

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

TITULO:

Elaboración de una guía para la obtención de los parámetros eléctricos
y mecánicos de una línea de transmisión.

NOMBRE DE LOS POSTULANTES:

POZO CARRERA CRHISTIAN SANTIAGO
VILLARROEL SALGUERO LENIN XAVIER

DIRECTOR DE TESIS:

ING. KLEVER MAYORGA

ASESOR DE TESIS:

DR. EDWIN VACA

LATACUNGA – ECUADOR

2014




APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO


En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe Técnico de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **POZO CARRERA CRHISTIAN SANTIAGO, VILLARROEL SALGUERO LENIN XAVIER**, con el título de tesis: **ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

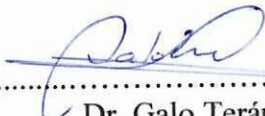
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga 25 de febrero de 2014

Para constancia firman:


.....
Ing. Xavier Proaño
PRESIDENTE


.....
Ing. Vicente Quispe
OPOSITOR


.....
Dr. Galo Terán
MIEMBRO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
DE POTENCIA**

AUTORÍA

TEMA

**“ELABORACIÓN DE UNA GUIA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS
PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS DE UNA LÍNEA DE
TRANSMISIÓN.”**

Los criterios, ideas, opiniones y comentarios emitidos en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores a excepción de las citas y notas de otros autores.

La responsabilidad de esta tesis de grado nos corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Técnica de Cotopaxi.



Pozo Carrera Christian Santiago

C.I. 172184261-3



Villarroel Salguero Lenin Xavier

C.I. 050258128-3

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ing. Elec. Kléver Mayorga, en calidad de Director de Tesis del Trabajo de Investigación sobre el tema: “ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN”, de Pozo Carreara Christian Santiago y Villarroel Salguero Lenin Xavier, postulantes de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia, considerando que dicho informe investigativo cumple con los requisitos metodológicos y aportes científicos suficientes para presentarse al acto de defensa de la Tesis ante el Tribunal que la comisión de Investigación de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi asignen para su correspondiente estudio y calificación.

Es todo lo que puedo mencionar en honor a la verdad.

Latacunga, Diciembre del 2013

xx -----

Ing. Elec. Kléver Mayorga (†)
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Lcda. Sonia Jimena Castro Bungacho, en calidad de Docente de la Unidad Académica de Ciencias Administrativas y Humanísticas, Carrera de Ingles de la Universidad Técnica de Cotopaxi, tengo a bien CERTIFICAR: que los egresados Pozo Carreara Crhistian Santiago con C.I. 172184261-3 y Villarroel Salguero Lenin Xavier con C.I. 050258128-3, han realizado la debida corrección del **Abstract** de la Tesis de Grado con el tema: "ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN", el cual se encuentra bien estructurado por lo que doy fe del presente trabajo.

Es todo lo que puedo mencionar en honor a la verdad.

Latacunga, Diciembre del 2013

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Sonia Castro", is written over a horizontal dashed line.

Lcda. Sonia Castro
DOCENTE
C.I. 050197472-9

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Santísima Virgen del Quinche, por darme salud y vida y permitir que logre alcanzar todos los objetivos que me propongo.

A mis queridos padres por apoyarme moralmente a lo largo de toda mi preparación profesional, y estar junto a mí en los buenos y malos momentos y por ser el pilar fundamental de toda mi formación ya que sin el apoyo de ellos hubiese sido mucho más difícil alcanzar este objetivo.

A mis Abuelitos Anita Yáñez (†) y Adolfo Carrera (†) ya que desde el día que dejaron estar junto a mí físicamente se convirtieron en mis ángeles y guiaron día a día mi camino.

Al Ing. Klever Mayorga por aportar con su conocimiento y experiencia y convertirse en una guía en la elaboración de la presente propuesta.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme acogido en sus aulas y permitir que sus docentes me transmitan todos sus conocimientos y me formen como profesional.

Christian Pozo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque él es el que permite que yo este con vida, y por darme la oportunidad de alcanzar las metas que se presentan en mi trayectoria.

A mis padres por apoyarme incondicionalmente en los buenos y malos momentos de mi vida tanto profesional como sentimentalmente.

A mis hermanos que son como mis segundos padres, apoyándome y empujándome para ser una mejor persona en la vida.

A mi esposa, quien me supo comprender y apoyar en todo momento para culminar mi Tesis de Grado.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ing. Klever Mayorga, y Crhistian Pozo, por transmitirme sus conocimientos y experiencia para mi formación profesional.

Lenin Villarroel

DEDICATORIA

El haber culminado con este objetivo se lo dedico en primer lugar a Dios y a la Santísima Virgen del Quinche ya que gracias a sus bendiciones han permitido que culmine mi carrera.

Con todo cariño y gratitud se lo dedico a mi madre Beatriz Carrera ya que con su amor y apoyo a contribuido en toda mi etapa de estudiante, a mi padre Luis Pozo por apoyarme en todo lo que me he propuesto sin dudar de mi ni un solo minuto, por toda esa lucha y constancia que tuvieron para lograr que su hijo llegue a ser un profesional.

A mis hermanas Martha y Cecilia ya que de una u otra manera supieron apoyarme y confiar en mí en toda mi etapa de estudiante.

A mi novia por ser esa persona incondicional con quien puedo confiar en todas las circunstancias que se presenten y por estar junto a mí en todo momento.

A toda mi familia y amigos por qué sé que estarán muy orgullosos de este logro alcanzado, gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Crhistian Pozo

DEDICATORIA

Primeramente dedico este logro a Dios, ya que él me pone estas metas en la vida para que sea una mejor persona.

A mis padres Tomas Villarroel, Elvia Salguero y mis hermanos Wellington Villarroel, Magaly Villarroel, quienes con tanto anhelo han esperado este logro, debido a que para mí no es un logro personal, al contrario es un logro familiar ya que todos se esforzaron y apoyaron en mi formación como persona, académica y profesional.

A mi esposa Mariela Herrera, por su paciencia y ser quien está siempre a mi lado apoyándome tanto moral como sentimentalmente en todos los aspectos de mi vida.

Lenin Villarroel

RESUMEN

Actualmente el avance tecnológico ha obligado a la implementación de programas computacionales para análisis técnicos, con los cuales permiten optimizar tiempo y recursos económicos a nivel profesional o institucional, sin embargo, los costos de implementar este tipo de programas no facilitan su utilización a todo nivel. Al ser parte importante las líneas de transmisión, subtransmisión y distribución dentro de un Sistema Eléctrico de Potencia, se presenta al Sistema de Análisis de Líneas de Transmisión SIALT, como un aporte para que los docentes y estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, puedan realizar simulaciones de análisis técnicos tanto eléctricos como mecánicos de las líneas eléctricas. Dicho programa fue realizado en un lenguaje de programación Visual Basic, que interactúa con programas computacionales externos, donde se almacenan en una base de datos características técnicas de conductores, constantes eléctricas, mecánicas, y se realiza el respectivo análisis y obtención de resultados. SIALT, es un programa computacional que tiene como objetivo reforzar y complementar los conocimientos de los docentes hacia los estudiantes en forma práctica, mediante simulaciones de líneas de transportes de energía eléctrica y poder conocer cada uno de los parámetros eléctricos y mecánicos que intervienen en el dimensionamiento y funcionamiento de una red eléctrica manera rápida y confiable.

Guía para la Obtención de los Parámetros eléctricos y Mecánicos.

ABSTRACT

Nowadays technological advance has forced the implementation of computer programs which it optimizes time and resources to perform any calculations to institutional and professional level, obtaining more reliable results, for this reason it has developed. The Analysis System of Transmission Lines SIALT, which will be provided to the Technical University of Cotopaxi as a tool, which will be freely accessible and easy handling for the user.

This program was made in a language of high level programming (Visual Basic), external computer programs linked which will store database of the characteristics of drivers and perform the respective analysis results.

SIALT, is a computer program that will help teachers and students of Electrical Engineering major at the Technical University of Cotopaxi, that used to determine the electrical parameters, and mechanical analysis of a transmission line quickly and reliable, which are very useful for measuring a transmission line in order to know each parameters that influence optimal performance, and to complement the classes given and materials related to the topic and get that students assimilate the best theoretical knowledge into a classroom.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales partes que conforma un Sistema Eléctrico de Potencia SEP son las redes eléctricas conformadas conductores eléctricos de distintos materiales y de diversas características, los que sirven como un enlace de conexión entre los centros de generación y los puntos de consumos, en vista de que estos presentan parámetros eléctricos y mecánicos los cuales afectan su óptimo funcionamiento es necesario realizar un correcto diseño y con esto evitar algún tipo de contratiempo que se pudiese presentar cuando la red ya se encuentre instalada.

Debido a la presencia de los parámetros eléctricos los cuales intervienen en el funcionamiento de una red eléctrica, se puede determinar el comportamiento que presentaría esta cuando se encuentre funcionando, obteniendo valores que se deben considerar tales como, regulación de voltaje, pérdidas de potencia y el rendimiento.

En la actualidad se puede ver que la tecnología ha tenido un avance significativo en varios campos del desarrollo profesional, no quedándose atrás el área de los sistemas eléctricos se ha visto la implementación de nuevas tecnologías tales como herramientas computacionales con las cuales se facilita obtención de resultados confiables optimizando tiempo y recursos.

Debido a que los estudiante y docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi no poseen programas computacionales en los cuales se pueda comparar los resultados obtenidos de ejercicios resuelto mediante un método analítico, donde se determinan los parámetros eléctricos, mecánicos y el análisis del comportamiento de una línea de transmisión, el objetivo de los postulantes es implementar un software en el que pueda calcular todos estos aspectos de una manera rápida, didáctica y de fácil manejo, permitiendo que el docente interactúe de una forma directa y simule clases prácticas, logrando una mayor comprensión por parte de sus alumnos.

En el capítulo I, se detallan cada uno de los aspectos que se deben considerar para determinar los parámetros eléctricos, mecánicos y el análisis del comportamiento de

las Líneas de Transmisión cuándo esta se encuentra funcionando a plena carga o en vacío.

En el capítulo II, se recopiló información acerca de la importancia que le dan los estudiantes y docentes de carrera de ingeniería eléctrica de la universidad técnica de Cotopaxi acerca de la implementación de programas computacionales, así como el diseño metodológico de la investigación.

En el capítulo III, se describe cada uno de los pasos que fueron considerados para el desarrollo de la propuesta, su descripción, su aplicación, sus limitaciones, el impacto que tendrá y su respectiva presentación. Se incluye además las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron luego de la culminación del proyecto.

En los anexos se muestran tablas de datos que fueron utilizadas en el desarrollo de la propuesta, ejercicios resueltos de una forma analítica recopilados de varias fuentes bibliográficas donde se calcula los parámetros eléctricos, mecánicos y el análisis del comportamiento de una línea de transmisión, el código fuente de programación del sistema SIALT y además el manual de usuario en donde se detalla el procedimiento que se debe seguir para la utilización del programa.

ÍNDICE

CONTENIDO

Págs.

1.- Portada

2.- Índice

Autoría	i
Aval de Director de Tesis	ii
Aval de Traducción	iii
Agradecimiento	iv
Dedicatoria	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
Introducción	x

CAPÍTULO I

1	Fundamento Teórico	1
1.1	Parámetros Eléctricos y Mecánicos de las Redes Eléctricas:	1
1.1.1	Antecedentes:.....	1
1.1.2	Consecuencias.....	3
1.2	Parámetros Eléctricos.....	3
1.2.1	Parámetros Longitudinales	4
1.2.1.1	Resistencia.....	5
1.2.1.2	Efecto Espiral.....	7
1.2.1.3	Efecto de Cambio de Temperatura.....	7

1.2.1.4	Efecto Skin o Pelicular YS	9
1.2.1.5	Efecto de Proximidad YP	10
1.2.1.6	Resistencia en Corriente Alterna	11
1.2.1.7	Inductancia.....	11
1.2.1.8	Inductancia de una Línea Monofásica de Dos Conductores	12
1.2.1.9	Distancia Media Geométrica	14
1.2.1.10	Radio Medio Geométrico	14
1.2.1.11	Inductancia de una Línea Trifásica con Espaciamiento Equilátero	15
1.2.1.12	Inductancia de Líneas Trifásicas con Espaciamiento Asimétrico.....	16
1.2.1.13	Cálculo de la Inductancia en Conductores Agrupados.....	18
1.2.1.14	Distancia Media Geométrica en Conductores Agrupados.....	18
1.2.1.15	Radio Medio Geométrico en Conductores Agrupados	19
1.2.1.16	Reactancia Inductiva	19
1.2.1.17	Impedancia.....	20
1.2.2	Parámetros Eléctricos Transversales.....	20
1.2.2.1	Capacitancia.....	21
1.2.2.2	Capacitancia de una Línea Monofásica de dos Conductores	21
1.2.2.3	Capacitancia de una Línea Trifásica con Espaciamiento Simétrico	24
1.2.2.4	Capacitancia de una Línea Trifásica con Espaciamiento Asimétrico	25
1.2.2.5	Capacitancia de Conductores Trenzados.....	26
1.2.2.6	Cálculo de la Capacitancia en Conductores Agrupados.....	26
1.2.2.7	Conductancia	27
1.2.2.8	Admitancia, Y.....	28
1.3	Análisis y Desempeño de las Redes Eléctricas.....	28

