

Víctor F. Nasimba Medina
Eduardo Díaz Ocampo
Jhon F. Nasimba De Janón

INTRODUCCIÓN A LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN





Introducción a las líneas de transmisión

Autores:

**Víctor F. Nasimba Medina
Eduardo Díaz Ocampo
Jhon F. Nasimba De Janón**

Introducción a las líneas de transmisión

Autores.

Víctor F. Nasimba

Eduardo Díaz
Ocampo

Jhon F. Nasimba



Primera edición: febrero 2 2020

© Universidad Técnica Estatal de Quevedo 2020

© Ediciones Grupo Compás 2020

ISBN: 978-9942-33-074-1

Diseño de portada y diagramación: Grupo Compás

Este texto ha sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa del editorial.

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Guayaquil-Ecuador 2020

Cita.

Nasimba V., (2020) Introducción a las líneas de transmisión, Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador, 124 pág.

Prefacio

Este libro tiene como objetivo que el estudiante tenga una fuente de consulta en base a la experiencia real sobre el estudio práctico de líneas de transmisión. Como autores tratamos de compartir la idea de que el estudio de líneas de transmisión resulte entretenido. No solo es útil y esencial para el estudio de la ingeniería eléctrica, sino también aporta conocimientos para el desarrollo del pensamiento lógico a través de ejercicios aplicados analíticamente. Luego de finalizar el curso, muchos estudiantes se sorprenden en verdad por todas las excelentes herramientas analíticas, el uso de tablas según norma IEEE y la aplicación de Matlab para sistematizar los problemas planteados sobre las líneas de transmisión.

En muchas universidades públicas y privadas, el curso de líneas de transmisión será precedido o estará acompañado por un introductorio de líneas de transmisión, cálculo de conductores. Sin embargo, los antecedentes de este no son un prerrequisito, sino que varios de los conceptos básicos esenciales son abordados en el estudio de Sistemas Básicos de Potencia.

Se pretende que este texto ayude a los estudiantes a auto prepararse a sí mismo en la ciencia del análisis de líneas de transmisión. Está dirigido al estudiante, y no al profesor, pues el primero es quien tal vez dedique más tiempo a leerlo. Se hizo el máximo esfuerzo para que cada término nuevo se defina claramente cuando se presente por primera vez.

El material básico aparece al inicio de cada capítulo y se explica con cuidado y en detalle; se emplean numerosos ejemplos para presentar y sugerir resultados generales. Aparecen problemas prácticos al final de cada capítulo, los cuales resultan por lo general simples. Los problemas más difíciles aparecen al final de cada capítulo y siguen el orden general de presentación del material del texto. Si en ocasiones el libro parece ser informal, o incluso ligero, se

debe a que no es necesario ser hostigoso o cansado para ser educativo.

En el capítulo I, se estudia los conceptos básicos de líneas de transmisión, estudio de cargas, representación unifilar de las líneas, tipos de fallas simétricas y asimétricas y generación eléctrica.

En el capítulo II, se examina los circuitos equivalentes en una línea de transmisión, los vanos de cada torre, que tipo de circuito usar como son el Π nominal y T equivalente, o ambos concéntrico o distribuido.

En el capítulo III, se analiza las características eléctricas y mecánicas de las líneas de transmisión, entre ellos las particularidades de los conductores, la resistividad, conductancia, y ejercicios para determinar el tipo de conductor a implementar y los factores afectan a las líneas de transmisión entre ellos el efecto piel, efecto corona.

En el capítulo IV, se reconoce el tipo de conductor un concepto general del conductor sus propiedades, material y su aplicación, durabilidad, factor económico. Detallar cada uno de eso aspectos el estudiante estará capacitado en hacer su mejor elección entre los siguientes tipos de conductores como son: AACSR, ACAR, ACSR, AAAC, AAC

En el capítulo V. considerará el soporte para líneas de transmisión, algo muy importante como sus estructuras y esfuerzos, tipo de postes, pasantes, verticales, angulares. El tipo de material de la estructura, que tipo de estructura según los kV.

En el capítulo VI, se detalla los cálculos mecánicos de la línea de transmisión, Clasificación de las cargas, si es permanente o aleatoria. Cálculo de la flecha y tensiones en los conductores, cálculo de la tensión mecánica en las líneas aéreas por el método de la catenaria Entre otros.

En el capítulo VII, se puntualiza el cálculo eléctrico de la línea de transmisión, si es corta, media o larga. Modelo de línea larga para

línea de transmisión, los cálculos de parámetros como voltaje de entrada y voltaje de salida, corriente incidente y reflejada. Calculada de forma matricial entre otros métodos de cálculos.

ÍNDICE

Prefacio.....	2
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	13
Introducción a las líneas de transmisión.....	14
Representación de las líneas de transmisión.....	14
Estudio de cargas.....	15
Estabilidad.....	15
Cálculo de fallas.....	16
Tipos de fallas.....	16
Simbologías.....	16
Diagrama unifilar.....	17
Generación de energía eléctrica	18
Energía renovable	18
Energía hidráulica	19
Energía solar térmica.....	19
Energía biomasa	20
Energía Solar	21
Energía eólica.....	21
Energía geotérmica.....	22
Energía mareomotriz	23
Energía no renovable.....	23
Energía fósil.....	23
Energía nuclear	24
Subestación	25
Las subestaciones pueden ser de dos tipos:	25
Subestación transformadora o elevadora.....	26
Subestaciones transformadoras reductoras	26
Clasificación de las líneas eléctricas.....	26
Línea de transmisión	26

Líneas de Subtransmisión	27
Conductores	27
Barra de subestación	27
Barras de entrada	27
Barras de salida	27
Transformador trifásico	28
Transformador elevador	28
Transformador reductor	28
Red de Distribución.....	29
Consumidor residencial	29
Consumidor comercial	29
Consumidor industrial	29
CAPÍTULO 2. CIRCUITOS EQUIVALENTES PARA UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN	30
Circuitos equivalentes para una línea de transmisión.	31
Parámetros de una línea de transmisión.	31
Vano.....	32
Circuito equivalente " Π ".	33
Circuito equivalente " T ".	33
Circuito equivalente Π y T concéntrico.	33
Circuito equivalente Π y T distribuido.	34
CAPÍTULO 3. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN	35
Resistencia.....	38
Resistividad.....	38
Conductancia.....	38
Conductividad.....	38
Ejercicios	38
Calibre del conductor.....	40
Circular Mil.....	40

Ejercicios	40
Conductores trenzados.	41
Factores que afectan a las líneas de transmisión.	42
El efecto resistencia.....	42
Efecto de la temperatura	43
El efecto superficial o piel	45
Efecto corona.....	46
CAPÍTULO 4. TIPOS DE CONDUCTORES	52
Cálculo mecánico de las líneas de transmisión.	53
Conductores para líneas aéreas.	53
Características.....	53
Aluminio (Al).....	54
Aluminio reforzado con alma de acero.	54
El cable AACSR (conductor de aleación de aluminio con alma de acero)	55
Generalidades.....	55
Aplicación	55
Propiedades.....	55
El cable ACAR (conductores con aleación reforzados)	55
Generalidades.....	55
Aplicación	56
Propiedades.....	56
El cable ACSR (aluminio reforzado con alma de acero)	56
Generalidades.....	56
Aplicación	57
Propiedades.....	57
El cable AAAC 6201 (conductor de aleación de aluminio)	57
Generalidades.....	57
Aplicación	57
Propiedades.....	57
El cable AAC (conductores de aluminio).	58

Generalidades.....	58
Aplicación	58
Propiedades.....	58
Cables utilizados en las líneas de transmisión.....	58
Características importantes de los conductores.....	59
Selección del conductor más económico.....	59
CAPÍTULO 5. SOPORTES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	60
Postes.....	61
Torres o estructuras de acero	61
Función de las estructuras.....	61
Estructura de suspensión.....	61
Estructuras de retención.....	62
Estructura de retención de tipo terminal.....	62
Estructura de retención tipo angular	62
Esfuerzos sobre las estructuras.....	62
Cargas verticales	62
Cargas horizontales.....	62
Cargas longitudinales	63
Estructura auto soportante.....	63
Estructura auto soportante rígido	63
Estructura auto soportante flexible.....	63
Estructuras tensionadas.....	63
Materiales para estructuras.....	64
Partes que componen las torres de transmisión eléctrica.....	64
Materiales para estructuras.....	66
Acero.....	67
CAPÍTULO 6. CÁLCULO MECÁNICO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	68
Cálculo mecánico de líneas.....	69

Clasificación de las cargas.....	69
Cargas permanentes	69
Cargas aleatorias.....	69
Cálculo de la flecha y tensiones en los conductores.....	70
Vano claro o distancia interpostal	71
Flecha del conductor	71
Consideraciones mecánicas de los conductores.....	72
Criterios generales para el cálculo de tensiones y flechas.	73
Cálculo de la tensión mecánica en las líneas aéreas por el método de la catenaria.....	73
Cálculo de la tensión mecánico de las líneas de transmisión aéreas por el método de la parábola	82
Cálculo mecánico de la flecha y tensiones en líneas con soporte a distinto nivel.....	91
Cálculo para el hilo de guarda.....	94
Efectos de las cargas de hielo y viento del cálculo mecánico de las líneas de transmisión	95
CAPÍTULO 7. CÁLCULO ELÉCTRICO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	104
Introducción.....	105
Cálculo eléctrico.	105
Cálculo mecánico.....	105
Representación de las líneas de transmisión	106
Líneas de transmisión corta.....	107
Variabilidad de las líneas de transmisión.....	109
Factor de potencia o eficiencia de transmisión	109
Línea de transmisión media	114
Modelo de línea larga para línea de transmisión.....	122
Circuito nominal de las líneas de transmisión largas.....	122
Ecuaciones de Euler $\varepsilon \propto x e^{j\beta x}$	125

Tensión incidente	126
Tensión reflejada	126
Corriente incidente.....	126
Corriente reflejada	126
Sil (impedancia de sobretensión)	127
Longitud de onda	127
8.Bibliografía.....	157
9.Anexos.....	159

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Representación de una línea de transmisión.....	14
Ilustración 2. Tipos de fallas en las líneas de transmisión.	16
Ilustración 3. Diagrama unifilar del SEP.	17
Ilustración 4. Central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.	19
Ilustración 5. Generación de agua caliente con una instalación de circuito cerrado.	20
Ilustración 6. Energía biomasa.....	20
Ilustración 7. Energía solar	21
Ilustración 8. Central eólica Villonaco.	22
Ilustración 9. Energía Geotérmica.	22
Ilustración 10. Central eléctrica no renovable.	24
Ilustración 11. Central eléctrica, con Energía Nuclear.	25
Ilustración 12. Transformador elevador.....	28
Ilustración 13. Transformador reductor.....	29
Ilustración 14. Circuito equivalente para una línea de transmisión.....	31
Ilustración 15. Representación del vano.	32
Ilustración 16. Circuito equivalente "Π"	33
Ilustración 17. Circuito equivalente "T".	33
Ilustración 18. Circuito equivalente Π y T concéntrico.....	33
Ilustración 19. Circuito equivalente Π y T distribuido.	34
Ilustración 20. Efecto piel.	46
Ilustración 21. Circuito simple.....	65
Ilustración 22. Circuito doble.	66
Ilustración 23. Circuito doble.	66
Ilustración 24.: Conductor suspendido de dos soportes.....	70
Ilustración 25. Tensión mecánica en las líneas aéreas.....	73
Ilustración 26. Cálculo mecánico de la flecha y tensiones.	91
Ilustración 27. Línea de transmisión corta [3].	107
Ilustración 28: Circuito nominal Π.....	114
Ilustración 29. Circuito nominal T.	114
Ilustración 30. Circuito nominal de L/T larga.	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de rugosidad.....	47
Tabla 2. Coeficiente meteorológico	47
Tabla 3. Tipos de cables más utilizados en las líneas de transmisión.....	58
Tabla 4. Características de los conductores.	59
Tabla 5. Zona de corrección.	59
Tabla 6. Dígito 1 de tensión.....	64
Tabla 7. Tabla de constante de superficie (Kf).	96
Tabla 8. Velocidad del viento.	96
Tabla 9. Tabla de constantes ABCD.....	106

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Introducción a las líneas de transmisión.

La Ingeniería eléctrica en las últimas décadas ha sufrido cambios notables como consecuencia de la innovación tecnológica, en forma específica en el campo de generación y transmisión de la energía eléctrica, por lo que se ha puesto mayor énfasis en la generación de energía utilizando recursos renovables (eólica, fotovoltaica, híbrido, biomasa etc.) y la transmisión a alto voltaje. El transporte de grandes bloques de energía generalmente se transmite mediante los sistemas de corriente alterna [1].

Las líneas de transmisión llevan potencia desde las estaciones de generación hasta las estaciones de recepción [1].

La principal función de una línea de transmisión es llevar, transmitir potencia de una determinada distancia en forma eficiente y forma económica [1].

Representación de las líneas de transmisión.

Una línea de transmisión, es tratada como 2 puntos de una red en los cuales son obtenidos los parámetros A, B, C, D [1].

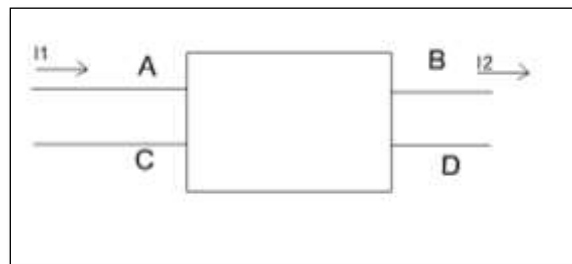


Ilustración 1. Representación de una línea de transmisión.

$$V_1 = V_2A + I_2B \quad (1.1)$$

$$I_1 = V_2C + I_2D \quad (1.2)$$

El módulo más sencillo en la línea es un cuadripolo, siendo la relación de la tensión y la corriente en ambos extremos [1].

Este análisis es para el régimen estacionario y puede ser representada mediante en circuitos equivalentes (π) (T) y tiene 2 objetivos:

- 1) Determinar la caída de tensión (calidad de energía)
- 2) Determinar las pérdidas, regulación de tensión (económica)

Una red eléctrica se compone de 3 partes principales

- 1) Las centrales generadoras
- 2) Las líneas de transmisión.
- 3) Redes de distribución.

Las líneas de transmisión constituyen los eslabones de conexión desde las centrales generadoras y centrales de distribución [2].

Una red de distribución conecta las cargas aisladas en una zona determinada en las líneas de transmisión [2].

La programación del perfeccionamiento de perfeccionamiento y función de una red eléctrica exige: estudio de cargas de estabilidad y cálculo de fallas [2].

Estudio de cargas.

El estudio de las cargas es la determinación de la tensión, intensidad, potencia y el factor de potencia o potencia reactiva en varios puntos de una red eléctrica, en condiciones normales de funcionamiento [2].

Al diseñar una red se proyecta que su vida útil sea de 20 o superior a 30 años [2].

Estabilidad.

El ángulo de fase de la fuerza electromotriz (fem) depende de la posición relativa de los rotores de las máquinas sino se mantuviera el sincronismo entre los generadores de la red de los ángulos de fase de su fem, cambiaría constantemente respecto a las otras variables y sería imposible un funcionamiento satisfactorio, por lo tanto la velocidad de sincronismo entre los generadores se alcanzan cuando se tiene igual número de fase, frecuencia y voltaje [2].

Cálculo de fallas.

El fallo en un conductor es cualquier desperfecto que interfiera la circulación normal de la corriente [2].

El cálculo de las fugas (fallas) tiene por objeto determinar estas corrientes para varios tipos de fugas, en distintos puntos de la red. Y los datos obtenidos de estos cálculos (fallas) sirven para la colocación de los relés que controlan los interruptores. Actualmente existen programas para el cálculo de fallas [2].

Tipos de fallas

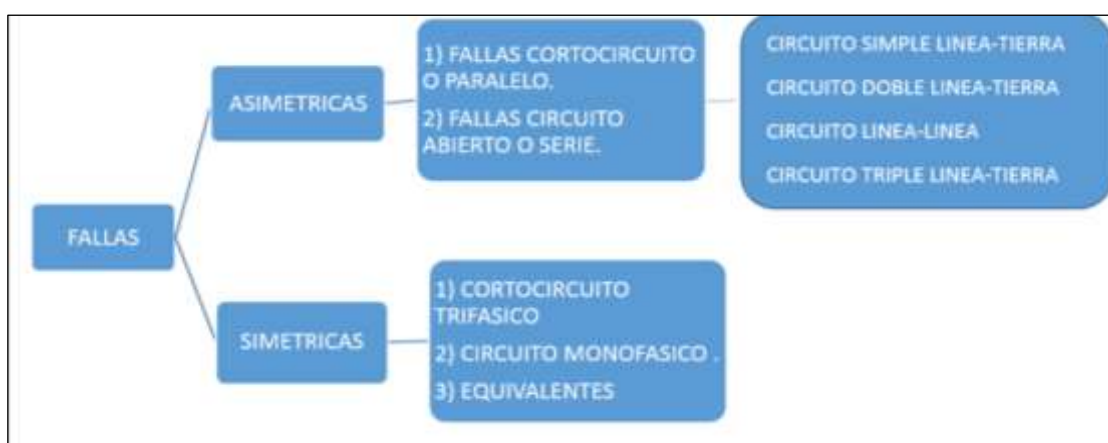
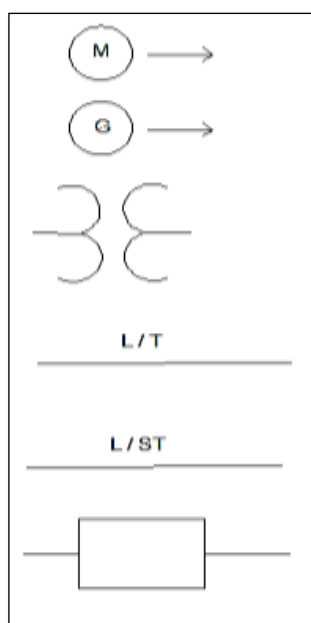
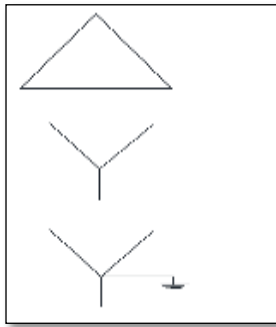


Ilustración 2. Tipos de fallas en las líneas de transmisión.

Simbologías.



- Motor
- Generador
- Transformadores dobles devanado
- Líneas de transmisión
- Líneas de Subtransmision
- Interruptor de circuito



- Conexión en delta
- Conexión estrella sin conexión a tierra
- Conexión estrella aterrizada

Diagrama unifilar.

El diagrama unifilar es la representación gráfica mediante símbolos de los componentes de un SEP. Una ventaja es la simplicidad de su representación, es decir una fase representa las 3 fases del sistema balanceado [3].

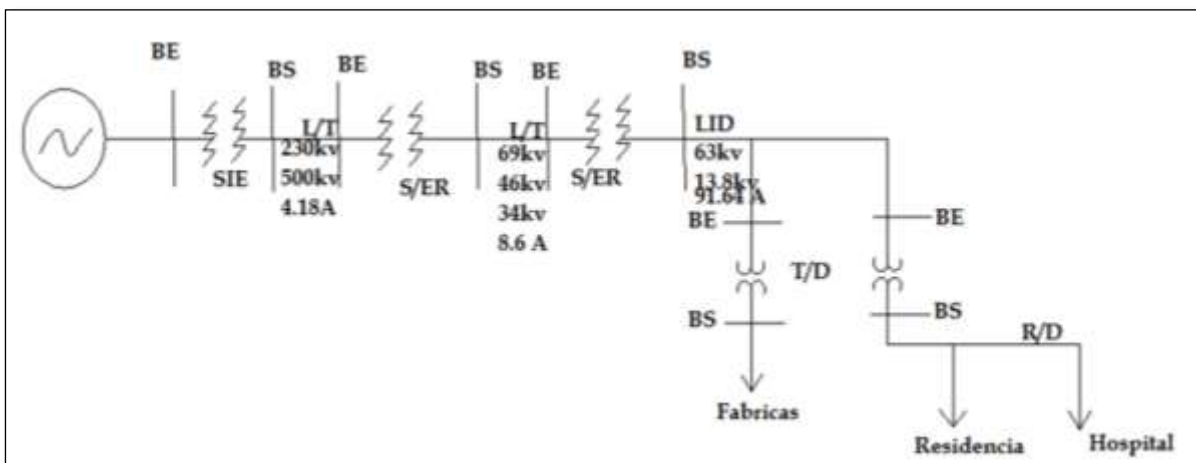


Ilustración 3. Diagrama unifilar del SEP.

$$P_0 = 1000 \text{ KW}$$

S/E = SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ELEVADORA

S/R = SUBESTACIÓN ELÉCTRICA REDUCTORA

L/T = LINEAS DE TRANSMISION

L/ST = LINEAS DE SUBTRANSMISION

BE = BARRA DE ENTRADA

BS = BARRA DE SALIDA

L/D = LINEAS DE DISTRIBUCIÓN

R/D = RED DE DISTRIBUCIÓN

Generación de energía eléctrica

Consiste en transformar alguna clase de energía (química, cinética, térmica, lumínica, nuclear, solar entre otras), en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico. La generación eléctrica se realiza, básicamente, mediante un generador eléctrico [4].

La energía eléctrica se produce, a escala industrial, en las centrales eléctricas. Una central eléctrica es una "producción de corriente eléctrica". La forma más habitual de producir energía eléctrica es usando un alternador.

Un alternador está formado por un rollo de hilo conductor (bobina) que puede girar, y un imán que está fijo.

La bobina gira dentro del imán, impulsada por el giro de una turbina, que, a su vez, se hace girar gracias a un fluido en movimiento.

Por último, la corriente eléctrica se modifica en un transformador, que la "prepara" para ser transportada.

El proceso para generar electricidad se puede clasificar en dos grandes grupos, se pueden clasificar en energías renovables y energías no renovables [5].

Energía renovable

Son aquellas fuentes de energía basadas en la utilización de recursos naturales, el sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal. Se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles, sino recursos naturales capaces de renovarse ilimitadamente.

Uno de sus puntos fuertes es que tienen un impacto ambiental muy escaso, pues además de no emplear recursos finitos, no generan contaminantes.

A las energías renovables se les conoce como energías alternativas o energías verdes [6].

Energía hidráulica

La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico [6].



Ilustración 4. Central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

Energía solar térmica

La energía solar térmica o energía termo solar consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos, calentar agua es decir que Se trata de recoger la energía del sol a través de paneles solares y convertirla en calor [6].

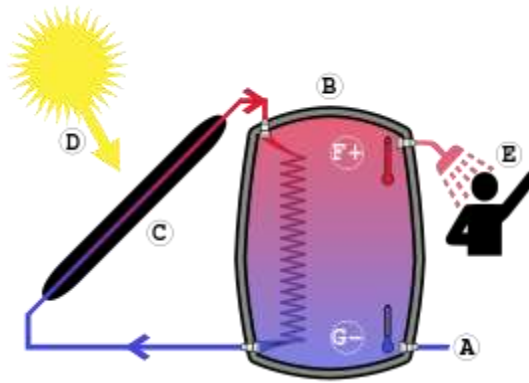


Ilustración 5. Generación de agua caliente con una instalación de circuito cerrado.

Energía biomasa

La vida a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado [6].

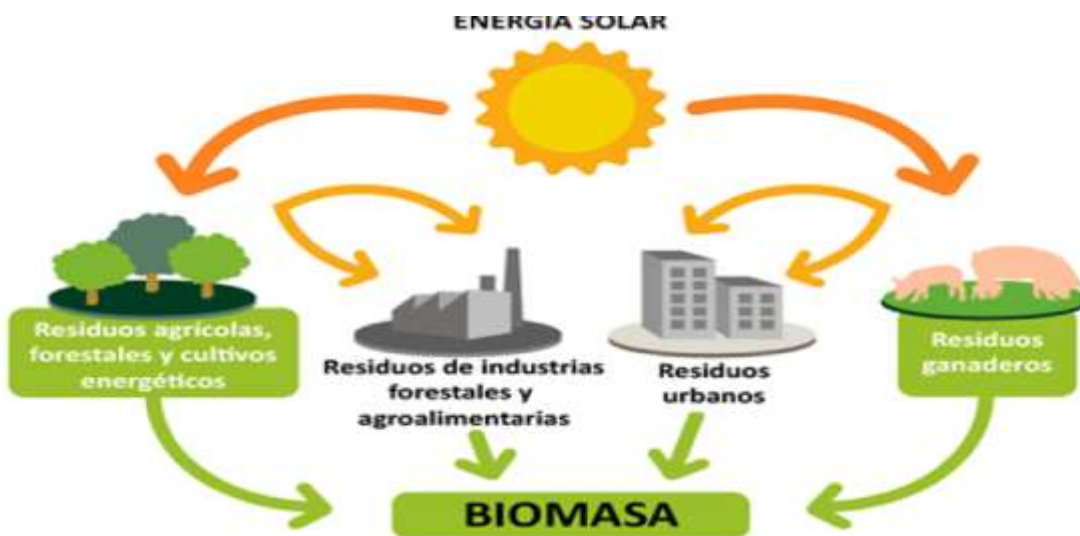


Ilustración 6. Energía biomasa.

Energía Solar

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol. Hoy en día, el calor y la luz del sol pueden aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotoeléctricas, helióstatos o colectores solares, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica [6].



Ilustración 7. Energía solar

Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. Se obtiene mediante unas turbinas eólicas que convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie engranajes (la transmisión) a un generador eléctrico [6].



Ilustración 8. Central eólica Villonaco.

Energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el ser humano mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra.

Parte del calor interno de la Tierra (5.000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar [6].



Ilustración 9. Energía Geotérmica.

Energía mareomotriz

La energía marina o energía de los mares (también denominada a veces energía de los océanos o energía oceánica) se refiere a la energía renovable producida por las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano. El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un vasto almacén de energía cinética o energía en movimiento. Esta energía se puede aprovechar para generar electricidad que alimente las casas, el transporte y la industria [6].

Energía no renovable

Los combustibles fósiles son recursos no renovables, cuyas reservas son limitadas y se agotan con el uso. En algún momento se acabarán, y serán necesarios millones de años para contar nuevamente con ellos. Las principales son los combustibles fósiles (el petróleo, el gas natural y el carbón) y, en cierto modo, la energía nuclear [6].

Energía fósil

Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón), líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). Son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años y que se han fosilizado formando carbón o hidrocarburos. En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar. En ambos casos la materia orgánica se descompuso parcialmente por falta de oxígeno y acción de la temperatura, la presión y determinadas bacterias de forma que quedaron almacenadas moléculas con enlaces de alta energía [6].

La energía más utilizada en el mundo es la energía fósil [6].



Ilustración 10. Central eléctrica no renovable.

Energía nuclear

El núcleo atómico de elementos pesados como el uranio, puede ser desintegrado (fisión nuclear) y liberar energía radiante y cinética. Las centrales termonucleares aprovechan esta energía para producir electricidad mediante turbinas de vapor de agua. Se obtiene "rompiendo" (fisionando) átomos de minerales radiactivos en reacciones en cadena que se producen en el interior de un reactor nuclear [6].



Ilustración 11. Central eléctrica, con Energía Nuclear.

Subestación

Las subestaciones eléctricas son las instalaciones encargadas de realizar transformaciones de la tensión, de la frecuencia, del número de fases o la conexión de dos o más circuitos.

Pueden encontrarse junto a las centrales generadoras y en la periferia de las zonas de consumo, en el exterior o interior de los edificios. Actualmente en las ciudades las subestaciones están en el interior de los edificios para ahorrar espacio y contaminación. En cambio, las instalaciones al aire libre están situadas en las afueras de la ciudad.

Las subestaciones pueden ser de dos tipos:

Subestaciones de transformación: son las encargadas de transformar la energía eléctrica mediante uno o más transformadores. Estas subestaciones pueden ser elevadoras o reductoras de tensión.

Subestaciones de maniobra: son las encargadas de conectar dos o más circuitos y realizar sus maniobras. Por lo tanto, en este tipo de subestaciones no se transforma la tensión.

Subestación transformadora o elevadora

Elevan la tensión generada de media a alta o muy alta para poderla transportar. Se encuentran al aire libre y están situadas al lado de las centrales generadoras de electricidad.

La tensión primaria de los transformadores suele estar entre 3 y 36 kV. Mientras que la tensión secundaria de los transformadores está condicionada por la tensión de la línea de transporte o de interconexión (66, 110, 220 , 380 kV).

Subestaciones transformadoras reductoras

Son subestaciones con la función de reducir la tensión de alta o muy alta a tensión media para su posterior distribución.

La tensión primaria de los transformadores depende de la tensión de la línea de transporte (66, 110, 220 , 380 kV). Mientras que la tensión secundaria de los transformadores está condicionada por la tensión de las líneas de distribución (entre 6 y 30 kV).

Clasificación de las líneas eléctricas

Las líneas eléctricas se pueden clasificar por su función en: Líneas de transmisión y Subtransmisión (líneas de distribución).

Línea de transmisión

Son aquellas que se utilizan para transportar la energía eléctrica a grandes distancias, a niveles de voltajes superiores a los 34.5kv. 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.

Líneas de Subtransmisión

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 están por debajo de los 34.5 kV. Los conductores en media tensión siguen siendo desnudos, pero en baja tensión se usan conductores aislados, para mayor seguridad en zonas urbanas.

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.

Barra de subestación

Elemento conductor que recoge todas las intensidades que llega de las subestaciones por las líneas.

Barras de entrada

Es el elemento físico de una subestación que donde se representa el nodo del sistema, es decir, el punto de conexión en donde se unen eléctricamente todos los circuitos que hacen parte de una determinada subestación.

Barras de salida

En este caso es el elemento físico que se encuentra en la salida de una subestación en sí es el nodo del sistema, pero este estará en la parte final, o el punto de conexión de salida de la subestación

Transformador trifásico

Un transformador trifásico es una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico trifásico, manteniendo una relación entre sus fases la cual depende del tipo de conexión de este circuito.

Transformador elevador

Un transformador en el que la salida (secundaria) su voltaje es mayor que el voltaje de entrada (primario) se denomina transformador elevador. El transformador elevador disminuye la corriente de salida para mantener la potencia de entrada y salida del sistema igual.

Se considera un transformador elevador según se muestra en la ilustración 12. El E_1 y E_2 son los voltajes, y T_1 y T_2 es el número de vueltas en el devanado primario y secundario del transformador.

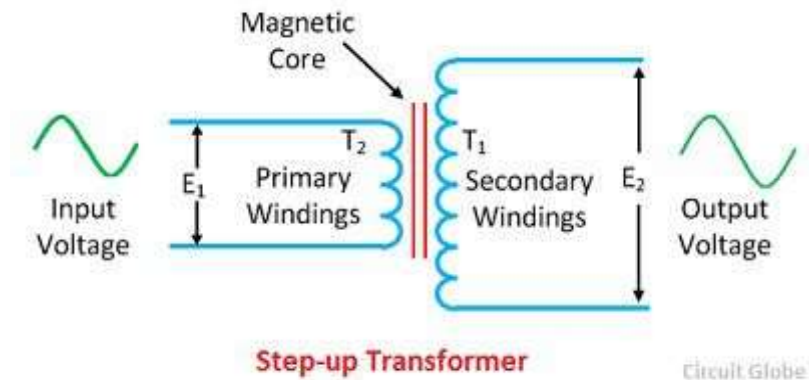


Ilustración 12. Transformador elevador.

Transformador reductor

Un transformador en el que la salida (secundaria) el voltaje es menor que su voltaje de entrada (primario) se llama transformador reductor. El número de vueltas en el primario del transformador es mayor que el giro en el secundario del transformador, es decir, $T_2 > T_1$. El transformador reductor se muestra en la ilustración 13.



Ilustración 13. Transformador reductor.

Red de Distribución

La Red de Distribución de la Energía Eléctrica o Sistema de Distribución de Energía Eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales ya sea este aéreo o subterráneo hasta llegar al (medidor o contador de energía del consumidor), sea este residencial, comercial o industrial.

