los usuarios.
2. Se recomienda el uso de los nuevos softwares para el dimensionamiento adecuado de los sistemas de puesta a tierra para líneas de transmisión con el fin de minimizar los efectos ya vistos en una LT, que se presentan cuando existen deficiencias en el SPT.
3. Se recomienda realizar los mantenimientos periódicos, especialmente en los sectores de mayor incidencia de pérdidas de energía, y con mayor número de incidencias tomando referencia los planes de control de pérdidas.
4. Que los proyectos elaborados bajo las condiciones de revisión y corrección de acometidas, revisión de conexiones flojas, en mal estado o sulfatadas, y la revisión de los calibres de los conductores.

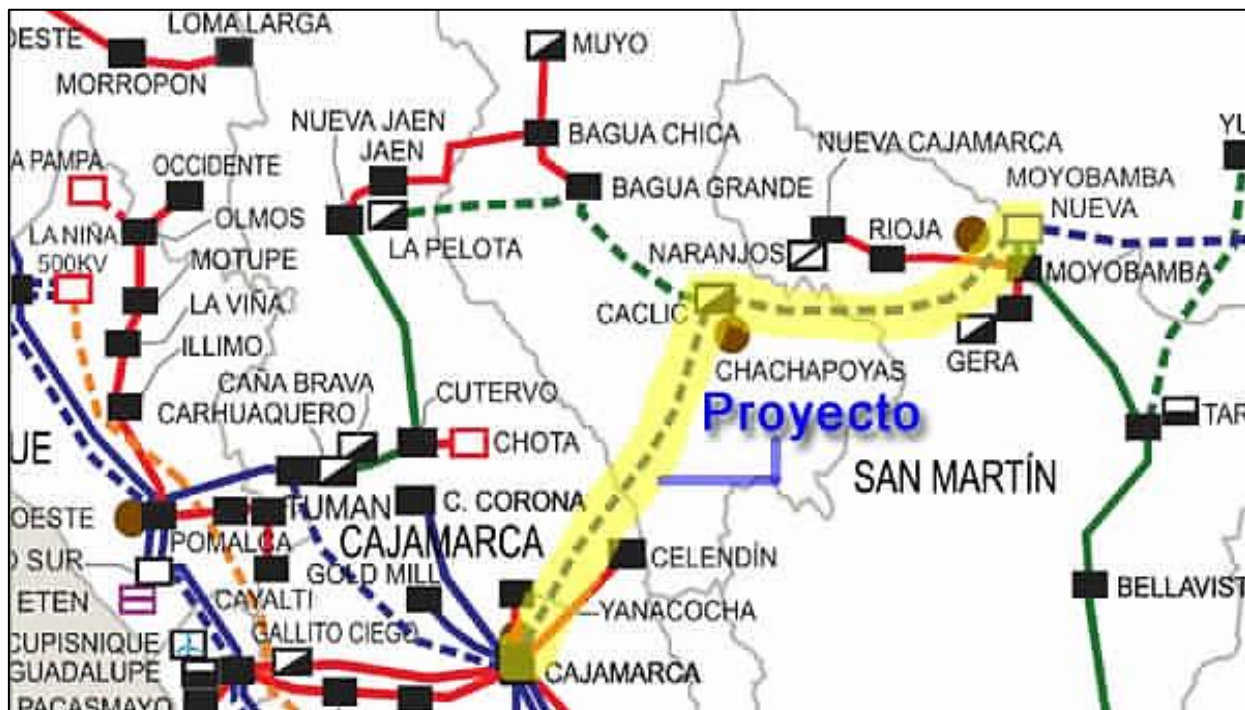


## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

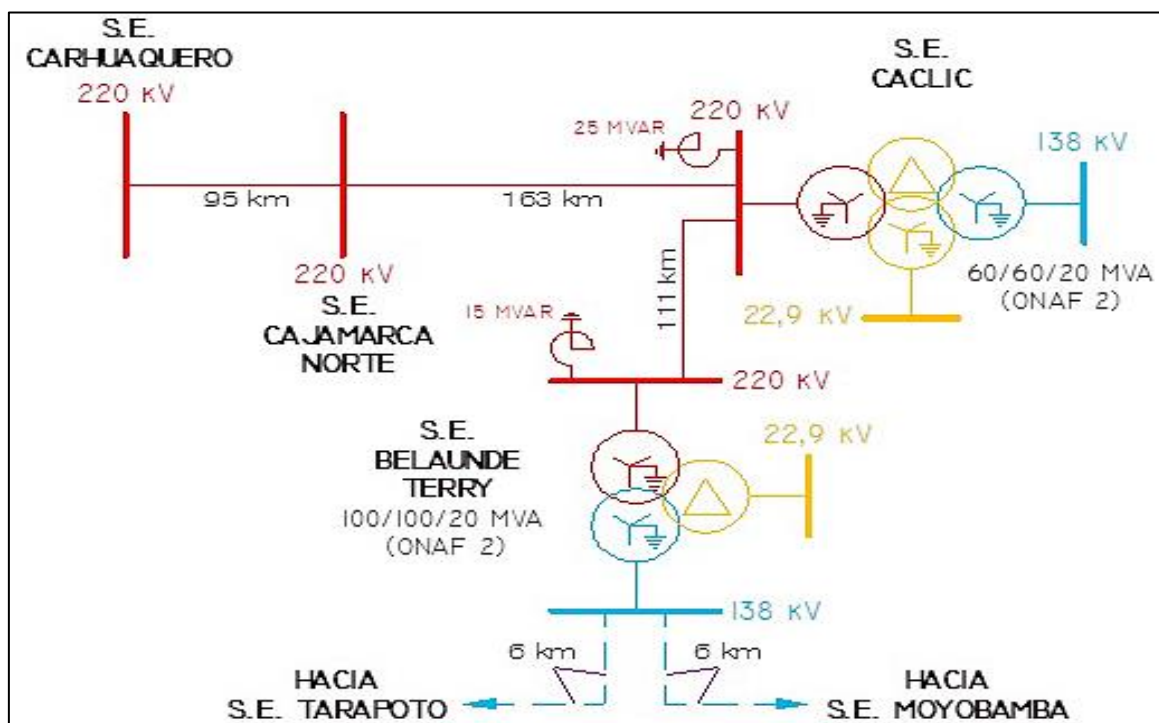
1. CAPÍTULO I RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA [online]. ESPAÑA. [Accessed 8 November 2018]. Available from:  
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/10963/fichero/Archivos%252F01+Red+de+Distribucion+de+Energia+Electrica.pdf>
2. DAMMERT LIRA, Alfredo, GARCÍA CARPIO, Raúl and MOLINELLI ARISTONDO, Fiorella. Regulación y supervisión del sector eléctrico [online]. Fondo Edit. LIMA : Tarea Asociación Gráfica Educativa, 2008. [Accessed 8 November 2018]. ISBN isBn:9789972428661. Available from: [www.pucp.edu.pe/publicaciones](http://www.pucp.edu.pe/publicaciones)