1.3.1	Representación de las Redes Eléctricas.....	29
1.3.2	Redes Eléctricas de Longitud Corta.....	30
1.3.2.1	Redes Eléctricas de Longitud Corta con Funcionamiento a Plena Carga	32
1.3.2.2	Redes de Longitud Corta con Funcionamiento en Vacío.....	33
1.3.3	Red Eléctrica de Longitud Media	34
1.3.3.1	Circuito Equivalente T	35
1.3.3.2	Red Eléctrica de Longitud Media Con Funcionamiento a Plena Carga.....	36
1.3.3.3	Red Eléctrica de Longitud Media con Funcionamiento en Vacío	38
1.3.3.4	Circuito Equivalente en “ π ”	39
1.3.4	Red Eléctrica de Longitud Larga.	42
1.4.1	Conductor Suspendido Entre Dos Puntos a Nivel	45
1.4.1.1	Catenaria del Conductor a Nivel, (y)	45
1.4.1.2	Tensión Máxima, <i>T_{max}</i>	46
1.4.1.3	Tensión Horizontal.....	47
1.4.1.4	Longitud del Conductor a Nivel, l'	47
1.4.1.5	Flecha Formada en un Conductor a Nivel.....	48
1.4.2	Conductor Suspendido Entre Dos Puntos a Desnivel	49
1.4.2.1	Catenaria del Conductor a Desnivel, (y)	49
1.4.2.2	Vano Real	51
1.4.2.3	Tensión en el Punto Inferior del Conductor	52
1.4.2.4	Tensión Horizontal.....	52
1.4.2.5	Longitud del Conductor a Desnivel, l	52
1.4.2.6	Flecha	53
1.4.2.7	Saeta	54

1.4.2.8	Sobrecargas en el Conductor	55
1.4.2.9	Presión del Viento	55
1.4.2.10	Presión Unitaria del Viento	56
1.4.2.11	Peso Unitario del Hielo	56
1.4.2.12	Peso Unitario Resultante	57
1.5	Norma del Proceso de Vida del Software.....	57
1.5.1	Estructura de los Procesos del Ciclo de Vida del Software Según la Norma ISO 12207.....	58

CAPITULO II

2.	Análisis e Interpretación de Resultados	59
2.1	Entorno del Lugar de Investigación	59
2.1.1	Antecedentes Históricos de la Universidad Técnica de Cotopaxi	59
2.1.2	Filosofía Institucional.....	60
2.2	Diseño Metodológico	61
2.2.1	Métodos de Investigación.....	61
2.2.1.1	Método Hipotético Deductivo	61
2.2.1.2	Método Inductivo	62
2.2.1.3	Tipos de Investigación.....	62
2.2.1.4	Investigación Bibliográfica.....	62
2.2.1.5	Investigación de Campo	63
2.2.1.6	Investigación Cuasi Experimental	63
2.3	Técnicas e Instrumentos de Investigación.....	63
2.3.1	Técnicas.....	63

2.3.1.1	Encuesta y Entrevista	63
2.3.2	Instrumentos.....	64
2.3.2.1	Cuestionario de Encuesta.....	64
2.3.2.2	Cuestionario de Entrevista.....	65
2.3.3	Población	65
2.3.4	Fuentes de Información	66
2.3.5	Operacionalización de Variables	66
2.3.6	Análisis e Interpretación de Resultados	68
2.3.6.1	Entrevista Aplicada a Docentes de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.	68
2.3.6.2	Encuesta Aplicada a Estudiantes de Octavo Ciclo y Egresados de la Especialidad de Ingeniería Eléctrica	72
2.3.7	Verificación de la Hipótesis.....	81
2.3.7.1	Hipótesis.	81
2.3.7.2	Hipótesis nula	81
2.3.7.3	Variable Tentativa.....	81
2.3.7.3	Argumentación, Estadístico de prueba.....	82
2.3.7.4	Resolución de la fórmula.....	84
2.3.7.5	Regla de decisión	85
2.3.8	Resultados que se Obtendrán al Implementar el Software	86

CAPITULO III

3.	Desarrollo de la Propuesta.....	87
3.1	Presentación	87

3.2	Justificación y Significación.....	89
3.3	Objetivos.....	91
3.3.1	Objetivo General.....	91
3.3.2	Objetivos Específicos.....	91
3.4	Descripción de la Investigación.....	91
3.5	Alcance de la Investigación.....	92
3.6	Impacto de la Investigación.....	92
3.7	Limitaciones de la Investigación.....	93
3.8	Desarrollo de la Propuesta.....	93
3.8.1	Diseño del Software.....	94
3.8.1.1	Antecedentes.....	94
3.8.1.2	Proceso de Desarrollo del Programa Computacional.....	94
3.8.1.3	Proceso de Análisis.....	95
3.8.1.4	Diseño de Arquitectura.....	95
3.8.1.5	Proceso de Codificación del Programa.....	96
3.8.1.6	Proceso de Integración.....	96
3.8.1.7	Proceso De Pruebas.....	96
3.8.1.8	Proceso De Instalación.....	97
3.9	Diseño y Desarrollo del Software para Elaborar una Guía la Cual Permita Determinar los Parámetros Eléctricos y Mecánicos de una Línea de Transmisión “SIALT”.....	97
3.9.1	Requerimientos del Programa Computacional.....	97
3.9.2	Requerimientos Informáticos.....	98
3.9.3	Descripción del Sistema de Análisis de Líneas de Transmisión “SIALT”	99

3.9.3.1 Parámetros Eléctricos.....	100
3.9.3.2 Análisis de Líneas	101
3.9.3.3 Interpretación de Resultados	103
3.9.3.4 Parámetros Mecánicos.....	103
3.9.3.5 Reportes.....	104
3.9.4 Definición De Variables.....	105
Conclusiones	110
Recomendaciones	112
Referencias Bibliográficas	114
Bibliografías citadas	114
Bibliografía consultada.....	117
Bibliografía virtual	118

ANEXOS

ANEXO 1

Encuesta a ser Aplicada a Estudiantes de la Especialidad de Ingeniería Eléctrica. . 119

ANEXO 2

Entrevista Dirigida a Ingenieros Docentes de la Unidad Academica de Ciencias de la Ingenieria y Aplicadas (CIYA)..... 121

ANEXO 3

Tabla de Características de los Conductores Eléctricos

123

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1

Porcentaje de conductividad, resistividad y constante de temperatura, de materiales conductores..... 6

TABLA 1.2

Constante K_s , Dependiendo De La Composición De Los Conductores..... 10

TABLA N° 2.1

Poblacion encuestada en la carrera de ingeniería eléctrica 66

TABLA N° 2.2

Conocimiento de software para calcular parámetros eléctricos..... 72

TABLA N° 2.3

Conocimiento de software para calcular parámetros mecánicos 73

TABLA N° 2.4

Importancia de un software en el que se calculen parámetros eléctricos y mecánicos75

TABLA N° 2.5

Necesidad de un sistema en el que sepueda simular el comportamiento de las redes de transmisión..... 76

TABLA N° 2.6

Importancia que tendrá el sistema que calcula los parámetros eléctricos y mecánicos77

TABLA N° 2.7

Complementación de clases con sistemas de simulación 78

TABLA N° 2.8

Comparación de resultados obtenidos en cálculos analíticos con sistemas computacionales 80

TABLA N° 2.9

Datos de la encuesta observada 82

TABLA 2.10

Resultados de la frecuencia esperada 83

TABLA 2.11

Cálculo del Chi-cuadrado 84

TABLA 2.12

Distribución Chi-cuadrado 85

TABLA 3.1..... 105

Lista de parámetros..... 105

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1.1

Clasificación de los Parámetros Eléctricos 4

GRÁFICO N° 1.2

Disposición de una Línea Monofásica..... 12

GRÁFICO N° 1.3

Disposición de una Línea Trifásica Simétrica 15

GRÁFICO N° 1.4

Disposición de una Línea Trifásica Asimétrica Completamente Transpuesta 16

GRÁFICO N° 1.5

Disposición de una Línea Trifásica Asimétrica Compuesta por Conductores en Haz18

GRÁFICO N° 1.6

Disposición de una Línea Mofásica..... 22

GRÁFICO N° 1.7	
Disposición de una Línea Mofásica con Neutro	23
GRÁFICO N° 1.8	
Disposición de una Línea Trifásica Simétrica	24
GRÁFICO N° 1.9	
Disposición de una Línea Trifásica Asimétrica	25
GRÁFICO N° 1.10	
Disposición de Conductores en Haz.....	26
GRÁFICO N° 1.11	
Circuito Equivalente de una Línea de Longitud Corta.....	31
GRÁFICO N° 1.12	
Circuito Equivalente de una Red Eléctrica Dispuesta En T	35
GRÁFICO N° 1.13	
Circuito Equivalente Red Eléctrica en Π	40
GRÁFICO N° 1.14	
Disposición del Conductor Entre Torres a Nivel	47
GRÁFICO N° 1.15	
Flecha Formada Entre Torres a Nivel.....	48
GRÁFICO N° 1.16	
Catenaria Formada Entre Torres a Desnivel.....	50
GRÁFICO N° 1.17	
Flecha Formada Entre Torres a Desnivel	54
GRÁFICO N° 1.18	
Saeta Formada Entre Torres a Desnivel	54

GRÁFICO N° 2.1	
Conocimiento de Software para Calcular Parámetros Eléctricos.....	72
GRÁFICO N° 2.2	
Conocimiento de Software para Calcular Parámetros Mecánicos	74
GRÁFICO N° 2.3	
Importancia de un Software en el que se Calculen Parámetros Eléctricos y Mecánicos.....	75
GRÁFICO N° 2.4	
Necesidad de un Sistema en el que Sepueda Simular el Comportamiento de las Redes de Transmisión	76
GRÁFICO N° 2.5	
Importancia que Tendrá el Sistema que Calcula los Parámetros Eléctricos y Mecánicos.....	78
GRÁFICO N° 2.6	
Complementación de Clases con Sistemas de Simulación.....	79
GRÁFICO N° 2.7	
Comparación de Resultados Obtenidos en Cálculos Analíticos con Sistemas Computacionales.....	80
GRÁFICO N° 3.1	95
Proceso de Desarrollo del Programa Computacional.....	95
GRÁFICO N° 3.2.....	99
Pantalla Principal del SIALT	99
GRÁFICO N° 3.3	100
Cálculo de los Parámetros Eléctricos	100

GRÁFICO N° 3.4.....	101
Reproductor de Vanos	101
GRÁFICO N° 3.5.....	102
Análisis de Líneas.....	102
GRÁFICO N° 3.6.....	102
Cálculo del Comportamiento de la Línea	102
GRÁFICO N° 3.7.....	103
Interpretación de Resultados.....	103
GRÁFICO N° 3.8.....	104
Cálculo de los Parámetros Mecánicos	104
GRÁFICO N° 3.9.....	105
Reporte de Resultados	105

CAPÍTULO I

1 FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS DE LAS REDES ELÉCTRICAS:

1.1.1 Antecedentes:

Las redes eléctricas se caracterizan o están formados por cuatro parámetros que afectan su funcionamiento normal en un sistema eléctrico, y estos son los parámetros eléctricos longitudinales formados por la resistencia y la inductancia, que forman la impedancia en serie y los parámetros eléctricos transversales formados por la capacitancia y conductancia, que forman la admitancia en paralelo. Con estos componentes se forman en su totalidad los sistemas eléctricos, desde un simple circuito hasta los más complejos sistemas de potencia.

La conductancia toma las corrientes de fuga de los aisladores de las redes aéreas y generalmente no se la considera puesto que la fuga de corriente en los aisladores llega a ser despreciable, y otra razón que no se la suele tomar en cuenta es porque es bastante variable debido a que cambia drásticamente dependiendo de las condiciones atmosféricas.

Otro aspecto importante de las redes eléctricas son los efectos mecánicos a los cuales se encuentran expuestas, ya que de ellos dependerá de una buena confiabilidad en un Sistema Eléctrico de Potencia, SEP, puesto que mediante estos parámetros se determinara la resistencia mecánica de los conductores, ya que estos deben estar dimensionados para soportar sobrecargas producidas por el viento, la contaminación y en algunos casos por hielo, también deben tener la suficiente resistencia para soportar esfuerzos producidos por la ruptura de alguno de los conductores, considerando la ubicación de los puntos en donde se encontraran suspendidos los conductores dependiendo de la topografía del suelo.

En la actualidad existen programas en los cuales se pueden simular los parámetros eléctricos y mecánicos, que son de gran ayuda para los interesados en realizar los diseños de redes eléctricas, pero son de difícil acceso para personas naturales debido a que sus costos son elevados, por lo cual son utilizados principalmente por instituciones que se encuentran enfocadas en el análisis y diseño de las redes eléctricas.

Entre estos programas se destacan los siguientes:

- CYME 5.04: Software para Sistemas Eléctricos de Potencia
- DLTCAD: Software de Diseño de Líneas de Transmisión Aérea de Energía Eléctrica
- ETAP: Thinking Power For Power Engineers
- NEPLAN: Power System Analysis and Engineering
- CLIMT: Cálculo de Líneas de Media Tensión

1.1.2 Consecuencias

Si no se consideran tanto los parámetros eléctricos como los mecánicos se tendrán graves consecuencias en un sistema eléctrico de potencia y no se podrá garantizar la confiabilidad de la red.

Las principales consecuencias que se presentaran si no se consideran los parámetros eléctricos serán, la caída de voltaje y las pérdidas de potencia que se pueden producir en la red eléctrica debido a la impedancia en serie formada en los conductores, así también las corrientes de carga de la línea las cuales inyectan potencia reactiva a la red, debido a la admitancia en paralelo.

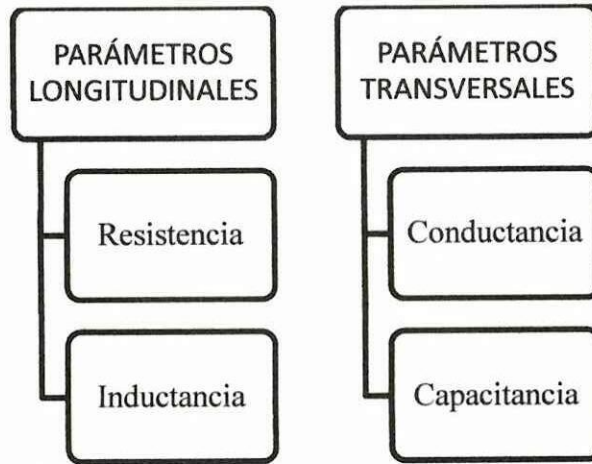
Como se indicó anteriormente si los conductores, no se encuentran correctamente dimensionadas estarán expuestos a rupturas y acercamientos no adecuados entre estos, los cuales pueden provocar varios contratiempos en las redes eléctricas.