Consumidor residencial

Este tipo de demanda se encuentra en zonas donde los usuarios hacen un uso típico de vivienda, este tipo de consumo responde mayoritariamente a las costumbres de vida de una familia.

Consumidor comercial

Corresponde al comportamiento de los negocios y empresas que laboran en una o dos jornadas diarias, lo cual hace que experimente un incremento de carga en horas de la mañana, tenga un ligero decremento al medio día manteniendo un valle en horas de la tarde y finalmente se reduzca hasta un valor de valle nocturno

Consumidor industrial

En el caso de la demanda industrial, la forma de la curva dependerá del proceso de fabricación o del producto que se considere en el análisis

CAPÍTULO 2. CIRCUITOS EQUIVALENTES PARA UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Circuitos equivalentes para una línea de transmisión.

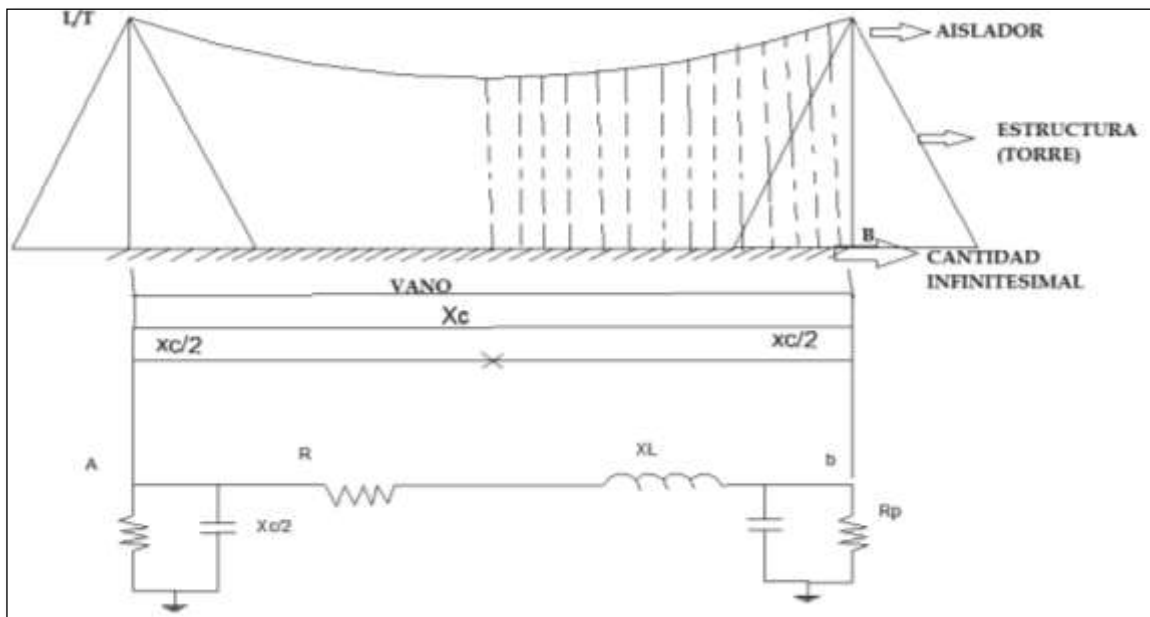


Ilustración 14. Circuito equivalente para una línea de transmisión.

Parámetros de una línea de transmisión.

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.

Es posible realizar una clasificación de los elementos eléctricos, dependiendo de la forma en que éstos influyen dentro de un sistema eléctrico. Así, se crean dos grupos diferenciados:

- los parámetros eléctricos longitudinales: formados por la resistencia y la inductancia;
- los parámetros eléctricos transversales: formados por la capacidad y la conductancia.

• 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

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

$B = C \cdot \omega = C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \Leftrightarrow$ SUSCEPTANCIA [7].

Vano.

Es una proporción de líneas entre dos estructuras, viene expresado en metros (m) [7].

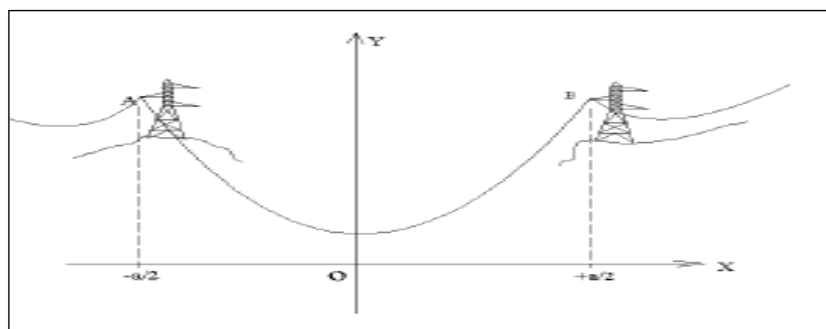


Ilustración 15. Representación del vano.

Circuito equivalente "Π".

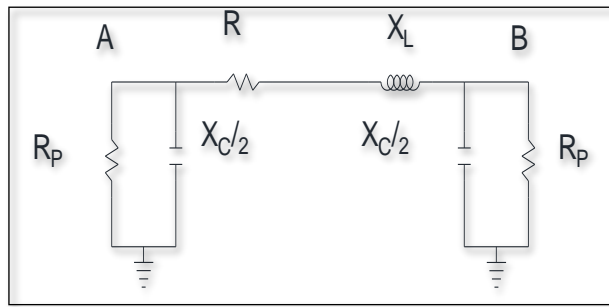


Ilustración 16. Circuito equivalente "Π"

Circuito equivalente "T".

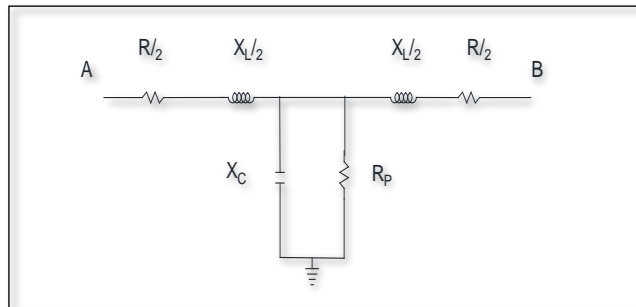


Ilustración 17. Circuito equivalente "T".

Circuito equivalente Π y T concéntrico.

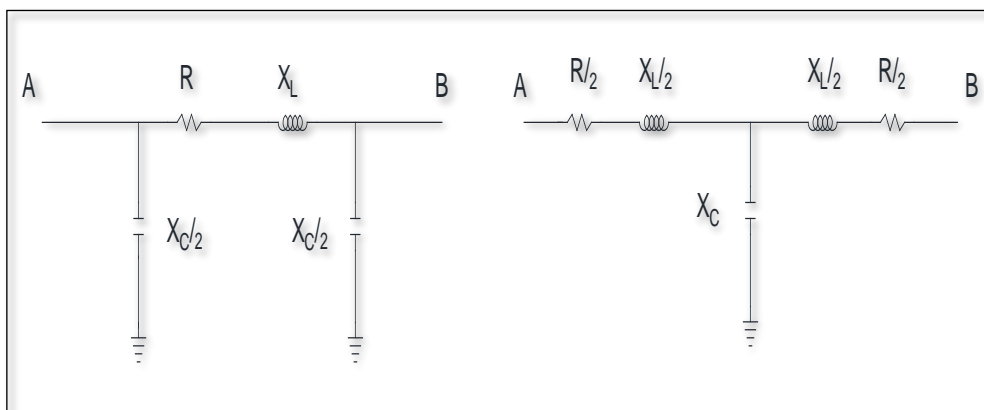


Ilustración 18. Circuito equivalente Π y T concéntrico.

Circuito equivalente Π y T distribuido.

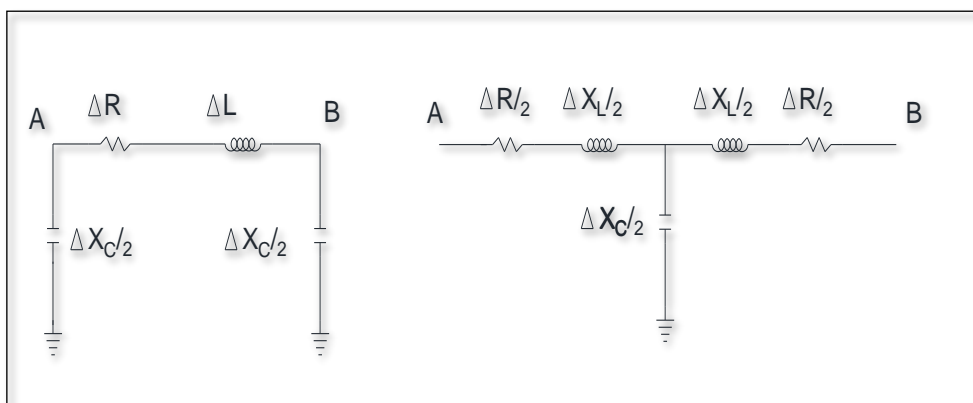


Ilustración 19. Circuito equivalente Π y T distribuido.

El aislador cumple las características de circuito abierto y se lo representa mediante una resistencia bien alta numéricamente esta resistencia es infinita ($R=\infty$) [1].

$$\text{circuito abierto} \quad \text{Si: } I = 0 \quad \therefore R = \infty$$

Si se comporta como un cortocircuito su intensidad va hacer en forma infinita y la resistencia es (cero) [1].

$$\text{cortocircuito} \quad \text{SI: } I = \infty \quad \therefore R = 0$$

El aislador impide la circulación de corriente por la torre (estructura) hacia la tierra. El aislador cumple la función de sujetar mecánicamente al conductor manteniendo aislado de la tierra y de otros conductores. [1].

El fenómeno eléctrico que se presenta es el efecto capacitivo. La reactancia capacitiva es la reactancia que aparece debido a la diferencia de potencial entre los puntos y es la mitad de la reactancia capacitiva ($X_c/2$) ya que la línea de transmisión se divide en la mitad. También debe considerar la resistencia del conductor y por lo tanto al circular la corriente por la línea de transmisión se genera un campo magnético lo que da origen a la inductancia (X_L) del conductor [1].

CAPÍTULO 3. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Inductancia

La inductancia de un conductor de un circuito es igual al número de enlaces de flujo del conductor por unidad de corriente en el mismo. En una línea de dos conductores el número de enlaces de flujo del circuito es la suma de los enlaces de flujo de cada conductor. En el sistema de unidades internacional L(inductancia), en Henrios, es igual a Weber-vueltas por amperio [2].

Fórmulas

$$L = 0,741 * \log \frac{D_{eq}}{D_s} \quad [\text{mH} / \text{milla} / \text{fase}] \quad (3.1)$$

$$L = 2 * 10^{-7} * \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \quad [\text{H} / \text{milla} / \text{fase}] \quad (3.2)$$

$$X_L = 0,2794 * \log \frac{D_{eq}}{D_s} \quad [\Omega / \text{milla} / \text{fase}] \quad (3.3)$$

$$X_L = 7,54 * 10^{-5} * \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \quad [\Omega / \text{m} / \text{fase}] \quad (3.4)$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} * D_{bc} * D_{ca}} \quad (3.5)$$

$$X_L = 2 * \pi * f * L \quad (3.6)$$

$$X_L = 4,657 * 10^{-3} * f * \log \frac{D_m}{D_s} \quad [\Omega / \text{milla} / \text{fase}] \quad (3.7)$$

$$X_L = 4,657 * 10^{-3} * f * \log \frac{1}{D_s} + 4,657 * f * 10^{-3} * \log D_m \quad (3.8)$$

$$X_a = 4,657 * 10^{-3} * f * \log \frac{1}{D_s} \quad [\Omega / \text{milla} / \text{fase}]$$

$$X_d = 4,657 * f * 10^{-3} * \log D_m \quad (3.9)$$

$$X_L = X_a + X_d \quad (3.10)$$

$D_{eq} = D_m$ = distancia entre conductores

D_s = RMG = GMR= radio medio geométrico (pie, cm, m, pulgada.)

$D_{ab} * D_{bc} * D_{ca}$ = distancias en los centros de los grupos de fase a-b-c

f = frecuencia [Hz]

log = log. Decimal

ln = log. Natural

$. e^{-1/4}$

$X_L = X_a$ = reactancia inductiva a 1 pie de separación (depende de RMG y f)
T#A3

X_d = factor de separación de la reactancia inductiva (depende de f y separación) T#A4

L = inductancia (mH, H)

Capacitancia

La capacidad entre conductores es la carga por unidad de diferencia de potencial. La capacidad entre conductores paralelos es constante, dependiendo del tamaño y de la separación de los conductores. En líneas más largas, de alta tensión, la capacidad llega a tener gran importancia [2].

Fórmulas

$$C = \frac{q}{V} \quad (3.11)$$

$$D = \frac{q}{A} = \frac{q}{2\pi x} \quad (3.12)$$

$$E = \frac{D}{\epsilon_0} = \frac{q}{2\pi x \epsilon_0} \quad (3.13)$$

$$V_{12} = \frac{q}{2\pi \epsilon_0} * \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (3.14)$$

$$C_{12} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}} \quad (3.15)$$

$$X_c = \frac{4,10}{f} * 10^6 * \log \frac{D_{eq}}{r} \quad [\Omega / \text{milla}]$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} * D_{bc} * D_{ca}} \quad (3.16)$$

$$X_c = 1 / 2 * \pi * f * C \quad (3.17)$$

$$B_c = 1 / X_c \quad (3.18)$$

$$X_c = X'_a + X'_d \quad (3.19)$$

$D_{eq} = D_m$ = distancia entre conductores

$D_s = \text{RMG} = \text{GMR}$ = radio medio geométrico (pie, cm, m, pul.)

$D_{ab} * D_{bc} * D_{ca}$ = distancias en los centros de los grupos de fase a-b-c

f = frecuencia [Hz]

log = log. Decimal

X_c = reactancia capacitiva

X'_a = reactancia capacitiva a 1 pie de separación (depende de RMG y f) T#A3

X'_d = factor de separación de la reactancia capacitiva (depende de f y separación) T#A5

C = Capacitancia (uF)

Bc = Suceptancia

Resistencia.

Es la resistencia de un material al paso del flujo de la corriente, la resistencia a la corriente continua (cc), viene expresado por: [2]

$$R_{cd} = \frac{\rho l}{A} = \frac{\Omega.m.m}{m^2} = \Omega \quad (3.20)$$

Resistividad.

La resistividad es la resistencia específica de un material [2].

$$\rho = \frac{R.A}{L} = \frac{\Omega.m^2}{m} = \Omega.m \quad (3.21)$$

Conductancia.

La conductancia es la propiedad inversa de la resistencia [2].

$$G = \frac{1}{R} = \Omega^{-1} = \text{siemens} \quad (3.22)$$

Conductividad.

La conductividad es la actitud de los cuerpos que permiten el paso de la corriente y es el inverso de la resistividad [2].

$$\delta = \frac{1}{\rho} \quad (3.23)$$

Ejercicios

3.1. Si la resistividad del cobre es 0,01785 y la resistividad del aluminio es 0,0286 hallar la conductividad.

Solución:

$$\delta_{Cu} = \frac{1}{\rho_{Cu}} = \frac{1}{0,01785} = 56,022 \Omega.m^{-1}$$

$$\delta_{Al} = \frac{1}{\rho_{Al}} = \frac{1}{0,0286} = 34,96 \Omega.m^{-1}$$

Nota: es mucho mejor la conductividad del cobre con respecto al aluminio.

3.2. Una línea trifásica de un circuito de 50 Hz, está dispuesta como un triángulo isósceles, cuyas distancias son $D_{ab} = 18$ pie, $D_{bc} = 18$ pie, $D_{ca} = 40$ pie, los conductores son ACSR DOVE. Calcular la capacitancia al neutro.

Solución:

$d = 0,927$ pulgada = $0,07725$ pie (Ver anexo A3)

$r = 0,0386$ pie

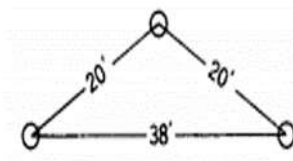
$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} * D_{bc} * D_{ca}}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{18 * 18 * 40}$$

$$D_{eq} = 23,49 \text{ pies}$$

$$C_n = \frac{2\pi k}{\ln\left(\frac{D_{eq}}{r}\right)} = \frac{2\pi (8,85 * 10^{-12})}{\ln\left(\frac{23,49}{0,0386}\right)} = 8,65 * 10^{-12} \frac{F}{m} = 0,0139 \mu F/milla$$

3.3 Una línea trifásica de un circuito simple de 60 Hz según la fig. Los conductores son ACSR DRAKE, encuentre la inductancia.



Solución:

$RMG = D_s = 0,0373$ pies (Ver anexo A3)

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} * D_{bc} * D_{ca}} = 24,8 \text{ pies}$$

$$L = 0,741 * \log \frac{D_{eq}}{D_s} = 0,741 * \log \frac{24,8}{0,0373} = 2,09 \text{ mH/milla/fase}$$

Calibre del conductor.

Para asignar el cable de un conductor es el en base a la sección transversal de un conductor sea en mm^2 o $pulg^2$, CMIL, KCMIL [2].

El diámetro del conductor puede estar dado en milímetros (mm) o en pulgadas (pulg.) También se debe considerar que a mayor número de AWG menor es el diámetro del conductor o lo contrario a menor número de AWG mayor es el diámetro [2].

A partir de los 4/0 por lo tanto se utiliza el KCMIL, CMIL [2].

Circular Mil

Es el área de un círculo cuyo diámetro es de una pulgada [2].

$$A = \frac{\pi.D^2}{4} \quad (3.24)$$

$$1CM = 506,70 \text{ mm}^2$$

$$1KCM = 0,50670 \text{ mm}^2$$

Ejercicios

3.2. Se tiene un conductor 4/0 AWG. Comprobar el área en KCMIL y el diámetro.

Solución:

El diámetro del conductor 4/0 es 11,68 mm.

$$A = \frac{\pi.D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi.(11,68mm)^2}{4} = 107.4 \text{ mm}^2 * \frac{1KCM}{0,5067 \text{ mm}^2} = 211,45 \text{ KCM R//}$$

3.3. Dado el diámetro de un conductor de 12,70 mm encontrar la sección del conductor en KCM y mm²

Solución:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \cdot (12,70 \text{ mm})^2}{4} = 126,67 \text{ mm}^2 * \frac{1 \text{ KCM}}{0,5067 \text{ mm}^2} = 250 \text{ KCM R//}$$

Conductores trenzados.

Las capas de alambre de un conductor trenzado son enrollados en direcciones opuestas a fin de prevenir desenrollados y hacer que el radio externo de una capa coincida con el radio interno de la segunda. El conductor trenzado proporciona flexibilidad en grandes secciones transversales [2].

Tomando como ejemplo: la Tabla # 2 ACSR nos indica 24/7 existe una fórmula para encontrar el número de alambres [2].

$$\text{número de alambres} = 3x^2 - 3x + 1 \quad (3.25)$$

Dónde:

X = número de capas incluyendo el alambre del centro.

El número de alambres trenzados concéntricamente viene expresado por los números (7, 9, 37, 61,91)

Ejercicio

3.4. Si la resistividad del Cu es 10.66 $\frac{\Omega \cdot \text{cmil}}{\text{pie}}$ demostrar que $\rho_{Cu} = 1.77 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

$$\rho_{Cu} = 10.66 \frac{\Omega \text{ cmil}}{\text{ft}} \times \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} \times \frac{506.70 \text{ mm}^2}{1 \text{ cmil}} \times \frac{1 \text{ m}}{1000^2 \text{ mm}^2} = 1.77 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

Factores que afectan a las líneas de transmisión.

Para el estudio de las líneas de transmisión se deben considerar los siguientes factores que afectan el flujo de la energía en una línea de transmisión, a continuación, se describen los principales:

1. El efecto resistivo
2. El efecto temperatura
3. El efecto superficial o efecto piel
4. El efecto corona

El efecto resistencia

La resistencia de los conductores es la causa principal de las pérdidas de energía en las líneas de transmisión [1].

$$\text{La resistencia efectiva (Re)} = \frac{\text{Pérdidas de potencia en el conductor}}{\text{Al cuadrado de la corriente (I}^2\text{)}} \quad (3.26)$$

La resistencia a la corriente continua de los conductores de hilos y trenzados es mayor debido a que los hilos trenzados en forma helicoidal tienen mayor longitud que el hilo del conductor. Por cada milla de conductor la corriente tiene que recorrer en todos los hilos excepto el central más de una milla de hilo [1].

La resistencia efectiva (Re) está dado por la resistencia que presenta el conductor hablando de cada uno de las fases siendo sus pérdidas estandarizados en las líneas de transmisión por porcentajes de la intensidad de corriente al cuadrado (I^2) [1].

Con una potencia de 1000 KW se establece una pérdida del 7% en las líneas de transmisión [1].

Ejercicio

3.5. Se genera una potencia de 1000 KW y se necesita transportar en una línea de transmisión de 100 Km y un voltaje de 138 Kv. Calcular la resistencia efectiva.

Solución:

$$Re = \frac{\text{Perdidas de potencia en el conductor}}{\text{Al cuadrado de la corriente } (I^2)}$$

$$P = \sqrt{3} * VI \quad (3.27)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}*V} = \frac{1000 Kw}{\sqrt{3}*138 Kv} = 4,18 A \quad (3.28)$$

$$\text{Pérdidas} = 1000 * 7\% = 70$$

$$Re = \frac{70}{4,18^2} = 4 \Omega \div 100 Km$$

$$\mathbf{Re = 0,04 \Omega/Km R//}$$

En el caso de los conductores eléctricos especialmente en la longitud se acostumbra a expresar la resistividad en Ω /mm^2 de sección y 100m de longitud a 20°C.

La resistividad del cobre $\rho_{Cu} = 17.24 \Omega .mm^2 /Km$ a 20°C

También se utiliza unidades inglesas $\Omega .cmil/pie$ a °F

3.6. ¿Cuál es la resistencia de un cable de cobre de 380 mm² y 700m de longitud?

Solución:

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{17.24 \Omega .mm^2}{Km} * \frac{0,7 Km}{380 mm^2} = 0,0317 \Omega . \mathbf{R//}$$

Efecto de la temperatura

El valor de la resistencia de los conductores metálicos con la temperatura es prácticamente lineal [1].

$$\frac{\Delta R}{\Delta T} = \frac{R_1 - R_2}{T_2 - T_1} \quad (3.29)$$

$$\frac{\Delta R}{\Delta T} = \alpha = \text{Coeficiente de temperatura del conductor} \quad (3.30)$$

$$\alpha = \frac{R_1 - R_2}{T_2 - T_1} \quad (3.31)$$

$$\alpha(T_2 - T_1) = R_1 - R_2$$

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad (3.32)$$

Ejercicios

3.7. La resistencia del arrollamiento de un electroimán hecho con alambre de cobre de 30Ω a 20°C ¿Cuál será su resistencia a 80° ?

Solución:

$$\alpha_{Cu} = 0,00427 \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

$$R_2 = 30\Omega \left[1 + 0,00427 \frac{1}{^\circ\text{C}} (80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \right]$$

$$R_2 = 30\Omega \left[1 + 0,00427 \frac{1}{^\circ\text{C}} (60^\circ\text{C}) \right]$$

$$R_2 = 37,686 \Omega \text{ R//}$$

3.8. Si la resistividad del $Cu = 1,77 * 10^{-8} \Omega/\text{m}$ y la resistividad del $Al = 2,74 * 10^{-8} \Omega/\text{m}$; el área del Cu y área del Al son las secciones transversales de 2 conductores equivalentes de Cu y Al . Demostrar que $\frac{A_{Cu}}{A_{Al}} = 0,65$ suponiendo que la conductancia de ambos conductores es la misma.

Solución:

$$G_{Cu} = G_{Al}$$

$$\frac{1}{R_{Cu}} = \frac{1}{R_{Al}}$$

$$\frac{1}{\frac{\rho L}{A_{Cu}}} = \frac{1}{\frac{\rho L}{A_{Al}}} \quad \text{reemplazando las ecuaciones}$$

$$\frac{A_{Cu}}{\rho L} = \frac{A_{Al}}{\rho L} \quad \therefore \text{si } l = 1m$$

$$\frac{A_{Cu}}{\rho_{Cu}} = \frac{A_{Al}}{\rho_{Al}}$$

$$\frac{A_{Cu}}{A_{Al}} = \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}}$$

$$\frac{A_{Cu}}{A_{Al}} = \frac{1,77 * 10^{-8} \Omega/m}{2,74 * 10^{-8} \Omega/m}$$

$$\frac{A_{Cu}}{A_{Al}} = 0,65 \text{ R//}$$

El efecto superficial o piel

La distribución uniforme de la corriente en la sección del conductor solamente se presenta en la corriente continua [1].

A medida que aumenta la frecuencia de la corriente alterna se hace más pronunciada la diferencia entre la densidad de corriente de las distintas zonas de las secciones transversales este fenómeno se llama efecto piel o skin. En un conductor de sección circular generalmente aumenta la densidad de corriente del interior al exterior [1].

Entre los conductores de radio grande se puede presentar una densidad de corriente oscilante a la larga del conductor [1].

Si inyectamos en una masa una carga ya sea por electrones toda la carga fluye por las paredes del conductor. En el interior del conductor se crea una reactancia inductiva (como una bobina) [1].

Una bobina al paso de corriente alterna se comporta como una reactancia y esta reactancia se debido al campo magnético del conductor [1].

El fenómeno creado por la corriente alterna dentro del conductor hace que la resistencia se incremente el 1% aproximadamente y es debido a su frecuencia [1].

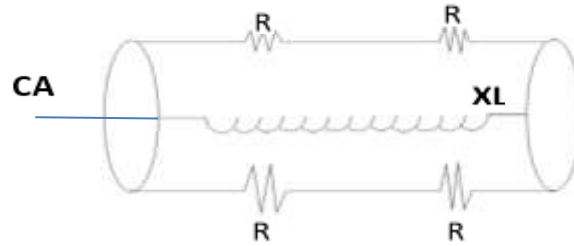


Ilustración 20. Efecto piel.

Efecto corona

El efecto corona es un fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor. Dado que los conductores suelen ser de sección circular, el halo adopta una forma de corona, de ahí el nombre del fenómeno [1].

El efecto corona consiste en la ionización del aire que rodea a los conductores de alta tensión y que tiene lugar cuando el gradiente eléctrico supera la rigidez dieléctrica del aire, manifestándose en forma de pequeñas chispas o descargas a escasos centímetros de los cables. Al momento que las moléculas que componen el aire se ionizan, éstas son capaces de conducir la corriente eléctrica y parte de los electrones que circulan por la línea pasan a circular por el aire [1].

En la aparición e intensidad del fenómeno influyen los siguientes condicionantes: [1]

- **Tensión de la línea:** cuanto mayor sea la tensión de funcionamiento de la línea, mayor será el gradiente eléctrico en la superficie de los cables y, por tanto, mayor el efecto corona. En realidad, sólo se produce en líneas de tensión superior a 80 kV [1]
- **La humedad relativa del aire:** una mayor humedad, especialmente en caso de lluvia o niebla, incrementa de forma importante el efecto corona [1].
- **El estado de la superficie del conductor:** las rugosidades, irregularidades, defectos, impurezas adheridas, etc., incrementan el efecto corona [1].

- **Número de subconductores:** el efecto corona será menor cuanto más subconductores tenga cada fase de la línea. Como consecuencia del efecto corona se produce una emisión de energía acústica y energía electromagnética en el rango de las radiofrecuencias, de forma que los conductores pueden generar ruido e interferencias en la radio y la televisión; otra consecuencia es la producción de ozono y óxidos de nitrógeno [1].

Además, para el cálculo se debe considerar el coeficiente de rugosidad (Md), tabla 1 y el coeficiente meteorológico (Mt), ver tabla 2

Coeficiente de rugosidad (Md)	
1	Para hilos de superficie lisa
0.93 a 0.98	Para hilos oxidados u rugosas
0.83 a 0.87	Para conductores formados por hilos

Tabla 1. Coeficiente de rugosidad

Coeficiente meteorológico (Mt)	
1	Para tiempo seco
0.8	Para tiempo húmedo

Tabla 2. Coeficiente meteorológico

Fórmulas

$$U_c = 84 * M_c * M_t * r * \delta * \frac{D}{r_e} \quad (\text{Peek}) \quad (3.33)$$

$$\delta = \frac{3,921 * h}{273 + t} \quad (3.34)$$

$$\text{Log } h = \text{log}76 - \frac{Y}{18336} \quad (\text{formula Halley}) \quad (3.35)$$

Uc= tensión crítica disruptiva (KV)

Um= tensión máxima (KV)

Un=tensión nominal (KV)

F=frecuencia 50-60 Hz

.δ = densidad del aire en función de la presión atmosférica y su altitud

h= altura (msnm)

D= diámetro equivalente = DMG

Mc= constante de rugosidad del conductor

Mt= constante climatológica (seca o lluviosa)

Tensión Crítica Disruptiva

Es la tensión a la que el campo en la superficie del conductor excede la rigidez dieléctrica del aire y comienza el efecto corona.

Existe también una tensión crítica visual, superior a la tensión crítica disruptiva, a partir de la cual el efecto corona se hace visible. [7]

$$U_m = 1,15 \cdot U_n \quad (3.36)$$

Si $U_c < U_m$ (se produce el efecto corona)

Si $U_c > U_m$ (no se produce el efecto corona)

Ejercicio

3.9. Una línea eléctrica, que transporta energía desde una central hidroeléctrica a un polígono industrial, dispone de las siguientes características. Encontrar la tensión disruptiva, las pérdidas causados por el efecto corona, indicar si es posible que se produzca el efecto corona



DATOS

- Categoría línea – 1ª
- Tensión – 200 KV
- Longitud – 160 km (las líneas discurren por las siguientes alturas topográficas, que se corresponden con una temperatura y determinada altura

- $h = 800 \text{ m.} - \theta = 12^\circ\text{C}$
- Cable REDWING – 30 Al. + 19 acero
- Potencia – 150 MVA
- Factor de potencia – 0.8 (i)
- 1 circuito simple.
- temporada de clima seco.
- coeficiente de rugosidad de 0,85

Solución:

1. Radio del conductor

Según A2. Redwing Diámetro=27,4 mm = 2,74 cm

El radio es: $r = \text{Diámetro} / 2 = 2,74 / 2 = 1.3 \text{ cm}$

2. Se encuentra el DMG

$$\text{DMG} = D = \sqrt{d_{ab} * d_{bc} * d_{ca}}$$

$$\text{DMG} = D = \sqrt{8 * 8 * 16}$$

$$\text{DMG} = D = \sqrt{1024} = 10,079 \text{ m} = 1007,9 \text{ cm}$$

3. Encontramos la densidad δ

$$\delta = \frac{3,921 * h}{273 + t}$$

Pero primero se encuentra h

$$\text{Log } h = \log 76 - \frac{Y}{18336}$$

$$\text{Log } h = \log 76 - \frac{800}{18336}$$

$$h = e^{\log e 10) (\log 76 - Y/18336)}$$

$$h = 68,73$$

$$\delta = \frac{3,921 * 68,73}{273 + 12}$$

$$\delta = 0,94$$

4. La tensión crítica disruptiva

$$U_c = 84 * M_c * M_t * r * \delta * \text{Log} \frac{D}{r_e}$$

$$U_c = 84 * 0,85 * 1 * 1,38 * 0,94 * \text{Log} \frac{1007,9}{1,38}$$

$$U_c = 84 * 0,85 * 1 * 1,38 * \text{Log} \frac{1007,9}{1,38}$$

$$U_c = 265,22 \text{ Kv}$$

5. Perdidas por efecto corona (P)

$$P_{km/fase} = \frac{241}{\delta} (f+25) * \sqrt{\frac{r_e}{D}} * \left[\frac{U_m}{\sqrt{3}} - \frac{U_c}{\sqrt{3}} \right]^2 * 10^{-5} \text{ [Kw/Km/fase]}$$

$$U_m = 1,5 U_n$$

$$U_m = 1,5 * 200 \text{ kv} = 230 \text{ Kv}$$

$$P_{km/fase} = \frac{241}{0,94\delta} (60+25) * \sqrt{\frac{1,38}{1007,9}} * \left[\frac{230}{\sqrt{3}} - \frac{265,2}{\sqrt{3}} \right]^2 * 10^{-5} \text{ [Kw/Km/fase]}$$

$$P_{km/fase} = 10,50 \text{ [Kw/Km/fase]}$$

6. Comprobar si se produce la perdida por efecto corona

$$\text{Si } U_c > U_m$$

$$265,17 > 230$$

- No se produce el efecto corona porque $U_c > U_m$

Gradiente de Potencial

El efecto corona es función de dos elementos: el gradiente potencial en la superficie del conductor y la rigidez dieléctrica del aire en la superficie, valor que a su vez depende de la presión atmosférica y la temperatura. [7]

En un campo uniforme, a 25 °C y 760 mm de presión, la ionización por choque aparece al tener un valor máximo de 30 kV/cm, que corresponde a 21.1 kV/cm sinusoidal. En el caso de las líneas aéreas de transmisión de energías, se ha demostrado que el fenómeno depende del radio del conductor. El valor del gradiente de potencial para el cual aparece la ionización en la superficie del conductor se llama *gradiente superficial crítico* y varios investigadores indican que vale [7]:

$$g_0 = 30 (1 - 0.7 r) \text{ kV /cm eficaz} \quad (3.37)$$

Donde:

g_0 = gradiente superficial crítico

r = radio del conductor en cm.