3. BUSTILLOS RAMIREZ, Alida Carolyn and PÉREZ LISBOA, Víctor Jesús. Introducción a las líneas de transmisión de energía eléctrica | Sector Electricidad | Profesionales en Ingeniería Eléctrica. Sector Electricidad [online]. 2015. [Accessed 8 November 2018]. Available from: <http://www.sectorelectricidad.com/12443/introduccion-a-las-lineas-de-transmision-de-energia-electrica/>
4. REINOSO VÁSQUEZ, Joseph. Diseño y simulación de una línea de transmisión de extra alta tensión de 500 kv tesis para optar el título profesional de: ingeniero electricista presentado por [online]. lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. [Accessed 8 November 2018]. Available from: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1600/1/reinoso\\_vj.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1600/1/reinoso_vj.pdf)

## **ANEXOS**

**ANEXO 01: GRÁFICAS DEL RECORRIDO DE LA LT CARHUAQUERO - MOYOBAMBA EN 220KV**



## ANEXO 02: DIAGRAMA UNFILAR



**ANEXO 03: PATIO DE LLAVES DE 220 KV EN S.E. BELAUNDE TERRY**



## ANEXO 04: TRABAJOS TOPOGRÁFICOS DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN



## ANEXO 05: SELECCIÓN DE LOS TIPOS DE TORRES DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN



## ANEXO 06: CARGUILLO DE PERFILES DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN





## ANEXO 07: DESCARGUE DE PERFILES LÍNEA DE TRANSMISIÓN