1.2 PARÁMETROS ELÉCTRICOS

La red eléctrica es el elemento más importante que conforma un sistema eléctrico de potencia, ya que este elemento constituye la principal arteria por la cual fluye la energía eléctrica desde los centros de generación hasta los lugares donde se encuentra instalada la carga. La transportación de dicha energía se la puede realizar ya sea por Corriente Alterna (AC), o Directa (DC), y de acuerdo al diseño red puede ser aérea o subterránea, para el presente estudio únicamente se analizarán las redes aéreas ya que son las más comunes, o más utilizadas.

Las redes eléctricas aéreas presentan dos tipos de parámetros eléctricos que influyen en el óptimo funcionamiento de estas, y son los parámetros eléctricos longitudinales y transversales, los cuales se subdividen de la siguiente forma.

GRÁFICO 1.1
CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS



Realizado por: Grupo de Investigadores

1.2.1 Parámetros Longitudinales

Los parámetros eléctricos que influyen de forma decisiva a lo largo de la longitud de una línea eléctrica son la resistencia y la inductancia, aunque se agrupan formando la impedancia, una vez que se haya producido la conversión de la inductancia a reactancia inductiva¹.

Debido al efecto inductivo producido por la variación de la corriente que circula por el conductor permite acumular la energía eléctrica en forma de campo magnético y la consecuencia más importante producida por la presencia de la resistencia en un circuito eléctrico son las pérdidas de potencia.

¹ MUJAL ROSAS, Ramón M., Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas, Primera Edición, publicado en septiembre del 2002, pág. 14

1.2.1.1 Resistencia

La resistencia de los conductores de las líneas de transmisión es la causa más importante de la pérdida de potencia en ellas².

La resistencia es la propiedad que poseen los conductores eléctricos constituidos de cualquier material para oponerse al flujo de corriente eléctrica, siendo una de las causas más importantes, por la cual en las redes eléctricas existe pérdida de potencia debido a la resistencia que presentan los conductores, la cual variará dependiendo de sus dimensiones físicas y de la resistividad del material del que se encuentran constituidos los conductores eléctricos.

La resistencia efectiva es igual al valor encontrado al calcular la resistencia en corriente directa, solo si la distribución de corriente a través del conductor es uniforme, y se la puede determinar mediante:

$$R_{cd} = \frac{\rho L}{A} \quad \Omega \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

R_{cd} : Es la resistencia del conductor a 20°C y se mide en Ω

ρ : Resistividad del conductor y se mide en Ω cmil/m

L: Longitud del conductor y se mide en km

A: Área de la sección transversal del conductor y se mide en cmil

$$A = \text{numero de hilos} * d^2 \quad [\text{cmil}] \quad \text{Ec. (2)}$$

² GRAINGER John J. – STEVENSON Jr. William D. Análisis de Sistemas de Potencia, Segunda Edición, pág. 133

Dónde:

d: diámetro de un filamento del conductor.

Para conocer la resistividad del conductor se debe determinar el tipo de material del cual va estar constituido el conductor eléctrico, teniendo entre los principales materiales o los más utilizados tenemos el cobre y el aluminio cuyos valores de porcentaje de conductividad, resistividad y constante de temperatura se indican en la siguiente tabla:

TABLA 1.1
PORCENTAJE DE CONDUCTIVIDAD, RESISTIVIDAD Y CONSTANTE DE TEMPERATURA, DE MATERIALES CONDUCTORES.

MATERIALES	% DE CONDUCTIVIDAD	RESISTIVIDAD	CONSTANTE DE TEMPERATURA
		A 20 °C	°C
Cobre recocido	100	34,02	234,5
Cobre estirado en frio	97,3	34,97	241,5
Aluminio estirado en frio	61	55,77	228,1

Fuente: GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle “Análisis y diseño Sistemas de Potencia”
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Los factores que afectan el valor de la resistencia en serie del conductor eléctrico son:

- Efecto de cambio de temperatura
- Efecto “skin” o pelicular
- Efecto de proximidad

1.2.1.2 Efecto Espiral

La formación de las espiras hace que los hilos sean 1 o 2 % más largos que la longitud real del conductor.³ La resistencia en DC en los conductores trenzados, que son los que se utilizan en una red eléctrica será mayor que la que se determina mediante Ec. 1, debido a la colocación de cada uno de los hilos, la longitud del conductor sean mucho más larga que el valor teórico indicado, es por eso que se deberá dar un incremento estimado en la resistencia calculada, el cual es 2% para conductores concéntricamente trenzados. Motivo por el cual la ecuación para determinar la resistencia en un conductor eléctrico quedará expresada de la siguiente manera:

$$R_{cd} = 1,02 * \frac{\rho L}{A} \quad \Omega \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

R_{cd} : Resistencia del conductor en corriente directa.

ρ : Resistividad del material del conductor.

L : Longitud del conductor.

A : Sección transversal del conductor.

1.2.1.3 Efecto de Cambio de Temperatura

Una de las principales causas que puede provocar variaciones en la resistencia del conductor eléctrico, son los cambios de temperatura ya que, la temperatura ambiente alta influye desfavorablemente en la conducción de electricidad debido a que aumenta la resistencia eléctrica del conductor, por el contrario, a menor temperatura se conduce mejor la electricidad, ya que la resistencia que presente el conductor será menor.

³ GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle S., Análisis y diseño Sistemas de Potencia, Tercera Edición, pág. 152

En tablas proporcionadas por los fabricantes de conductores se puede encontrar la resistencia de cada uno de ellos y lo más común es encontrar a una temperatura estándar de 20°C, como en nuestro país existen diferentes niveles de temperaturas dependiendo de las regiones, es importante determinar la resistividad del conductor a temperaturas diferentes las cuales no se pueden encontrar en tablas que proporcionan los fabricantes. Por ello que se debe utilizar la siguiente ecuación.

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

ρ_1 : Resistividad del conductor a temperatura t_1 (20°C)

ρ_2 : Resistividad del conductor a temperatura t_2

t_1 : Temperatura fija proporcionada por los fabricantes del conductor en °C.

t_2 : Temperatura ambiente a la que está expuesto el conductor en °C.

T: Temperatura a la cual la resistencia del conductor se hace cero, depende del material del conductor.

Cabe indicar que las ecuaciones para cálculo de la resistencia eléctrica, anteriormente indicadas son utilizadas únicamente cuando se tiene corriente directa, generalmente por las redes de transmisión eléctrica circula corriente alterna, esto quiere decir que existe la presencia de frecuencia, la cual provoca que la corriente en un conductor cilíndrico tienda a expandirse hasta la superficie del mismo dejando con menor densidad de corriente en el centro del conductor esto ocasiona que la resistencia de un conductor eléctrico por el que circula AC sea mayor que la resistencia que presenta el mismo conductor a DC, este incremento es ocasionado por el efecto skin o pelicular, y por el efecto de proximidad.

1.2.1.4 Efecto Skin o Pelicular Y_S

En corriente continua la densidad de corriente es similar en todo el conductor, pero en corriente alterna se observa que hay una mayor densidad de corriente en la superficie que en el centro.⁴

La distribución de la corriente en toda la sección de un conductor es igual únicamente cuando por él circula DC, las redes eléctricas en el Ecuador generalmente trabajan con AC lo cual provoca que la corriente se distribuya de una manera no uniforme por toda la sección transversal del conductor, de modo que la densidad de corriente sea mayor en la superficie de este en comparación con la densidad de corriente en su centro, este efecto se vuelve más pronunciado al aumentar la frecuencia y para determinarlo se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$Y_S = \frac{X_S^4}{192 + 0.8 X_S^4} \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

Y_S : Factor debido al efecto Skin o Pelicular.

X_S : Constante.

$$X_S^2 = \frac{8\pi f}{R_{cd}} \cdot 10^{-5} k_s \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde:

f : Frecuencia del sistema Hz

R_{cd} : Resistencia del conductor en DC corregida a la temperatura ambiente Ω .

k_s : Constante que se determinara mediante la tabla 1.2 dependiendo del tipo de conductor.

⁴ [En línea]. [ref. 15 de agosto del 2013]. Disponible en Web http://www.es.wikipedia.org/wiki/efecto_pelicular

TABLA 1.2
CONSTANTE K_s, DEPENDIENDO DE LA COMPOSICIÓN DE LOS
CONDUCTORES.

TIPOS DE CONDUCTOR	FACTOR K _s
Conductor redondo compacto de cobre	1
Conductor redondo de cobre	1
conductor compacto segmental de cobre	0,39
Conductor redondo compacto de aluminio	1
conductor redondo de aluminio	1

Realizado por: Grupo de investigadores.

1.2.1.5 Efecto de Proximidad Y_p

Aparte del efecto Skin, la no uniformidad de distribución de corriente por un conductor se debe también al efecto de proximidad, el cual se produce cuando se tiene conductores paralelamente cercanos. La densidad de la corriente alterna que fluye por los conductores es máxima en los bordes internos de los conductores y mínima en los bordes externos, este tipo de distribución no uniforme de corriente se hace más pronunciado al reducir la distancia de separación entre los conductores.⁵

Debido al espaciamiento que tienen las redes eléctricas aéreas, este efecto es siempre de un orden de magnitud despreciable, caso contrario sucede para cables subterráneos donde estos se colocan cercanos entre sí y el efecto de proximidad puede causar un aumento considerable en la resistencia del conductor.

En el presente estudio se analizarán únicamente las redes eléctricas aéreas, por lo tanto el valor del Y_p será cero.

⁵ KOTHARI D.P. – NAGRATH I. Sistemas Eléctricos de Potencia, Tercera Edición, pág.72



1.2.1.6 Resistencia en Corriente Alterna

Considerando estos efectos la resistencia que presentan los conductores de una red eléctrica, por la cual fluye corriente alterna se calculara mediante la siguiente ecuación:

$$R_{AC} = R_{DC}(1 + Y_s + Y_p) \quad \text{Ec. (7)}$$

Dónde:

R_{AC} : Resistencia a corriente alterna

R_{DC} : Resistencia a corriente directa

Y_s : Factor debido al efecto piel

Y_p : Factor debido al efecto de proximidad

1.2.1.7 Inductancia

La inductancia es la propiedad de un elemento del circuito que aprovecha la capacidad de la energía de almacenarse en una bobina en forma de campo magnético.⁶

Teniendo en cuenta o considerando que una de sus principales características es que la inductancia tan solo se presenta cuando existe corriente alterna, así aunque un elemento pueda tener inductancia en virtud de sus propiedades geométricas y magnéticas, su presencia en un circuito no se concibe a menos que exista un cambio en la magnitud de la corriente en función del tiempo (AC).

La inductancia del circuito relaciona el voltaje inducido por el flujo variable con la razón del cambio de corriente, está dada básicamente por dos valores los cuales son,

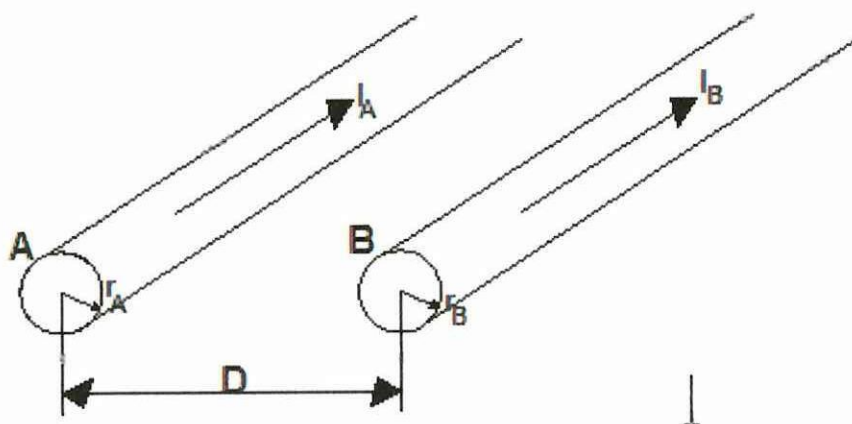
⁶ MUJAL ROSAS Ramón M., Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas, Primera Edición, publicado en septiembre del 2002, pág. 18

uno debido al flujo interno en el conductor y otro al flujo externo, y la suma de ambas da el valor resultante de la inductancia, pero también se las pueden determinar haciendo uso de las características de simetría que tienen los conductores.

1.2.1.8 Inductancia de una Línea Monofásica de Dos Conductores

Se supone una línea monofásica de dos conductores cilíndricos sólidos como se ve en el gráfico 1.2, en donde por el conductor A que tiene un radio r_A circula una corriente I_A , y por el conductor B que tiene un radio r_B recorrerá la corriente I_B se deberá determinar las inductancias individuales de cada conductor, para así determinar la inductancia total del circuito.