Ejercicio

3.10. Hallar la tensión superficial del conductor, de una línea de 95 km de longitud, voltaje de 120 kV, frecuencia 50 Hz, situada a 2800 m.s.n.m. y temperatura media de 18 °C. La línea es un circuito trifásico simple con disposición coplanar horizontal. El conductor es ACSR N° 266.800 MCM (Partridge)

Solución:

Cable 266,8 KCM Partridge según tabla Pg.3 Diámetro = 16,8 mm

$$R = \text{Diámetro} / 2$$

$$R = 16,8 \text{ mm} / 2 = 8,4 \text{ mm}$$

$$g_0 = 30(1 - 0.7 r) \text{ [kV/cm]}$$

$$g_0 = 30(1 - 0.7 * 0,84) \text{ [kV/cm]}$$

$$g_0 = 12,36 \text{ [kV/cm]}$$

CAPÍTULO 4. TIPOS DE CONDUCTORES

Cálculo mecánico de las líneas de transmisión.

En el diseño de una línea de transmisión la primera consideración que se hace es considerar las características eléctricas. En efecto, para transmitir una potencia determinada entre dos puntos extremos (emisor, receptor), se deben tener conductores que permitan transmitir la corriente dentro de los límites permisibles de caída de tensión, aislamiento y factores mecánicos [7].

Los factores mecánicos se refieren a los conductores, soportes y estructuras. Se debe considerar que esto de esfuerzos mecánicos a los cuales son sometidos debe ser resistente y a su vez deben dar un buen servicio por un periodo largo de años sin requerir muchos mantenimientos [7].

La tensión mecánica en los conductores se debe ajustar de tal forma que queda dentro de los límites permisibles de trabajo de la ruptura o tensión del material, esto tiene consecuencias en las flechas entre los soportes de manera que la altura de los conductores sobre el nivel del suelo sea la adecuada [7].

Esto tiene consecuencia en las flechas entre los soportes de manera que la altura de los conductores sobre el nivel del suelo sea el adecuado [7].

Conductores para líneas aéreas.

Características

Se trata de resaltar la importancia de las propiedades mecánicas de estos materiales para el cálculo mecánico de las líneas de transmisión aérea como es de conocimiento los materiales más usados son cobre, aluminio, aluminio con acero [7].

Los conductores para líneas aéreas son normalmente constituidos de forma cableada es decir por varios hilos de sección transversal pequeño, la forma cableada sirve para contrarrestar la vibración y oscilación continua y que esto ocasionaría una fatiga mecánica y posibles fracturas de los conductores [7].

Debido a los depósitos de suciedad y a la película de óxido que se forma sobre la superficie de cada hilo de corriente tiende a fluir en forma espiral en lugar de forma axial (hilo a hilo) por lo tanto la resistencia y la inductancia son superiores [7].

Las principales propiedades de los materiales usados como conductores se indica a continuación: [7]

Tiene una alta conductividad eléctrica, que puede reducirse si tiene impurezas y si es estirado y frío. El cable no es atacado por elementos corrosivos causados por el medio ambiente [7].

Aluminio (Al).

- El aluminio es menos pesado que el cobre a la resistividad ($\rho_{Al} < \rho_{Cu}$).
- La conductividad del aluminio es el 40% menor que la del cobre.
- La resistencia a la tensión es menor que la del cobre.
- El mayor diámetro en el conductor es el aluminio reduce los esfuerzos, la superficie.
- La pérdida por efecto corona se reduce a medida que se aumenta el diámetro del conductor.

Aluminio reforzado con alma de acero.

- Estos conductores tienen un núcleo de hilos de alambre de acero galvanizado rodeado por una o por capas de alambre de aluminio.
- El acero absorbe la mayor parte del esfuerzo mecánico y el aluminio conduce la mayor parte de la corriente.
- Este tipo de conductor es más barato que el del cobre.
- Comparado con el cobre es aproximadamente un 50% más resistencia a la tensión mecánica y un 20% menos pesado.
- Con este tipo de conductores se pueden aumentar los claros interpostales con lo que se logra una economía adicional por número de torres y alturas de las mismas.

El cable AACSR (conductor de aleación de aluminio con alma de acero)

Generalidades

- Está formado por varios alambres de aleación de aluminio y acero galvanizado.
- Este conductor es cableado en capas concéntricas.
- El alambre o alambres que forman el alma, son de acero galvanizado.
- Las capas externas son de aleación de aluminio.
- Se puede obtener una mayor resistencia a la tracción, incrementando la proporción de acero.
- Se puede obtener una mayor capacidad de transporte, incrementando la proporción de aleación de aluminio.

Aplicación

Se utiliza como conductores de líneas aéreas de distribución y transmisión en media, alta, y muy alta tensión. Es empleado especialmente donde existen cruzamientos (quebrada, ríos, puente) donde exista una alta resistencia a la tracción [2].

Propiedades

Proporcionan una gran resistencia a la tracción, tiene una ligera reducción en la conductividad. Se puede reducir el número de apoyos, como consecuencia de la mayor longitud de los varios [2].

El cable ACAR (conductores con aleación reforzados)

Generalidades

- Estos conductores están formados por varios alambres de aluminio y aleación de aluminio [2].
- Son conductores cableados en forma concéntrica [2].

- El alambre o alambres que forman el alma, son de aleación de aluminio y las capas externas son de aluminio [2].
- Viene en número total de 7, 19, 37, 61 y 91 alambres [2].
- Se puede obtener una mayor resistencia a la tracción, incrementando la proporción de aleación de aluminio [2].

Aplicación

- Se tiene para conductores de líneas de distribución y transmisión de media, alta, y muy alta tensión [2].
- Se utiliza en ambientes montañosos [2].

Propiedades

- En comparación con los conductores AACSR este tipo de conductor dispone de un diseño muy flexible [2].
- Una ventaja es que tiene alta conductividad, peso y protección frente a la corrosión [2].

El cable ACSR (aluminio reforzado con alma de acero)

Generalidades

- Estos conductores están formados por varios alambres de aluminio y acero galvanizado [2].
- Son conductores cableados en forma concéntrica [2].
- El alambre o alambres que forman el alma, son acero galvanizado [2].
- Las capas externas son de aluminio. El alma de acero consiste normalmente de 1,7 o 19 alambres [2].
- Incrementando la proporción de aluminio se logra una conductividad eléctrica mayor [2].
- Los diámetros de los alambres de aluminio y acero pueden ser idénticos (conductor equilibrado) [2].

Aplicación

Se utiliza para líneas aéreas de distribución y transmisión de energía eléctrica de media, alta y muy alta tensión [2].

Propiedades

- En comparación con los conductores de cobre, los conductores A.C.S.R proporcionan ventajas técnicas y económicas [2].
- Su bajo peso y su alta resistencia a la tracción, permite la adopción de vanos más largos [2].
- La pérdida por efecto corona se reduce, debido al diámetro del conductor. De esta manera, la distribución y transmisión de energía eléctrica a elevadas tensiones y distancias es posible con este conductor [2].

El cable AAAC 6201 (conductor de aleación de aluminio)

Generalidades

- Estos conductores están formados por varios alambres de aleación de aluminio [2].
- Son conductores cableados en capas concéntricas [2].
- Todos los alambres tienen el mismo diámetro [2].
- Vienen en varios números 7, 19, 37, 61, y 91 alambres [2].

Aplicación

Se utiliza como conductores en subestaciones de alta tensión [2].

Propiedades

Elevada relación resistencia a la tracción con respecto al peso [2].

El cable AAC (conductores de aluminio).

Generalidades

- Estos conductores están formados por varios alambres de aluminio [2].
- Son cableados en capas concéntricas [2].
- Todos los alambres tienen el mismo diámetro [2].
- Está compuesto por 7, 19, 37, 61, y 91 alambres [2].

Aplicación

- Se utiliza como conductor en subestaciones de alta tensión [2].
- También se utiliza como conductor en las líneas aéreas de distribución [2].

Propiedades

Tiene alta relación conductividad eléctrica en relación al peso [2].

Cables utilizados en las líneas de transmisión.

Los cables más utilizados en las líneas de transmisión son:

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN		
Calibre o AWG KCMIL	Tipo	Trenzado
79 KCM	ACSR	26/7
1113 KCM	ACSR	54/19
LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN		
266,8 KCM	ACSR	26/7
477 KCM	ACSR	26/7
795 KCM	ACSR	54/19

Tabla 3. Tipos de cables más utilizados en las líneas de transmisión.

Características importantes de los conductores

	Al	Cu
Conductividad eléctrica	0,585	0,975
Peso específico	2,71	8,89
Resistencia a la tensión (N/m²)	180 x 10 ⁶	384 x 10 ⁶
Peso por (Km) para un área de (1mm²)	8,144 N	27,07 N

Tabla 4. Características de los conductores.

Selección del conductor más económico.

Para seleccionar el conductor más adecuado a utilizar en una línea de transmisión se debe previamente realizar el estudio técnico y económico comparativo correspondiente [2].

Para la selección del tipo de conductor se debe investigar la corrosión y la atmósfera de la zona. La intensidad de corrosión se clasifica con: fuerte (F), media (M) y ligera (L) [2].

Repartiendo de la zona de corrosión se recomienda los siguientes:

Zona de corrosión	Tipo de conductor
Fuerte (F)	Cw – Cu
Media (M)	ACSR
Ligera (L)	ACSR

Tabla 5. Zona de corrección.

CAPÍTULO 5. SOPORTES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Existen básicamente 2 tipos de soportes para las líneas de transmisión aéreas las mismas que son: [7]

- a. Postes que pueden ser de concreto armado.
- b. Torres de acero en celosía o tubulares.

Postes

- Se utilizan en redes de distribución urbanas.
- Se utilizan en redes de distribución de 440V, 240V, 220V y 110V.
- Los postes son de concreto reforzado y tiene una larga vida útil.
- Los aisladores utilizados en tipo de poste son de tipo alfiler.

Torres o estructuras de acero

En las redes de Subtransmision de 132 kV y superiores se utilizan por lo general torres con soportes debido a que requiere bases suficientemente amplias para soportar altos esfuerzos mecánicos que se presentan [7].

En el caso de las líneas de 132 kV e inferiores se emplean por lo general el conductor ACSR que se suspenden por medio de cadenas de aisladores (254x126mm) y pueden ser de vidrio o porcelana. Para suspensión o tensión [7].

Función de las estructuras.

Las estructuras de una línea de transmisión pueden clasificarse en relación a su función, la forma de resistir los esfuerzos y los materiales constructivos [7].

Estructura de suspensión.

Los conductores están suspendidos mediante cadena de aisladores que cualquier de las ménsulas de la torre [7].

Resisten las cargas verticales de todos los conductores, también los cables de guardia y la acción del viento transversal a la línea tanto sobre los conductores como de la torre [7].

No están diseñadas para soportar esfuerzos laterales debidas al tiro de los conductores por eso se le llama también de alineamiento [7].

Estructuras de retención.

Existen básicamente 2 tipos:

1. Estructura de retención de tipo terminal
2. Estructura de retención tipo angular

Estructura de retención de tipo terminal

La disposición de los conductores es perpendicular a las ménsulas (brazos) [7].

La torre se dimensiona para soportar fundamentalmente el tiro de todos los conductores de un solo lado y en general es la estructura más pesada de la línea [7].

Estructura de retención tipo 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 (debido al ángulo) de todos los conductores [7].

Esfuerzos sobre las estructuras.

Las estructuras de una línea de transmisión generalmente soportan 3 tipos de esfuerzos en condiciones normales: [7]

1. Cargas verticales
2. Cargas horizontales
3. Cargas longitudinales

Cargas verticales

Son debidas al propio peso de los conductores, aisladores y ménsulas, entre otros [7].

Cargas horizontales

Son debidas al viento sobre las estructuras y conductores [7].

Cargas longitudinales

En condiciones extremas (rotura del conductor) y en condiciones de montaje la torre debe soportar esfuerzos de torsión [7].

Por la manera de resistir estos esfuerzos se clasifican en:

1. Estructuras auto soportantes
 - a. Estructuras auto soportantes rígidas
 - b. Estructuras auto soportantes flexibles
2. Estructuras tensionadas

Estructura auto soportante.

Las estructuras auto soportantes son verdaderas vigas importadas en el suelo y que transmiten el esfuerzo a las fundaciones [7].

Estructura auto soportante rígido

Estas estructuras se dimensionan para resistir los esfuerzos normalmente sin presentar deformaciones elásticas, son estructuras pesadas fabricadas en acero (reticuladas o en hormigón) [7].

Estructura auto soportante flexible

Esta estructura resiste las cargas normales sin deformaciones y frente a sobrecargas se presentan grandes deformaciones [7].

Los portes metálicos tubulares y los pórticos no atirantados son ejemplo de este de estructuras [7].

Estructuras tensionadas.

Son estructuras flexibles que transmiten a la fundición casi exclusivamente esfuerzos verticales (peso) y los esfuerzos transversales y longitudinales son absorbidas por las cimientas o tensores. Este tipo de estructura es utilizada en zonas de grandes vientos [7].

Materiales para estructuras.

Los materiales empleados usualmente para fabricar estas estructuras son:

1. Madera (no utilizables)
2. Hormigón armado
3. Acero
4. aluminio

Partes que componen las torres de transmisión eléctrica.

Las torres de componen de:

1. Hilo de guardia o guarda
2. Aisladores y herrajes
3. Cables
4. Crucetas
5. Cuerpo recto
6. Cuerpo piramidal
7. Cerramientos
8. Extensiones (patas)
9. Stud

Torre 4BR2

Normas (ASCE 52) Corresponden Sociedad Americana De Ingeniería Civil

Nomenclatura (normas ASCE 52)

Torre 4BR2

A) 1 Dígito (tensión)

5	500 Kv
4	400 Kv
2	230 Kv
1	115 Kv

Tabla 6. Dígito 1 de tensión.

B) 2 Dígito (uso de la estructura)

- A (suspensión) claros cortos
- B (suspensión) claros medios
- C (suspensión) claros largos
- X De flexión hasta 30°
- Y De flexión hasta 90°
- R Remate
- T Transposición
- S Transición
- G = CT
- W = YR
- Z = XYR

C) 3 Dígito

Tipo de torre

D) 4 Dígito

Numero de circuito por fase

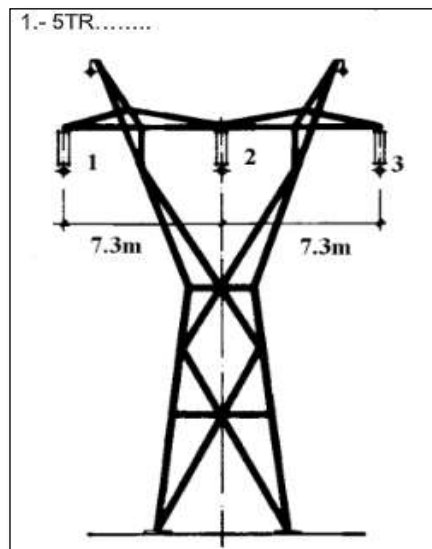


Ilustración 21. Circuito simple.

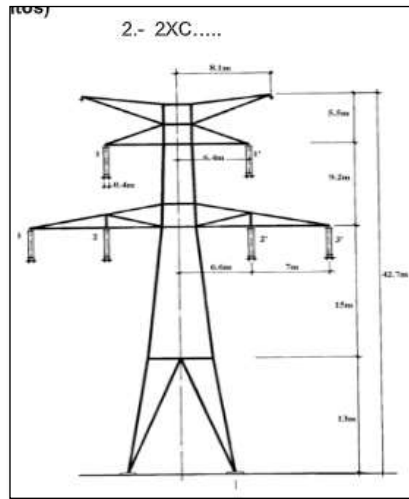


Ilustración 22. Circuito doble.

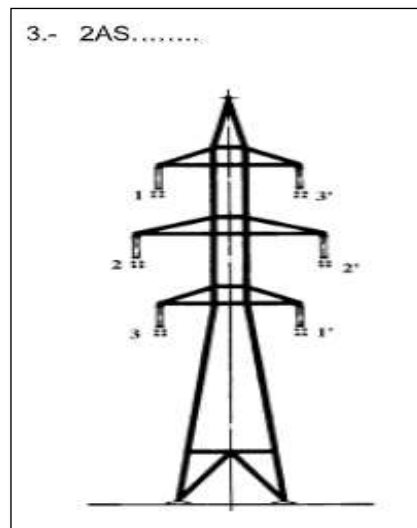


Ilustración 23. Circuito doble.

Materiales para estructuras.

Los materiales más usados para realizar las estructuras son:

1. Madera
2. Hormigón armado
3. Acero galvanizado (celosía)
4. Aluminio (zona de difícil acceso)

Acero

Dentro del tipo de acero existen: St 37; St 52

Son de forma de perfiles normalizados que permiten la fabricación de piezas relativamente pequeñas. Dentro de las ventajas que son fácilmente transportadas a cualquier punto para su montaje en el sitio en que se levanta la torre [7].

La protección contra la oscilación del acero se hace por medio de tratamiento en caliente que garantiza 20 o más años libres de mantenimiento se utiliza en las líneas de transmisión de (138 a 230) kV [7].

CAPÍTULO 6. CÁLCULO MECÁNICO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Cálculo mecánico de líneas.

El cálculo mecánico se refiere a la selección de conductores y los soportes para darle a la línea la rigidez mecánica que permite soportar inconvenientes como roturas de conductores, roturas de postes [7].

Clasificación de las cargas.

Las cargas se clasifican en:

1. Cargas permanentes
2. Cargas aleatorias
3. Cargas especiales

Cargas permanentes

Llamadas también cargas determinística, son aquellas que se encuentran presente en todo momento y se los encuentra en cualquier torre (suspensión, retención) [7].

Las cargas por su propio peso se encuentran presente en todas las torres y son debidas a: conductores, cables de guarda, aisladores, accesorios [7].

Las cargas permanentes debido a la tensión mecánica de los conductores en condiciones normales (sin viento, ni hielo) se presentan solo en algunas torres angulares, retención, terminales [7].

En las torres cuya función solo es suspensión la tensión del conductor a ambos lados se equilibra, la resultante es cero [7].

Cargas aleatorias

Las cargas aleatorias son las que se presentan al azar y son debidas a:

1. Viento
2. Hielo
3. Combinación del viento y hielo

El viento produce esfuerzos transversales a la línea, con el empuje sobre los conductores, cables de guarda, aisladores y sobre la misma torre [7].

En las retenciones además se produce un incremento en el tiro del conductor debido a la sobrecarga. El hielo carga todas las torres con un aumento de la componente vertical y las retenciones con el correspondiente aumento del tiro [7].

El hielo puede desprenderse en algunos vanos se puede presentar un vano con hielo y otro sin el mismo. Cada condición climática somete a la estructura [7].

Cálculo de la flecha y tensiones en los conductores.

Para el montaje de estructuras y cableado se debe calcular las flechas y tensiones y además se debe considerar elementos adicionales como: [7]

1. Presión del viento
2. Carga del hielo (escarcha)
3. La altura del conductor
 - a) Estructura y soporte de igual nivel
 - b) Estructura y soporte de diferentes niveles
4. Temperatura del ambiente
5. Gravedad

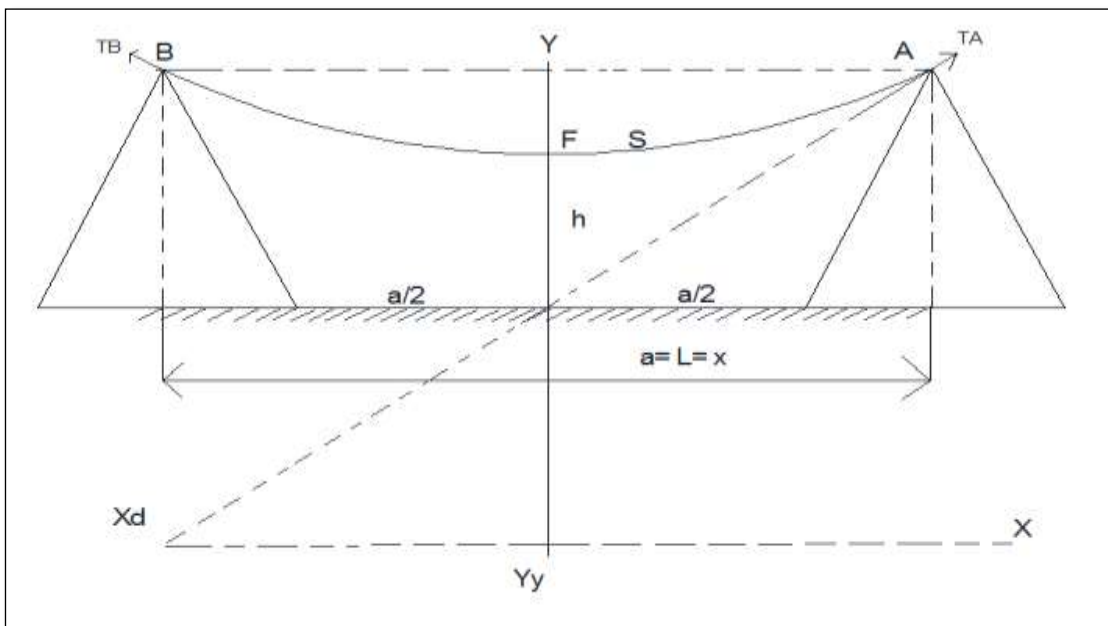


Ilustración 24: Conductor suspendido de dos soportes.

$T_A = \text{tensión en el punto A } [K_g] [N]$

$T_B = \text{tensión en el punto B } [K_g] [N]$

$.B = \text{punto de amarre (anclaje B)}$

$.A = \text{punto de amarre (anclaje A)}$

$F = \text{flecha (m)}$

$a = \text{vano (claro)(distancia interpostal)(m)}$

$H = \text{altura mínima del suelo hacia el punto de S. (m)}$

Vano claro o distancia interpostal

Es la distancia en metros entre los puntos de amarre A y B también se denomina luz [7].

Flecha del conductor

El conocimiento de los valores de las flechas en las distintas etapas de una línea de transmisión es importante dado que estos valores nos darán las alturas mismas (h) del conductor en relación al suelo [7].

Ese análisis se lo realiza tomando una muestra de un conductor suspendido de 2 soportes que se encuentra en mismo nivel [7].

Un conductor de peso uniforme sujeto entre dos apoyos en el este caso los puntos A y B situados a una misma altura forma una curva llamada catenaria [7].

Se llama flecha a la distancia entre el punto más bajo en el centro de la curva (s) y la recta AB que une los apoyos [7].

La flecha depende de la tensión mecánica que se aplique el conductor durante al montaje. Por lo tanto, a mayor tensión mecánica aplicada la flecha es menor [7].

También se debe conocer las limitaciones compuestas por las estructuras desde el punto de vista de fuerzas máximas para mantener su equilibrio con el

conductor, sino se considera lo expuesto anteriormente se podría tener fallas mecánicas [7].

Si se dejan flechas muy grandes para no provocar esfuerzos mecánicos en estructuras, soportes y conductores entonces se deberán usar o utilizar estructuras (torres) más altas con el objetivo de satisfacer el requerimiento de las distancias mínimas a tierra y deberán tener brazos más largos para prevenir el choque de las líneas y conductores durante fuertes vientos [7].

Los conductores de las líneas generalmente son cables en su mayor parte heterogéneos es decir están formados por grupos de conductores de diferentes materiales, combinaciones de Al, Cu y acero etc. [7].

Por lo tanto, el cálculo mecánico de los conductores debe hacerse en función del módulo y el coeficiente de los conductores Al y Cu [7].

Consideraciones mecánicas de los conductores

La modificación mecánica de la tensión de los cables se da por:

1. Variaciones de la temperatura del ambiente
2. Fuerza que ejerce el viento
3. Fuerza que ejerce la escarcha (hielo)

Variaciones de la temperatura ambiente

Por efecto de la contaminación y dilatación alterando la longitud del conductor. Si la temperatura aumenta la longitud del cable se alarga (aumentando su flecha y su tensión mecánica disminuye). Si la temperatura disminuye la longitud del cable (disminuye su flecha y su tensión mecánica aumenta) [7].

Fuerza que ejerce el viento

La fuerza que ejerce el viento sobre el conductor actúa con sobrecarga, ya que al sumarse con su propio peso hace que el efecto sea el de aumento aparente de dicho peso [7].

Fuerza que ejerce la escarcha (hielo)

Esta fuerza supone otra sobrecarga de acción vertical que se propone al propio peso esta condición se aplica en zonas geográficas de bajas temperaturas [7].

Criterios generales para el cálculo de tensiones y flechas.

Se analizará por 2 criterios para el cálculo de tensión y flechas: [7]

1. Curva de la catenaria
2. Curva de la parábola

Para vanos de hasta 500 m se puede equiparar la forma de la catenaria a una parábola que ahorra tiempo obteniéndose una exactitud más eficiente [7].

Para vanos mayores a 500 m se debe considerar la curva de la catenaria [7].

Cálculo de la tensión mecánica en las líneas aéreas por el método de la catenaria

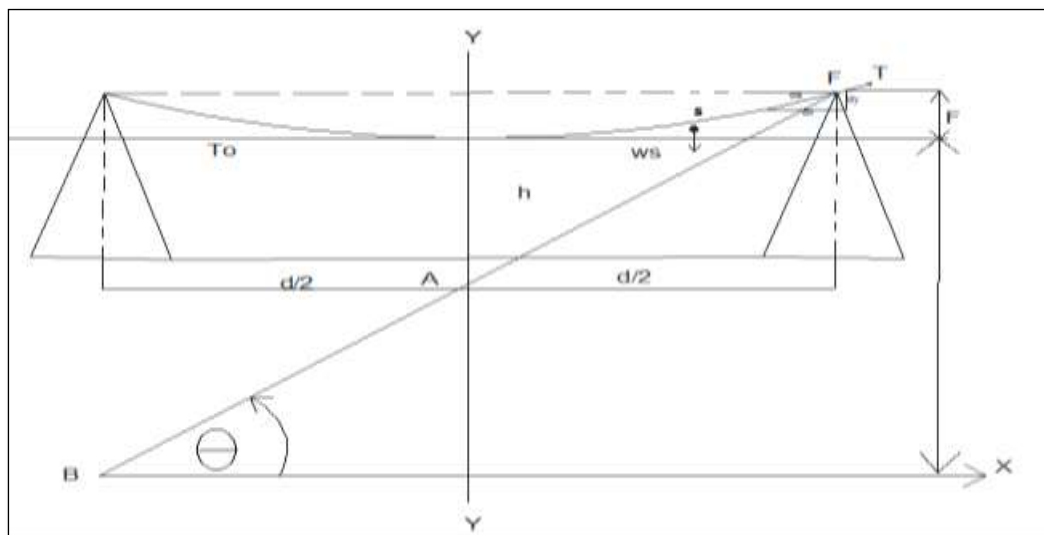


Ilustración 25. Tensión mecánica en las líneas aéreas.

F = flecha

C = longitud indeterminado del conductor (parámetro de la catenaria) [m]

W = peso del conductor [$K_g F$] [N]

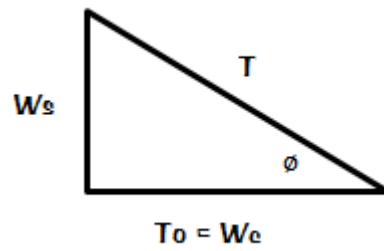
T = tensión aplicado en el punto P [$K_g F$]

T_0 = tensión en el punto medio del claro A

H = altura mínima del suelo (tablas) al punto medio de la catenaria del conductor.

A_0 = distancia media al eje Y

S = longitud de la curva del conductor [m] = $2S$



Demostrar:

$$T = W * \sqrt{(C)^2 + (S)^2} \quad (6.1)$$

$$T = \sqrt{(W * C)^2 + (W * S)^2} \quad (6.2)$$

$$S = C * \tan \varphi \quad (6.3)$$

$$\tan \varphi = \frac{W*s}{W*c} \quad (6.4)$$

$$\tan \varphi = \frac{s}{c} \quad (6.5)$$

$$s = \tan \varphi * C \quad (6.6)$$

$$\frac{s}{c} = \sinh \frac{x}{c} \quad (6.7)$$

$$\cos \varphi = \frac{dx}{ds} = \frac{T_o}{T} = \frac{w*c}{w*\sqrt{(C)^2+(S)^2}} \quad (6.8)$$

$$\cos \varphi = \frac{dx}{ds} = \frac{c}{\sqrt{(C)^2+(S)^2}} \quad (6.9)$$

$$\int \frac{dx}{ds} * ds = \int \frac{c}{\sqrt{(C)^2+(S)^2}} \quad (6.10)$$

$$x = c * \sinh^{-1} \frac{S}{C} + k_1 \quad (6.11)$$

$$\text{Sl: } S=0, \quad \sinh^{-1} \frac{S}{C}, \quad k_1 \quad (6.12)$$

$$X = c * \sinh^{-1} \frac{S}{c} + k_1 \quad (6.13)$$

$$X = c * \sinh^{-1} \frac{S}{c} = c * \frac{1}{\sinh} * \frac{S}{c} \quad (6.14)$$

$$\frac{S}{c} = \sinh \frac{x}{c} \quad (6.15)$$

Si $k =$ constante de integración cuando $x=0$.

$\varphi = 0$ (por estar en el origen)

$\cos \varphi = 1$

$$\cos \varphi = \frac{c}{\sqrt{(c)^2 + (s)^2}} \quad (6.16)$$

$$1 = \frac{c}{\sqrt{(c)^2 + (s)^2}} \quad (6.17)$$

$$c = \sqrt{(c)^2 + (s)^2} \quad (6.18)$$

$$\text{Pero } \tan \varphi = \frac{s}{c} = \frac{dy}{dx} \quad (6.19)$$

Reemplazando

$$\frac{dy}{dx} = \sinh \frac{x}{c} \quad (6.20)$$

Si multiplicamos ambos miembros por dx e integramos con respecto a x .

$$\frac{dy}{dx} * dx = \int \sinh \frac{x}{c} * dx \quad (6.21)$$

$$\int \frac{dy}{dx} * dx = \int \sinh \frac{x}{c} * dx \quad (6.22)$$

$$\int dy = \int \sinh \frac{x}{c} * dx \quad (6.23)$$

$$Y = C * \cosh \frac{x}{c} + K_2 \quad (6.24)$$

Si $K_2 =$ constante de integración, se hace que $A_0 = C$ entonces $X=0$

$$Y = C * \cosh(0) + K_2 \quad (6.25)$$

$$Y = C * \cosh \frac{x}{c} \quad (6.26)$$

De la ecuación 6.20 y 6.26

$$\frac{S}{C} = \sinh \frac{x}{C} \quad (6.20)$$

$$S = C * \sinh \frac{x}{C} \quad (6.27)$$

Elevado al cuadrado 6.27

$$s^2 = c^2 * \sinh^2 \frac{x}{C} \quad (6.27)$$

$$Y = C * \cosh \frac{x}{C} \quad (6.26)$$

Elevado al cuadrado: ecuación 6.26

$$y^2 = c^2 * \cosh^2 \frac{x}{C} \quad (6.28)$$

Si: Restamos las ecuaciones 6.27; 6.28

$$y^2 - s^2 = c^2 * \cosh^2 \frac{x}{C} - c^2 * \sinh^2 \frac{x}{C} \quad (6.29)$$

$$y^2 - s^2 = c^2 * (\cosh^2 \frac{x}{C} - \sinh^2 \frac{x}{C}) \quad (6.30)$$

$$\text{Si } \cosh^2 \frac{x}{C} - \sinh^2 \frac{x}{C} = 1 \quad (6.31)$$

$$y^2 - s^2 = c^2 \rightarrow y = \sqrt{(C)^2 + (S)^2} \quad (6.32)$$

Reemplazando la ecuación 6.32 en 6.1

$$T = W * \sqrt{(C)^2 + (S)^2} \quad (6.1)$$

$$y = \sqrt{(C)^2 + (S)^2} \quad (6.32)$$

$$T = W * Y \quad (6.33)$$

La ecuación **(6.8)** nos indica que la tensión en cualquier punto de coordenadas de **(X; Y)** sobre del conductor es (W.Y) [Kg] [N] [7].