GRÁFICO 1.2
DISPOSICIÓN DE UNA LÍNEA MONOFÁSICA



Fuente: GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle. "Análisis y diseño Sistemas de Potencia"
Realizado por: Grupo de Investigadores

$$I_A + I_B = 0$$

$$D_{AB} = D_{BA} = D \quad \text{Ec. (8)}$$

Dónde:

- I_A : Corriente en el conductor A
- I_B : Corriente en el conductor B
- D_{AB} : Separación entre los conductores A y B
- D_{BA} : Separación entre los conductores B y A
- D : Separación entre dos conductores

Por lo tanto la inductancia del conductor 1 será

$$L_A = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{DMG}{RMG} \quad [H/m] \quad \text{Ec. (9)}$$

Dónde:

- L_A : Inductancia en el conductor A
- DMG**: Distancia Media Geométrica.
- RMG**: Radio Medio Geométrico.
- H**: Henrios

Del mismo modo la inductancia en el conductor 2 será:

$$L_B = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{DMG}{RMG} \quad [H/m] \quad \text{Ec. (10)}$$

Dónde:

- L_B : Inductancia en el conductor B

Considerando que los dos conductores son idénticos, el radio medio geométrico, RMG, también lo será y la ecuación para determinar la inductancia total de un circuito monofásico quedara de la siguiente manera:

$$L_T = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{DMG}{RMG} \quad [H/m] \quad \text{Ec. (11)}$$

Dónde:

L_T : Inductancia total del circuito monofásico

1.2.1.9 Distancia Media Geométrica

Se define distancia media geométrica, DMG, a la distancia de separación de un punto hacia otros, y está definido como la raíz n-esima del producto de las distancias entre todos los puntos y en el caso de una línea monofásica conformada por dos conductores, la DMG es igual a la distancia de separación entre los dos conductores es decir:

$$DMG = \sqrt[3]{D_{AB}D_{AC}D_{BC}} \quad [m] \quad \text{Ec. (12)}$$

1.2.1.10 Radio Medio Geométrico

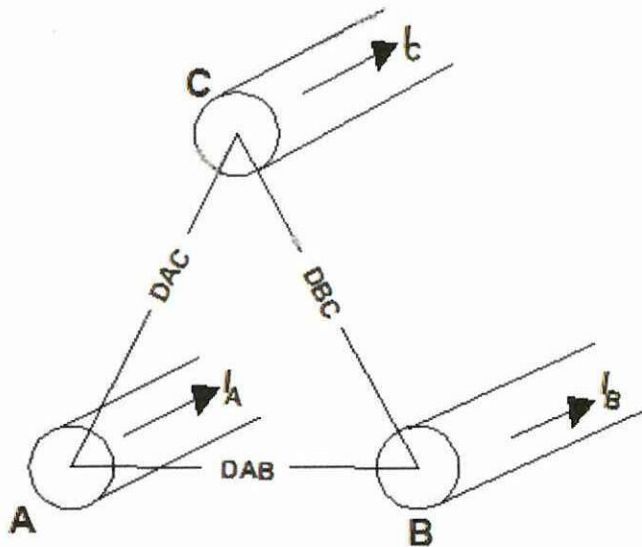
El Radio Medio Geométrico, RMG, es un dato que rara vez es necesario calcularlo ya que es un valor proporcionado por los fabricantes de conductores eléctricos y este valor, y se lo puede encontrar en las tablas de características de los conductores. En caso que el valor que se necesite no se encuentre en tablas se lo determinara mediante la siguiente ecuación.

$$RMG_a = \sqrt[n^2]{RMG^n D_{12}^2 \dots D_{1n}^2 \dots D_{(n-1)n}^2} \quad \text{Ec. (13)}$$

1.2.1.11 Inductancia de una Línea Trifásica con Espaciamiento Equilátero

En el GRÁFICO 1.3, se muestra una línea trifásica de tres conductores cilíndricos sólidos, cada uno con un radio igual y un espaciamiento semejante entre fases. Para determinar las inductancias de este circuito supondremos que se encuentra completamente balanceado.

GRÁFICO 1.3
DISPOSICIÓN DE UNA LÍNEA TRIFÁSICA SIMÉTRICA



Fuente: GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle. “Análisis y diseño Sistemas de Potencia”
Realizado por: Grupo de Investigadores

$$\begin{aligned} I_A + I_B + I_C &= 0 \\ D_{AB} = D_{AC} = D_{BC} &= D \end{aligned} \qquad \text{Ec. (14)}$$

Para determinar las inductancias de cada fase se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$L_A = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{\text{DMG}}{\text{RMG}} \quad [\text{H/m}] \quad \text{Ec. (15)}$$

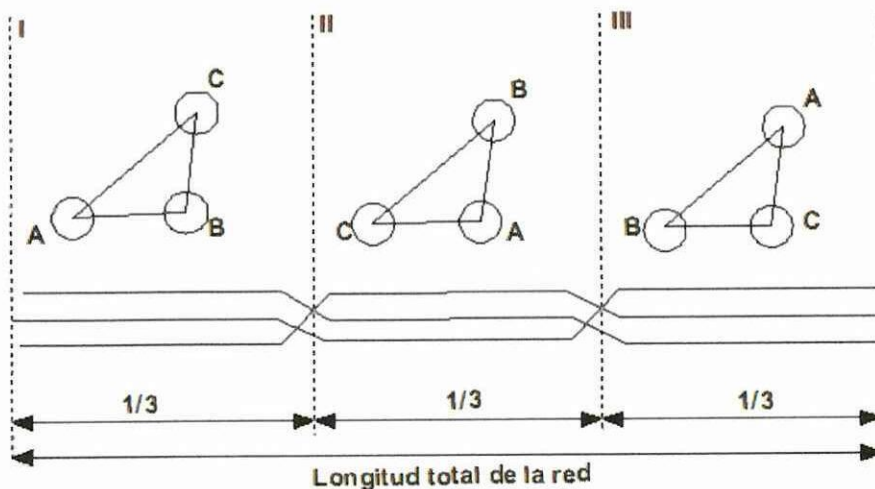
$$L_B = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{\text{DMG}}{\text{RMG}} \quad [\text{H/m}] \quad \text{Ec. (16)}$$

$$L_C = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{\text{DMG}}{\text{RMG}} \quad [\text{H/m}] \quad \text{Ec. (17)}$$

Las ecuaciones utilizadas para determinar la inductancia de cada fase son semejantes y por ende sus resultados serán iguales y esto se debe a la simetría que tienen las tres líneas, motivo por el cual solo se necesita conocer el valor de una sola fase para determinar la inductancia de un circuito trifásico con espaciamiento equilátero.

1.2.1.12 Inductancia de Líneas Trifásicas con Espaciamiento Asimétrico

GRÁFICO 1.4
DISPOSICIÓN DE UNA LÍNEA TRIFÁSICA ASIMÉTRICA
COMPLETAMENTE TRANSPUESTA



Fuente: GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle. "Análisis y diseño Sistemas de Potencia"
Realizado por: Grupo de Investigadores

La disposición equilátera de una red eléctrica trifásica es poco común ya que los circuitos se encuentran generalmente con espaciamiento asimétrico, en estas condiciones los flujo enlazados para cada conductor serán distintos ya que la caída de voltaje en cada conductor no serán iguales en cada fase y el sistema actuará en una forma desequilibrada, ocasionando que el cálculo de las inductancias sea más complejo. Sin embargo se puede evitar estos inconvenientes intercambiando las posiciones de los conductores en intervalos semejantes a lo largo de la trayectoria de la línea, de modo que cada conductor ocupe el lugar que ocuparon los otros conductores, y a este intercambio de posiciones se le conoce con el nombre transposición.

En el GRÁFICO 1.4, se muestra una línea trifásica completamente transpuesta, y se observa que esta red eléctrica cambia de posición en dos lugares, ocasionando que cada fase ocupe el mismo lugar en 1/3 de la longitud de la línea. Para encontrar la inductancia de una red eléctrica trifásica completamente transpuesta se debe determinar los enlaces de flujo para cada posición en el ciclo de transposición y posteriormente determinar la inductancia de la red con la siguiente ecuación.

$$L_A = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{DMG}{RMG} \quad [H/m] \quad \text{Ec. (18)}$$

De la misma forma se obtiene los resultados para L_B y L_C . Sin embargo solo se necesita determinar el valor de una sola fase en una red trifásica balanceada completamente transpuesta, si los tres conductores de la red son semejantes se cumple la condición:

$$r_A = r_B = r_C = r$$

$$RMG_A = RMG_B = RMG_C = RMG$$

$$L_A = L_B = L_C = L$$

1.2.1.13 Cálculo de la Inductancia en Conductores Agrupados

En algunas de las redes eléctricas se usan más de un solo conductor por fase, lo cual se lo conoce como formación de haces, y en consecuencia si se determina la inductancia con las ecuaciones indicadas anteriormente para cada una de las distintas configuraciones será un valor erróneo, ya que algunos parámetros para determinar la DMG y el RMG van a ser diferentes.

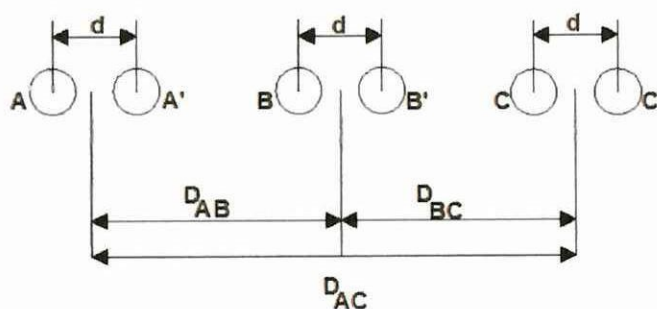
Con la formación de estos haces se intenta reducir la intensidad del campo eléctrico en las superficies de los conductores, así disminuyendo o eliminando el efecto corona, la pérdida indeseable de potencia, ruido audible y la reactancia en serie de la línea ya que se incrementa el RMG del haz.

1.2.1.14 Distancia Media Geométrica en Conductores Agrupados

Se debe considerar que para determinar la DMG se utilizar la ecuación 12, teniendo en cuenta que la distancia de separación entre fases del circuito se tomará desde el centro de cada haz, como se indica en el GRÁFICO 1.5.

GRÁFICO 1.5

DISPOSICIÓN DE UNA LÍNEA TRIFÁSICA ASIMÉTRICA COMPUESTA POR CONDUCTORES EN HAZ



Fuente: GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle. "Análisis y diseño Sistemas de Potencia"
Realizado por: Grupo de Investigadores

1.2.1.15 Radio Medio Geométrico en Conductores Agrupados

En el caso de circuitos conformados por haces de conductores el RMG será remplazado por DSL, el cual dependerá del número de conductores que conforman el haz y se los puede determinar mediante las siguientes ecuaciones.

Haz de dos conductores:

$$D_{SL} = \sqrt[4]{(D_S * d)^2} = \sqrt{D_S * d} \quad \text{Ec. (19)}$$

Haz de tres conductores:

$$D_{SL} = \sqrt[9]{(D_S * d * d)^3} = \sqrt[3]{D_S * d^2} \quad \text{Ec. (20)}$$

Haz de cuatro conductores:

$$D_{SL} = \sqrt[16]{(D_S * d * d * d\sqrt{2})^4} = 1.091 \sqrt[4]{D_S * d^3} \quad \text{Ec. (21)}$$

Dónde:

D_S : RMG de cada conductor que conforma el haz.

d : Distancia desde los centros de cada conductor que conforma el haz.

1.2.1.16 Reactancia Inductiva

El valor de la reactancia inductiva depende de la frecuencia del sistema y del valor de la inductancia total (suma de inductancia interna y externa) del cable.⁷

$$X_L = L2\pi f \quad [\Omega] \quad \text{Ec. (22)}$$

⁷ RAMÍREZ CASTAÑO Samuel, Redes de Distribución de Energía, Tercera Edición, Enero 2004, Pág. 96

1.2.1.17 Impedancia

En los circuitos de corriente alterna los conductores presentan una oposición a la corriente que no depende únicamente de la resistencia óhmica del mismo, puesto que los efectos de los campos magnéticos variables tienen una influencia importante.⁸

Una vez determinado los parámetros eléctricos longitudinales de una línea de transmisión, se procederá a determinar la impedancia, la cual es una magnitud vectorial o compleja y se encuentra formada por

Componente real: Resistencia eléctrica, R

Componente imaginaria: reactancia inductiva, XL

$$Z = R + jX_L \quad [\Omega] \quad \text{Ec. (23)}$$

1.2.2 Parámetros Eléctricos Transversales

Los parámetros eléctricos que influyen transversalmente en las redes eléctricas son la capacitancia y la conductancia, y al agruparse forman la admitancia en paralelo de una red eléctrica.

Una vez realizada la conversión de la capacitancia a la susceptancia, su comportamiento eléctrico afecta sustancialmente en una red eléctrica ya que el efecto de capacitancia producida por los condensadores permite acumular energía eléctrica en forma de campo eléctrico, y la consecuencia más importante debido a la existencia de la conductancia son las pérdidas de potencia producidas por efecto aislador y corona.

⁸ [En línea]. [ref. 16 de agosto del 2013]. Disponible en Web http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learnig/index.php?id=1&id_sec=7



1.2.2.1 Capacitancia

La capacitancia de una línea de transmisión es el resultado de la diferencia de potencial entre los conductores y originan que ellos se carguen de la misma forma de las placas de un condensador cuando entre ellas aparece un diferencial de potencial.⁹ Teniendo en cuenta que depende del tamaño de los conductores y la distancia de separación entre ellos.

La capacitancia y la conductancia constituyen juntas la admitancia en paralelo de una red eléctrica. La capacitancia de una línea es proporcional a su longitud, mientras la corriente de carga es de magnitud despreciable para las redes con longitud menor a 80 Km, y para redes más largas esta adquiere un valor significativo y se lo debe tomar en cuenta.

1.2.2.2 Capacitancia de una Línea Monofásica de dos Conductores

Considerando una red eléctrica de dos conductores como se muestra en el gráfico 1.6, suministrada por una fuente monofásica equilibrada, en donde el conductor A tendrá una carga uniforme y el conductor B tendrá la misma cantidad de carga pero de magnitud negativa.

La ecuación para determinar la capacitancia entre los dos conductores es:

$$C_{AB} = \frac{\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{D}{\sqrt{r'_A r'_B}}\right)} \quad [\text{F/m}] \quad \text{Ec. (24)}$$

⁹ GRAINGER John J. – STEVENSON William D. Jr. Análisis de Sistemas de Potencia, Segunda Edición, pág. 159

Dónde:

C_{AB} : Capacitancia entre los conductores A y B

ϵ : Permeabilidad del espacio libre

$$\epsilon = 8.85 \times 10^{-12} \quad [F/m]$$

r'_A : Radio exterior del conductor A [m]

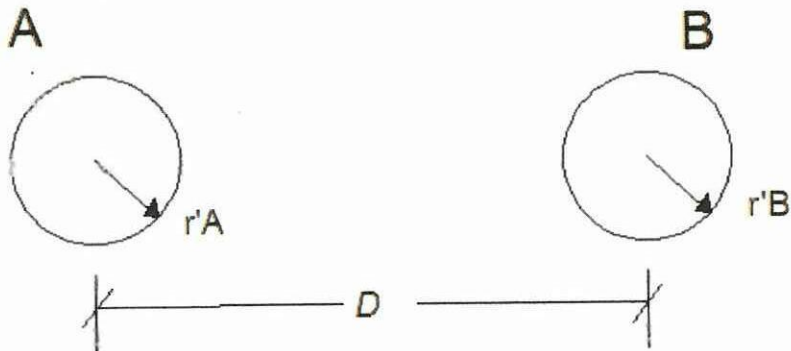
r'_B : Radio exterior del conductor B [m]

Si consideramos que los dos conductores son idénticos en características la ecuación para determinar la capacitancia entre los dos conductores será:

$$r'_A = r'_B = r'$$

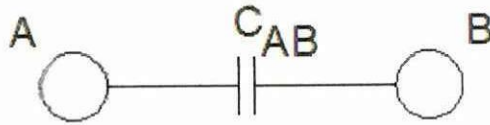
$$C_{AB} = \frac{\pi \epsilon}{\ln(D/r')} \quad [F/m] \quad \text{Ec. (25)}$$

GRÁFICO 1.6
DISPOSICIÓN DE UNA LÍNEA MOFÁSICA

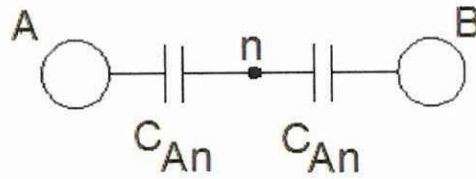


Fuente: GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle. "Análisis y diseño Sistemas de Potencia"
Realizado por: Grupo de Investigadores

GRÁFICO 1.7
DISPOSICIÓN DE UNA LÍNEA MOFÁSICA CON NEUTRO



a) Capacitancia línea a línea



b) Capacitancia línea a neutro

Fuente: GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle. “Análisis y diseño Sistemas de Potencia”
 Realizado por: Grupo de Investigadores

Como se muestra en el GRÁFICO 1.7, la capacitancia entre las dos líneas puede ser considerada equivalentemente como dos capacitancias en serie, como consecuencia el valor de la capacitancia encontrada anteriormente será la mitad de la que se determinara mediante la siguiente ecuación, es decir la capacitancia de cualquiera de las dos líneas al neutro es:

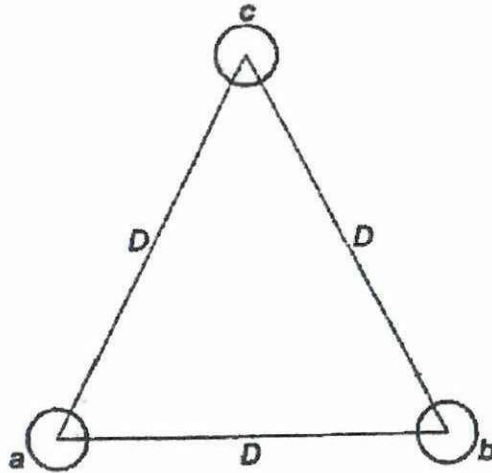
$$C_n = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{D}{\sqrt{\Gamma'_A\Gamma'_B}}\right)} \quad [\text{F/m}] \quad \text{Ec. (26)}$$

Dónde:

C_n : Capacitancia línea a neutro

1.2.2.3 Capacitancia de una Línea Trifásica con Espaciamiento Simétrico

GRÁFICO 1.8
DISPOSICIÓN DE UNA LÍNEA TRIFÁSICA SIMÉTRICA



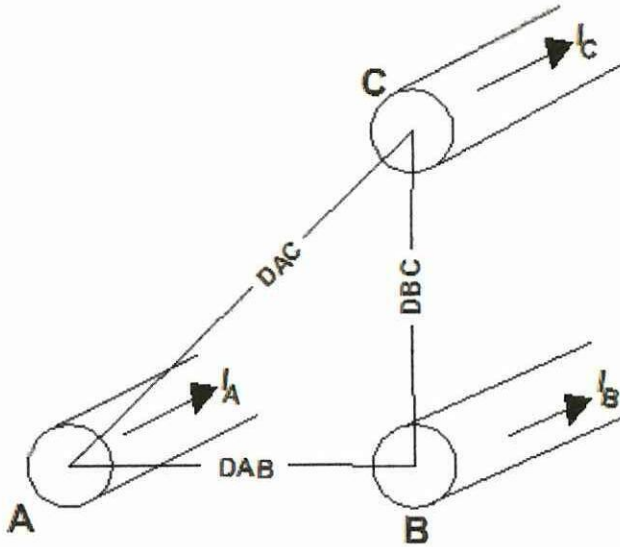
Fuente: GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle. “Análisis y diseño Sistemas de Potencia”
Realizado por: Grupo de Investigadores

El GRÁFICO 1.8, muestra una red trifásica compuesta de tres conductores idénticos de radio r colocados en configuración equilátera, en este caso se desprecia el efecto de los conductores a tierra para determinar la capacitancia en secuencia positiva teniendo en cuenta que las cargas estarán equilibradas, por lo cual es necesario calcular únicamente la capacitancia a neutro de una sola línea como se indica en la siguiente ecuación:

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(DMG/r')} \quad [F/m] \quad \text{Ec. (27)}$$

1.2.2.4 Capacitancia de una Línea Trifásica con Espaciamiento Asimétrico

**GRÁFICO 1.9
DISPOSICIÓN DE UNA LÍNEA TRIFÁSICA ASIMÉTRICA**



Fuente: GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle. “Análisis y diseño Sistemas de Potencia”
Realizado por: Grupo de Investigadores

El GRÁFICO 1.9, muestra tres conductores idénticos de radio r de una red trifásica con espaciamiento asimétrico. Si se supone que la línea está totalmente transpuesta la capacitancia promedio al neutro de cualquier fase para el ciclo completo de transposición es la misma que la capacitancia promedio al neutro de cualquier otra fase. Esto se debe a que cada conductor ocupa las mismas posiciones que los otros dos conductores a lo largo del ciclo de transposición.

Entonces la Capacitancia promedio al neutro de cualquier fase para el ciclo completo de transposición será:

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(DMG/r')} \quad [F/m] \quad \text{Ec. (28)}$$

1.2.2.5 Capacitancia de Conductores Trenzados

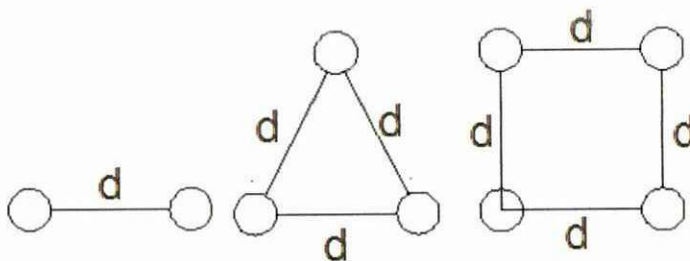
Los casos indicados anteriormente de capacitancia, se basan en hipótesis de que los conductores son cilíndricos sólidos, el campo eléctrico interno en estos conductores es cero, mientras que el campo eléctrico externo es perpendicular a la superficie de los mismos.

Los conductores trenzados tienen un campo eléctrico interno pequeño, mientras que el campo eléctrico externo es ligeramente alterado cerca de la superficie de los conductores, sin embargo, es usual que al calcular la capacitancia de estas líneas se lo debe considerar como si fuese un conductor cilíndricamente sólido, teniendo en cuenta que el radio de este conductor es igual al radio exterior del conductor trenzado.

El error resultante en la capacitancia es pequeño ya que solo resulta afectado el campo eléctrico cerca de la superficie de los conductores.

1.2.2.6 Cálculo de la Capacitancia en Conductores Agrupados

GRÁFICO 1.10
DISPOSICIÓN DE CONDUCTORES EN HAZ



Fuente: GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle. "Análisis y diseño Sistemas de Potencia"
Realizado por: Grupo de Investigadores

Una manera de reducir el efecto corona y la reactancia es incrementando el número de conductores por fase es decir, hacer circuitos con conductores en haz.

Por lo tanto la capacitancia se determinara mediante la siguiente ecuación:

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(D_{MG}/D_{sc})} \quad [F/m] \quad \text{Ec. (29)}$$

$$D_{sc} = \sqrt{r'd} \quad \text{Para un haz de dos conductores}$$

$$D_{sc} = \sqrt[3]{r'd^2} \quad \text{Para un haz de tres conductores}$$

$$D_{sc} = 1.091 \sqrt[4]{r'd^3} \quad \text{Para un haz de cuatro conductores}$$

Dónde:

D_{sc} : Valor que reemplaza al RMG en conductores compuestos en haz

r' : Radio exterior del conductor.

d : Distancia de separación del haz

1.2.2.7 Conductancia

La conductancia explica la perdida de potencia real entre conductores o entre conductores y la tierra. Para las líneas aéreas, esta pérdida de potencia se debe a las corrientes de fuga en los aisladores y corona. La corriente de fuga en los aisladores depende de la cantidad de suciedad, sal y otros contaminantes que se hayan acumulado sobre los aisladores así como los factores meteorológicos, en particular la presencia de humedad¹⁰.

¹⁰ Los ingenieros GIOVR J. Duncan y SARME Mulukutlo S. en su libro “Sistemas de Potencia Análisis y Diseño III edición”

Concretamente, para determinar este parámetro todavía no existe un modelo matemático preciso y con la simplicidad apropiada para poderlo manejar. Este parámetro resulta de la observación de las “corrientes de fuga” describiendo una trayectoria de las fases a tierra. Principalmente, estas corrientes fluyen a través del aislador hacia la torre, la cual varía significativamente con el calor, humedad atmosférica, contaminación y salinidad del ambiente, entre otros factores. Por esta razón, obtener un modelo matemático representativo de este fenómeno, resulta una tarea compleja, por lo cual es común despreciar este efecto de estas corrientes de fuga, debido a que representan un porcentaje muy pequeño con respecto a las corrientes nominales de la red.

1.2.2.8 Admitancia, Y

Una vez determinada la capacitancia se la debe transformar a susceptancia mediante la siguiente ecuación:

$$B = C2\pi f \quad [S] \quad \text{Ec. (30)}$$

Al igual que la impedancia es una magnitud vectorial, cuyas componentes son:

Componente real: conductancia, G

Componente imaginaria: susceptancia, B

$$Y = G + jB \quad [S] \quad \text{Ec. (31)}$$

1.3 Análisis y Desempeño de las Redes Eléctricas

Al momento de realizar el diseño o la operación de una red eléctrica, uno de los análisis más importantes que se debe tomar en cuenta es, conservar el nivel de voltaje dentro de los límites especificados en los diversos tramos de la red.

Para el análisis de las redes eléctricas se considera las ecuaciones con las cuales se pueda determinar el voltaje, la corriente y la potencia, en un punto que por lo general es en uno de los extremos o terminales de la red.

Generalmente las redes de transmisión operan con cargas trifásicas balanceadas, motivo por el cual el análisis de estas redes se las realiza considerando las características de dos puntos de la red los cuales los conoceremos como extremo generador, lugar donde se va a generar la energía eléctrica y el extremo receptor, lugar donde se encontrara instalada la carga. Para identificar al voltaje y la corriente se utiliza la siguiente nomenclatura: V_G e I_G en el extremo generador y V_R e I_R en el extremo receptor.

Las relaciones entre el extremo generador y el extremo receptor se las puede expresar de una forma matricial como se indica a continuación:

$$\begin{bmatrix} V_G \\ I_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (32)}$$

Los parámetros A-B-C-D dependen de los parámetros R, L y C de la línea, y en General son complejos, A y D son adimensionales y B tiene unidades de ohm [Ω], mientras que C unidades de siemens [S].¹¹

1.3.1 Representación de las Redes Eléctricas

Las ecuaciones que relacionan el voltaje y la corriente en las redes eléctricas se las determina considerando los cuatro parámetros eléctricos de la red, los cuales se encuentra distribuidos a lo largo de ella.

¹¹ CORIA CISNEROS Lino, Cálculo de Parámetros y Operación en Estado Estacionario de Líneas de Transmisión, pág. 50

Para el análisis y comportamiento de estas redes eléctricas en el presente estudio se las clasifica en tres grupos, los cuales dependen de su longitud:¹²

- Redes eléctricas de longitud corta, las cuales tienen una distancia máxima de 80 Km.
- Redes eléctricas de longitud media, las cuales tienen una longitud superior a 80 Km e inferior a 240 Km.
- Redes eléctricas de longitud larga, las cuales tienen una longitud superior a los 240 Km.

1.3.2 Redes Eléctricas de Longitud Corta

Se considera una línea de longitud corta aquella cuya longitud no excede de los 80 Km. Con esta longitud se puede despreciar el efecto producido por la conductancia, así mismo el efecto capacitivo es también un pequeño valor, no influyendo en los resultados.¹³

Cuando se analiza este tipo de redes la admitancia total en paralelo es extremadamente pequeña, motivo por el cual es necesario despreciarla, dando como resultado el circuito equivalente que se muestra en el gráfico 1.11.

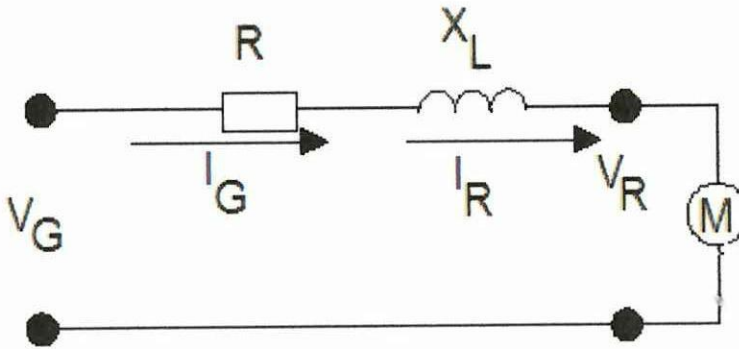
Al no considerar la admitancia tenemos como resultado un circuito simple en serie, con una resistencia y una inductancia concentradas en el centro de la línea.

¹² MUJAL ROSAS Ramón M., Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas, Primera Edición, publicado en septiembre del 2002, pág. 37,38,44

¹³ TERRASA, Cálculo de Líneas Eléctricas en Régimen Permanente, publicado en el 2002, pág. 37



GRÁFICO 1.11
CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA LÍNEA DE LONGITUD CORTA



Fuente: Lino Coria Cisneros “Cálculo de Parámetros y Operación en Estado Estacionario de Líneas de Transmisión”

Realizado por: Grupo de Investigadores.