La tensión es mínima en el punto medio del claro **Y = C** [7]

La tensión es máxima en los puntos de soporte del conductor es: **Y = C + f** [7]

∴ **Y = C + f** Reemplazamos en la ecuación (6.32)

$$y = \sqrt{(C)^2 + (S)^2}$$

$$C + f = \sqrt{(C)^2 + (S)^2}$$

$$(C + f)^2 = \left(\sqrt{(C)^2 + (S)^2}\right)^2$$

$$C^2 + 2C * f + f^2 = C^2 + S^2$$

$$2C * f + f^2 = S^2$$

$$2C * f = S^2 - f^2$$

$$C = \frac{S^2 - f^2}{2f}$$

$$Y = C + f$$

$$T_{mx} = w * y$$

$$T_{mx} = (C * f)$$

$$T_{mx} = w * \left(\frac{S^2 - F^2}{2F} + F\right)$$

$$T_{mx} = w * \left(\frac{S^2 - F^2 + 2F^2}{2F}\right)$$

$$T_{mx} = \frac{W*(S^2+2F^2)}{2F} \quad (6.34)$$

En el término cuando $Y = C$

$$T_{min} = w * y = w * c = \frac{W * (S^2 + 2F^2)}{2F}$$

$$T_{min} = \frac{W*(S^2+2F^2)}{2F} \quad (6.35)$$

Ejercicios

6.1. Se tiene una línea de transmisión de 69 Kv de un circuito por fase de alambre ACSR de 266,8 MCM de 26/7 hilos. La tensión máxima de trabajo se tomará como el 27% de la tensión de ruptura del conductor. Las torres se encuentran al mismo nivel con un claro promedio de 190 m y una longitud de 70 Km. Determinar:

- Tipo de línea de transmisión.
- Que nombre tiene ese tipo de conductor.
- ¿Cuál es el diámetro del conductor?
- El peso aproximado del conductor en Kg/m.
- La carga de ruptura nominal del conductor.
- La flecha por el método de la catenaria.
- La longitud curvada del conductor (longitud del arco).
- El valor aproximado de la tensión máxima.

Datos:

$l = \text{vano} = 190 \text{ m}$

Nombre del alambre ACSR de 266,8 MCM de 26/7 hilos

longitud = 70 Km

Solución:

a. Tipo de línea de transmisión.

Línea corta

b. Que nombre tiene ese tipo de conductor.

Partridge (Ver anexo A2)

c. ¿Cuál es el diámetro del conductor?

$d = 16,28 \text{ mm}$ (Ver anexo A2)

d. El peso aproximado del conductor en Kg/m.

$$W = 546 \frac{\text{Kg}}{\text{Km}} * \frac{1\text{Km}}{1000\text{m}} = 0,546 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \text{ (Ver anexo A2)}$$

e. La carga de ruptura nominal del conductor.

Tensión de ruptura = 5100 Kg (Ver anexo A2)

f. La flecha por el método de la catenaria.

$$T_{MAX \text{ de trabajo}} = 0,27 * \text{tensión de ruptura}$$

$$T_{MAX} = 0,27 * 5100 \text{ Kg}$$

$$T_{MAX} = 1377 \text{ Kg} * \frac{9,8 \text{ N}}{\text{Kg}} = 13494,6 \text{ N}$$

$$C = 5 l$$

$$C = 5 (190\text{m}) = 950\text{m}$$

$$y = C * \cosh\left(\frac{X}{C}\right) \quad \therefore X = \frac{l}{2} = \frac{190}{2} = 95$$

$$y = 950 * \cosh\left(\frac{95}{950}\right) = 954,75 \text{ m}$$

$$S = \sqrt{y^2 - C^2}$$

$$S = \sqrt{(954,75)^2 - (950)^2} = 95,118 \text{ m}$$

$$f = -\frac{T_{MAX \text{ de trabajo}}}{W} + \sqrt{\left(\frac{T_{MAX \text{ de trabajo}}}{W}\right)^2 - S^2}$$

$$f = -\frac{13494,6}{0,549} + \sqrt{\left(\frac{13494,6}{0,549}\right)^2 - (95,118)^2}$$

$$f = -0,18 \text{ m} \quad \text{flecha}$$

g. La longitud curvada del conductor (longitud del arco).

$$S = 2S$$

$$S = 2 * 95,118 = 190,230 \text{ m}$$

h. El valor aproximado de la tensión máxima.

$$T_{MAX} = \frac{W(S^2 + f^2)}{2f}$$

$$T_{MAX} = \frac{0,546((95,118)^2 + (-0,18^2))}{2(0,18)}$$

$$T_{MAX} = 1372,199 \text{ Kg} * \frac{9,8 \text{ N}}{\text{Kg}}$$

$$T_{MAX} = 13447,5502 \text{ N}$$

6.2. Se tiene una línea de transmisión de 230 Kv de un circuito por fase de alambre AAC de 3/0 de 7 hilos. La tensión máxima de trabajo se tomará al 15% de la tensión de ruptura del conductor. Las torres se encuentran al mismo nivel con un claro promedio de 200m y una longitud de 180 Km. Determinar:

- a. Tipo de línea de transmisión.
- b. Que nombre tiene ese tipo de conductor.
- c. ¿Cuál es el diámetro del conductor?
- d. El peso aproximado del conductor en Kg/m.
- e. La carga de ruptura nominal del conductor.
- f. La flecha por el método de la catenaria.
- g. La longitud curvada del conductor (longitud del arco).
- h. El valor aproximado de la tensión máxima.

Datos:

$$l = vano = 200 m$$

Nombre del alambre AAC de 3/0 de hilos

$$longitud = 180 Km$$

Solución:

a. Tipo de línea de transmisión.

Línea media

b. Que nombre tiene ese tipo de conductor.

Phlox (Ver anexo A7)

c. ¿Cuál es el diámetro del conductor?

$$d = 11.80 mm \text{ (Ver anexo A7)}$$

d. El peso aproximado del conductor en Kg/m.

$$W = 234 \frac{Kg}{Km} * \frac{1Km}{1000m} = 0,234 \frac{Kg}{m} \text{ (Ver anexo A7)}$$

e. La carga de ruptura nominal del conductor.

$$\text{Tensión de ruptura} = 1429 Kg \text{ (Ver anexo A7)}$$

f. La flecha por el método de la catenaria.

$$T_{MAX \text{ de trabajo}} = 0,15 * \text{tensión de ruptura}$$

$$T_{MAX} = 0,15 * 1429 \text{ Kg}$$

$$T_{MAX} = 214,35 \text{ Kg} * \frac{9,8 \text{ N}}{\text{Kg}} = 2100,63 \text{ N}$$

$$C = 5 \text{ l}$$

$$C = 5 (200\text{m}) = 1000\text{m}$$

$$y = C * \cosh\left(\frac{X}{C}\right) \quad \therefore X = \frac{l}{2} = \frac{200}{2} = 100$$

$$y = 1000 * \cosh\left(\frac{100}{1000}\right) = 1005 \text{ m}$$

$$S = \sqrt{y^2 - C^2}$$

$$S = \sqrt{(1005)^2 - (1000)^2} = 100,125\text{m}$$

$$f = -\frac{T_{MAX \text{ de trabajo}}}{W} + \sqrt{\left(\frac{T_{MAX \text{ de trabajo}}}{W}\right)^2 - S^2}$$

$$f = -\frac{2100,63}{0,234} + \sqrt{\left(\frac{2100,63}{0,234}\right)^2 - (100,125)^2}$$

$$f = -0,558 \text{ m} \quad \text{flecha}$$

g. La longitud curvada del conductor (longitud del arco).

$$S = \sqrt{y^2 - C^2}$$

$$S = \sqrt{(1005)^2 - (1000)^2} = 100,125\text{m}$$

h. El valor aproximado de la tensión máxima.

$$T_{MAX} = \frac{W(S^2 + f^2)}{2f}$$

$$T_{MAX} = \frac{0,234((100,125)^2 + (-0,558)^2)}{2(0,588)}$$

$$T_{MAX} = 2102,08 \text{ Kg} * \frac{9,8 \text{ N}}{\text{Kg}}$$

$$T_{MAX} = 20600,4 \text{ N}$$

Cálculo de la tensión mecánica de las líneas de transmisión aéreas por el método de la parábola

En la determinación de las tensiones mecánicas la flecha en las líneas de transmisión depende de varios factores: [7]

- Características del material
- Tipos de torre
- Material de los conductores
- Deflexión máxima, en terrenos de desnivel.
- Uso de torres (suspensión, remate, deflexión) transposición.
- Tensión de transmisión.
- Número de circuitos.

$$\text{Si: } S \cong L/2$$

Aplicando momentos respecto al punto P

$$T * f = W * S \left(\frac{L}{4} \right)$$

$$T * f = W * \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{L}{4} \right)$$

$$T * f = W * \left(\frac{L^2}{8} \right)$$

$$T = \frac{W * L^2}{8f} \quad (6.36)$$

Tomando un diferencial en la longitud curvada del cable.

Las tensiones en O y P medidas en el conductor (m)

$$T = T_1$$

La componente vertical es:

$$\sin \varphi = \frac{W * S}{T_1}$$

$$T_1 * \sin \varphi = W * S$$

La componente horizontal es:

$$\cos \varphi = \frac{T}{T_1} \quad (6.37)$$

$$\cos \varphi * T_1 = T \quad (6.38)$$

$$\text{Sea } T = C * W$$

$$C = Kte$$

Dividiendo las ecuaciones 6.36 / 6.38

$$\frac{T_1 * \sin \varphi}{T_1 * \cos \varphi} = \frac{W * S}{T}$$

$$\frac{T_1 * \sin \varphi}{T_1 * \cos \varphi} = \frac{W * S}{C * W}$$

$$\frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{S}{C}$$

$$\text{Tg } \varphi = \frac{S}{C} \quad (6.39)$$

Se relaciona no solamente en el punto de soporte (P) también lo es para cualquier otro punto en este caso m. Si (S) es la distancia entre 0 y m. Considerando en el punto m un diferencial [7].

$$ds = dx + dy$$

$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2$$

$$\left(\frac{ds}{dy}\right)^2 = \left(\frac{dx}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dy}\right)^2$$

$$\left(\frac{ds}{dy}\right)^2 = 1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2$$

$$\mathbf{SI:} \quad \text{T y } \varphi = \frac{dx}{dy} = \frac{S}{C}$$

$$\left(\frac{ds}{dy}\right)^2 = 1 + \left(\frac{C}{S}\right)^2$$

$$\left(\frac{ds}{dy}\right)^2 = 1 + \frac{C^2}{S^2}$$

$$\left(\frac{ds}{dy}\right)^2 = \sqrt{\frac{(C)^2 + (S)^2}{S}}$$

$$\left(\frac{ds}{dy}\right)^2 \frac{s * ds}{\sqrt{(C)^2 + (S)^2}}$$

$$\int dy = \int \frac{S * dx}{\sqrt{(C)^2 + (S)^2}}$$

$$= \sqrt{(C)^2 + (S)^2} + A$$

Si

A =0 (Constante de integración)

$$y = \sqrt{(C)^2 + (S)^2} \quad (6.32)$$

Reacción entre el desplazamiento horizontal y el desplazamiento (s) medido a lo largo de la curva del conductor [7].

$$y^2 = (C)^2 + (S)^2$$

$$2x \frac{dx}{dy} = 2s \frac{ds}{dx}$$

$$\sqrt{(C)^2 + (S)^2} * \frac{s}{c} = S \frac{ds}{dX}$$

$$dx = \frac{C * ds}{\sqrt{(C)^2 + (S)^2}}$$

$$\int dx = \int \frac{C * ds}{\sqrt{(C)^2 + (S)^2}}$$

$$X + B = C * \text{Ln} \left(2 + \sqrt{(C)^2 + (S)^2} \right)$$

Cuando X= 0; S=0; B=C*ln C

$$\frac{X}{C} = \ln \frac{(S + \sqrt{(C)^2 + (S)^2})}{C}$$

$$(S + \sqrt{(S)^2 + (C)^2}) = C * e^{\frac{x}{c}}$$

$$\frac{1}{s + \sqrt{(C)^2 + (S)^2}} = \frac{1}{C} * e^{-\frac{x}{c}} \quad (6.40)$$

Racionalizando la ecuación (6.40)

$$\frac{1}{S + \sqrt{(C)^2 + (S)^2}} * \left(\frac{-S + \sqrt{S^2 + C^2}}{-S + \sqrt{S^2 + C^2}} \right) = \frac{1}{C} * e^{-\frac{x}{c}}$$

$$\sqrt{(C)^2 + (S)^2} - S = C * e^{-\frac{x}{c}} \quad (6.41)$$

Sumando las ecuaciones (6.7) y (6.18)

$$\frac{1}{S + \sqrt{S^2 + C^2}} = \frac{1}{C} * e^{-\frac{x}{c}}$$

$$\sqrt{(S)^2 + (C)^2} - S = C * e^{-\frac{x}{c}}$$

$$2 + \sqrt{(S)^2 + (C)^2} + C * e^{\frac{x}{c}} + \frac{1}{C} * e^{-\frac{x}{c}}$$

$$\text{Por lo que } Y = \frac{C}{2} \left(e^{\frac{x}{c}} + e^{-\frac{x}{c}} \right)$$

$$Y = C * \cosh \frac{x}{c} \quad (6.42)$$

Restando las ecuaciones (6.9) y (6.21)

$$\frac{1}{S + \sqrt{S^2 + C^2}} = \frac{1}{C} * e^{-\frac{x}{c}}$$

$$-\sqrt{(S)^2 + (C)^2} - S = C * e^{-\frac{x}{c}}$$

$$2S = C * e^{\frac{x}{c}} - C * e^{-\frac{x}{c}}$$

$$\text{Por lo que } S = \frac{C}{2} \left(e^{\frac{x}{c}} + e^{-\frac{x}{c}} \right)$$

$$S = C * \sinh \frac{x}{c} \quad (6.43)$$

Si las ecuaciones 6.7 y 6.23 son iguales se tienen:

$$Y = \frac{C}{2} \left\{ \left(1 + \frac{x/c}{1!} + \frac{(x/c)^2}{2!} + \dots \right) + \left(1 + \frac{-x/c}{1!} + \frac{(x/c)^2}{2!} + \dots \right) \right\}$$

$$Y = \frac{C}{2} \left\{ \left(2 + \frac{2(x/c)^2}{2!} + \frac{2(x/c)^4}{4!} + \dots \right) + \dots \right\}$$

$$Y = C * \left(1 + \frac{x^2}{2c^2} \right)$$

$$Y = C + \frac{x^2}{2c^2}$$

$$Y - C = \frac{x^2}{2C}$$

Si se combina $y^1 = y - c$

$$y^1 = \frac{x^2}{2C} \tag{6.44}$$

Si se considera $y^1 = y - c$ $x = l/2$ $y^1 = f$

$$f = \frac{x^2}{2C} = \frac{(l/2)^2}{2C} = \frac{l^2}{8C}$$

Si $T = c * w$; $c = \frac{T}{w}$

$$f_{\max} = \frac{l^2 * w}{8T} \tag{6.45}$$

Para torres de igual nivel sin considerar el efecto del suelo [7].

Cálculo de la longitud total del conductor por fase se puede utilizar a partir de la ecuación 6.31 resolviendo el seno hiperbólico [7].

$$S = C * \sinh \frac{x}{C}$$

$$S = \frac{C}{2} \left(e^{\frac{x}{c}} + e^{\frac{-x}{c}} \right)$$

$$Y = \frac{C}{2} \left\{ \left(1 + \frac{x/c}{1!} + \frac{(x/c)^2}{2!} + \dots \right) - \left(1 + \frac{-x/c}{1!} + \frac{(-x/c)^2}{2!} + \dots \right) \right\}$$

$$Y = C \left(\frac{X/c}{1!} + \frac{(X/c)^3}{3!} + \dots \right)$$

Consideremos los primeros términos

$$S = C \left(\frac{X}{1!} + \frac{(X)^3}{6C^3} \right)$$

Si $X = L/2$ (para limitar el claro)

$$S_{1/2} = \frac{L/2}{C} + \frac{(L/2)^3}{6C^3}$$

$$S_{1/2} = \frac{L}{2} + \frac{(L)^3}{48C^2}$$

$$S = 2S_{1/2} = 2 \left(\frac{L}{2} + \frac{(L)^3}{48C^2} \right)$$

$$S = L + \frac{(L)^3}{24C^2} \quad (6.46)$$

En ecuaciones anteriores $f_{\max} = \frac{(L)^2}{8C}$; $\frac{(L)^2}{8_{\max}}$

$$\text{si } C^2 = \left(\frac{(L)^2}{8f_{\max}} \right)^2 = \frac{(L)^4}{64 f_{\max}^2}$$

$$\text{si } \frac{(L)^3}{48C^2} = \frac{(L)^3 * 64 * f_{\max}^2}{48}$$

$$S = l + \frac{4}{3} * \frac{f_{\max}^2}{L} \quad (6.47)$$

Tensión en las partes

Según el gráfico a estudiar

$$\cos \varphi = \frac{T}{T_1}$$

$$\sin \varphi = \frac{W * S}{T_1}$$

$$T = T_1 * \cos \varphi$$

$$\sin \varphi * T_1 = W * S$$

Elevando al cuadrado

$$T^2 = T_1^2 * \cos^2 \varphi$$

$$T_1^2 * \sin^2 \varphi = w^2 * s^2$$

Sumando

$$T^2 - T_1^2 * \cos^2 \varphi = T_1^2 * \sin^2 \varphi = w^2 * s^2$$

$$T_1^2 = T^2 + w^2 * s^2$$

Considerando también

$$y^2 = c^2 - s^2$$

$$c = \frac{T}{W}$$

$$W^2 Y^2 = W^2 * \left(\frac{T}{W}\right)^2 + W^2 Y^2$$

$$T_1 = W * Y$$

Pero $y^1 = y - c ; y = y^1 + C$

Entonces $T_1 = WY^1 + WC$

En los soportes $y^1 = F ; T = TS =$ tensión en los soportes, para flechas pequeñas WF se puede despreciar.

$$TS = WF + WC$$

$$TS = T + WF \quad (6.48)$$

Ejercicio

6.3. Se tiene una línea de transmisión de 69 kV de una unidad por fase de alambre ACSR de 266.8mcm (26/7). La tensión máxima de trabajo se tomará de 27% de la tensión de ruptura del conductor. Las torres se encuentran al menor nivel con un claro promedio de 190 m y una longitud de 70 km.

Encontrar en flecha el método de la parábola.

- Tipo de línea de transmisión.
- Que nombre tiene ese tipo de conductor.
- ¿Cuál es el diámetro del conductor?
- El peso aproximado del conductor en Kg/m.
- La carga de ruptura nominal del conductor.
- La flecha por el método de la parábola.
- La longitud curvada del conductor (longitud del arco).
- El valor aproximado de la tensión máxima.

Datos:

$l = \text{vano} = 190 \text{ m}$

Nombre del alambre ACSR de 266,8 MCM de 26/7 hilos

longitud = 70 Km

SOLUCIÓN:

a. Tipo de línea de transmisión.

Línea corta

b. Que nombre tiene ese tipo de conductor.

Partridge (Ver anexo A2)

c. ¿Cuál es el diámetro del conductor?

$d = 16,28 \text{ mm}$ (Ver anexo A2)

d. El peso aproximado del conductor en Kg/m.

$$W = 546 \frac{\text{Kg}}{\text{Km}} * \frac{1\text{Km}}{1000\text{m}} = 0,546 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \text{ (Ver anexo A2)}$$

e. La carga de ruptura nominal del conductor.

Tensión de ruptura = 5100 Kg (Ver anexo A2)

f. La flecha por el método de la catenaria.

$$T_{MAX \text{ de trabajo}} = 0,27 * \text{tensión de ruptura}$$

$$T_{MAX} = 0,27 * 5100 \text{ Kg}$$

$$T_{MAX} = 1377 \text{ Kg} * \frac{9,8 \text{ N}}{\text{Kg}} = 13494,6 \text{ N}$$

$$C = 5 l$$

$$C = 5 (190\text{m}) = 950\text{m}$$

$$y = C * \cosh\left(\frac{X}{C}\right) \quad \therefore X = \frac{l}{2} = \frac{190}{2} = 95$$

$$y = 950 * \cosh\left(\frac{95}{950}\right) = 954,75 \text{ m}$$

$$S = \sqrt{y^2 - C^2}$$

$$S = \sqrt{(954,75)^2 - (950)^2} = 95,118 \text{ m}$$

$$f_{max} = \frac{l^2 * w}{8T}$$

$$f_{max} = \frac{(190)^2 * 0.546}{8(13494)}$$

$$f = 1.7892 \text{ m} \quad \text{flecha}$$

g. La longitud curvada del conductor (longitud del arco).

$$s = l + \frac{4}{3} * \frac{f^2_{max}}{l}$$

$$s = 190 + \frac{4}{3} * \frac{(1.7892)^2}{190}$$

$$S = 190,0224 \text{ m}$$

h. El valor aproximado de la tensión máxima.

$$T_{MAX} = \frac{(wl^2)}{8f}$$

$$T_{MAX} = \frac{0.546 * 190^2}{8 * 1.7842}$$

$$T_{MAX} = 1377,05 \text{ kg}$$

$$T_S = T_{MAX} + WF$$

$$T_S = 1377.05 + 0.546 * 1.7892$$

$$T_S = 1377.69 \text{ KG} * \frac{9,8 \text{ N}}{\text{Kg}}$$

$$T_S = 13501.3 \text{ N}$$

Cálculo mecánico de la flecha y tensiones en líneas con soporte a distinto nivel.

Los terrenos en los cuales se realiza el montaje de las estructuras no siempre están al mismo nivel por lo tanto en zonas montañosas o relieves de distinto nivel se aplican nuevos parámetros para el cálculo de las flechas, tensión, etc. [7].

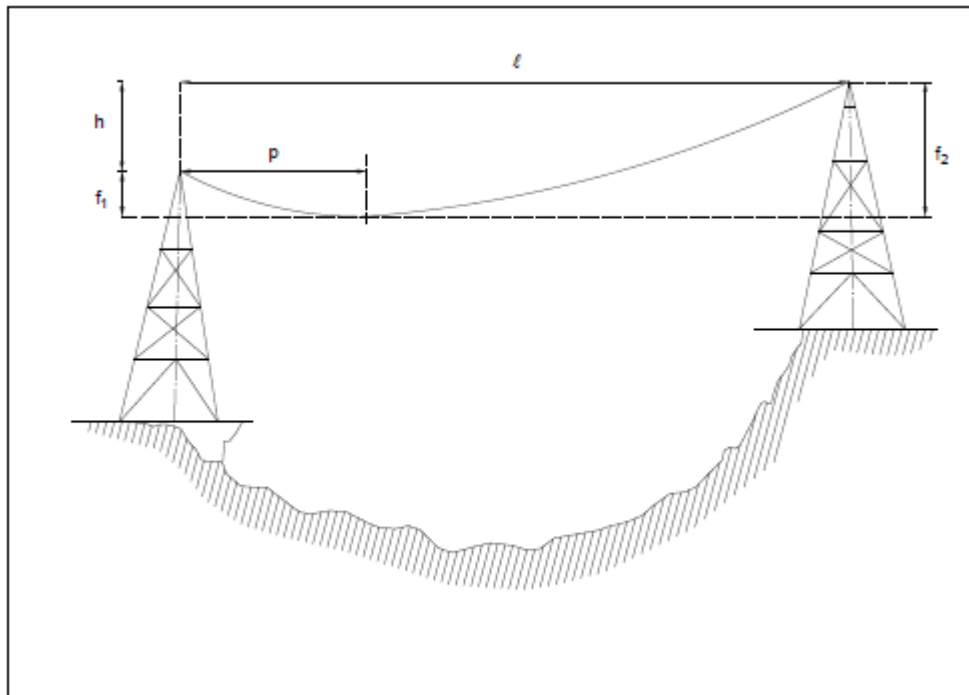


Ilustración 26. Cálculo mecánico de la flecha y tensiones.

Ecuaciones para cálculos de las flechas.

$$f_2 = \frac{W(L-w)^2}{2T} \quad (6.49)$$

$$f_1 = \frac{W(P)^2}{2T} \quad (6.50)$$

Como $h = f_2 - f_1$

Reemplazando f_2 y f_1 en las ecuaciones anteriores.

$$h = f_2 - f_1$$

$$h = \frac{W(L-w)^2}{2T} - \frac{W(P)^2}{2T} \quad (6.51)$$

Por lo tanto

$$L - 2P = \frac{2T \cdot h}{W \cdot L} \quad (6.52)$$

$$P = \frac{L}{2} - \frac{T \cdot h}{W \cdot L} \quad (6.53)$$

Ejercicios

6.4. Se tiene una L/T de 230 Kv de un conductor por fase de 1113 MCM de (45/7) hilos ACSR. Considere que la tensión máxima de trabajo se tomará al 27% de la tensión de ruptura del conductor. La L/T tiene una longitud de 200 Km y un claro promedio de 400 m. Si la línea está suspendida entre soportes que tiene una diferencia de nivel de 3.5m. Determinar:

- Qué tipo de línea de transmisión.
- Que nombre tiene este tipo de conductor.
- Cuál es el diámetro del conductor
- El peso del conductor aproximado del conductor en Kg/m.
- La carga de ruptura nominal del conductor.
- El punto (P) en el que se considera el valor más bajo de la posición del cable.
- Las flechas (f1 y f2).

Datos:

l = vano = 400 m

Nombre del alambre ACSR de 1113 MCM de (45/7) hilos

longitud = 200 km

Solución:

a. Tipo de línea

Línea media

b. Nombre del conductor

Bluejay (Ver anexo A3)

c. Diámetro del conductor

$d = 31,98 \text{ mm}$ (Ver anexo A3)

d. Peso del conductor

$w = 1,868 \text{ kg/m}$

e. Carga de ruptura

14016 kg

f. Posición P del cable

$$P = \frac{L}{2} - \frac{Th}{WL}$$

$$P = \frac{400}{2} - \frac{(0,27 * 14016)(3,5)}{1,868 * 400}$$

$$P = 182,27 \text{ m}$$

g. Las flechas (f1 f2)

$$f1 = \frac{wP^2}{2T}$$

$$f1 = \frac{(1,868) * 182,27^2}{2 * (0,27 * 14016)}$$

$$f1 = 8,199 \text{ m}$$

$$f2 = \frac{w(L - P)^2}{2T}$$

$$f2 = \frac{1,868(400 - 182,27)^2}{2(0,27 * 14016)}$$

$$f2 = 11,70 \text{ m}$$

$$h = f2 - f1 = (11,70 - 8,199)m = 3,50 \text{ m}$$

Cálculo para el hilo de guarda

Ejercicio

6.5. Del ejemplo anterior se obtiene una L/T de 230 Kv de un conductor por fase de 1113 MCM de (45/7) hilos ACSR una longitud de 200 Km y un claro promedio de 400 m se tiene una diferencia de nivel de 3.5m entre los soportes. Además, se tiene un hilo de guarda con las características siguientes: Acero galvanizado 7 hilos diámetro externo 9,5 mm, área 51,2 mm², carga de ruptura 4900 Kg, tensión máxima 900 Kg, peso 406 Kg/Km. Si las torres son de tipo suspensión [7].

Calcular: El punto P en que se tiene el valor más bajo de posición del cable las fechas f1 y f2 [7].

Solución:

$$P = \frac{L}{2} - \frac{Th}{WL}$$

$$P = \frac{400}{2} - \frac{(900)(35)}{0,406 * 400}$$
$$P = 6,03 \text{ m}$$

$$f1 = \frac{wP^2}{2T}$$

$$f1 = \frac{(0,406) * 6,03^2}{2 * (900)}$$

$$f1 = 8,20 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$f2 = \frac{w(L - P)^2}{2T}$$

$$f2 = \frac{0,406(400 - 6,03)^2}{2(900)}$$

$$f2 = 35,01 \text{ m}$$

$$h = f2 - f1 = (35,01 - 8,20 \times 10^{-3})\text{m} = 35 \text{ m}$$

Efectos de las cargas de hielo y viento del cálculo mecánico de las líneas de transmisión

Los conductores están sujetos al esfuerzo debido a su propio peso. También están sometidos al esfuerzo causado por el viento [7].

En condiciones del claro se forma capas de hielo cilíndricas alrededor del conductor en tales condiciones las fuerzas que actúan en cada longitud unitario del conductor son: [7]

1. El peso (W) que actúa verticalmente hacia abajo [7].
2. El peso (W) del hielo que forma en capas cilíndricas alrededor del conductor y que también actualmente hacia abajo [7].
3. La presión del viento por unidad de la longitud, esta presencia supone que actúa horizontalmente [7].

$$FR = \sqrt{(Fw + Fh)^2 + Fv^2} \quad (6.53)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{Fv}{Fw + Fh} \right) \quad (6.54)$$

$$Fh = 0,2668i * (d + i) \quad (6.55)$$

$$Fv = \frac{P(d+2i)}{100} \quad (6.56)$$

$$P = \frac{Q \cdot \mu^2}{2g} * KF * KL \quad (6.57)$$

$$P = \frac{1,45 * 0,58 * 1,225 \mu^2}{2(9,8)} \quad (6.58)$$

$$P = 0,0498 \mu^2 \quad (6.59)$$

Dónde:

FR = fuerza resultante sobre el conductor

Fw = fuerza debido al peso del conductor

Fh = fuerza del peso del hielo

Fv = fuerza debido a la presión del viento

P = presión del viento (Kg/m²)

Q = peso del aire (1,225 Kg/m²)

KF = KTE que depende de la forma de la superficie del conductor

KL = KTE depende del claro (0,38 – 0,60)

i = espesor del viento

TABLA DE SUPERFICIE (K_f)	
Valor (K_f)	Formas de superficie
2,0	Superficie plana
1,2	Superficie cilíndrico plano
1,45	Superficie cilíndrico concéntrico

Tabla 7. Tabla de constante de superficie (K_f).

VELOCIDAD DEL VIENTO (u)	
Zona	Velocidad
Costa	122 Km/H
Sierra	145 Km/H
Oriente	180 Km/H

Tabla 8. Velocidad del viento.

Ejercicio

6.5. En una red de distribución de 69 Kv, entre fases se emplea cable de cobre desnudo del calibre 3/0 7 hilos con una distancia interpostal de 150 m. Entre postes colocados al mismo nivel, suponiendo que pasa este tipo de cable la tensión máxima de trabajo se tomará como el 65% de la tensión de ruptura.

Determinar:

- h. Cuál es el diámetro del conductor
- i. El peso del conductor aproximado del circuito en Kg/m.
- j. La carga de ruptura nominal del conductor.
- k. La fuerza del hielo (F_h)
- l. La presión del viento P
- m. La fuerza del viento (F_v)
- n. La fuerza resultante

- o. La dirección de la fuerza resultante
- p. La flecha del conductor (parábola)

DATOS:

$$i = 1\text{cm}$$

$$L = 150\text{m}$$

Solución:

a.Cuál es el diámetro del conductor

$$d = 11,80\text{ mm} = 1.18\text{cm (Ver anexo A7)}$$

b. El peso del conductor aproximado del circuito en Kg/m.

$$F_w = 0,771 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \text{ (Ver anexo A7)}$$

c. La carga de ruptura nominal del conductor.

La carga de ruptura es 2826 Kg (Ver anexo A7)

d. La fuerza del hielo Fh

$$F_h = 0,2668i * (d + i)$$

$$F_h = 0,2668(1) * (1,18 + 1)$$

$$F_h = 0,58 \text{ Kg/m}$$

e. La presión del viento P

$$P = 0,0498 \mu^2$$

La velocidad del viento escoger la de la costa

$$\mu = \frac{122\text{Km}}{h} = 33,88 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = 0,0498 (33,88)^2$$

$$P = 57,16 \text{ Kg/m}^2$$

f. La fuerza del viento Fv

$$Fv = \frac{P(d + 2i)}{100}$$

$$Fv = \frac{57,16 * (1,18 + 2(1))}{100}$$

$$Fv = 1,82 \text{ Kg/m}$$

g. La fuerza resultante

$$FR = \sqrt{(Fw + Fh)^2 + Fv^2}$$

$$FR = \sqrt{(0,771 + 0,58)^2 + 1,82^2}$$

$$FR = 2,26 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

h. La dirección de la fuerza resultante

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{Fv}{Fw + Fh} \right)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{1,82}{0,771 + 0,58} \right)$$

$$\phi = 53,41$$

i. La flecha del conductor (parábola)

$$f_{max} = \frac{L^2 w}{8T}$$

$$w = FR = 2,26$$

$$f_{max} = \frac{(150)^2 (2,26)}{8(0,65 * 2826)}$$

$$f_{max} = 3,46 \text{ m}$$

Solución mediante Matlab

6.6. Se tiene una L/T de 500 kV con un conductor por fase 2/0 MCM, una longitud de 300 km y un claro promedio de 450 m, se tiene una diferencia de nivel de 45m entre los soportes de los conductores. La carga que alimenta el sistema es de 2.4 MW con un factor de 0.8 en retraso.

Datos:

V = 500 kV

P = 2.4 MW

Fp = 0.8

h = 45

L = 450

l = 300 km

Determinar:

a) Corriente de transmisión.

b) Clasificación de la línea de transmisión.

c) Capas del conductor.

d) Número de hilos del conductor.

e) Área del conductor.

f) Diámetro del conductor.

g) Peso del conductor.

h) Carga de ruptura.

i) Resistencia final si trabaja a 38°C, considerar que la constante Del aluminio es de 228 y tiene una resistencia de 0.853 ohm/km cuando este trabaja a 20°C.

j) Reactancia inductiva a 60 Hz.

k) Reactancia capacitiva a 60hz.

l) Considerar el 38% de la carga de ruptura para la tensión máxima.

m) Encontrar el punto P en el que se tiene el lugar más bajo de la posición del conductor.

n) Flecha F1.

o) Flecha dos F2.

SOLUCIÓN:

Datos

V=500; % Voltaje de generación en kilovoltios (kV)

f=60; %Frecuencia en Hertz (Hz)

Pr=2.4; %Potencia activa de la carga en Megavatios (MW)

Cr=1265; %Carga de ruptura del conductor en Kilogramos (kg)

l=300; %Longitud de la línea en kilómetros (Km)

L=450; %Claro promedio en metros (m)

d=8.01; %diámetro del conductor en milímetros (mm)

$w_1=140$; %Peso aproximado del conductor Kg/Km
 $P_p=38$; %Porcentaje de la carga de ruptura que pertenece a la tensión máxima
 $h=45$; %Diferencia de altura entre torres, está dada en metros (m)
 $F_p=0.8$; %factor de potencia con retraso
 $N_c=1$; %número de capas del conductor.
 $N_{ha}=6$; %Números de hilos de Al.
 $N_{hs}=1$; %Numero de hilos St.
 $\text{Área}=39.32$; %Área del conductor.
 $d=8.01$; %diámetro del conductor.
 $w=140$; %peso del conductor en Kg/Km.
 $C_r=1265$; %carga de ruptura del conductor en Kg.
 $K_t=228$; %Constante para cálculo de resistencia.
 $r=0.853$; %Resistencia a 20°C dad en ohm/Km.
 $t_0=38$; %temperatura de exposición del conductor en °C.
 $X_l=0.554$; %Reactancia inductiva en ohm/milla.
 $X_c=0.1162$; %Reactancia capacitiva en ohm/milla.

a) Corriente de transmisión.

```

I=Pr*10^6/(sqrt(3)*(V*10^3)*Fp);
fi=acos(0.8)*180/pi;
formatSpec = '- I = %.2f & %.2f° [A]';
fprintf(formatSpec,I,fi);
  
```

b) Clasificación de la línea de transmisión.

```

if(l<80)
    fprintf("Línea de transmisión Corta");
end
if(l>80 && l<240)
    fprintf("Línea de transmisión Media");
end
if(l>240)
    fprintf("Línea de transmisión Larga");
end
  
```

c) Capas del conductor.

```

formatSpec = 'Numero de capas = %.0f';
fprintf(formatSpec,Nc);
  
```

d) Número de hilos del conductor.

```

formatSpec = 'Numero de hilos = %.0f/%.0f';
fprintf(formatSpec,Nha,Nhs);
  
```

e) Área del conductor.

```

formatSpec = 'Area del conductor = %.4f [mm^2]';
fprintf(formatSpec,Area);
  
```

f) Diámetro del conductor.

```

formatSpec = 'Diametro del conductor = %.4f [mm]';
fprintf(formatSpec,d);
  
```

g) Peso del conductor.

```

w1 = w/1000;
formatSpec = 'Peso del conductor = %.4f [Kg/m]';
fprintf(formatSpec,w1);
  
```

h) Carga de ruptura.

```

formatSpec = 'Carga de ruptura = %.4f [Kg]';
  
```



```
fprintf(formatSpec,Cr);
```

i) Resistencia final del conductor si trabaja a 38°C.

```
R=r*((Kte+t0)/(Kte+20));  
formatSpec = 'R = %.4f [Ω/Km]';  
fprintf(formatSpec,R);  
R1 = R*I;  
fprintf("Resistencia total de la linea de 300 Km");  
formatSpec = 'R1 = %.4f [Ω]';  
fprintf(formatSpec,R1);
```

j) Reactancia inductiva a 60 Hz.

```
formatSpec = 'Xl = %.4f [Ω/Millas]';  
fprintf(formatSpec,Xl);
```

k) Reactancia capacitiva a 60hz.

```
formatSpec = 'Xc = %.4f [Ω/Millas]';  
fprintf(formatSpec,Xc);
```

l) Considerar el 38% de la carga de ruptura para la tensión máxima.

```
Tmax = Cr*(38/100);  
formatSpec = 'Tmax = %.4f [Kg]';  
fprintf(formatSpec,Tmax);
```

m) Encontrar el punto P en el que se tiene el lugar más bajo de la posición del conductor.

```
P = (L/2)-((Tmax*h)/(w1*L));  
formatSpec = ' Punto P= %.4f [Kg]';  
fprintf(formatSpec,abs(P));
```

n) Flecha F1.

```
F1 = ((w1*(P^2))/(2*Tmax));  
formatSpec = ' F1 = %.4f [m]';  
fprintf(formatSpec,F1);
```

o) Flecha dos F2.

```
F2=(w1*((L-P)^2))/(2*Tmax);  
formatSpec = 'F2 = %.4f [m]';  
fprintf(formatSpec,F2);
```

6.7. Una red de distribución a 23 kV entre fases, se emplea conductor de Cu calibre 4/0, con una distancia entre postes de 100m, colocados al mismo nivel, suponiendo que para este tipo de conductor la tensión máxima de trabajo se toma como un 50% de la tensión de ruptura y se trabaja a una temperatura de -5.5°C, con 28 m/sg de velocidad del viento y un depósito de hielo sobre los conductores de 1 cm de espesor.

Datos:

V = 23kV

Calibre del conductor = 4/0

L = 100m

Tmax = 50% de la carga de ruptura del conductor

T = -5.5 °C

v=28 m/s

dh = 1cm

Determinar:

a) Número de hilos del conductor.

b) Diámetro del conductor.

c) Carga de ruptura.

d) Peso del conductor.

e) la flecha mediante la fórmula de la parábola.

SOLUCIÓN:

Datos:

V = 23;%Voltaje de la línea (kV).
l=100;%Distancia entre postes en metros (m).
Nha = 7;%Numero de hilos del conductor.
Pp=50;%Porcentaje de la carga de ruptura que pertenece a la tensión máxima (Kg).
t0 = -5.5;%Temperatura de exposición de la línea en °C.
v=28;%Velocidad del viento en metros/segundos (m/s).
i=1;%Espesor de la capa de hielo que recubre al conductor en centímetros(cm).
d=13.25;%Diámetro del conductor en milímetros (mm).
Cr=3543;%Carga de ruptura del conductor en Kilogramos(kg).
w=792;%Peso aproximado del conductor (Kg/Km).

a) Número de hilos del conductor.

```
formatSpec = 'Numero de hilos = %.0f';  
fprintf(formatSpec,Nha);
```

b) Diámetro del conductor.

```
formatSpec = 'Diámetro del conductor = %.4f [mm]';  
fprintf(formatSpec,d);
```

c) Carga de ruptura.

```
formatSpec = 'Carga de ruptura = %.4f [Kg]';  
fprintf(formatSpec,Cr);
```

d) Peso del conductor.

```
w1 = w/1000;  
formatSpec = 'Peso del conductor = %.4f [Kg/m]';  
fprintf(formatSpec,w1);
```

e) la flecha mediante la fórmula de la parábola.

```
Tmax = Cr*(38/100);
formatSpec = 'Tmax = %.4f [Kg]';
fprintf(formatSpec,Tmax);
d1 = d/10;
dt = (d1 + 1)/100;%Diámetro total en metros(m).
formatSpec = 'dt = %.4e [m]';
fprintf(formatSpec,dt);
Fi = 0.2068*(i/100)*dt;%Efecto de la capa de hielo sobre un conductor del sistema.
formatSpec = 'Fi = %.4e [Kg/m]';
fprintf(formatSpec,Fi);
P0 = 0.0498*(v)^2;
Fv = (P0*(d1+(2*i)))/100;
formatSpec = 'Fv = %.4f [Kg/m]';
fprintf(formatSpec,Fv);

F1 = Fi + w1;
Fr = sqrt((F1^2)+(Fv^2));
formatSpec = 'Fr = %.4f [Kg/m]';
fprintf(formatSpec,Fr);
Fmax = ((l^2)*w1)/(8*Fr);
formatSpec = 'Fmax = %.4f [m]';
fprintf(formatSpec,Fmax);
```

CAPÍTULO 7. CÁLCULO ELÉCTRICO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Introducción

El cálculo o diseño de una línea de transmisión consta de varios aspectos entre los cuales tenemos: [1]

1. Cálculo eléctrico.
2. Cálculo mecánico o diseño aislamiento.

Cálculo eléctrico.

Dentro del cálculo eléctrico se puede considerar aspecto: [1]

- a. El establecimiento de las características de servicio de la línea o sea la tensión de transmisión [1].
- b. La potencia que se transmitirá [1].
- c. La distancia [1].
- d. La característica de la carga [1].
- e. Parámetros eléctricos (efecto skin) o efecto piel, efecto corona, rigidez dieléctrica, gradiente superficial, resistencia, capacitancia, inductancia, etc. [1].

Cálculo mecánico.

Para el cálculo mecánico se debe considerar en forma general lo siguiente: [1]

- a. Aspectos normativos para el cálculo del calibre del conductor [1].
- b. Tipos de conductores, corrosión, etc. [1].
- c. Peso, tensión máxima y tensión de ruptura de un conductor [1].
- d. Tipos de torres o estructuras [1].
- e. Torres del mismo nivel y distinto nivel del terreno [1].
- f. Aspectos ambientales, presión, velocidad del viento, temperatura, lluvia y sol [1].
- g. Distancia interpostal, claro, vano, flecha, longitud del conductor, método de la catenaria y parábola [1].

Con el objetivo establece el significado de los conceptos más importantes que se emplean en el estudio de las líneas de transmisión tenemos los siguientes: [1]

Que es la tensión nominal, potencia instalada, corriente nominal, corriente instantánea [1].

Representación de las líneas de transmisión

Las líneas de transmisión funcionan únicamente con cargas trifásicas equilibradas, aunque la disposición de los conductores no sea simétrica [1].

Tabla de constantes ABCD para líneas de transmisión por fase

Longitud de la línea	Circuito equivalente	A	B	C	D
Corta	<i>Z en serie</i> π o <i>T (concentrado)</i>	1	Z	0	1
Media	π (<i>concentrado</i>)	$1 + \frac{1}{2}YZ$	Z	$Y(1 + \frac{1}{2}YZ)$	$1 + \frac{1}{2}YZ$
	<i>T (concentrado)</i>	$1 + \frac{1}{2}YZ$	$Z(1 + \frac{1}{4}YZ)$	Y	$1 + \frac{1}{2}YZ$
Larga	Parámetros distribuidos <i>C (Capacitancia)</i> <i>G (Conductancia)</i>	$\cosh(\gamma l)$	$Z_c \sinh(\gamma l)$	$\frac{1}{Z_c} \sinh(\gamma l)$	$\cosh(\gamma l)$

Tabla 9. Tabla de constantes ABCD.

$$V_s = V_R + ZI_R \quad (7.1)$$

$$I_s = I_R \quad (7.2)$$

$$\begin{pmatrix} V_s \\ I_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_R \\ I_R \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} V_s \\ I_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_R \\ I_R \end{pmatrix}$$

$$\text{Si: Datos de tabla } \begin{cases} A = D = 1 \\ B = Z \\ C = 0 \end{cases}$$

Líneas de transmisión corta

Los efectos en paralelo de conductancia y capacitancia son despreciables por ser muy pequeñas. Estas líneas de transmisión se caracterizan por considerarse hasta 80 m de longitud [1].

En una línea de transmisión corta se representa como circuito π equivalente o T concentrado (resistencia e inductancia) [1].

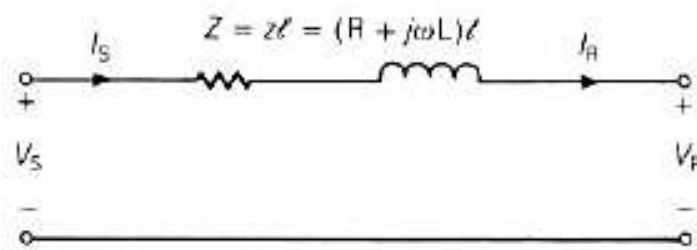


Ilustración 27. Línea de transmisión corta [3].

$$Z = zl \quad (7.3)$$

$$Z = (R + jX_L) * l \quad (7.4)$$

$$X_L = 2\pi fL (H/Km)(H/milla) \quad (7.5)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} (F/Km)(F/milla) \quad (7.6)$$

Dónde:

$Z =$ Impedancia total

$z =$ Impedancia de la línea

$R =$ Resistencia por fase

$L =$ Inductancia por fase

$l =$ Longitud de la línea

$V_S =$ Voltaje del extremo transmision o voltaje generado

$V_R =$ Voltaje en el extremo receptor

$I_S =$ Corriente en el extremo transmisión

$I_R =$ Corriente en el extremo receptor

La regulación de voltaje en una línea de transmisión es el cambio de voltaje del terminal receptor de la línea (V_R), cuando la carga varía desde un estado sin carga V_R (NL) a un estado simplificado a plena carga V_R (FL) mientras el terminal de envío permanece constante V_S [1].

El factor de la regulación de la tensión de una línea de transporte es la elevación de la tensión en el extremo receptor V_R expresado en % de la tensión a plena carga y está dado por las siguientes fórmulas: [1]

$$\% V_R = \frac{|V_{R,NL}| - |V_{R,FL}|}{V_{R,FL}} * 100 \quad (7.7)$$

(NL) = no load (FL) =full load

$$V_{R,(NL)} = \frac{|V_S|}{A} \quad (7.8)$$

$$\text{Si: } V_{R,FL} = V_R \quad (7.9)$$

$$\text{Si: } A = 1$$

$$V_{R,(NL)} = V_S \quad \therefore \% V_R = \frac{|V_S| - |V_R|}{V_R} * 100$$

La más alta regulación de voltaje ocurre para factores de potencia de carga en retraso donde el voltaje de recepción sin carga excede al voltaje de recepción a plena carga por una carga considerable [1].

Una pequeña y aun regulación negativa ocurre para una carga con factor de potencia en adelanto. Se considera una buena regulación de voltaje cuando oscila en un rango del 10% al 15% [1].

Variabilidad de las líneas de transmisión

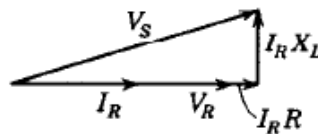
Otra cuestión importante que afecta el rendimiento o eficiencia en las líneas de transmisión es:

1. Límite térmico (L/T corta)
2. Límite de caída tensión (L/T medias y largas)
3. Límite de estabilidad en estado estable (L/T largas)

Factor de potencia o eficiencia de transmisión

Para considerar la eficiencia de transmisión en las líneas se debe recurrir al estudio de factores de potencia unitario, retardado y adelanto [1].

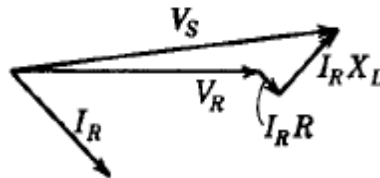
Factor de potencia unitario



$$V_S = V_R + I_R R + j I_R X_L \quad (7.10)$$

$$V_S = \sqrt{(V_R + I_R R)^2 + (I_R X_L)^2} \quad (7.11)$$

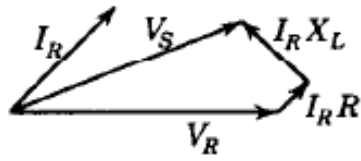
Factor de potencia retardado



$$V_S = V_R \cos \theta + I_R R + j(V_R \sin \theta + I_R X_L) \quad (7.12)$$

$$V_S = \sqrt{(V_R \cos \theta + I_R R)^2 + (V_R \sin \theta + I_R X_L)^2} \quad (7.13)$$

Factor de potencia adelantado



$$V_S = V_R \cos \theta + I_R R + j(V_R \sin \theta - I_R X_L) \quad (7.14)$$

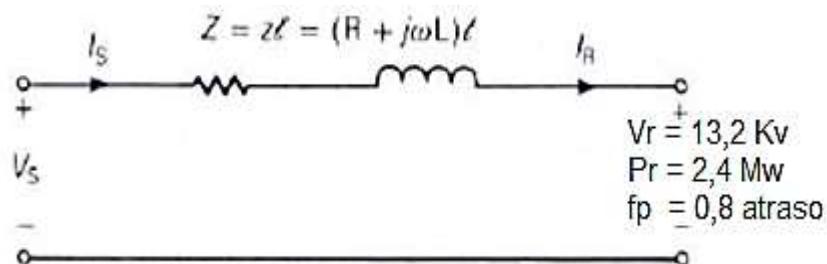
$$V_S = \sqrt{(V_R \cos \theta + I_R R)^2 + (V_R \sin \theta - I_R X_L)^2} \quad (7.15)$$

EJERCICIO

7.1. Una línea de transmisión trifásica en el cual alimenta a 13,2 Kv a una carga de 2,4 Mw la cual se encuentra a 16 Km de su fuente de generación, si se sabe que los conductores son de Cu (4/0), considere un factor de potencia en atraso 0,8 para la carga considere que $X_L = 216,79 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{Km}$ y $R = 0,094 \Omega/\text{Km}$. Determinar:

- a. La corriente de la carga.
- b. Voltaje de generación
- c. La potencia de generación
- d. El porcentaje de regulación de tensión de la línea
- e. La eficiencia
- f. Las pérdidas en las líneas de transmisión
- g. Realizar el diagrama fasorial

Datos:



Solución:

a. La corriente de la carga.

$$I_R = \frac{P_R}{\sqrt{3} * V_R * fp}$$

$$I_R = \frac{2,4 \text{ Mw}}{\sqrt{3} * (13,2 \text{ Kv}) * (0,8)} = 0,13 \angle - 36,87 \text{ kAmp.}$$

b. Voltaje de generación

$$V_s = V_R + Z I_R$$

$$V_R = \frac{13,2}{\sqrt{3}} = 7,62 \text{ Kv}$$

$$Z = z l$$

$$Z = (R + jX_L) * l$$

$$Z = (0,094 + j216,79 * 10^{-3}) \frac{\Omega}{Km} * 16 Km$$

$$Z = (1,504 + j3,46864)\Omega$$

$$V_S = V_R + Z I_R$$

$$V_S = 7,62 \angle 0 + (1,504 + j3,46864)(0,13 \angle -36,87)$$

$$V_S = 8,05 \angle 1,73 Kv_{LN}$$

$$V_S = 8,05 \sqrt{3} = 13,94 Kv_{LL}$$

$$I_S = I_R = 0,13 \angle -36,87 KA$$

c. La potencia de generación

$$P_S = \sqrt{3} I_S V_{SLL} \cos(\alpha - \beta)$$

$$P_S = \sqrt{3} (0,13)(13,94) \cos(1,73 + 36,87)$$

$$P_S = 2,45 Mw$$

d. El porcentaje de regulación de tensión de la línea

$$V_{R,FL} = V_R$$

$$A = 1$$

$$V_{R,(NL)} = V_S \quad \therefore \% V_R = \frac{|V_S| - |V_R|}{V_R} * 100$$

$$\% V_R = \frac{13,94 - 13,2}{13,2} * 100$$

$$\% V_R = 5,6 \%$$

e. La eficiencia

$$ef = \frac{P_R}{P_S} * 100$$

$$ef = \frac{2,4}{2,45} * 100 = 97,96 \%$$

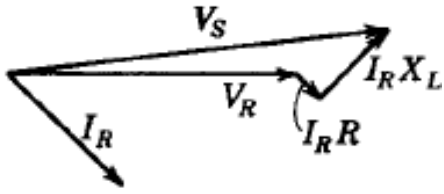
f. Las pérdidas en las líneas de transmisión

$$P_L = P_S - P_R$$

$$P_L = 2,45 Mw - 2,4 Mw$$

$$P_L = 0,05 Mw$$

g. Realizar el diagrama fasorial



Línea de transmisión media

En una línea de transmisión media las capacitancias en paralelo se concentran en unas cuantas direcciones predeterminadas a lo largo de la línea. Por lo general las líneas medias tienen intervalos de longitud entre 80 y 240 km [1].

Es muy importante analizar las pérdidas, eficiencia y regulación de voltajes en las líneas de transmisión [1].

Una línea de longitud media se representa con capacitores en paralelo concentrados localizados en puntos predeterminados a lo largo de un circuito en serie RC [3].

En la práctica el efecto de la capacitancia total en una línea de longitud media se puede representar con uno o dos capacitores concentrados [1].

En una línea de transmisión de longitud media el efecto en paralelo se debe a que una capacitancia de la línea no es despreciable [1].

Las línea de transmisión medias se representan como circuito nominal Π y circuito nominal T [1].

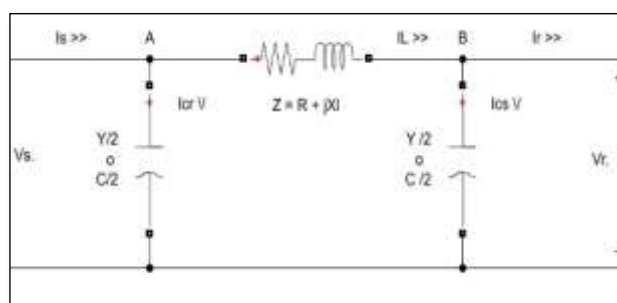


Ilustración 28: Circuito nominal Π .

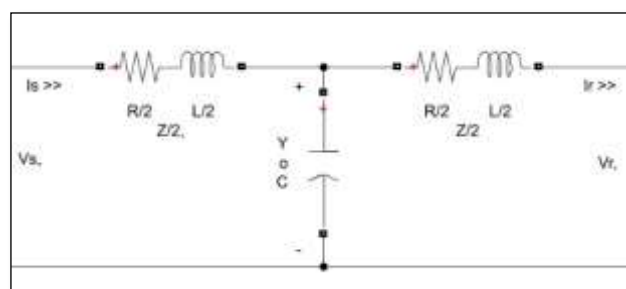


Ilustración 29. Circuito nominal T.

La admitancia generalmente capacidad pura se incluye en los cálculos de longitud media [3].

Si la admitancia total (Y) está dividida en dos partes iguales colocadas en los dos extremos de la línea el circuito se llama nominal Π . Se considera un capacitor en paralelo [1].

La mitad del capacitor en paralelo se considera aumentado en cada lado de la línea [1].

La admitancia total es:

$$Y = (G + jWC)L \quad (7.16)$$

$Y =$ admitancia

$G =$ conductancia de la línea por Km

$C =$ capacitancia de línea neutro x Km

$L =$ longitud de la línea

Bajo condiciones normales la conductancia (G) paralelo o la unidad de longitud (corriente de flujo) sobre la oscilación y debido al efecto corona despreciable [1].

$$\therefore G = 0$$

Para obtener los parámetros ABCD lo conecta en el ramal es Is

Analizando las leyes de Kirchhoff voltajes y corrientes (LKV y LKC).

Voltaje de entrada y salida

$$V_S = V_R + ZI_L \quad (7.17)$$

$$I_L = I_R + \frac{Y}{2} \quad (7.18)$$

$V_S =$ voltaje de transmisión generado

$V_R =$ corriente de receptor o carga

$I_R =$ corriente de receptor o carga

$V_R =$ voltaje de receptor o carga

$I_L =$ corriente de línea

$Z = \text{impedancia de línea}$

$Y = \text{admitancia}$

7.18 en 7.17

$$V_S = V_R + Z \left(I_R + \frac{Y}{2} \right) \quad (7.19)$$

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_R Z I_R \quad (7.20)$$

La corriente en el extremo generador se obtiene al obtener la II ley de Kirchhoff LKC

$$I_S = V_S \left(\frac{Y}{2} \right) + V_R \left(\frac{YZ}{2} \right) + I_R \quad (7.21)$$

Sustituyendo 7.21 en 7.20

$$I_S = V_R Y \left(1 + \frac{YZ}{4} \right) + \left(1 + \frac{YZ}{2} \right) I_R \quad (7.22)$$

En forma general la ecuación 7.21 y 7.22 se representan por la constante de generación ABCD del circuito de la línea de transmisión y se representan como:

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_R Z I_R \quad (7.23)$$

$$I_S = V_R Y \left(1 + \frac{YZ}{4} \right) + \left(1 + \frac{YZ}{2} \right) I_R \quad (7.24)$$

$$V_S = AV_R + BI_R \quad (7.25)$$

$$I_S = CV_R + DI_R \quad (7.26)$$

Según la tabla

$$A = D = 1 + \frac{YZ}{2} (pu) \quad (7.27)$$

$$B = Z\Omega \quad (7.28)$$

$$C = Y \left(1 + \frac{2Y}{4} \right) S \quad (7.29)$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{YZ}{2} & V_R \\ 1 + \frac{YZ}{4} & I_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

Representación en forma matricial

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

Salen neutros V_R e I_R en V_S, I_S en ecuaciones

$$V_R = \frac{DV_S - BI_S}{AD - BC} \quad (7.30)$$

$$I_R = \frac{AI_S - CV_S}{AD - BC} \quad (7.31)$$

Se lo relaciona $AD - BC = 1$

$$V_S = DV_S + BI_S \quad (7.32)$$

$$I_S = CA + CV_S \quad (7.33)$$

La regulación de voltaje en las líneas de transmisión medias.

$$V_R \% = \frac{|V_S| - |V_{RC}|}{|V_{RC}|} \quad (7.34)$$

EJERCICIOS

7.2. Una línea trifásica que alimenta a 34.5 kV a una carga de 4 MVA con un factor de potencia 0.95 y una distancia de 100km, si se sabe que los conductores constan en un plano horizontal se ponen entre sí 2 m y su conductor es de calibre 4/0 AWG encontrar.

a) V_G generada

b) I_G generada

c) P_0 generada

d) regulación de tensión

e) eficiencia

Datos

$$R = 0.303 \Omega/\text{millas}$$

$$XL = 0.3646 \Omega/\text{millas}$$

$$Xc = 0.11691 M\Omega/\text{millas}$$

Solución:

a) V_G generado

$$P_0 = I * VF * FP$$

$$I_R = \frac{P_0}{V * \sqrt{3}}$$

$$I_R = \frac{4 * 10^3 VA}{(34.5 * 10^3) * \sqrt{3}}$$

$$I_R = 66.9A \angle 18.19$$

$$V_R = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}}$$

$$V_R = \frac{34,5 * 10^3}{\sqrt{3}}$$

$$V_R = 19918,58 V = 19,918 kV$$

$$X_L = 0.3646 \frac{\Omega}{milla} \left(\frac{1milla}{1.609km} \right)$$

$$X_L = 0.226 \Omega/km$$

$$X_C = 0.11691 \frac{\Omega}{millas} \left(\frac{1milla}{1.609km} \right) \left(\frac{1 * 10^6 \Omega}{1M\Omega} \right)$$

$$X_C = 105096.33 \Omega/km$$

$$Z = (R + jX_L)l$$

$$Z = (0.300 + 0.3646 \left(\frac{\Omega}{milla} \right)) * 100km(1milla/1.609km)$$

$$Z = 29.4591 \angle 50.27 \Omega$$

$$Y = \left(j \frac{1}{X_C} \right)$$

$$Y = \left(j \frac{1}{105096.33 \Omega/km} \right)$$

$$Y = 3,6754 * 10^{-4} \angle 90 [S]$$

$$A = D = \left(1 + \frac{YZ}{2} \right)$$

$$A = \left(1 + \frac{29.4591 \angle 50.27 * 3,6754 * 10^{-4} \angle 90}{2} \right)$$

$$A = D = 0,958 \angle 0,198 pu.$$

$$B = z = 29.4591 \angle 50.27 \Omega$$

$$V_S = A \cdot V_R + B \cdot I_R$$

$$V_S = 0,958 \angle 0,198 \cdot V_S + 29,4591 \angle 50,27 \cdot 66,9 \angle 18,19$$

$$V_S = 20,64 \angle 53 \text{ KV (L-N)}$$

$$V_S = \sqrt{3} \cdot 20,64 \angle 53$$

$$V_S = 35,760 \angle 53$$

$$V_G = \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) V_C + I_C Z$$

$$V_G = \left(1 + \frac{5,91(20,45 \angle 50,27)}{2}\right) \cdot 19,918 + 66,9 \angle 18,19 \cdot 29,4591 \angle 50,27$$

$$V_G = 19574,07 \angle -6,004$$

$$V_G = 20,64 \angle 5,3$$

$$V_G = \sqrt{3} \cdot 20,64 \angle 5,3$$

$$V_G = 35,76 \angle 5,3$$

$$C = Y \left(1 + \frac{YZ}{4}\right)$$

$$C = 3,6754 \cdot 10^{-4} \angle 90 \left(1 + \frac{3,6754 \cdot 10^{-4} \angle 90 \cdot 29,4591 \angle 50,27}{4}\right)$$

$$C = 3,67 \cdot 10^{-4} \angle 90,1$$

$$I_S = C \cdot V_R + D \cdot I_R$$

$$I_S = 3,67 \cdot 10^{-4} \angle 90,1 \cdot 19,918 + 0,958 \angle 0,198 \cdot 66,9 \angle 18,19$$

$$I_S = 69,32 \angle 24,2$$

$$I_G = \frac{Y}{2} (V_G + V_C) \cdot I_L$$

$$Z = 29.5 \angle 50.3$$

$$I_G = \frac{Y}{2} (V_G + V_C) IL$$

$$I_G = \frac{3,6754 * 10^{-4} \angle 90}{2} (35,76 \angle 5,3 + 19,918) * 66.9A \angle 18.19$$

$$I_G = 69.32 \angle 24,2$$

$$S_G = \sqrt{3} * I_S * V_S$$

$$S_G = \sqrt{3} * 69.32 \angle 24,2 * 35,760 \angle 53$$

$$S_G = 4293,55 \text{ w}$$

$$\% \text{ Regulacion} = \frac{V_{R(\text{vacío})} - V_{R(\text{plena carga})}}{2}$$

$$\% \text{ Regulacion} = \frac{35,91 - 34,5}{34,5}$$

$$\% \text{ Regulacion} = 4,08$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{S_R}{S_V} * 100$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{4000}{4293,55} * 100$$

$$\text{Eficiencia} = 93,17 \%$$

Modelo de línea larga para línea de transmisión

Las líneas más de 240km, se la conoce como línea de transmisión larga [1].