La relación entre el voltaje y la corriente en el extremo generador y en el extremo receptor se la puede expresar mediante la siguiente matriz.

$$\begin{bmatrix} V_G \\ I_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (33)}$$

$$Z = (R + j X)$$

$$B = C \cdot 2\pi f = 0 \quad \text{Ya que se desprecia la capacitancia}$$

$$Y = (G + j B) = 0 \quad \text{Ya que se desprecia la admitancia}$$

Del circuito equivalente se pueden analizar dos circunstancias que se pudiesen producir en una red eléctrica, los cuales son:

- Régimen a plena carga
- Régimen en vacío.

1.3.2.1 Redes Eléctricas de Longitud Corta con Funcionamiento a Plena Carga

Si se tiene una carga conectada en el extremo receptor de la red eléctrica se cerrara el circuito, y se generara una corriente, la cual tendrá un módulo y un ángulo dependiendo de la carga, que podría ser resistiva, inductiva o capacitiva respectivamente.

Si se tiene como datos el nivel de voltaje, la potencia y el factor de potencia en el extremo receptor se puede determinar la corriente mediante la siguiente ecuación.

$$I_R = \frac{P_R}{V_R \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \emptyset} \quad [A] \quad \text{Ec. (34)}$$

Dónde:

I_R : Corriente en el extremo receptor

P_R : Potencia activa en el extremo receptor, [W]

V_R : Voltaje de fase en el extremo receptor, [V]

\emptyset : Angulo de desfase entre la corriente y el voltaje del extremo receptor.

Mediante la matriz donde se relaciona el voltaje y la corriente entre los extremos generador y receptor, de una red eléctrica teniendo en cuenta que se desprecia la capacitancia debido a la longitud de la red, la corriente en el extremo generador será:

$$I_G = I_R \quad \text{Ec. (35)}$$

Mientras que el voltaje en el extremo generador se lo determina mediante la siguiente ecuación.

$$V_G = V_R + I_R (R \cos \emptyset + X_L \sin \emptyset) \quad \text{Ec. (36)}$$

Dónde:

V_G : Voltaje de fase en el extremo generador, [V]

La potencia requerida en el extremo generador se determina mediante la ecuación:

$$P_G = V_G * I_G * \sqrt{3} * f_P \quad \text{Ec. (37)}$$

Dónde:

P_G : Potencia activa en el extremo generador, [W].

f_P : Factor de potencia en el extremo generador.

Una vez calculado estos resultados se determinara la regulación de voltaje, mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Reg} = \frac{V_G - V_R}{V_G} * 100 \% \quad \text{Ec. (38)}$$

El valor de la caída de voltaje se determina mediante la siguiente ecuación:

$$v = V_G - V_R \quad [\text{V}] \quad \text{Ec. (39)}$$

El rendimiento de una red eléctrica relacionara la potencia activa entre los extremos generador y receptor y se la expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P_G}{P_R} * 100 \% \quad \text{Ec. (40)}$$

1.3.2.2 Redes de Longitud Corta con Funcionamiento en Vacío

En este caso al no tener conectada una carga en el extremo receptor de una red eléctrica, el circuito permanecerá abierto y no existirá un flujo de corriente que

circule a través de ella. Por ende no existirá una caída de voltaje ni pérdidas de potencia, ocasionando que la regulación de voltaje y el rendimiento de la línea de transmisión sean cero (0)

Las ecuaciones que determinaran los valores de voltaje y corriente cuando la red eléctrica se encuentra con un régimen en vacío son:

$$I_G = I_R = 0 \quad \text{Ec. (41)}$$

$$V_G = V_R \quad \text{Ec. (42)}$$

1.3.3 Red Eléctrica de Longitud Media

Para modelar líneas de transmisión de longitud media entre 80 y 240 Km, a más de considerar la resistencia y la inductancia, para la longitud total de la línea se debe considerar la admitancia en paralelo.¹⁴

Debido a que la longitud de estas líneas ya es considerable, y el valor de la capacitancia es significativo. Mientras que el valor de la conductancia sigue siendo muy reducido y debido a la dificultad para su cálculo puede ser de magnitud despreciable.

Para analizar el desempeño de este tipo de red eléctrica, se lo puede realizar mediante dos métodos de cálculo analítico:

- Método del circuito equivalente en T
- Método del circuito equivalente en π

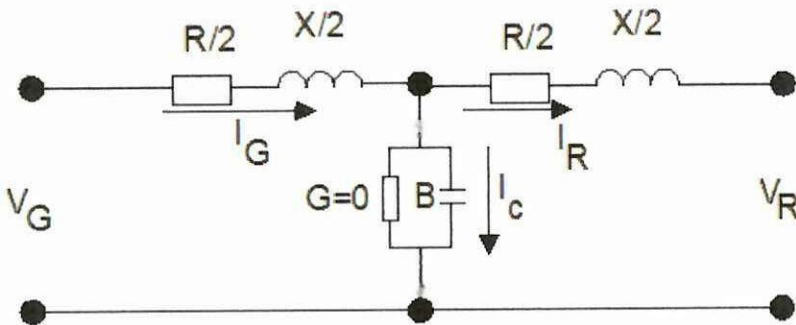
¹⁴ CHASIPANTA GONZALES , Joaquín Alfredo, Estudio Para Repotenciación de la Línea de Transmisión Pucara-Mulalo a 138kV Utilizando el conductor mas Económico, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito Junio 2011, Pág. 68

1.3.3.1 Circuito Equivalente T

El método de cálculo para determinar los valores de las componentes que conforman el circuito equivalente T, se basa en sustituir la capacidad uniforme repartida a lo largo de la línea, por un valor total a la capacidad representada en derivación en el centro de la red¹⁵, es decir se considerara la admitancia, mientras que la impedancia se dividirá en dos partes iguales, una en el extremo generador y otra en el extremo receptor. En el GRÁFICO 1.12, se representa el circuito equivalente "T".

GRÁFICO 1.12

CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA RED ELÉCTRICA DISPUESTA EN T



Fuente: CORIA CISNEROS Lino "Cálculo de Parámetros y Operación en Estado Estacionario de Líneas de Transmisión"

Realizado por: Grupo de Investigadores.

Como se muestra en el GRÁFICO 1.12, en el centro de la red eléctrica se representa la admitancia en paralelo, en la cual se consideran los siguientes parámetros:

C : Capacitancia aplicada en el centro de la línea, [S]

V_c : Voltaje en el condensador C o capacitancia, [V]

I_c : Intensidad de corriente en dicho condensador, [A]

¹⁵ CHECA Luis María, Líneas de Transporte de Energía, Tercera Edición, publicado en el año 2000, Pág. 150

De la misma manera que se realiza en análisis en las redes eléctricas de longitud corta, en este tipo de redes también se consideraran dos estados que son:

- Régimen a plena carga
- Régimen en vacío.

1.3.3.2 Red Eléctrica de Longitud Media Con Funcionamiento a Plena Carga

Para resolver el circuito equivalente en T se utilizaran las siguientes ecuaciones, si se tiene como datos el voltaje, la potencia y el factor de potencia se puede determinar la corriente mediante la siguiente ecuación:

$$I_R = \frac{P_R}{V_R \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \phi} \quad [A] \quad \text{Ec. (43)}$$

Voltaje en el centro de la línea (condensador)

$$V_c \left| \underline{\varphi_c} = V_R \left| \underline{0^\circ} + \frac{Z I_R}{2} \left| \underline{\beta_Z + \varphi_R} \quad [V] \quad \text{Ec. (44)}$$

Corriente en el extremo generador de la línea de la red eléctrica.

$$I_G \left| \underline{\beta_{I_G}} = I_R \left| \underline{\varphi_R} + C 2\pi f V_c \left| \underline{\varphi_c + \frac{\pi}{2}} \quad [A] \quad \text{Ec. (45)}$$

Voltaje en el extremo generador de la red eléctrica

$$V_G \left| \underline{\beta_{I_G} - \varphi_G} = V_c \left| \underline{\varphi_c} + \frac{Z I_G}{2} \left| \underline{\beta_Z + \varphi_{I_G}} \quad [V] \quad \text{Ec. (46)}$$

Caída de voltaje

$$v = V_G - V_R \quad \text{Ec. (47)}$$

Regulación de voltaje

$$v \% = \frac{V_G - V_R}{V_G} * 100 \quad \text{Ec. (48)}$$

Potencia activa en el extremo generador

$$P_G = \sqrt{3} * V_G * I_G * \cos \varphi \quad \text{Ec. (49)}$$

Potencia aparente en el extremo generador

$$S_G = \frac{P_G}{\cos \varphi} \quad [\text{VA}] \quad \text{Ec. (50)}$$

Pérdida de potencia

$$p = P_G - P_R \quad [\text{W}] \quad \text{Ec. (51)}$$

$$p \% = \frac{P_G - P_R}{P_G} * 100 \quad \text{Ec. (52)}$$

Rendimiento de la línea

$$\eta = \frac{P_R}{P_G} * 100 \quad \text{Ec. (53)}$$

1.3.3.3 Red Eléctrica de Longitud Media con Funcionamiento en Vacío

Debido a la influencia que ejerce la capacitancia en una red eléctrica con funcionamiento en vacío y con pequeñas cargas, el valor del voltaje aumenta desde el extremo generador hacia el final de la línea o extremo receptor.

Voltaje en el extremo generador

$$V_G = V_R \left[1 - \frac{L \cdot B}{2} \right] \quad \text{Ec. (54)}$$

Corriente en el extremo generador

$$I_G = B * V_G \quad \text{Ec. (55)}$$

Caída de voltaje

$$v = V_G - V_R \quad \text{Ec. (56)}$$

Regulación de voltaje

$$v \% = \frac{V_G - V_R}{V_G} * 100 \quad \text{Ec. (57)}$$

Para el caso de una red eléctrica el vector formado por el módulo de la corriente en el extremo generador (I_G) es perpendicular al módulo del voltaje en dicho extremo (V_G), es decir el ángulo de desfasaje entre estos dos valores es casi 90° y por ende el valor del factor de potencia en el extremo del generador, cuando una red eléctrica tiene un funcionamiento en vacío es muy pequeño. Y se lo puede determinar mediante la ecuación:

$$f_p = \cos \phi \quad \text{Ec. (58)}$$

$$\phi = \cos(90 - \beta V_G) \quad \text{Ec. (59)}$$

Potencia activa en el extremo generador.

$$P_G = \sqrt{3} * V_G * I_G * \cos \varphi \quad \text{Ec. (60)}$$

Potencia aparente en el extremo generador

$$S_G = \frac{P_G}{\cos \varphi} \quad \text{Ec. (61)}$$

Pérdida de potencia

$$p = P_G - P_R \quad \text{Ec. (62)}$$

$$p \% = \frac{P_G - P_R}{P_G} * 100 \quad \text{Ec. (63)}$$

Rendimiento de la línea

$$\eta = \frac{P_R}{P_G} * 100 \quad \text{Ec. (64)}$$

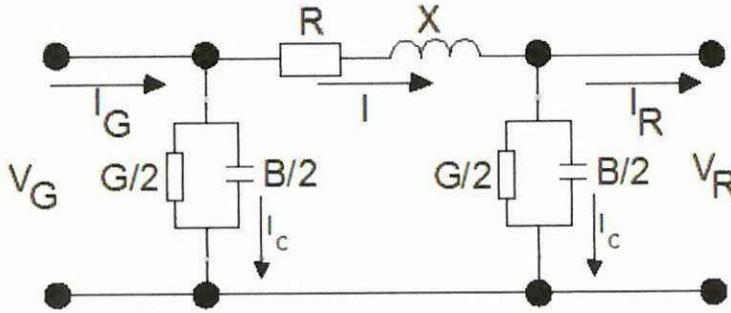
1.3.3.4 Circuito Equivalente en “ π ”

Este método de cálculo se basa en sustituir la capacitancia uniforme repartida a lo largo de la red eléctrica, en dos partes, con la mitad de su valor y se encontraran ubicados en cada uno de los extremos de la red, es decir la admitancia se encuentra dividida en dos partes iguales, una en el extremo generador y otra en el extremo receptor¹⁶. Mientras que la impedancia se la representara en el centro de la red, y así se obtendrá el circuito equivalente en π , el cual se representa en el gráfico 1.12.

¹⁶ CHECA Luis María, Líneas de Transporte de Energía, Tercera Edición, publicado en el año 2000, Pág. 163

GRÁFICO 1.13

CIRCUITO EQUIVALENTE RED ELÉCTRICA EN π



Fuente: CORIA CISNEROS Lino “Cálculo de Parámetros y Operación en Estado Estacionario de Líneas de Transmisión”

Realizado por: Grupo de Investigadores.

En el circuito equivalente en π se debe considerar los siguientes parámetros:

$\frac{C}{2}$: Mitad de la capacitancia, semicapacitancia, representada en cada extremo de la red.

I : Intensidad de corriente en el centro de la red.

I_{C1} : Intensidad de corriente en la semicapacitancia del extremo generador.

I_{C2} : Intensidad de corriente en la semicapacitancia del extremo receptor.

Para resolver el circuito equivalente en π se utilizarán las siguientes ecuaciones, considerando que el sistema se encuentra funcionando a plena carga.

Corriente en el centro de la red:

$$I \angle \beta_I = I_R \angle \varphi_R + \frac{C}{2} 2\pi f V_R \angle \frac{\pi}{2} \quad [A] \quad \text{Ec. (65)}$$

Voltaje en el extremo generador

$$V_G \angle \varphi_G + \beta_{IG} = V_R \angle 0^\circ + ZI \angle \beta_Z + \beta_I \quad \text{Ec. (66)}$$



Corriente en el extremo generador.

$$I_G \left| \beta_{I_G} = I \left| \beta_I + \frac{C}{2} \omega V_G \left| \frac{\pi}{2} + \varphi_G + \beta_{I1} \right. \right. \right. \quad \text{Ec. (67)}$$

Caída de voltaje

$$v = V_G - V_R \quad \text{Ec. (68)}$$

Regulación de voltaje

$$v \% = \frac{V_G - V_R}{V_G} * 100 \quad \text{Ec. (69)}$$

Potencia activa en el extremo generador

$$P_G = \sqrt{3} * V_G * I_G * \cos \varphi \quad \text{Ec. (70)}$$

Potencia aparente en el extremo generador

$$S_G = \frac{P_G}{\cos \varphi} \quad \text{Ec. (71)}$$

Pérdida de potencia

$$p = P_G - P_R \quad \text{Ec. (72)}$$

$$p \% = \frac{P_G - P_R}{P_G} * 100 \quad \text{Ec. (73)}$$

Rendimiento de la línea

$$\eta = \frac{P_R}{P_G} * 100 \quad \text{Ec. (74)}$$

Para analizar el funcionamiento de una red eléctrica de longitud media con funcionamiento en vacío, mediante el circuito equivalente π se realizara al mismo procedimiento analítico que se utilizó para el análisis del circuito equivalente en T.

1.3.4 Red Eléctrica de Longitud Larga.

Cuando la línea de transmisión tiene una distancia considerable ya no es muy preciso considerar que los parámetros están concentrados, sino distribuidos uniformemente a todo lo largo de la misma.¹⁷

Para el análisis de las redes eléctricas de longitud larga es decir, las que son mayores a 240 km de longitud, se consideran los parámetros eléctricos; resistencia, inductancia y capacitancia los cuales en este tipo de redes se encontraran distribuidos a lo largo de ella, y se la puede representar e interpretarla mediante la siguiente matriz.

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh yl & Z_C \sinh yl \\ \frac{1}{Z_C} \sinh yl & \cosh yl \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (75)}$$

En este tipo de líneas se deben considerar dos parámetros nuevos como son la impedancia característica (Z_C) y la constante de propagación o admitancia de la red (yl), cuyas ecuaciones para poderlas demostrar, son las siguientes.

$$Z_C = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad [\Omega] \quad \text{Ec. (76)}$$

$$yl = \sqrt{ZY} * l \quad [S] \quad \text{Ec. (77)}$$

Dónde:

l: Longitud de la red eléctrica, [m].

¹⁷ CÓRDOVA Leonardo C. Modelación de Redes de Transmisión de Energía Eléctrica, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Mecánica Universidad Nacional de Colombia, Agosto 2004, Pág. 74

Para poder determinar los valores de voltaje, corriente y potencia en el extremo generador, conociendo datos en el extremo receptor se lo realizara de una forma analítica mediante las ecuaciones que se indican a continuación:

Voltaje de fase en el extremo generador

$$V_G = V_R \cosh yl + I_R Z_C \sinh yl \quad \text{Ec. (78)}$$

Función hiperbólica del coseno

$$\cosh yl = \cosh(\alpha + j\beta) = \frac{1}{2} \left(\epsilon^\alpha \left| \underline{\beta} + \epsilon^{-\alpha} \right| \underline{-\beta} \right) \quad \text{Ec. (79)}$$

$$\sinh yl = \sinh(\alpha + j\beta) = \frac{1}{2} \left(\epsilon^\alpha \left| \underline{\beta} - \epsilon^{-\alpha} \right| \underline{-\beta} \right) \quad \text{Ecu (80)}$$

Corriente en el extremo generador

$$I_G = I_R \cosh yl + \frac{V_R}{Z_C} \sinh yl \quad \text{Ec. (81)}$$

Caída de voltaje

$$v = V_G - V_R \quad \text{Ec. (82)}$$

Regulación de voltaje

$$v \% = \frac{V_G - V_R}{V_G} * 100 \quad \text{Ec. (83)}$$

Potencia activa en el extremo generador

$$P_G = \sqrt{3} * V_G * I_G * \cos \varphi \quad \text{Ec. (84)}$$

Potencia aparente en el extremo generador

$$S_G = \frac{P_G}{\cos \varphi} \quad \text{Ec. (85)}$$

Pérdida de potencia

$$p = P_G - P_R \quad \text{Ec. (86)}$$

$$p \% = \frac{P_G - P_R}{P_G} * 100 \quad \text{Ec. (87)}$$

Rendimiento de la red eléctrica.

$$\eta = \frac{P_R}{P_G} * 100 \quad \text{Ec. (88)}$$

1.4 PARÁMETROS MECÁNICOS DE UNA RED ELÉCTRICA

En el análisis de los parámetros mecánicos de las redes eléctricas se debe considerar los aspectos más relevantes que intervienen para realizar un diseño adecuado, y estos son las flechas, tensiones y la tolerancia mecánica de los conductores empleados en una red, teniendo en cuenta las sobrecargas a las cuales se encuentran expuestos los conductores.

Para el cálculo de estos parámetros se tendrá en cuenta que los conductores se encuentran suspendidos entre dos puntos, los cuales dependiendo del perfil topográfico del terreno, podrán estar ubicados en las siguientes circunstancias:

- Conductor suspendido entre dos puntos a nivel.
- Conductor suspendido entre dos puntos a desnivel.

1.4.1 Conductor Suspendido Entre Dos Puntos a Nivel

El Ecuador es un país que tiene una diversidad de perfiles topográficos, dependiendo de cada una de sus regiones, en donde existe grandes extensiones de terrenos que se encuentran a la misma altura sobre el nivel del mar, motivo por el cual es necesario analizar los parámetros que se pueden producir en un conductor cuando se encuentra suspendido entre dos puntos al mismo nivel.

1.4.1.1 Catenaria del Conductor a Nivel, (y)

Se llama catenaria a la curva formada por un conductor de peso uniforme cuando este se encuentra sujeto a dos apoyos a la misma altura.¹⁸

Para el cálculo de la catenaria, se partirá de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{T_b}{w_c} + \sqrt{\left(\frac{T_b}{w_c} \right)^2 - \frac{a^2}{2}} \right) \quad [\text{m}] \quad \text{Ec. (89)}$$

Dónde:

C: Parámetro de la catenaria

T_b: Tensión del conductor en el extremo B, [kg]

w_c: Peso unitario del conductor, [kg/m]

a: Vano, distancia entre los dos puntos de suspensión del conductor, [m].

¹⁸ CHAMORRO QUITAMA Edmundo Xavier, MUYULEMA MASAQUIZA Braulio David, Incidencia del Viento en la Temperatura del Conductor y en los Esfuerzos Mecánicos de las Estructuras, Caso Línea de Transmisión Totoras-Quevedo 230 kV, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Pág. 77

1.4.1.2 Tensión Máxima, T_{max}

La tensión máxima a la cual deberá estar expuesto un conductor no deberá ser mayor que su tensión de ruptura, la cual viene indicada en la tabla 1.3 (Anexos), de características de los conductores.

La tensión máxima se obtiene dividiendo el tensión de ruptura, T_R , por un coeficiente de seguridad, C_s , asignado por el diseñador o dispuesto por Normas.

La tracción máxima de los conductores y cables de tierra no resultará superior a su carga de rotura, dividida por 2,5, si se trata de cables; o dividida por 3 si se trata de alambres.¹⁹

$$T_{max} = \frac{T_R}{C_s} \quad [\text{kg}] \quad \text{Ec. (90)}$$

En el cálculo de las tensiones en los extremos de un conductor suspendido entre dos puntos a nivel, se debe considerar que son valores semejantes.

$$T_b = T_a = T_{max}$$

Una vez encontrados los valores de las tensiones y determinado el parámetro de la catenaria, se podrá determinar el valor de la catenaria mediante la siguiente ecuación:

$$y = C \cosh\left(\frac{x}{C}\right) \quad [\text{m}] \quad \text{Ec. (91)}$$

Dónde:

y: Catenaria

¹⁹ LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN, Decreto 3151/1968, de 28 de noviembre, (B.O.E. 27 diciembre).Aprueba el Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión, con la rectificación de errores (B.O.E. 8 marzo 1969). Pag. 21

X: Abscisa en el punto x, (a/2)

1.4.1.3 Tensión Horizontal

La tensión horizontal es el esfuerzo al cual se encuentra sometido el conductor, y su valor será constante en cualquier punto de su trayectoria, el cual se determinara con la ecuación 92.

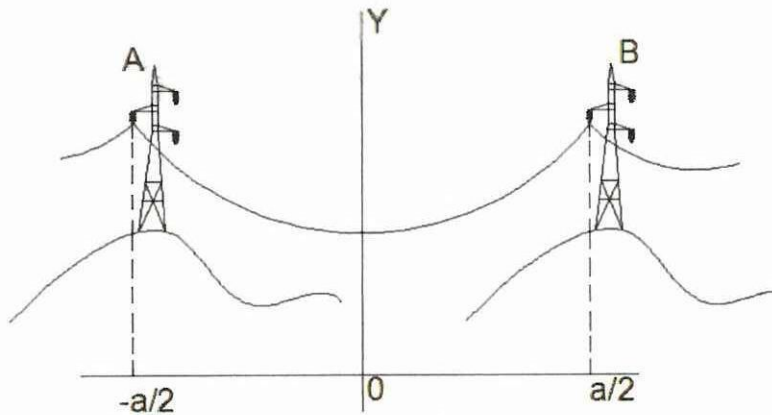
$$T_0 = Cw_c \quad \text{Ec. (92)}$$

Dónde:

T_0 : Tiro Horizontal, [kg]

1.4.1.4 Longitud del Conductor a Nivel, l'

GRÁFICO 1.14
DISPOSICIÓN DEL CONDUCTOR ENTRE TORRES A NIVEL



Fuente: BAUTISTA RÍOS Juan, Líneas de Transmisión Aspectos Mecánicos y Conductores, Pre edición 2001

Realizado por: Grupo de Investigadores

Dada la flecha que se produce en un vano, la longitud del conductor no es igual a la distancia entre los postes.²⁰

²⁰ CHAMORRO QUITAMA Edmundo Xavier, MUYULEMA MASAQUIZA Braulio David, Incidencia del Viento en la Temperatura del Conductor y en los Esfuerzos Mecánicos de las

Es importante determinar la longitud del conductor suspendido entre dos puntos, ya que este valor será mayor al del vano de separación, y con este se podrá calcular los parámetros eléctricos con mayor exactitud, permitiendo al proyectista dimensionar la cantidad de conductor necesaria para el proyecto en diseño.

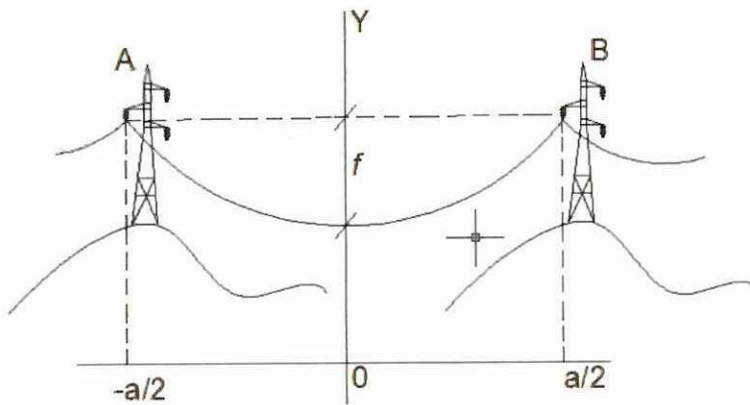
$$l' = 2C \operatorname{senh} \left(\frac{a}{2C} \right) \quad \text{Ec. (93)}$$

Dónde:

l' : Longitud del conductor a nivel, [m]

1.4.1.5 Flecha Formada en un Conductor a Nivel

GRÁFICO 1.15
FLECHA FORMADA ENTRE TORRES A NIVEL



Fuente: BAUTISTA RÍOS Juan, Líneas de Transmisión Aspectos Mecánicos y Conductores, Pre edición 2001

Realizado por: Grupo de Investigadores

Estructuras, Caso Línea de Transmisión Totoras-Quevedo 230 kV, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Pág. 118

La flecha es la distancia vertical medida entre el punto más bajo de la catenaria, hasta la cuerda subtendida entre los soportes del conductor.²¹

En el caso de conductores a nivel, la flecha se ubica a medio vano y sobre el eje de ordenadas.

$$f' = C \left(\cosh \left(\frac{a}{2C} \right) - 1 \right) \quad \text{Ec. (94)}$$

Dónde:

f': Flecha formada en un conductor a nivel, [m]

1.4.2 Conductor Suspendido Entre Dos Puntos a Desnivel

En muchos lugares es necesario que las redes eléctricas sean instaladas en terrenos con distinto perfil topográfico, ocasionando que los puntos de suspensión del conductor se encuentren en distintos sitios sobre el nivel del mar, motivo por el cual es necesario analizar los parámetros que se pueden producir en un conductor cuando se encuentre ubicado bajo estas circunstancias.