Las líneas de transmisión largas tienen parámetros uniformemente distribuidos sobre la longitud total de la línea, como fase (con regreso a través del neutro) de una línea larga de longitud (L) [1].

El voltaje (V) en cualquier punto bajo de la línea está como [1].

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \gamma^2 v$$

$$\gamma = \sqrt{y^2 z}$$

$y =$ admitancia en paralelo por unidad de longitud de la línea.

$\gamma =$ kte de propagación

$z =$ impedancia en serie por unidad de longitud de la línea.

Circuito nominal de las líneas de transmisión largas

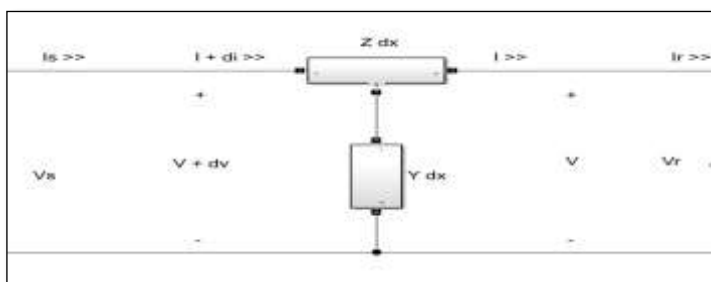


Ilustración 30. Circuito nominal de L/T larga.

Las líneas de transmisión largas se representan con parámetros de manera uniforme [1].

Además, la rama en paralelo de una línea larga consta de capacitores y capacitancias distribuidos uniformemente a lo largo de la línea [1].

La solución exacta de cualquier línea de transmisión a 60hz y más de 150 millas exigen que los parámetros de las líneas sean calculados en forma distribuida uniformemente a lo largo de la línea y n en forma concentrado [1].

Se representa una fase y neutro de una línea trifásica [1].

Consideramos un elemento más pequeño de la línea y se calcula los diferenciales dv y dI entre los dos extremos de la línea [1].

$$dv = Izdx \quad (7.35)$$

$$\frac{dv}{dx} = Iz$$

$$dI = Vydx \quad (7.36)$$

$$\frac{dI}{dx} = Vy$$

Derivando respecto a X

$$\frac{d^2v}{dx^2} = x \frac{dI}{dx} \quad 3$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = y \frac{dv}{dz} \quad (7.37)$$

x = distancia del elemento considerando a partir del extremo del receptor.

dx = longitud del elemento diferencial.

zdx = impedancia del elemento diferencial.

ydx = admitancia del elemento diferencial.

v = tensión respecto al neutro.

dv = diferencial de tensión al extremo del elemento.

$V + dv$ = tensión más diferencial de tensión en el extremo más próximo al generador.

$I + dI$ = es la corriente que entra en el elemento del generador.

dI = diferencial de corriente que solo está en la línea de carga.

Z_c = impedancia característica de la línea.

γ = kte de propagación.

α = kte de amortiguación

$$\beta = \text{coeficiente de fase} \left(\frac{\text{radianes}}{\text{m}} \right) \left(\frac{\text{radianes}}{\text{milla}} \right)$$

Sustituyendo los valores de $\frac{dI}{dx}$ y $\frac{dv}{dx}$ en 7.32 y 7.33

$$\frac{d^2v}{dx^2} = Z \frac{dI}{dx}$$

$$\frac{d^2v}{dx^2} = yzV \quad (7.38)$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = y \frac{dv}{dx}$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = yzI \quad (7.39)$$

Demostrando 7.32

$$V = A_1 e^{\epsilon} + A_2 e^{-\epsilon} \quad (7.40)$$

$$V = A_1 \sqrt{y2x} + A_2^{-\sqrt{y2x}} \quad (7.41)$$

Demostrando 7.33

$$I = A_1 e^{\epsilon} + A_2 e^{-\epsilon} \quad (7.42)$$

$$I = A_1 \sqrt{y2x} + A_2^{-\sqrt{y2x}} \quad (7.43)$$

$$\frac{d^2v}{dx^2} = y2 \left[A_1 \sqrt{y2x} \right] + A_2^{-\sqrt{y2x}} \quad (7.44)$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = \frac{1}{\sqrt{\frac{Z}{Y}}} A_1 \sqrt{y2x} - \frac{1}{\sqrt{\frac{Z}{Y}}} A_2^{-\sqrt{y2x}} \quad (7.45)$$

Consideramos los conductores en los extremos receptor de la línea $x = 0$; $V = V_R$; $I = I_R$

$$V_R = A_1 + A_2 \quad (7.46)$$

$$\text{si } Z_C = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad (7.47)$$

$$I_R = \frac{1}{\sqrt{\frac{Z}{Y}}} (A_1 - A_2) \quad (7.48)$$

$$I_R = \frac{-1}{\sqrt{\frac{Z}{Y}}} (A_1 - A_2) \quad (7.49)$$

$Z_c =$ impedancia característica de la línea.

Reemplazo en 7.50

$$A_1 = \frac{V_R + I_R Z_C}{2} \quad (7.50)$$

$$A_2 = \frac{V_R - I_R Z_C}{2} \quad (7.51)$$

En las cuales 7.55 y 7.53 y $\gamma = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$

$$V = \frac{V_R + I_R Z_C}{2} \varepsilon^{\gamma z} + \frac{V_R - I_R Z_C}{2} \varepsilon^{-\gamma z}$$

$$\pm = \frac{\frac{V_R}{Z_C} + I_R}{2} \varepsilon^{\gamma z} - \frac{\frac{V_R}{Z_C} - I_R}{2} \varepsilon^{-\gamma z} \quad (7.52)$$

$$\text{si } \gamma = \alpha + j\beta \quad (7.53)$$

$\gamma =$ kte de propagación.

$Z_c =$ impedancia característica de la línea.

$\alpha =$ kte de amortiguación (exponencial $\frac{\text{neper}}{m}$).

$\beta =$ kte de fase (radianes/m)

Reemplazar en 7-51 y 7-52

$$V = \frac{V_R + I_R Z_C}{2} \varepsilon^{\alpha x} \varepsilon^{j\beta x} + \frac{V_R - I_R Z_C}{2} \varepsilon^{-\alpha x} \varepsilon^{-j\beta x} \quad (7.54)$$

$$\pm = \frac{\frac{V_R}{Z_C} + I_R}{2} \varepsilon^{\alpha x} \varepsilon^{j\beta x} - \frac{\frac{V_R}{Z_C} - I_R}{2} \varepsilon^{-\alpha x} \varepsilon^{-j\beta x}$$

Ecuaciones de Euler $\varepsilon^{\alpha x} \varepsilon^{j\beta x}$

Ayudan a expresar los vectores de tensión (V) y corriente (I) en cualquier constante.

El término $\varepsilon^{\alpha x}$ cambia de valor cuando lo hace x .

El término $\varepsilon^{j\beta x}$ es cuyo $\cos\beta j + j\text{sen } \beta x = 1$ procedente a una fase $\beta \frac{\text{radianes}}{\text{unidad de longitud}}$

Tensión incidente

En el primer término de la ecuación.

$$\left[\frac{V_R + I_R Z_C}{2} \right] \varepsilon^{\alpha x} \varepsilon^{j\beta x} \quad (7.55)$$

Aumenta su valor y adelanto en fase o medida que aumenta la distancia del extremo receptor (R) [1].

Cuando se avanza a lo largo de la línea desde el extremo transmisor (S) el término conservado disminuye en valor absoluto y a la vez no referencia en fase [1].

Tensión reflejada

En el segundo término de la ecuación

$$\left[\frac{V_R + I_R Z_C}{2} \right] \varepsilon^{-\alpha x} \varepsilon^{-j\beta x} \quad (7.56)$$

Disminuye en magnitud y se retrasa en fase desde el extremo receptor al extremo transmisor [1].

En cualquier punto de la línea, la tensión es la suma de los componentes incluyendo y reflejado a la tensión en opuestos puntos [1].

Corriente incidente

En el primer término de la ecuación

$$\left[\frac{V_R + I_R}{2} \right] \varepsilon^{\alpha x} \varepsilon^{j\beta x} \quad (7.57)$$

Corriente reflejada

En el segundo término de la ecuación

$$-\left[\frac{V_R + I_R}{2} \right] \varepsilon^{-\alpha x} \varepsilon^{-j\beta x} \quad (7.58)$$

Una línea con su impedancia conectada se llama línea plana o línea infinito y no tiene onda reflejada [1].

El origen de fase Z_c está comprendido $\alpha^0 (-4s^\epsilon)$ [1]

Sil (impedancia de sobretensión)

En el estudio de las redes la Z_c (impedancia concentrada) se llama a veces impedancia de sobretensión cuando se nota como líneas en paralelos [1].

Si una línea no tiene no tienen relación $R Y G = 0$ y se relacionan a $Z_c = \sqrt{4c}$ [1].

$$|I_L| = \frac{|V_L|}{\sqrt{3} * \sqrt{4c}} \quad (A) \quad (7.59)$$

$$SIL = \sqrt{3} * |V_L| * \frac{|V_L|}{\sqrt{3} * \sqrt{4c}} \quad (W) \quad (7.60)$$

$$SIL = \frac{|V_L|^2}{\sqrt{4c}} \quad (MW) \quad (7.61)$$

$V_L =$ tensión entre línea en carga

Longitud de onda

La longitud de onda es la distancia o lo largo de la línea entre 2 puntos de una onda que dependen en fase 360° (2π radianes) [1].

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad \text{velocidad} = Fx \text{ (milla/segundo)}$$

$$\lambda \equiv 3000 \text{ milla}$$

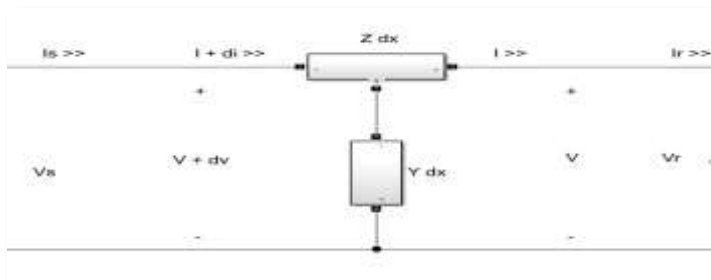
$$\lambda = \text{desfase en} \frac{\text{radianes}}{\text{milla}}$$

$V =$ velocidad de propagación

Si no existe carga en la línea la $I_R = 0$ las tensiones analizadas y reflejadas son iguales a la ecuación en amplitud y fase en el extremo del receptor [1].

Ejercicio

7.3. Una línea de transmisión larga, de un circula en 225 millas de longitud, la carga es de 125 Mw a 200 Kv con un factor de potencia 100%. Calcular las tensiones analizadas y reflejadas en el extremo receptor y transmisor de la línea. Determine las tensiones de la línea en el extremo distribuidor o partes de las tensiones analizadas y reflejadas. Calcular la amplitud de onda y la velocidad de propagación.



Datos:

$$x = ?$$

$$L = 225 \text{ millas}$$

$$R = 0.172 \Omega/\text{millas}$$

$$L = 2.18 \text{ mH}/\text{millas}$$

$$L = 2.18 * 10^{-3} \text{ H}/\text{millas}$$

$$C = 0.0136 \text{ uF}/\text{millas}$$

$$C = 0.0136 * 10^{-6} \text{ F}/\text{millas}$$

$$G = 0$$

Solución:

Impedancia

$$Z = r + jXL$$

$$XL = 2\pi f * L$$

$$XL = 2\pi(60)(2.18 * 10^{-3}H/millas)$$

$$XL = 0.8218 \Omega/millas$$

$$Z = 0.172 \frac{\Omega}{millas} + 0.8218 \frac{\Omega}{millas}$$

$$Z = 0.839 \angle 78.17^\circ \frac{\Omega}{millas}$$

Admitancia

$$Y = G + j\beta$$

$$Y = G + jWc$$

$$XC = \frac{1}{2\pi f * c}$$

$$XC = \frac{1}{2\pi(60) * (0.0136 * 10^{-6}F/millas)}$$

$$Y = 0 + 2\pi(60) * (0.0136 * 10^{-6}F/millas)$$

$$Y = 5.12 * 10^{-6} \angle 90^\circ \left(\frac{\Omega}{millas}\right)$$

Kte de propagación

$$\gamma = \sqrt{YZ}(l)$$

$$\gamma = \sqrt{(5.12 * 10^{-6} \angle 90^\circ)(0.839 \angle 78.17^\circ)}(225)$$

$$\gamma = 0.466 \angle 84.1^\circ$$

$$\gamma = 0.0481 + j0.463$$

Impedancia característica de la línea (Zc)

$$Zc = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$$

$$Zc = \sqrt{\frac{0.839 \angle 78.17^\circ}{(5.12 * 10^{-6} \angle 90^\circ)}}$$

$$Z_c = \sqrt{163867.18 \angle 78.17^\circ - 90^\circ}$$

$$Z_c = 404.805 \angle -5.91^\circ$$

Voltaje receptor largo

$$V_R = \frac{V_L \angle \Phi}{\sqrt{3}}$$

$$V_R = \frac{200000}{\sqrt{3}}$$

$$V_R = 115200 \angle 0^\circ \text{ V (neutro)}$$

Corriente de receptor largo

$$I_R = \frac{P \angle \Phi}{\sqrt{3} * V}$$

$$I_R = \frac{125000 \angle 0^\circ}{\sqrt{3} * 200000}$$

$$I_R = 361 \angle 0^\circ$$

Tensión analizada

$$V_R^+ = \frac{V_R + I_R Z_c}{2} * \epsilon^{\alpha X} * \epsilon^{-j\beta x} \quad \text{donde } X=0$$

$$\gamma = 0.466 \angle 84.1^\circ$$

$$\text{Si } \gamma = 0.0481 + j0.463$$

$$\epsilon^x = \epsilon^\alpha \angle \beta$$

$$\epsilon^x = \epsilon^{0.0481} \angle 0.463 \text{ rad} \left(\frac{180^\circ}{\pi \text{ rad}} \right)$$

$$\epsilon^x = \frac{83.7^\circ}{\pi} = 26.64^\circ$$

$$\epsilon^x = 1.049 \angle 26.64^\circ$$

$$V_R^+ = \frac{115200 \angle 0^\circ + (361 \angle 0^\circ * 405 \angle -5.9^\circ)}{2}$$

$$V_R^+ = \frac{115200\angle 0^\circ + (146205\angle -5.9)}{2}$$

$$V_R^+ = 576000 + 72715.2\angle -5.9$$

$$V_R^+ = 576000 + 72715.2 - 7514.3j$$

$$V_R^+ = 130100 - 7500j$$

$$V_R^+ = 130100\angle -3.3V$$

Tensión reflejada

$$V_R^- = \frac{V_R - I_R Z_C}{2} * \epsilon^{-\alpha X} * \epsilon^{-j\beta x}$$

$$V_R^- = \frac{115200\angle 0^\circ - (361\angle 0^\circ * 405\angle -5.9)}{2}$$

$$V_R^- = -14400 + 7500j$$

$$V_R^- = 16700\angle 153.3V$$

Cálculo en el extremo distribuido

$$x = l$$

$$V_S^+ = \frac{V_R + I_R Z_C}{2} * \epsilon^{\alpha L} * \epsilon^{j\beta L}$$

$$V_S^+ = 130100\angle -3.3 * \epsilon^{0.0481} * \epsilon^{0.405}$$

$$V_S^+ = 130100\angle -3.3(1.049 + 1.592j)$$

$$V_S^+ = 130100\angle -3.3 * 1.049\angle 26.6$$

$$V_S^+ = 136500\angle 23.3^\circ V$$

Tensión reflejada

$$V_S^- = \frac{V_R - I_R Z_C}{2} * \epsilon^{-\alpha L} * \epsilon^{-j\beta L}$$

$$V_S^- = 16700\angle 153.3 * \epsilon^{-0.0481} * \epsilon^{-0.405}$$

$$V_S^- = 16700\angle 153.3 * (0.953\angle -26.6)$$

$$V_s^- = 15900 \angle 126.7 V$$

Tensión entre fase y neutro en el extremo distribuido

$$V_s = V_s^+ + V_s^-$$

$$V_s = 136500 \angle 83.3^\circ V + 15900 \angle 126.7 V$$

$$V_s = 133800 \angle 30^\circ V$$

Tensión entre conductores

$$V_s = 133.8\sqrt{3}$$

$$V_s = 232 kV$$

Amplitud de onda

$$\beta = \frac{\gamma}{Y}$$

$$\beta = \frac{0.465}{225}$$

$$\beta = 0.002005 \frac{\text{rad}}{\text{milla}}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{0.002005}$$

$$\lambda = 3040 \text{ milla}$$

$$\text{velocidad} = f\lambda$$

$$\text{velocidad} = (60)(3040)$$

$$\text{velocidad} = 182400 \frac{\text{milla}}{\text{s}}$$

7.4. Resolver el ejercicio 7.3, mediante funciones hiperbólicas. Calcular las tensiones analizadas y reflejadas en el extremo receptor y transmisor de la línea. Determine las tensiones de la línea en el extremo distribuidor o partes de las tensiones analizadas y reflejadas. Calcular la amplitud de onda y la velocidad de propagación.

Datos:

$$R = 0.172 \frac{\Omega}{\text{millas}}$$

$$L = 2.18 \text{mH}/\text{mi}$$

$$L = 2.18 * 10^{-3} \text{H}/\text{mi}$$

$$C = 0.0136 \mu\text{F}/\text{mi}$$

$$C = 0.0136 * 10^{-6} \text{F}/\text{mi}$$

$$G = 0$$

Solución:

Impedancia

$$Z = r + jXL$$

$$XL = 2\pi f * L$$

$$XL = 2\pi(60)(2.18 * 10^{-3} \text{H}/\text{millas})$$

$$XL = 0.8218 \Omega/\text{millas}$$

$$Z = 0.172 \frac{\Omega}{\text{millas}} + 0.8218 \frac{\Omega}{\text{millas}}$$

$$Z = 0.839 \angle 78.17^\circ \frac{\Omega}{\text{millas}}$$

Admitancia

$$Y = G + j\beta$$

$$Y = G + jWc$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f * c}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi(60) * (0.0136 * 10^{-6} F / \text{millas})}$$

$$Y = 0 + 2\pi(60) * (0.0136 * 10^{-6} F / \text{millas})$$

$$Y = 5.12 * 10^{-6} \angle 90^\circ \left(\frac{S}{\text{millas}} \right)$$

Kte de propagación

$$\gamma = \sqrt{YZ}(l)$$

$$\gamma = \sqrt{(5.12 * 10^{-6} \angle 90^\circ)(0.839 \angle 78.17^\circ)}(225)$$

$$\gamma = 0.466 \angle 84.1^\circ$$

$$\gamma = 0.0481 + j0.463$$

Impedancia característica de la línea (Zc)

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{0.839 \angle 78.17^\circ}{(5.12 * 10^{-6} \angle 90^\circ)}}$$

$$Z_c = \sqrt{163867.18 \angle 78.17^\circ - 90^\circ}$$

$$Z_c = 404.805 \angle -5.91^\circ$$

Voltaje receptor largo

$$V_R = \frac{V_L \angle \Phi}{\sqrt{3}}$$

$$V_R = \frac{200000}{\sqrt{3}}$$

$$V_R = 115200 \angle 0^\circ \text{ V (neutro)}$$

Corriente de receptor largo

$$I_R = \frac{P \angle \Phi}{\sqrt{3} * V}$$

$$I_R = \frac{125000 \angle 0^\circ}{\sqrt{3} * 20000}$$

$$I_R = 361 \angle 0^\circ$$

$$\mathbf{coshyl} = \mathbf{cosh} \alpha l * \mathbf{cos} \beta l + \mathbf{j} \mathbf{senh} \alpha l * \mathbf{sen} \beta l$$

$$\mathit{coshyl} = \mathit{cosh}(0.0481) * \mathit{cos}(0.465) + \mathit{j} \mathit{senh}(0.0481) * \mathit{sen}(0.465)$$

$$\mathit{coshyl} = 0.895 + 0.021j$$

$$\mathit{coshyl} = 0.895 \angle 1.38$$

$$\mathbf{senhyl} = \mathbf{senh} \alpha l * \mathbf{cos} \beta l + \mathbf{j} \mathbf{cosh} \alpha l * \mathbf{sen} \beta l$$

$$\mathit{senhyl} = \mathit{senh}(0.0481) * \mathit{cos}(0.465) + \mathit{j} \mathit{cosh}(0.0481) * \mathit{sen}(0.465)$$

$$\mathit{senhyl} = 0.0424 + 0.449j$$

$$\mathit{senhyl} = 0.449 \angle 84.5$$

$$\mathbf{si} \quad \mathbf{Vs} = \mathbf{V_R} \mathbf{cosh} \alpha l + \mathbf{I_R} \mathbf{Z_C} \mathbf{senh} \alpha l$$

$$V_S = (115200)(0.895 \angle 1.38) + (361)(405 \angle -5.9)(0.449 \angle 89.5)$$

$$V_S = 116049 + 66832j$$

$$V_S = 133912 \angle 29.9 V$$

$$\mathbf{si} \quad \mathbf{Is} = \mathbf{I_R} \mathbf{cosh} \alpha l + \mathbf{I_R} / \mathbf{Z_C} \mathbf{senh} \alpha l$$

$$I_S = (361 \angle 0)(0.895 \angle 1.38) + (115200) / (409 \angle -5.9)(0.449 \angle 84.5)$$

$$I_S = 332 + 136j$$

$$I_S = 350 \angle 22.9 A$$

En el extremo distribuido

Tensión línea

$$V_{LL} = \sqrt{3} * V_S$$

$$V_{LL} = \sqrt{3} * (133.8)$$

$$V_{LL} = 232kV$$

Corriente de línea

$$I_{LL} = 150 A$$

Fase- neutro

$$F_n = \cos(30 + 22.9)$$

$$F_n = \cos(7.1)$$

$$F_n = 0.9923$$

Protección

$$P_R = \sqrt{3} * V_{LL} * I_S * F_n$$

$$P_R = \sqrt{3} * (232) * (350) * (0.9923)$$

$$P_R = 140000kV$$

Regulación de tensión

$$R_V = \frac{V_S - V_R}{V_R}$$

$$R_V = \frac{133.8/0.845 - 115.2}{115.2}$$

$$R_V = 29.8\%$$

Solución mediante Matlab

7.5. Una línea de transmisión corta de 60 Hz, que tiene una resistencia $R= 0.62$ Ohm por fase y $L=93.24$ mH por fase, alimenta una carga trifásica conectada en estrella de 100 MW, con un factor de potencia de 0.9 en retraso, y con un voltaje de línea a línea de 215 kV.

a) Calcule el voltaje en el extremo transmisor por fase.

b) Determine la regulación del voltaje y la pérdida en la línea de transmisión.

Datos

```
R=0.62; %Resistencia en ohm/milla
XL=35.15; %Reactancia Inductiva en ohm/milla
FP=0.9; %Factor de potencia
F=60; %Frecuencia en Hz
L=93.24*10^-3; %Inductancia
VL=215; %KV
P3f=100; %kW
```

a) El voltaje en el extremo transmisor.

```
Z=R+i*XL;
formatSpec = 'Z= %.4f∠%.4f°';
fprintf(formatSpec,abs(Z),angle(Z)*180/pi);
W=acos(FP);
formatSpec = 'W= %.4f';
fprintf(formatSpec,W*180/pi);
IR=((P3f*10^6)/(sqrt(3)*(VL*10^3)*FP));
formatSpec = 'IR= %.4f∠%.4f°';
fprintf(formatSpec,abs(IR),(-W)*180/pi);
VR=(VL*10^3)/sqrt(3);
IR1=IR*cos(-W)+IR*i*sin(-W);
VS=VR+IR1*Z;
formatSpec = 'VS= %.4f∠%.4f°';
fprintf(formatSpec,abs(VS),angle(VS)*180/pi);
```

b) La regulación de voltaje y la eficiencia de la transmisión

Regulación de voltaje

```
Rv=((VS-VR)/VR)*100;
formatSpec = 'Rv= %.4f';
fprintf(formatSpec,Rv);
```

Pérdidas en la línea

```
PI=3*(IR)^2*R;
formatSpec = 'PI= %.4f';
fprintf(formatSpec,abs(PI));
```

7.6. La impedancia por fase de una línea de transmisión corta es $(0.3+j0.4)$ ohm. El voltaje de línea a línea del extremo transmisor es 3300 V y la carga en el extremo receptor es 300 kilowatts por fase, con un factor de potencia de 0.8 en retraso.

Calcule:

- El voltaje del extremo receptor.
- La corriente de línea.
- Para la línea del problema planteado, calcule el factor de potencia del extremo transmisor.
- Calcule la pérdida de potencia por fase determinando la potencia del extremo transmisor.
- Verifique su resultado en la parte del enunciado
- calculando directamente la pérdida de la potencia.

Datos

R=0.3; %Resistencia en ohm/milla
XL=0.4; %Reactancia Inductiva en ohm/milla
FP=0.8; %Factor de potencia
F=60; %Frecuencia en Hz
VL=3300; %V
P3f=300; %kW

a) El voltaje del extremo receptor.

```
VR=(VL)/(sqrt(3));  
formatSpec = 'VR= %.4f';  
fprintf(formatSpec,abs(VR));
```

b) La corriente de línea.

```
I=(P3f*10^3)/(VR*0.8);  
formatSpec = 'I= %.4f';  
fprintf(formatSpec,abs(I));
```

c) Para la línea del problema planteado, calcule el factor de potencia del extremo transmisor.

```
VS=(VR*FP)+(R*I);  
formatSpec = 'VS= %.4f';  
fprintf(formatSpec,abs(VS));
```

Factor de potencia

```
FPN=(VS)/(VR);  
formatSpec = 'FPN= %.4f';  
fprintf(formatSpec,abs(FPN));
```

d) Calcule la pérdida de potencia por fase determinando la potencia del extremo transmisor.

La potencia del extremo transmisor

```
P1=(VR*I*FPN);  
formatSpec = 'P1= %.4f';
```

```
fprintf(formatSpec,abs(P1));
```

Pérdida de la potencia por fase

```
Pf=(P1)-(P3f*10^3);  
formatSpec = 'Pf= %.4f';  
fprintf(formatSpec,abs(Pf));
```

e) Verifique su resultado en la parte del enunciado d) calculando directamente la pérdida de la potencia.

Cálculo directo, la pérdida de la potencia por fase

```
If=(I^2)*R;  
formatSpec = 'If= %.4f';  
fprintf(formatSpec,abs(If));
```

7.7. Cuál es la máxima potencia que se puede transmitir en una línea de transmisión corta trifásica que tiene una impedancia por fase de $(0.3 + j0.4)$ ohm. Si el voltaje en el extremo receptor es de 6351 volts por fase y la regulación de voltaje no excede el 5 por ciento.

Datos:

VR = 6351 V

Z = 0.3 + i0.4 ohm/fase

%R < 5%

Calcule:

a) El factor de potencia en el extremo receptor.

b) La pérdida total en la línea de transmisión del problema planteado, mientras se suministra la potencia máxima.

SOLUCIÓN:

Datos:

```
Vr = 6351;%Voltaje en el extremo receptor(V)  
R = 0.3;%Resistencia de la línea(ohm/fase)  
Xl=0.4;%Reactancia inductiva de la línea(ohm/fase)  
PR=5;%Porcentaje de regulación de voltaje
```

a) El factor de potencia en el extremo receptor.

```
Vs = (1+(PR/100))*Vr;  
formatSpec = 'Vs= %.4f [V]';  
fprintf(formatSpec,Vs);  
z=sqrt((R^2)+(Xl^2));  
Pmax=((Vr/z)^2)*(((z*Vs)/Vr)-R);  
formatSpec = 'Pmax= %.2f [w]';  
fprintf(formatSpec,Pmax);  
Qmax=((Vr^2)*Xl)/-z^2;  
formatSpec = 'Qmax= %.2f [Var]';  
fprintf(formatSpec,Qmax);  
tanfi=abs(Qmax/Pmax);  
fi = atan(tanfi)*180/pi;
```

```

fdp = abs(cos(fi));
formatSpec = 'Factor de potencia= %.2f';
fprintf(formatSpec,fdp);

```

b) La pérdida total en la línea de transmisión del problema planteado, mientras se suministra la potencia máxima.

```

Ir = Pmax/(Vr*fdp);
Ploss= 3*(Ir^2)*R;
formatSpec = 'Ploss= %.2f [w]';
fprintf(formatSpec,Ploss);

```

7.8. Los parámetros por fase para una línea de transmisión larga de 200 Km de longitud a 60 Hz son R=2.07 ohm, L=310.08 mH y C=1.4774 uf. La línea suministra 100 MW a la carga conectada en estrella con un voltaje de 215 kV (línea a línea) y un factor de potencia en retraso de 0.9.

Datos:

l = 200 Km

f = 60 Hz

R= 2.07 Ohm

L=310.08 mH

C=1.4774 uF

Pr = 100 MW

Vr = 215 kV

Fp = 0.9

a) El voltaje del extremo transmisor, utilizando la representación nominal-II.

b) Repita el problema, utilizando la representación del circuito nominal –T para la línea de transmisión.

SOLUCIÓN:

Datos:

```

l = 200;%Longitud de la línea (Km)
Vr = 215e3;%Voltaje en el extremo receptor(V)
Pr=100e6;%Potencia requerida por la carga (W)
f=60;%Frecuencia del sistema(Hz)
R = 2.07;%Resistencia de la línea(ohm/fase)
L=310.08e-3;%Inductancia de la línea(h)
c = 1.4774e-6;%Capacitancia de la línea(f)
Fp=0.9;%Factor de potencia

```

a) El voltaje del extremo transmisor, utilizando la representación nominal Pi.

```

VR=Vr/sqrt(3);
Ir = Pr/(sqrt(3)*Vr*Fdp);
fi=-acos(Fdp)*180/pi;
formatSpec = '- IR = %.2f∠%.2f° [A]';
fprintf(formatSpec,Ir,fi);

```



```

%Sin(fi)=0.4359 && Cos(fi)=0.9
IR = (Ir*Fdp)-j*(Ir*0.4359);
Xc2=-j/(377*0.5*c);
IcR=VR/(Xc2);
Mag=sqrt((imag(IcR))^2+(real(IcR))^2);
fi1=atan(imag(IcR)/real(IcR))*180/pi;
formatSpec = '- IcR = %.2f∠%.2f° [A]';
fprintf(formatSpec,Mag,fi1);
I=IR+IcR;
Mag1=sqrt((imag(I))^2+(real(I))^2);
fi2=atan(imag(I)/real(I))*180/pi;
formatSpec = '- Ir = %.2f∠%.2f° [A]';
fprintf(formatSpec,Mag1,fi2);
XI = j*377*L;
z=XI + R;
Mz=sqrt((imag(z))^2+(real(z))^2);
fiz=atan(imag(z)/real(z))*180/pi;
formatSpec = '- Z = %.2f∠%.2f° [Ω]';
fprintf(formatSpec,Mz,fiz);
Vs = VR + (I*z);
Ms=sqrt((imag(Vs))^2+(real(Vs))^2);
fis=atan(imag(Vs)/real(Vs))*180/pi;
formatSpec = '- Vs = %.2f∠%.2f° [V]';
fprintf(formatSpec,Ms,fis);

```

b) Repita el problema, utilizando la representación del circuito nominal –T para la línea de transmisión.

```

Vc = VR+(1/2)*IR*z;
Mc=sqrt((imag(Vc))^2+(real(Vc))^2);
fic=atan(imag(Vc)/real(Vc))*180/pi;
formatSpec = '- Vc = %.2f∠%.2f° [V]';
fprintf(formatSpec,Mc,fic);
Ic = Vc/(-j/(377*c));
Mc=sqrt((imag(Ic))^2+(real(Ic))^2);
fic=atan(imag(Ic)/real(Ic))*180/pi;
formatSpec = '- Ic = %.2f∠%.2f° [A]';
fprintf(formatSpec,Mc,fic);
Is=Ic+IR;
Ms=sqrt((imag(Is))^2+(real(Is))^2);
fis=atan(imag(Is)/real(Is))*180/pi;
formatSpec = '- Is = %.2f∠%.2f° [A]';
fprintf(formatSpec,Ms,fis);
Vs = Vc+(1/2)*Is*z;
Mvs=sqrt((imag(Vs))^2+(real(Vs))^2);
fivs=atan(imag(Vs)/real(Vs))*180/pi;
formatSpec = '- Vs = %.2f∠%.2f° [V]';
fprintf(formatSpec,Mvs,fivs);

```

7.9. Una línea trifásica alimenta a una carga de 2.4 MW y 13.2 kV, la cual se encuentra a 16Km de su fuente de generación, si se sabe que los conductores son 4/0 AWG y se considera un factor de potencia de 0.8 en retraso, para la carga $Xl=216.79e-3$ ohm/km y $R = 0.0094$ ohm/km.

Datos:

$Pr = 2.4$ MW

$Vr=13.2$ kV

$L=16$ Km

$Fp = 0.8$ en retraso

$Xl= 216.79e-3$

$R = 0.094$ ohm/km.

Determinar:

- Clasificación de la línea
- La corriente de recepción.
- El voltaje en el extremo receptor.
- El voltaje en el extremo generador.
- Eficiencia.
- Voltaje de regulación.
- Pérdidas de la línea

SOLUCIÓN:

Datos:

```
Pr=2400000;%Potencia de la carga en vatios[W]
Vr=13200;%Voltaje en el extremo receptor(V)
Fp=0.8;%Factor de potencia en retraso
Xl=216.79*10^-3;%Reactancia inductiva de la línea(Ohm/km)
r=0.094;%Resistencia de la línea(Ohm/km)
l=16;%Longitud de la línea en kilómetros(Km)
XL = Xl*l;%Reactancia inductiva de la línea(Ohm)
R=r*l;%Resistencia total de la línea(Ohm)
```

a) Clasificación de la línea de transmisión.

```
if(l<80)
    fprintf("Linea de transmisión Corta");
end
if(l>80 && l<240)
    fprintf("Linea de transmisión Media");
end
if(l>240)
    fprintf("Linea de transmisión Larga");
end
```

b) La corriente de recepción.

```
Ir=Pr/(sqrt(3)*(Vr)*Fdp);
```

```

fi=acos(Fdp)*180/pi;
an=-fi;
IR = Ir*cos(fi) + j*Ir*sin(fi);
formatSpec = '- Ir = %.2f∠%.2f° [A]';
fprintf(formatSpec,I,an);

```

c) El voltaje en el extremo receptor.

```

VR=Vr/sqrt(3);
formatSpec = 'VR= %.4f [V]';
fprintf(formatSpec,VR);

```

d) El voltaje en el extremo generador.

```

Z = (R+j*XL);
formatSpec = 'Z= %.4f∠%.4f° [Ω]';
fprintf(formatSpec,abs(Z),angle(Z)*180/pi);
Vs = (VR + (IR*Z))*sqrt(3);
formatSpec = 'Vs= %.4f∠%.4f° [V]';
VS=abs(Vs);
fprintf(formatSpec,abs(Vs),angle(Vs)*180/pi);

```

e) Eficiencia.

```

Ps=sqrt(3)*abs(Vs)*abs(Ir)*Fdp;
n=(Pr/Ps)*100;
formatSpec = 'n= %.4f %/.';
fprintf(formatSpec,n);

```

f) Voltaje de regulación.

```

s=((VS-Vr)/Vr)*100;
formatSpec = '°/.R= %.4f %/.';
fprintf(formatSpec,s);

```

g) Pérdidas de la línea.

```

Ploss = 3*(Ir^2)*R;
formatSpec = 'Ploss= %.4f [w]';
fprintf(formatSpec,Ploss)

```

7.10. Los parámetros de longitud por unidad de una línea de transmisión trifásica larga de 215 KV, 400 km, 60 Hz, son $y = j3.2 \times 10^{-6}$ S/Km y $z = (0.1 + j0.5)$ ohm/km. La línea alimenta una carga de 150 MW con un factor de potencia unitario.

Datos:

$V = 215$ kV

$L = 400$ Km

$f = 60$ Hz

$y = j3.2 \times 10^{-6}$ S/Km

$z = 0.1 + j0.5$ ohm/Km

Determine:

- La regulación de voltaje.
- La potencia del extremo transmisor.
- La eficiencia de transmisión.

SOLUCIÓN:

Datos:

```
l = 400;%Longitud de la línea (Km)
Vr = 215e3;%Voltaje en el extremo receptor(V)
Pr=150e6;%Potencia requerida por la carga (W)
f=60;%Frecuencia del sistema(Hz)
y = j*3.2e-6;%Admitancia de la línea(S/Km)
z=0.1+j*0.5;%Impedancia de la línea(Ohm/Km)
Fdp=1;%Factor de potencia
```

Desarrollo:

```
Mz=sqrt((imag(z))^2+(real(z))^2);
fiz=atan(imag(z)/real(z))*180/pi;
formatSpec = '- z = %.2e∠%.2f° [Ω]';
fprintf(formatSpec,Mz,fiz);
My=sqrt((imag(y))^2+(real(y))^2);
fiy=atan(imag(y)/real(y))*180/pi;
formatSpec = '- y = %.2e∠%.2f° [S]';
fprintf(formatSpec,My,fiy);
yl=*sqrt(z*y);
Myl=sqrt((imag(yl))^2+(real(yl))^2);
fiyl=atan(imag(yl)/real(yl))*180/pi;
formatSpec = '- yl = %.2e∠%.2f° [Rad]';
fprintf(formatSpec,Myl,fiyl);
Zc=sqrt(z/y);
Mzc=sqrt((imag(zc))^2+(real(zc))^2);
fizc=atan(imag(zc)/real(zc))*180/pi;
formatSpec = '- Zc = %.2e∠%.2f° [Ω]';
fprintf(formatSpec,Mzc,fizc);
VR=Vr/sqrt(3);
formatSpec = '- VR= %.4f [V]';
fprintf(formatSpec,VR);
lr = Pr/(sqrt(3)*VR);
formatSpec = '- lr= %.4f [A]';
fprintf(formatSpec,lr);
```

```

x1= imag(y1);
z1= real(y1);
Coshyl=(cosh(z1)*cos(x1))+j*(sinh(z1)*sin(x1));
Mcy1=sqrt((imag(Coshyl))^2+(real(Coshyl))^2);
ficy1=atan(imag(Coshyl)/real(Coshyl))*180/pi;
formatSpec = '- Coshyl = %.2e∠%.2f°';
fprintf(formatSpec,Mcy1,ficy1);
Syl=(sinh(z1)*cos(x1))+j*(cosh(z1)*sin(x1));
Msyl=sqrt((imag(Syl))^2+(real(Syl))^2);
fisy1=atan(imag(Syl)/real(Syl))*180/pi;
formatSpec = '- Senyl = %.2e∠%.2f°';
fprintf(formatSpec,Msyl,fisy1);
Vs = (VR*Coshyl)+(Ir*zc*Syl);
Mvs=sqrt((imag(Vs))^2+(real(Vs))^2);
fivs=atan(imag(Vs)/real(Vs))*180/pi;
formatSpec = '- Vs = %.2f∠%.2f° [V]';
fprintf(formatSpec,Mvs,fivs);
ls=((VR/Zc)*Syl)+(Ir*Coshyl);
Ms=sqrt((imag(ls))^2+(real(ls))^2);
fis=atan(imag(ls)/real(ls))*180/pi;
formatSpec = '- ls = %.2f∠%.2f° [A]';
fprintf(formatSpec,Ms,fis);

```

a) La regulación de voltaje.

```

VS=Vs/Coshyl;
MVs=sqrt((imag(VS))^2+(real(VS))^2);
fiVs=atan(imag(VS)/real(VS))*180/pi;
formatSpec = '- VS = %.2f∠%.2f° [V]';
fprintf(formatSpec,MVs,fiVs);
Reg=((abs(VS)-VR)/VR)*100;
formatSpec = '- Reg= %.4f %/.';
fprintf(formatSpec,Reg);

```

b) La potencia del extremo transmisor.

```

Ps=3*MVs*Ms*cos(fiVs-fis);
formatSpec = '- Ps= %.4f [w]';
fprintf(formatSpec,Ps);

```

c) La eficiencia de transmisión.

```

n=(Pr/Ps)*100;
formatSpec = 'n= %.4f %/.';
fprintf(formatSpec,n);

```

7.11. En una línea de transmisión de 60 Hz, de un solo circuito tiene 225 millas de longitud, la carga es de 125000 kW a 200 kV con un factor de Potencia 100%, cuyos datos son:

$R=0.172$ ohm/milla

$L=2.19$ ohm/millas

$C=0.0136$ uF/millas

Calcular:

- a) La impedancia.
- b) La admitancia.
- c) La constante de propagación
- d) Impedancia característica
- e) Voltaje en el extremo receptor
- f) Corriente en el extremo receptor
- g) La tensión entre línea y neutro en el extremo generador o distribuidor.
- h) La corriente entre línea neutro en el extremo generador o distribuidor.
- i) La tensión entre conductores en el extremo generador o distribuidor.
- j) Factor de potencia
- k) La potencia
- l) La regulación de Voltaje
- m) Longitud de onda β y λ
- n) La velocidad de propagación

SOLUCIÓN:

Datos

```
R=0.172;%Resistencia en ohm/milla
XL=0.822;%Reactancia Inductiva en ohm/milla
F=60 %Frecuencia en Hz
C=0.0136*10^-6 %Capacitancia en uF
G=0 %Conductancia
l=225%Longitud en Millas
L=2.19*10^-3%Inductancia
VL=200;%KV
P3f=125000%kW
```

a) La impedancia.

```
Z=R+i*XL
formatSpec = 'Z= %.4f∠%.4f°'
fprintf(formatSpec,abs(Z),angle(Z)*180/pi)

B=2*pi*F*C; %Susceptancia
Y=G+i*B
formatSpec = 'Y= %.3e∠%.2f°';
```

```
fprintf(formatSpec,abs(Y),angle(Y)*180/pi)
```

b) La admitancia.

```
gamma=sqrt(Y*Z)*i  
fprintf(formatSpec,abs(gamma),angle(gamma)*180/pi)
```

d) Impedancia característica

```
Zc=sqrt(Z/Y)  
formatSpec = 'Zc= %.2f∠%.2f°';  
fprintf(formatSpec,abs(Zc),angle(Zc)*180/pi)
```

e) Voltaje en el extremo receptor

```
VR=VL*10^3/sqrt(3)
```

f) Corriente en el extremo receptor

```
IR=P3*10^3/(VL*10^3*sqrt(3))
```

g) La tensión entre línea y neutro en el extremo generador o distribuidor.

```
alpha=real(gamma)  
beta=imag(gamma)  
eyi=exp(gamma)  
formatSpec = 'e^yi= %.2f∠%.2f°';  
fprintf(formatSpec,abs(eyi),angle(eyi)*180/pi)  
emyi=exp(-gamma);  
formatSpec = 'e^-yi= %.2f∠%.2f°';  
fprintf(formatSpec,abs(emyi),angle(emyi)*180/pi)  
coshal=(eyi+emyi)/2;  
formatSpec = 'cosh al= %.4f∠%.4f°';  
fprintf(formatSpec,abs(coshal),angle(coshal)*180/pi)  
senhal=(eyi-emyi)/2;  
formatSpec = 'senh al= %.4f∠%.4f°';  
fprintf(formatSpec,abs(senhal),angle(senhal)*180/pi)  
cosbl=cos(imag(gamma))  
senbl=sin(imag(gamma))  
coshgammal=cosh(real(gamma))*cosbl+sinh(real(gamma))*senbl*i;  
formatSpec = 'coshgammal= %.4f∠%.4f°';  
fprintf(formatSpec,abs(coshgammal),angle(coshgammal)*180/pi)  
senhgammal=sinh(real(gamma))*cosbl+cosh(real(gamma))*senbl*i;  
formatSpec = 'senhgammal= %.4f∠%.4f°';  
fprintf(formatSpec,abs(senhgammal),angle(senhgammal)*180/pi)  
Vs=VR*coshgammal+IR*senhgammal*Zc  
formatSpec = 'Vs= %.4f∠%.4f°';  
fprintf(formatSpec,abs(Vs),angle(Vs)*180/pi)
```

h) La corriente entre línea neutro en el extremo generador o distribuidor.

```
Is=IR*coshgammal+(VR/Zc)*senhgammal  
formatSpec = 'Is= %.4f∠%.4f°';  
fprintf(formatSpec,abs(Is),angle(Is)*180/pi)
```

i) La tensión entre conductores en el extremo generador o distribuidor.

```
VLed=sqrt(3)*abs(Vs)  
Isabs=abs(Is)
```

j) Factor de potencia

```
Fp=cos(angle(Vs)-angle(Is))
```

k) La potencia

```
Pot=sqrt(3)*VLed*Isabs*Fp
A=cosh(gamma)
abs(A)
formatSpec = 'A= %.4f∠%.4f°';
fprintf(formatSpec,abs(A),angle(A)*180/pi)
```

l) La regulación de Voltaje

```
PR=((abs(Vs)/abs(A)-VR)/VR)*100
PR=((abs(Vs)/abs(A)-VR)/VR)*100
```

m) Longitud de onda β y λ

```
bet=abs(gamma)/l
lambda=2*pi/bet
```

n) La velocidad de propagación

```
v=F*lambda
Kg/m]';
fprintf(formatSpec,Fr);
Fmax = ((l^2)*w1)/(8*Fr);
formatSpec = 'Fmax = %.4f [m]';
fprintf(formatSpec,Fmax);
```


GLOSARIO

Acabado

Es la capa o capas final (es) de recubrimiento con propiedades de resistencia al ambiente, pudiendo cumplir además funciones estéticas.

Adhesión

Es la tendencia de un recubrimiento a permanecer unido a una superficie.

Aislamiento

Elemento no conductor que se interpone para evitar el flujo de la corriente eléctrica de un punto a otro elemento o medio que separa 2 o más cosas.

Ambiente Marino

Son lugares a los que llegan arrastras de sales provenientes del mar, dependiendo de la topografía y condiciones meteorológicas locales.

Ambiente Industrial

Son los lugares sujetos a la acción continua o intermitente de gases, humos y polvos industriales o urbanos.

Amortiguador

Elemento que modera en los conductores aéreos la amplitud de una onda causada por viento, golpe o vibración.

Aplicación

Es el procedimiento mediante el cual se deposita un recubrimiento sobre las superficies.

Cable de Conductor

Elemento de una línea eléctrica que tiene como función específica la transmisión de corriente.

Cable de Retorno Negativo

En un sistema de protección catódica es el cable que se instala de la torre de acero (cátodo general) al polo negativo de la batería.

Cable de Guarda

Cable metálico instalado en la parte superior de la estructura de Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica, con el propósito de evitar que las descargas atmosféricas inciden sobre los conductores de fase al drenarlas a tierra.

Catenaria

Curva que forma un conductor colgado de dos puntos.

Claro Regla

Longitud del claro en el cual la tensión en el cable bajo cambios de temperatura y carga coincidirá más aproximadamente con la tensión promedio en una serie de claros con longitudes diferentes entre remates.

Claro

Es la parte de una línea aérea comprendida entre dos estructuras consecutivas.

Claro Medio Horizontal o claro de viento de una estructura

Es la semi-suma de los valores de los dos claros adyacentes a la estructura de referencia.

Claro Vertical o Claro de Peso de una estructura

Es el valor de la distancia horizontal existente entre los dos puntos más bajos de las catenarias adyacentes a la estructura de referencia.

Componente volátil

Es la parte del recubrimiento que se evapora y que proporciona fluidez al mismo.

Condiciones de Exposición

Es el conjunto de características físicas y químicas a las que está sujeta una superficie a recubrir.

Corrosión

Es el deterioro de un material (generalmente un metal) o de sus propiedades debido a la interacción con su ambiente.

Cátodo General

Todas las estructuras metálicas instaladas en las líneas de transmisión de energía eléctrica.

Derecho de Vía

Es la faja de terreno que sirve como zona de protección en la que se alojan las líneas de transmisión o ductos subterráneos, cuyo ancho depende de la tensión de las líneas y del diámetro de los ductos y que tiene por objeto brindar la mayor seguridad para su operación y mantenimiento para evitar daños tanto a las instalaciones como a terceros.

Diagrama Unifilar

Es aquel que muestra las conexiones entre dispositivos, componentes, partes de un circuito eléctrico o de un sistema de circuitos presentados mediante símbolos.

Electrodo de Referencia

También se les denomina media celda y es un metal, pero en presencia de sus mismos iones.

Electrodo de Tierra

Cuerpo conductor o conjunto de cuerpos conductores agrupados en contacto íntimo con la tierra y destinados a establecer una conexión con la misma.

Electrodo

Cada una de las terminales de un circuito eléctrico de corriente directa.

Escama de laminación

Es la capa de óxidos, formada en una superficie metálica durante su fabricación y que puede presentarse en dos formas. Fuertemente Adherida. Suelta.

Espesor Húmedo

Es el espesor de la capa del recubrimiento inmediatamente después de aplicado.

Espesor Seco

Es el espesor de la capa del recubrimiento que permanece en la superficie una vez alcanzado su secado duro.

Estructura

Es el conjunto de elementos de un sistema constructivo que constituye la base de soporte mecánico de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

Flecha

Es la distancia medida verticalmente desde el conductor hasta una línea recta imaginaria que une sus dos puntos de soporte, a menos que otra cosa se indique, la flecha siempre se mide en el punto medio del claro.

Grado de Saturación

Es la relación de la humedad específica real a la humedad específica del aire saturado a la temperatura de bulbo seco.

Herrajes y Accesorios

Son dispositivos que se utilizan para sujetar el conductor cable de guarda y las cadenas de aisladores a las estructuras o postes de las líneas de transmisión o Subtransmisión.

Herrajes

Tornillería y pailería en pequeña escala.

Humedad Específica

La humedad específica o relación de humedad se define como la relación de la masa de vapor a la masa de gas no condensable.

Humedad Relativa

Es la relación de la masa real de vapor a la masa de vapor requerida para producir una mezcla saturada a la misma temperatura.

Inhibidor de Corrosión

Es la sustancia que atenúa o controla la acción de la corrosión.

Inhibidor Fase-Vapor

Es un compuesto orgánico que al acercarse al ambiente se vaporiza controlando y reduciendo la acción de la corrosión en las superficies metálicas.

Inmersión

Son las condiciones de exposición de las superficies que están en contacto continuo con un líquido.

Libramiento a tierra

Distancia apropiada entre el circuito eléctrico y tierra.

Línea de Subtransmisión Aérea

Es aquella que transmite energía eléctrica a través de conductores desnudos, tendidos en espacios abiertos y que están soportados por estructuras o postes con los accesorios necesarios para la fijación, separación y aislamiento de los mismos conductores.

Nivel Cerámico

Número de días con tormentas eléctricas registradas en un año.

Nivel de Aislamiento

Conjunto de los valores de tensión (a la frecuencia del sistema y al impulso) que caracterizan el aislamiento de un material con relación a su aptitud para resistir los esfuerzos dieléctricos.

Nivel de protección contra impulso

Tensión máxima (valor de cresta) que se puede aplicar a un aislamiento como valor nominal de aguante.

Parámetro

Es el valor resultante de la tensión mecánica aplicada a un conductor entre el peso del mismo a una temperatura de 50 °C.

Perfil

Contorno de una cosa vista perpendicularmente a uno de sus lados o dibujo que representa el corte transversal de la trayectoria de una Línea de Subtransmisión, y en el cual se localizan las estructuras y las catenarias de los cables.

Recubrimiento Anticorrosivo

Es un material que se aplica sobre una superficie, con la finalidad de protegerla de la acción de la corrosión, aislándola del ambiente en que se encuentra y cuyo espesor es mayor de 50 micrómetros.

Resistividad

Es la resistencia específica de un material en ohm-un que se determina sobre una muestra del mismo que tenga un cm de longitud y un cm² de sección transversal.

Sustancias Contaminantes (en una superficie)

Es cualquier sustancia extraña a la superficie tal como: sales, polvos, aceite, grasa, suciedad, óxidos, escamas de laminación o agua.

Sistema de Tierras

Conjunto de elementos para disipar la corriente de falla o de descargas atmosféricas en Líneas de Subtransmisión; incluye: cable de guarda, cola de rata, estructura, conductor a tierra, tierra natural o artificial y electrodos.

Sobretensión

Tensión anormal entre dos puntos de un sistema cuyo valor es mayor que el valor más elevado que puede existir entre dichos puntos en servicio normal.

Temperatura Máxima

Dentro de una serie de datos estadísticos la temperatura máxima, es el valor máximo de temperatura registrado (50 °C).

Temperatura mínima

Dentro de una serie de datos estadísticos la temperatura mínima es el valor mínimo de temperatura registrado (-10 °C).

Temperatura Media

Es el valor de temperatura registrado en condiciones no extremas en nuestro caso (20 °C).

Tensión Mecánica de Ruptura

Esfuerzo último a la tensión que soportan los conductores.

Voltaje de Paso (Vp)

Es la tensión que resulta entre los pies de una persona apoyada en el suelo a la distancia de un metro.

Voltaje Eléctrico

Es la diferencia de potencial eficaz (RMS) entre dos fases. Los voltajes son valores nominales a 1 menos que se indique otra cosa. El voltaje nominal de un sistema o circuito es el valor de designación del mismo al que están referidas ciertas características de operación. El voltaje de operación puede variar arriba o abajo de este valor.

Voltaje de un circuito efectivamente conectado a tierra

Es la tensión nominal entre cualquier fase de circuito y tierra.

Tensión de Contacto (V_c)

El voltaje al cual se puede ver sometido el cuerpo humano por contacto con una carcasa o estructura metálica de una máquina, aparato eléctrico o estructura de montaje, que en condiciones normales no se encuentra con tensión.

Resistencia eléctrica del cuerpo humano la resistencia interna de cuerpo humano es de aproximadamente de 200Ω la resistencia de contacto entre una mano y un conductor o una parte metálica bajo tensión varía dentro de límites muy amplios, según sea la extensión y la naturaleza de la superficie de contacto de la naturaleza de la piel de las personas (lisa o callosa), del grado de humedad de la piel, etc.

La resistencia de contacto entre el pie y el suelo condiciones del calzado y del suelo, por citar alguna cifra que sirva como ejemplo se puede decir que la resistencia del cuerpo humano (incluyendo la resistencia de contacto) puede alcanzar valores del orden de $200,000 \Omega$ en el caso de una persona con manos callosas y secas con calzado para trabajo eléctrico y suelo seco, y puede descender a valores del orden de 500Ω en el caso de personas con manos lisas y húmedas, con calzado normal y en suelo buen conductor (baja resistividad superficial).

En la mayoría de los casos la resistividad de contactos es elevada por lo que de acuerdo con las normas internacionales se recomienda una resistividad de 3000Ω .

Voltaje de Diseño

Voltaje asignado a un circuito o sistema de clase de tensión conocida para propósitos de diseño.

Tensiones de Seguridad

Se recomienda que en ningún punto de una instalación eléctrica se deben presentar tensiones de paso o de contacto superiores a los siguientes valores:

- 60 V cuando no se prevé la eliminación rápida de una falla de líneas a tierra.
- 120 V cuando la falla se elimine en un período máximo de un segundo.

Voltaje de Umbral de Ionización

Valor eficaz del voltaje a la frecuencia del sistema para la cual empiezan a aparecer los efluvios. La medida de intensidad se hace bajo condiciones especificadas.

Transposición

Cambio de la posición de los conductores de una línea con el objeto de establecer una simetría eléctrica adecuada entre dichos conductores, entre estos y tierra o con relación a líneas vecinas.

Vibración Eólica

Son las vibraciones que se producen como resultado de la acción del viento, que ocasiona presiones alternas y desbalanceadas que mueven el cable hacia arriba y hacia abajo.

Zona Climática

Es la agrupación de zonas de la República del Ecuador, conforme a condiciones meteorológicas similares.

Zona Climática seca, desértica o estepario son zonas con poca lluvia, precipitaciones pluviales anuales menores de 320 mm y con temperaturas medias anuales alrededor de 18 °C y la del mes frío entre -3 °C y 18 °C.

Zona Rural

Son las localidades o áreas con menos de 2500 habitantes.

Zona Urbana

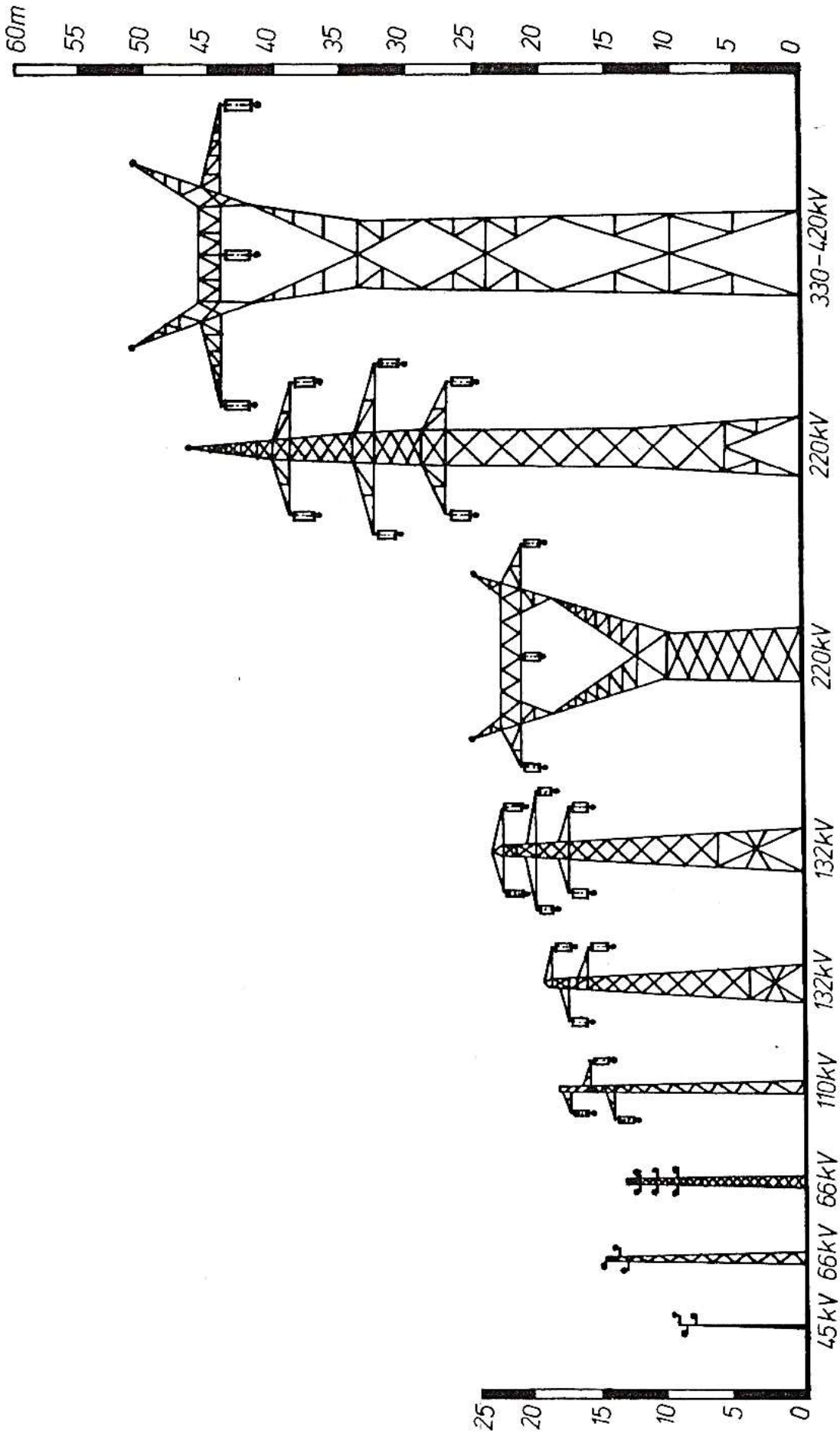
Son localidades o áreas con 2500 habitantes o más, o bien las cabeceras municipales independientemente del número de habitantes.

8. Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. E. Haper, Lineas de transmision y redes de distribucion de potencia electrica, Mexico: volumen 1, 1978.
- [2] W. Stevenson y J. Grainger, Analisis de sistemas electricos de potencia, Mexico: Mc Graw-Hill, 1890.
- [3] S. Nasar, Sistemas electricos de potencia, Mexico: McGRAW-HILL-INTERAMERICANA DE MEXICO, 1991.
- [4] A. Fitzgerald y C. Kigsley, The Dinamics and Statics of Electromechanical Energy Conversion, Nueva York: McGraw-Hill, 1961.
- [5] «WordPress.org,» [En línea]. Available: www.varoned.wordpress.com/category/generadores-eolicos.
- [6] h.beanivi.es/otor_electrico_asincrono_ises_ie2, «Conversion de la energia».
- [7] G. E. Harper, Lineas de transmision y redes de distribucion de potencia electrica volumen 2., Mexico: Limusa, 1978.
- [8] J. Grainger y W. Stevenson, Power System Analysis, McGraw-Hill, 1994.
- [9] «eleconve,» [En línea]. Available: http://www.eleconve.com/pages/Aluminio/ele_prod_condAlu.htm.
- [10] «CENACE,» [En línea]. Available: http://www.cenace.org.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=7:phocatunifsni&Itemid=1#.

9.Anexos



A2.

CÓDIGO	Calibre (AWG o kcmil)	Sección transversal (mm ²)	Construcción				Diámetro del conductor (mm)	Peso Total (kg / km)	Carga de Ruptura (kg)	Resistencia a C.C. a 20°C ohm/km	Capacidad de Corriente (Amp.)
			No. Hilos		Diámetros Hilos (mm)						
			Aluminio	Acero	Aluminio	Acero					
Turkey	6	13,3	6	1	1,680	1,680	5,04	53,74	530	2,154	105
Swan	4	21,15	6	1	2,120	2,120	6,36	85,49	830	1,353	140
Sparrow	2	33,62	6	1	2,672	2,672	8,02	136,31	1265	0,8507	184
Raven	1/0	53,49	6	1	3,370	3,370	10,11	216,86	1940	0,5351	242
Quail	2/0	67,43	6	1	3,783	3,783	11,35	273,34	2425	0,4245	276
Pigeon	3/0	85,01	6	1	4,250	4,250	12,75	344,72	3030	0,3367	315
Penguin	4/0	107,2	6	1	4,770	4,770	14,31	434,56	3820	0,2671	357
Wawing	266,8	135,19	18	1	3,092	3,092	15,46	429,93	3210	0,2126	449
Partridge	266,8	135,19	26	7	2,573	2,000	16,28	543,73	5100	0,2117	457
Ostrich	300	152	26	7	2,730	2,120	17,28	611,22	5730	0,19	492
Piper	300	152	30	7	2,540	2,540	17,78	695,80	7000	0,1902	490
Merlin	336,4	170,45	18	1	3,472	3,472	17,36	542,09	4060	0,1686	519
Linnet	336,4	170,45	26	7	2,890	2,250	18,31	686,39	6375	0,1671	529
Oriole	336,4	170,45	30	7	2,690	2,690	18,83	780,30	7735	0,1666	535
Chickade	397,5	201,41	18	1	3,770	3,770	18,85	640,35	4717	0,1427	576
Brant	397,5	201,41	24	7	3,270	2,180	19,61	757,94	6622	0,1418	584
Ibis	397,5	201,41	26	7	3,140	2,440	19,88	809,84	7340	0,1414	587
Lark	397,5	201,41	30	7	2,920	2,920	20,44	920,98	9060	0,1405	594
Pelikan	477	241,70	18	1	4,135	4,135	20,68	768,69	5579	0,1189	646
Flicker	477	241,70	24	7	3,581	2,390	21,48	909,93	7802	0,1175	655
Hawk	477	241,70	26	7	3,440	2,680	21,80	973,45	8820	0,1175	659
Hen	477	241,70	30	7	3,200	3,200	22,40	1105,54	10590	0,117	666
Heron	500	253,35	30	7	3,279	3,279	22,95	1159,63	11090	0,1141	694
Osprey	556,5	281,98	18	1	4,466	4,466	23,22	896,78	6215	0,1015	711
Parakeet	556,5	281,98	24	7	3,870	2,580	23,22	1061,25	9004	0,101	721
Dove	556,5	281,98	26	7	3,720	2,890	23,55	1134,51	10140	0,1007	726
Eagle	556,5	281,98	30	7	3,460	3,460	24,22	1290,87	12360	0,1001	794
Peacock	605	306,55	24	7	4,030	2,690	24,21	1153,73	9798	0,0942	760
Squab	605	306,55	26	7	3,870	3,010	24,54	1232,52	10954	0,0941	765
Teal	605	306,55	30	19	3,610	2,160	25,25	1388,20	13630	0,09402	773
Rook	636	322,26	24	7	4,140	2,760	24,82	1213,31	10274	0,08966	784
Grosbeck	636	322,26	26	7	3,970	3,090	25,15	1296,70	11340	0,08953	789
Egrel	636	322,26	30	19	3,700	2,220	25,90	1462,12	14330	0,08948	798
Flamingo	666,6	337,77	24	7	4,234	2,822	25,40	1270,80	10773	0,0855	817
Starling	715,5	362,54	26	7	4,210	3,280	26,68	1459,52	12750	0,07966	849
Redwing	715,5	362,54	30	19	3,920	2,350	27,43	1642,31	15690	0,07958	859
Drake	795	402,83	26	7	4,440	3,450	28,11	1619,47	14290	0,07051	907
Mallard	795	402,83	30	19	4,140	2,480	28,96	1826,46	17440	0,06977	918

Capacidad de corriente basada en una temperatura del conductor de 75°C, temperatura ambiente de 25°C, velocidad del viento de 0,61 m/seg y con efecto del sol.

TABLE A.3
Electrical characteristics of bare aluminum conductors steel-reinforced (ACSR)*

Code word	Aluminum area, cmil	Stranding Al/St	Layers of aluminum	Outside diameter, in	Resistance			GMR D _s ft	Reactance per conductor 1-ft spacing, 60 Hz	
					Dc, 20°C, Ω/1,000ft	Ac, 60 Hz			Inductive X _a , Ω/mi	Capacitive X _b , MΩ·mi
						20°C, Ω/mi	50°C, Ω/mi			
Waxwing	266.800	18/1	2	0.609	0.0646	0.3488	0.3831	0.0198	0.476	0.1090
Partridge	266.800	26/7	2	0.642	0.0640	0.3452	0.3792	0.0217	0.465	0.1074
Ostrich	300.000	26/7	2	0.680	0.0569	0.3070	0.3372	0.0229	0.458	0.1057
Merlin	336.400	18/1	2	0.684	0.0512	0.2767	0.3037	0.0222	0.462	0.1055
Linnet	336.400	26/7	2	0.721	0.0507	0.2737	0.3006	0.0243	0.451	0.1040
Oriole	336.400	30/7	2	0.741	0.0504	0.2719	0.2987	0.0255	0.445	0.1032
Chickadee	397.500	18/1	2	0.743	0.0433	0.2342	0.2572	0.0241	0.452	0.1031
Ibis	397.500	26/7	2	0.783	0.0430	0.2323	0.2551	0.0264	0.441	0.1015
Pelican	477.000	18/1	2	0.814	0.0361	0.1957	0.2148	0.0264	0.441	0.1004
Flicker	477.000	24/7	2	0.846	0.0359	0.1943	0.2134	0.0284	0.432	0.0992
Hawk	477.000	26/7	2	0.858	0.0357	0.1931	0.2120	0.0289	0.430	0.0988
Hen	477.000	30/7	2	0.883	0.0355	0.1919	0.2107	0.0304	0.424	0.0980
Osprey	556.500	18/1	2	0.879	0.0309	0.1679	0.1843	0.0284	0.432	0.0981
Parakeet	556.500	24/7	2	0.914	0.0308	0.1669	0.1832	0.0306	0.423	0.0969
Dove	556.500	26/7	2	0.927	0.0307	0.1663	0.1826	0.0314	0.420	0.0965
Rook	636.000	24/7	2	0.977	0.0269	0.1461	0.1603	0.0327	0.415	0.0950
Grosbeak	636.000	26/7	2	0.990	0.0268	0.1454	0.1596	0.0335	0.412	0.0946
Drake	795.000	26/7	2	1.108	0.0215	0.1172	0.1284	0.0373	0.399	0.0912
Tern	795.000	45/7	3	1.063	0.0217	0.1188	0.1302	0.0352	0.406	0.0925
Rail	954.000	45/7	3	1.165	0.0181	0.0997	0.1092	0.0386	0.395	0.0897
Cardinal	954.000	54/7	3	1.196	0.0180	0.0988	0.1082	0.0402	0.390	0.0800
Ortolan	1.033.500	45/7	3	1.213	0.0167	0.0924	0.1011	0.0402	0.390	0.0885
Bluejay	1.113.000	45/7	3	1.259	0.0155	0.0861	0.0941	0.0415	0.386	0.0874
Finch	1.113.000	54/19	3	1.293	0.0155	0.0856	0.0937	0.0436	0.380	0.0866
Bittern	1.272.000	45/7	3	1.345	0.0136	0.0762	0.0832	0.0444	0.378	0.0855
Pheasant	1.272.000	54/19	3	1.382	0.0135	0.0751	0.0821	0.0466	0.372	0.0847
Bobolink	1.431.000	45/7	3	1.427	0.0121	0.0684	0.0746	0.0470	0.371	0.0837
Plover	1.431.000	54/19	3	1.465	0.0120	0.0673	0.0735	0.0494	0.365	0.0829
Lapwing	1.590.000	45/7	3	1.502	0.0109	0.0623	0.0678	0.0498	0.364	0.0822
Falcon	1.590.000	54/19	3	1.545	0.0108	0.0612	0.0667	0.0523	0.358	0.0814
Bluebird	2.156.000	84/19	4	1.762	0.0080	0.0476	0.0515	0.0586	0.344	0.0776

* Most used multilayer sizes.

** Data, by permission, from Aluminum Association, *Aluminum Electrical Conductor Handbook*, 2nd ed., Washington, D.C., 1982.

TABLE A.4 Inductive reactance spacing factor X_d at 60 Hz* (ohms per mile per conductor)

Feet	Separation Inches											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-0,3015	-0,2174	-0,1682	-0,1333	-0,1062	-0,0841	-0,0654	-0,0492	-0,0349	-0,0221	-0,0106
1	0,0000	0,0097	0,0187	0,0271	0,0349	0,0423	0,0492	0,0558	0,0620	0,0679	0,0735	0,0789
2	0,0841	0,0891	0,0938	0,0984	0,1028	0,1071	0,1112	0,1152	0,1190	0,1227	0,1264	0,1299
3	0,1333	0,1366	0,1399	0,1430	0,1461	0,1491	0,1520	0,1549	0,1577	0,1604	0,1631	0,1657
4	0,1682	0,1707	0,1732	0,1756	0,1779	0,1802	0,1825	0,1847	0,1869	0,1891	0,1912	0,1933
5	0,1953	0,1973	0,1993	0,2012	0,2031	0,2050	0,2069	0,2087	0,2105	0,2123	0,2140	0,2157
6	0,2174	0,2191	0,2207	0,2224	0,2240	0,2256	0,2271	0,2287	0,2302	0,2317	0,2332	0,2347
7	0,2361	0,2376	0,2390	0,2404	0,2418	0,2431	0,2445	0,2458	0,2472	0,2485	0,2498	0,2511
8	0,2523											
9	0,2666											
10	0,2794											
11	0,2910											
12	0,3015											
13	0,3112											
14	0,3202											
15	0,3286											
16	0,3364											
17	0,3438											
18	0,3507											
19	0,3573											
20	0,3635											
21	0,3694											
22	0,3751											
23	0,3805											
24	0,3856											
25	0,3906											
26	0,3953											
27	0,3999											
28	0,4043											
29	0,4086											
30	0,4127											
31	0,4167											
32	0,4205											
33	0,4243											
34	0,4279											
35	0,4314											
36	0,4348											

At 60 Hz, in Ω /mi per conductor
 $X_d = 0.2794 \log d$
 $d =$ separation, ft
 For three-phase lines
 $d = D_{eq}$

[8]

37	0.4382
38	0.4414
39	0.4445
40	0.4476
41	0.4506
42	0.4535
43	0.4564
44	0.4592
45	0.4619
46	0.4646
47	0.4672
48	0.4697
49	0.4722

* From *Electrical Transmission and Distribution Reference Book*, by permission of the ABB Power T & D Company, Inc.

TABLE A.5 Shunt capacitance-reactance spacing factor X_d at 10 Hz (megaohm-miles per conductor)

Feet	Separation											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-0,0737	-0,0532	-0,0411	-0,0326	-0,0260	-0,0206	-0,0160	-0,0120	-0,0085	-0,0054	-0,0026
1	0,0000	0,0024	0,0046	0,0066	0,0085	0,0103	0,0120	0,0136	0,0152	0,0166	0,0180	0,0193
2	0,0206	0,0218	0,0229	0,0241	0,0251	0,0262	0,0272	0,0282	0,0291	0,0300	0,0309	0,0318
3	0,0326	0,0334	0,0342	0,0350	0,0357	0,0365	0,0372	0,0379	0,0385	0,0392	0,0399	0,0405
4	0,0411	0,0417	0,0423	0,0429	0,0435	0,0441	0,0446	0,0452	0,0457	0,0462	0,0467	0,0473
5	0,0478	0,0482	0,0487	0,0492	0,0497	0,0501	0,0506	0,0510	0,0515	0,0519	0,0523	0,0527
6	0,0532	0,0536	0,0540	0,0544	0,0548	0,0552	0,0555	0,0559	0,0563	0,0567	0,0570	0,0574
7	0,0577	0,0581	0,0584	0,0588	0,0591	0,0594	0,0598	0,0601	0,0604	0,0608	0,0611	0,0614
8	0,0617											
9	0,0652											
10	0,0683											
11	0,0711											
12	0,0737											
13	0,0761											
14	0,0783											
15	0,0803											
16	0,0823											
17	0,0841											
18	0,0858											
19	0,0874											
20	0,0889											
21	0,0903											
22	0,0917											
23	0,0930											
24	0,0943											
25	0,0955											
26	0,0967											
27	0,0978											
28	0,0989											
29	0,0999											
30	0,1009											
31	0,1019											
32	0,1028											
33	0,1037											
34	0,1046											
35	0,1055											
36	0,1063											

At 60 Hz, in MΩ.mi per conductor
 $X_d' = 0.06831 \log d$
 $d = \text{separation, ft}$
 For three-phase lines
 $d = \text{Deg}$

[8]

37	0.1071
38	0.1079
39	0.1087
40	0.1094
41	0.1102
42	0.1109
43	0.1116
44	0.1123
45	0.1129
46	0.1136
47	0.1142
48	0.1149
49	0.1155

* From *Electrical Transmission and Distribution Reference Book*, by permission of the ABB Power T & D Company, Inc.

DIAMETRO EN CER.MIL O A.W.G. PARA ALUMINIO	ALUMINIO		ACERO		DIA. METR. O EXTERIOR	EQUIVALENTE EN COBRE MIL O A.W.G.	ESFUERZO DE ROTURA LB	PESO LEANILA	RADIO MEDIO GEOMETRICO A 60 HZ FT	CAPACIDAD EN P.D.C. DE COBRE ARRIENTE	RESISTENCIA Ω/MILLA CONDUCTOR			REACTANCIA INDUCTIVA MILLA CONDUCTOR			REACTANCIA CAPACITIVA G/MILLA CONDUCTOR		
	DIAM. TRODE	HUILOS	DIAM. TRODE	HUILOS							25°C (77°F) PEQUEÑAS CORRIENTES	50°C (122°F) CORRIENTE APROX. 75% DE LA CAPACIDAD	50 HZ.	60 HZ.	60 HZ.	50 HZ.	60 HZ.	50 HZ.	60 HZ.
1390 000	6	1	0.1090	19	1.545	1000 000	56 000	10 777	0.0330	1389	0.0387	0.0390	0.0646	0.0675	0.0684	0.299	0.359	0.0977	0.0814
1310 000	6	1	0.1070	19	1.536	950 000	50 000	9 237	0.0317	1340	0.0363	0.0362	0.0622	0.0650	0.0659	0.302	0.362	0.0981	0.0811
1230 000	6	1	0.1050	19	1.527	900 000	45 000	8 596	0.0304	1291	0.0350	0.0349	0.0602	0.0630	0.0639	0.304	0.364	0.1006	0.0833
1150 000	6	1	0.1030	19	1.518	850 000	40 000	7 955	0.0291	1242	0.0333	0.0332	0.0575	0.0603	0.0612	0.306	0.366	0.1031	0.0858
1070 000	6	1	0.1010	19	1.509	800 000	35 000	7 314	0.0278	1193	0.0316	0.0315	0.0549	0.0577	0.0586	0.308	0.368	0.1056	0.0883
990 000	6	1	0.0990	19	1.500	750 000	30 000	6 673	0.0265	1144	0.0299	0.0298	0.0524	0.0552	0.0561	0.310	0.370	0.1081	0.0908
910 000	6	1	0.0970	19	1.491	700 000	25 000	6 032	0.0252	1095	0.0282	0.0281	0.0500	0.0528	0.0537	0.312	0.372	0.1106	0.0933
830 000	6	1	0.0950	19	1.482	650 000	20 000	5 391	0.0239	1046	0.0265	0.0264	0.0475	0.0503	0.0512	0.314	0.374	0.1131	0.0958
750 000	6	1	0.0930	19	1.473	600 000	15 000	4 750	0.0226	997	0.0248	0.0247	0.0450	0.0478	0.0487	0.316	0.376	0.1156	0.0983
670 000	6	1	0.0910	19	1.464	550 000	10 000	4 109	0.0213	948	0.0231	0.0230	0.0425	0.0453	0.0462	0.318	0.378	0.1181	0.1008
590 000	6	1	0.0890	19	1.455	500 000	5 000	3 468	0.0200	899	0.0214	0.0213	0.0400	0.0428	0.0437	0.320	0.380	0.1206	0.1033
510 000	6	1	0.0870	19	1.446	450 000	0	2 827	0.0187	850	0.0197	0.0196	0.0375	0.0403	0.0412	0.322	0.382	0.1231	0.1058
430 000	6	1	0.0850	19	1.437	400 000	0	2 186	0.0174	801	0.0180	0.0179	0.0350	0.0378	0.0387	0.324	0.384	0.1256	0.1083
350 000	6	1	0.0830	19	1.428	350 000	0	1 545	0.0161	752	0.0163	0.0162	0.0325	0.0353	0.0362	0.326	0.386	0.1281	0.1108
270 000	6	1	0.0810	19	1.419	300 000	0	904	0.0148	703	0.0146	0.0145	0.0300	0.0328	0.0337	0.328	0.388	0.1306	0.1133
190 000	6	1	0.0790	19	1.410	250 000	0	3 468	0.0135	654	0.0133	0.0132	0.0275	0.0303	0.0312	0.330	0.390	0.1331	0.1158
110 000	6	1	0.0770	19	1.401	200 000	0	2 827	0.0122	605	0.0120	0.0119	0.0250	0.0278	0.0287	0.332	0.392	0.1356	0.1183
30 000	6	1	0.0750	19	1.392	150 000	0	2 186	0.0109	556	0.0107	0.0106	0.0225	0.0253	0.0262	0.334	0.394	0.1381	0.1208
10 000	6	1	0.0730	19	1.383	100 000	0	1 545	0.0096	507	0.0094	0.0093	0.0200	0.0228	0.0237	0.336	0.396	0.1406	0.1233
5 000	6	1	0.0710	19	1.374	50 000	0	904	0.0083	458	0.0081	0.0080	0.0175	0.0203	0.0212	0.338	0.398	0.1431	0.1258
2 500	6	1	0.0690	19	1.365	0	0	3 468	0.0070	409	0.0068	0.0067	0.0150	0.0178	0.0187	0.340	0.400	0.1456	0.1283
1 250	6	1	0.0670	19	1.356	0	0	2 827	0.0057	360	0.0055	0.0054	0.0125	0.0153	0.0162	0.342	0.402	0.1481	0.1308
625	6	1	0.0650	19	1.347	0	0	2 186	0.0044	311	0.0042	0.0041	0.0100	0.0128	0.0137	0.344	0.404	0.1506	0.1333
312	6	1	0.0630	19	1.338	0	0	1 545	0.0031	262	0.0029	0.0028	0.0075	0.0103	0.0112	0.346	0.406	0.1531	0.1358
156	6	1	0.0610	19	1.329	0	0	904	0.0018	213	0.0016	0.0015	0.0050	0.0078	0.0087	0.348	0.408	0.1556	0.1383
78	6	1	0.0590	19	1.320	0	0	3 468	0.0005	164	0.0003	0.0002	0.0025	0.0053	0.0062	0.350	0.410	0.1581	0.1408
39	6	1	0.0570	19	1.311	0	0	2 827	0.0002	115	0.0001	0.0000	0.0000	0.0028	0.0037	0.352	0.412	0.1606	0.1433
19	6	1	0.0550	19	1.302	0	0	2 186	0.0001	66	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0024	0.354	0.414	0.1631	0.1458
9	6	1	0.0530	19	1.293	0	0	1 545	0.0000	17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0011	0.356	0.416	0.1656	0.1483
4	6	1	0.0510	19	1.284	0	0	904	0.0000	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.358	0.418	0.1681	0.1508
2	6	1	0.0490	19	1.275	0	0	3 468	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.360	0.420	0.1706	0.1533
1	6	1	0.0470	19	1.266	0	0	2 827	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0023	0.362	0.422	0.1731	0.1558
0	6	1	0.0450	19	1.257	0	0	2 186	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.364	0.424	0.1756	0.1583
0	6	1	0.0430	19	1.248	0	0	1 545	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0037	0.366	0.426	0.1781	0.1608
0	6	1	0.0410	19	1.239	0	0	904	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0044	0.368	0.428	0.1806	0.1633
0	6	1	0.0390	19	1.230	0	0	3 468	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0051	0.370	0.430	0.1831	0.1658
0	6	1	0.0370	19	1.221	0	0	2 827	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0058	0.372	0.432	0.1856	0.1683
0	6	1	0.0350	19	1.212	0	0	2 186	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0065	0.374	0.434	0.1881	0.1708
0	6	1	0.0330	19	1.203	0	0	1 545	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0072	0.376	0.436	0.1906	0.1733
0	6	1	0.0310	19	1.194	0	0	904	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0079	0.378	0.438	0.1931	0.1758
0	6	1	0.0290	19	1.185	0	0	3 468	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0086	0.380	0.440	0.1956	0.1783
0	6	1	0.0270	19	1.176	0	0	2 827	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0093	0.382	0.442	0.1981	0.1808
0	6	1	0.0250	19	1.167	0	0	2 186	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0100	0.384	0.444	0.2006	0.1833
0	6	1	0.0230	19	1.158	0	0	1 545	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0107	0.386	0.446	0.2031	0.1858
0	6	1	0.0210	19	1.149	0	0	904	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0114	0.388	0.448	0.2056	0.1883
0	6	1	0.0190	19	1.140	0	0	3 468	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0121	0.390	0.450	0.2081	0.1908
0	6	1	0.0170	19	1.131	0	0	2 827	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0128	0.392	0.452	0.2106	0.1933
0	6	1	0.0150	19	1.122	0	0	2 186	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0135	0.394	0.454	0.2131	0.1958
0	6	1	0.0130	19	1.113	0	0	1 545	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0142	0.396	0.456	0.2156	0.1983
0	6	1	0.0110	19	1.104	0	0	904	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0149	0.398	0.458	0.2181	0.2008
0	6	1	0.0090	19	1.095	0	0	3 468	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0156	0.400	0.460	0.2206	0.2033
0	6	1	0.0070	19	1.086	0	0	2 827	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0163	0.402	0.462	0.2231	0.2058
0	6	1	0.0050	19	1.077	0	0	2 186	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0170	0.404	0.464	0.2256	0.2083
0	6	1	0.0030	19	1.068	0	0	1 545	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0177	0.406	0.466	0.2281	0.2108
0	6	1	0.0010	19	1.059	0	0	904	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0184	0.408	0.468	0.2306	0.2133
0	6	1	0.0000	19	1.050	0	0	3 468	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0191	0.410	0.470	0.2331	0.2158
0	6	1	0.0000	19	1.041	0	0	2 827	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0198	0.412	0.472	0.2356	0.2183
0	6	1	0.0000	19	1.032	0	0	2 186	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0205	0.414	0.474	0.2381	0.2208
0	6	1	0.0000	19	1.023	0	0	1 545	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0212	0.416	0.476	0.2406	0.2233
0	6	1	0.0000	19	1.014	0	0	904	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0219	0.418	0.478	0.2431	0.2258
0	6	1	0.0000	19	1.005	0	0	3 468	0.0000	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0226	0.420	0.480	0.2456	0.2283
0	6	1	0.0000	19	0.996	0	0	2 827	0.0000	0									

A7.

TABLA I: PRINCIPALES CONDUCTORES AAC (6201)

Nombre	Calibre (*) AWG o MCM	Construcción		Ø mm Conduc.	Peso Aprox. Kg/km	Carga Rotura Nominal en kg.	Ω/km DC a 20°C	Corriente Nominal Amp.
		Nº Hilos	Ø Hilo (mm)					
AMES	2	7	2,67	8,01	108	1270	0,853	191
AZUSA	1/0	7	3,37	10,11	171	2023	0,536	256
ANAHEIM	2/0	7	3,78	11,34	216	2445	0,425	296
AMHERST	3/0	7	4,25	12,75	273	3080	0,338	342
ALLIANCE	4/0	7	4,77	14,31	343	3883	0,268	395
BUTTE	226,8	19	3,26	16,30	435	4989	0,211	460
CANTON	336,4	19	3,66	18,30	549	6033	0,168	532
CAIRO	397,5	19	3,98	19,90	649	7076	0,142	590
DARIÉN	477	19	4,36	21,80	778	8527	0,118	663
ELGIN	556,5	19	4,71	23,55	908	9934	0,101	729
FLINT	636	37	3,59	25,15	1028	11068	0,0892	790
GREELY	795	37	4,02	28,15	1289	13834	0,0713	908

(*) Calibre ACSR equivalente.

TABLA II: PRINCIPALES CONDUCTORES AAC (1350)

Nombre	Calibre AWG o MCM	Construcción		Ø mm Conduc.	Peso Aprox. Kg/km	Carga Rotura Nominal en kg.	Ω/km DC a 20°C	Corriente Nominal Amp.
		Nº Hilos	Ø Hilo (mm)					
PEACHBELL	6	7	1,55	4,66	37	255	2,160	103
ROSE	4	7	1,96	5,88	58	583	1,360	138
IRIS	2	7	2,47	7,42	92	612	0,854	185
POPPY	1/0	7	3,12	9,36	148	903	0,538	247
ASTER	2/0	7	3,50	10,50	186	1139	0,426	286
PHLOX	3/0	7	3,93	11,80	235	1379	0,338	331
OXLIP	4/0	7	4,42	13,25	296	1737	0,268	383
DAISY	266,8	7	4,96	14,88	373	2191	0,213	443
TULIP	336,4	19	3,38	16,90	471	2790	0,169	513
COSMOS	477	19	4,02	20,15	666	3792	0,119	639
ORCHID	636	37	3,33	23,30	889	5171	0,0892	765
MAGNOLIA	954	37	4,08	28,55	1332	7439	0,0594	982
NARCISSUS	1272	61	3,67	33,00	1779	9979	0,0446	1169
COREOPSIS	1590	61	4,10	36,90	2222	12247	0,0357	1337

HC157/01/AGOS-04

ELECTROCONDUCTORES, C.A - Oficina de Administración: a/c Av. Valencia, Qta. Elecon. Urb. Las Palmas, Caracas - Apartado 6441 -
Telf.: (0212) 7823812 - 3245 - 3411, E-mail: eleconccs@cantv.net - Página Web: www.elecon.com.ve

[9]

A8.

TABLA III: PRINCIPALES CONDUCTORES ACAR (1350+6201)

Calibre MCM	Construcción		Peso Aprox. Kg/km	Carga rotura nominal kg.	Ω /km DC a 20°C
	Hilos 1350/6201	\varnothing Hilo (mm)			
250	15/4 - 12/7	2,913	349	2430 - 2750	0,235 - 0,240
350	15/4 - 12/7	3,447	488	3315 - 3735	0,168 - 0,172
400	15/4 - 12/7	3,685	558	3735 - 3745	0,147 - 0,135
500	15/4 - 12/7, 33/4 - 30/7 - 24/13 - 18/19	4,120 2,951	698	4620 - 5240. 4440 - 4795 - 5285 - 5860	0,117 - 0,120, 0,116 - 0,117 - 0,120 - 0,123
650	33/4 - 30/7 - 24/13 - 18/19	3,360	907	5680 - 6130 - 6800 - 7600	0,089 - 0,090 - 0,092 - 0,095
750	33/4 - 30/7 - 24/13 - 18/19	3,617	1050	6400 - 6930 - 7600 - 8440	0,077 - 0,078 - 0,080 - 0,082
900	33/4 - 30/7 - 24/13 - 18/19	3,962	1256	7550 - 8170 - 9015 - 9950	0,064 - 0,065 - 0,067 - 0,068
1,100	33/4 - 30/7 - 24/13 - 18/19	4,379	1537	9190 - 9990 - 11010 - 12300	0,053 - 0,053 - 0,054 - 0,056
1.300	33/4 - 30/7 - 24/13 - 18/19	4,760	1818	10880- 11810- 13000- 14520	0,044 - 0,045 - 0,046 - 0,047

TABLA VI: PRINCIPALES CONDUCTORES ACSR (1350+Acero)

Nombre	Calibre AWG o MCM	Construcción		Peso Aprox. Kg/km	Carga rotura nominal kg.	Ω /km DC a 20°C
		Hilos 1350/Acero	\varnothing Hilo (mm)			
SWAN	4	6/1	2,12	87	844	1,320
SPARROW	2	6/1	2,67	138	1293	0,832
RAVEN	1/0	6/1	3,37	219	1987	0,523
QUAIL	2/0	6/1	3,78	276	2404	0,415
PIGEON	3/0	6/1	4,25	348	3003	0,329
PENGUIN	4/0	6/1	4,77	439	3787	0,261
PARTRIDGE	266,8	26/7	2,57/2,00	549	5126	0,209
OSTRICH	300	26/7	2,73/2,12	617	5761	0,186
LINNET	336,4	26/7	2,89/2,25	693	6396	0,166
HEN	477	30/7	3,20	1118	10795	0,116
PARAKEET	556,5	24/7	3,87/2,58	1070	8981	0,101
SQUAB	605	26/7	3,87/3,01	1244	11022	0,0922
ROOK	636	24/7	4,14/2,72	1223	10251	0,0881
CANARY	954	54/7	3,38	1835	15331	0,0587

[9]

Víctor F. Nasimba Medina

Recibió su título de tercer nivel en la Escuela Superior Politécnica del Ejercito (ESPE) como Ingeniero Electromecánico el año 1997 en Ecuador, es profesor en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo desde el año 2010. En este año recibió el premio como mejor docente de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería en la cual impartió materias como: Circuitos eléctricos, análisis matemático, mecánica de lo cotidiano, electricidad y magnetismo, maquinas eléctricas, iluminación e instalaciones eléctricas, líneas de transmisión, entre otras asignaturas de especialidad de las carreras de Ingeniería Eléctrica, Industrial y Mecánica. En el año 2011 obtuvo el título de Magister Business Administración, el 2018 obtuvo el título de Master en Energías Renovables y Eficiencia Energética estudios realizados en España en la Universidad de Cádiz, siendo el título de su defensa "Caracterización óptica de recubrimientos basados en micro esferas y evaluación de su aplicación para el control energético ", actualmente es Doctorante en Energía Energética y Sostenible. Ha publicado varios artículos científicos y textos entre los principales "Aplicación de MATLAB para diagnóstico de fallas por descargas atmosféricas en líneas aéreas de transmisión 230 Kv, caso: zona Quito- Pasto" "Introducción a las maquinas eléctricas ", El 2019 recibió un reconocimiento de su proyecto de vinculación como el de mayor impacto con la comunidad, el mismo que fue realizado en sectores urbanos marginales. El año 2006 participo como miembro de United Nations PeaceKeeping en EE. UU y Haití, además fue participe del conflicto entre Ecuador y Perú en el alto CENEPa en el año de 1995. El Ing. Nasimba disfruta de viajar, hacer deportes y pasar el tiempo con su familia 3 hijos.



Eduardo Díaz Ocampo

Recibió su título de Doctor en Ciencias Pedagógicas PhD en la Universidad de la Habana en el año 2019, es rector de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) desde el año 2015-2020. También se gradúa de Especialista en contratación pública y control gubernamental en la Universidad de Guayaquil el 15 de diciembre de 2016. Ha realizado en el campo docente y académico: elaboración de materiales docentes, tutorías de trabajos de producción, tutorías de trabajos de diploma, tribunales de trabajos de producción, tribunales de trabajos de diploma, oponencia de trabajos de diploma, elaboración de sílabos de asignaturas. En el año 2017 fue expositor, con el tema: “Proceso de Innovación en Primera Jornada Internacional de Innovación y Emprendimiento UTEQ 2017.” en la UTEQ dado en la ciudad de Quevedo, los días 8, 9, y 10 de Agosto. Ha publicado varios artículos científicos y textos entre los principales “Resiliencia al Cambio Climático (España)” en el 2017, “La comunicación intercultural educativa, una mirada desde la sistematización formativa en la educación superior del Ecuador”. El 2017 recibió un reconocimiento de la FIME “Por su excelente contribución al desarrollo e intercambio científico y cultural entre la UNAC—Perú y la UTEQ—Ecuador. Callao, Perú.

ISBN: 978-9942-33-074-1



9 789942 330741

Jhon F. Nasimba De Janón

Recibió su título en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) en la ciudad de Quevedo como Ingeniero Eléctrico en el año de 2016. Inició trabajando para el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez (ISTLAM) en el 2018. Un año después (2019) ingresó al Instituto Superior Tecnológico Siete de Octubre (ISTSO). En los cuales impartió materias como: Instalaciones Eléctricas Industriales, Máquinas DC, Máquinas AC, Electrónica de Potencia, Mantenimiento de Equipos Eléctricos, Control Electro neumático, entre otras asignaturas de especialidad de las carreras de Electricidad, Industrial y Electrónica. En el 2018 obtuvo el título de Master en Energías Renovables y Eficiencia Energética estudios realizados en la Universidad de Cádiz, siendo el título de su defensa "Caracterización estructural y térmica de recubrimientos basados en micro esferas y evaluación de su aplicación para el control energético ". Ha publicado un artículo científico sobre "Introducción a las maquinas eléctricas ". Fue director de tesis en la Carrera de Electricidad en el ISTLAM sobre "Análisis de eficiencia energética en una vivienda tipo C de la ciudad de Manta mediante paneles fotovoltaicos. En los años 2018 y 2019 participo en el proceso SER BACHILLER por parte de la Secretaria de Educación Superior Ciencia y Tecnología e Innovación. Además, fue Coordinador de la Unidad de Bienestar Institucional del ISTSO. El Ing. Nasimba disfruta de hacer gimnasio y pasar el tiempo con su familia.