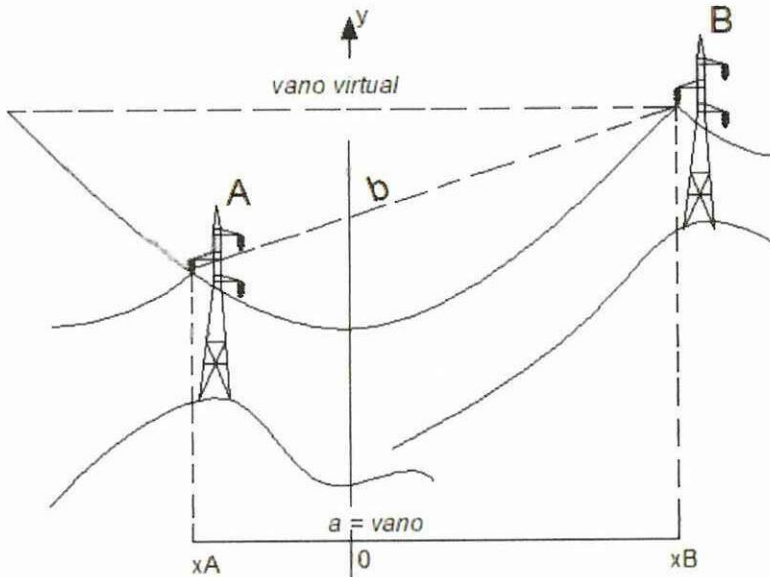
1.4.2.1 Catenaria del Conductor a Desnivel, (y)

La ecuación de la catenaria de un conductor suspendido entre dos puntos a desnivel es la misma que en el caso de los conductores a nivel, pero en este caso los puntos de suspensión (extremos del conductor A y B) se encuentran desplazados verticalmente dentro de la misma curva.

$$y = C \cosh \left(\frac{x}{C} \right) \quad \text{Ec. (95)}$$

²¹ BARRETO Marvin , Diseño Electromecánico de Líneas de Transmisión, realizada en Guatemala en octubre del 2003

GRÁFICO 1.16
CATENARIA FORMADA ENTRE TORRES A DESNIVEL



Fuente: BAUTISTA RÍOS Juan, Líneas de Transmisión Aspectos Mecánicos y Conductores, Pre edición 2001
 Realizado por: Grupo de Investigadores

En el caso de los conductores a desnivel, el parámetro de la catenaria, C se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{k} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{k} \left(\frac{T_b}{w_c} - \frac{h}{2} \right) \right)^2 - \frac{ab}{2k}} \right] \quad \text{Ec. (96)}$$

Dónde:

- T_b : Tensión en el extremo más alto entre los dos puntos, [Kg]
- w_c : Peso unitario del conductor, [kg/m]
- a : Vano [m]
- h : Desnivel entre los dos puntos de suspensión, [m]
- k : Variable que depende del desnivel



$$T_b = \frac{T_R}{C_s} \quad \text{Ec. (97)}$$

Dónde:

T_R: Tensión de Ruptura, [Kg]

C_s: Coeficiente de seguridad

$$h = Y_b - Y_a \quad \text{Ec. (98)}$$

Dónde:

Y_a: Altura en el extreme A del conductor

Y_b: Altura en el extreme B del conductor

1.4.2.2 Vano Real

Es la longitud que existe entre los puntos de suspensión del conductor a desnivel, formando una línea inclinada, y se lo determina mediante la siguiente ecuación:

$$b = \sqrt{a^2 + h^2} \quad \text{Ec. (99)}$$

Dónde:

b: Vano real, [m]

La variable k se determina mediante la ecuación:

$$k = 1 + \frac{1}{2} \left[\operatorname{arcsenh} \left(\frac{h}{a} \right) \right]^2 \quad \text{Ec. (100)}$$

1.4.2.3 Tensión en el Punto Inferior del Conductor

Cuando el conductor se encuentra suspendido entre dos puntos a desnivel, es necesario considerar que las tensiones ejercidas en cada una de sus extremos serán distintas, motivo con el cual con la ecuación 101, se determinara la tensión a la cual se encuentra sometido el conductor en su punto inferior.

$$T_a = T_0 \cosh\left(\frac{X_a}{C}\right) \quad (101)$$

Dónde:

T_a : Tensión en el extremo inferior, [kg]

T_0 : Tiro horizontal, [kg]

X_a : Abscisa en el extremo, A [m]

1.4.2.4 Tensión Horizontal

Esta constante se determina de la siguiente manera:

$$T_0 = Cw_c \quad \text{Ec. (102)}$$

Dónde:

T_0 : Tensión horizontal, [Kg]

1.4.2.5 Longitud del Conductor a Desnivel, l

Para determinar la longitud del conductor suspendido entre dos puntos a desnivel se utiliza la siguiente ecuación:

$$l = C \left[\sinh\left(\frac{X_b}{C}\right) - \sinh\left(\frac{X_a}{C}\right) \right] \quad \text{Ec. (103)}$$

En la ecuación 103, se observa que para encontrar la longitud del cable es necesario conocer las abscisas de los extremos y el parámetro de la catenaria, C.

- Abscisa en el extremo A:

$$X_a = X_m - \frac{a}{2} \quad \text{Ec. (104)}$$

- Abscisa en el extremo B:

$$X_b = X_m + \frac{a}{2} \quad \text{Ec. (105)}$$

- Abscisa del medio vano:

$$X_m = \text{Carcsinh} \left(\frac{h}{a} \right) \quad \text{Ec. (106)}$$

1.4.2.6 Flecha

La definición de flecha es la misma que se explicó anteriormente en el conductor a nivel. Considerando que la flecha del conductor a desnivel se ubica en la abscisa del medio vano, X_m , el cual se lo representa en el GRÁFICO 1.17, mediante un segmento que une los puntos NM.

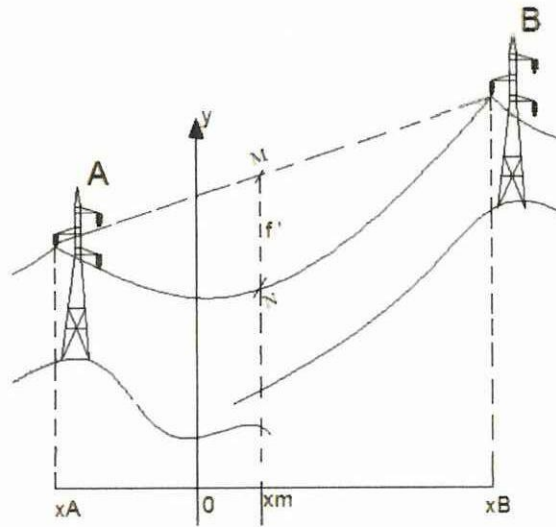
Para el cálculo de la flecha en un conductor desnivelado se utiliza la siguiente ecuación.

$$f = C \left(\cosh \left(\frac{a}{2C} \right) - 1 \right) \cosh \left(\frac{x_m}{C} \right) \quad \text{Ec. (107)}$$

Dónde:

f: Flecha del conductor a desnivel, [m]

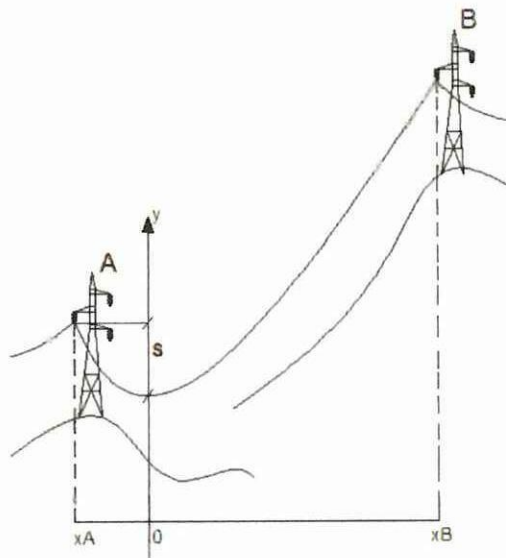
GRÁFICO 1.17
FLECHA FORMADA ENTRE TORRES A DESNIVEL



Fuente: BAUTISTA RÍOS Juan, Líneas de Transmisión Aspectos Mecánicos y Conductores
 Realizado por: Grupo de Investigadores

1.4.2.7 Saeta

GRÁFICO 1.18
SAETA FORMADA ENTRE TORRES A DESNIVEL



Fuente: Juan Bautista Ríos, Líneas de Transmisión Aspectos Mecánicos y Conductores
 Realizado por: Grupo de Investigadores

La saeta se define como la distancia vertical entre el punto de suspensión más bajo del conductor y su vértice o punto más bajo del conductor.²²

$$s = C \left(\cosh \left(\frac{x_a}{C} \right) - 1 \right) \quad \text{Ec. (108)}$$

Dónde:

s: Saeta, [m]

1.4.2.8 Sobrecargas en el Conductor

El conductor aéreo en condiciones normales de trabajo, puede estar sometido además de la carga propia (peso, w_c) a otros tipos de cargas debido a las condiciones climáticas de la zona o región donde se instalara la red eléctrica, dichas cargas son:²³

- Viento
- Hielo
- Acción simultánea de viento-hielo.

1.4.2.9 Presión del Viento

La presión dinámica ejercida por el viento sobre el conductor origina condiciones de sobrecarga severa o vibraciones que se manifiestan en la forma de brisa, ventarrón, huracán o tornado.

La presión del viento viene dada por:

$$P_v = 0,00481 v^2 \quad [\text{kg/m}^2] \quad \text{Ec. (109)}$$

²²BAUTISTA RÍOS Juan, Líneas de Transmisión de Potencia, Volumen 1, Aspectos Mecánicos y Conductores, Pre edición 2001, Pág. 33

²³ BAUTISTA RÍOS Juan, Líneas de Transmisión de Potencia, Volumen 1, Aspectos Mecánicos y Conductores, Pre edición 2001, Pág. 72

Dónde:

P_v : Presión del viento

v : Velocidad del viento, [km/h]

1.4.2.10 Presión Unitaria del Viento

Las cargas debido al viento son las fuerzas ejercidas por una masa de aire en movimiento que provoca una presión sobre los componentes de la línea y que determinara un esfuerzo adicional que deben soportar.²⁴

$$W_v = P_v \frac{(d+2e)}{1000} \quad (\text{Kg/m}) \quad \text{Ec. (110)}$$

W_v : Presión unitaria del viento, [kg/m]

d : Diámetro del conductor, [mm]

e : Costra de hielo sobre el conductor, [mm]

1.4.2.11 Peso Unitario del Hielo

Por efecto de la congelación de la lluvia que se adhiere sobre la superficie del conductor de las redes eléctricas aéreas, se origina una sobrecarga adicional al conductor.

El hielo es originado a temperaturas algo menores a 0°C y el efecto de la altura sobre el nivel del mar, mayores de 2800msnm, prácticamente representa zonas de hielo.

El peso específico del hielo es débil, sin embargo, cuando se adhiere al conductor su peso fácilmente sobrepasa incluso el peso propio del conductor.

²⁴CHAMORRO QUITAMA Edmundo Xavier, MUYULEMA MASAQUIZA Braulio David, Incidencia del Viento en la Temperatura del Conductor y en los Esfuerzos Mecánicos de las Estructuras, Caso Línea de Transmisión Totoras-Quevedo 230 kV, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Pág. 47

$$W_h = 0,0029(e^2 + de) \text{ [Kg/m]} \quad \text{Ec. (111)}$$

Dónde:

W_h : Peso Unitario del Hielo

1.4.2.12 Peso Unitario Resultante

Debido a las sobrecargas que se mencionaron por acción del hielo y viento, el peso unitario del conductor se incrementa, la ecuación para determinar este peso resultante será:

$$W_r = \sqrt{(W_c + W_h)^2 + W_v^2} \text{ [Kg/m]} \quad \text{Ec. (112)}$$

Dónde:

W_r : Peso unitario resultante

1.5 NORMA DEL PROCESO DE VIDA DEL SOFTWARE

El diseño y la elaboración de un software es un proceso muy complejo que requiere de una metodología de construcción la cual debe ser eficiente ya que durante el desarrollo del sistema pueden presentarse diversos problemas como son no cumplir con los requerimientos del usuario, no contar con un lenguaje adecuado que permita que en el futuro el sistema pueda ser sometido a modificaciones y no tener pantallas amigables con el usuario. Motivo por el cual existe la norma ISO 12207 la cual proporciona un modelo basado en procesos, actividades para las diferentes etapas en el desarrollo de software.

El objetivo más importante de esta norma es proporcionar una estructura común para que los compradores, proveedores, desarrolladores, personal de mantenimiento,

operadores, gestores y técnicos involucrados en el desarrollo de software utilicen un lenguaje en común²⁵ al momento de desarrollar cualquier sistema computacional.

1.5.1 Estructura de los Procesos del Ciclo de Vida del Software Según la Norma ISO 12207

Los procesos se encuentran distribuidos en tres grandes grupos de la siguiente manera:

➤ **Procesos Principales**

Adquisición

Suministro

Desarrollo

Explotación

Mantenimiento

➤ **Procesos de Apoyo**

Gestión de la configuración.

Aseguramiento de calidad.

Verificación. Validación.

Revisión conjunta.

Auditoría.

Resolución de problemas.

➤ **Procesos de Gestión**

Infraestructura.

Mejora.

Formación.

²⁵ <http://es.scribd.com/doc/131847881/NORMA-ISO-12207-pdf>

CAPITULO II

2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

2.1 ENTORNO DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes Históricos de la Universidad Técnica de Cotopaxi

En Cotopaxi el anhelado sueño de tener una institución de Educación Superior se alcanza el 24 de enero de 1995. Las fuerzas vivas de la provincia lo hacen posible, después de innumerables gestiones y teniendo como antecedente la Extensión que creó la Universidad Técnica del Norte. El local de la UNE-C fue la primera morada administrativa; luego las instalaciones del colegio Luis Fernando Ruiz que acogió a los entusiastas universitarios; posteriormente el Instituto Agropecuario Simón Rodríguez, fue el escenario de las actividades académicas: para finalmente instalarnos en casa propia, merced a la adecuación de un edificio a medio construir que estaba destinado a ser Centro de Rehabilitación Social. En la actualidad son cinco hectáreas las que forman el campus y 82 las del Centro Experimentación, Investigación y Producción Salache.

Hemos definido con claridad la postura institucional ante los dilemas internacionales y locales; somos una entidad que por principio defiende la autodeterminación de los pueblos, respetuosos de la equidad de género. Nos declaramos antiimperialistas porque rechazamos frontalmente la agresión globalizadora de corte neoliberal que privilegia la acción fracasada economía de libre mercado, que impulsa una propuesta

de un modelo basado en la gestión privada, o tratar de matizar reformas a la gestión pública, de modo que adopte un estilo de gestión empresarial.

En estos 15 años de vida institucional la madurez ha logrado este ente emancipador y de lucha en bien de la colectividad, en especial de la más apartada y urgida en atender sus necesidades. El nuevo reto institucional cuenta con el compromiso constante de sus autoridades hacia la calidad y excelencia educativa.²⁶

2.1.2 Filosofía Institucional

La misión de La Universidad Técnica de Cotopaxi, es ser pionera en desarrollar una educación para la emancipación; forma profesionales humanistas y de calidad; con elevado nivel académico, científico y tecnológico; sobre la base de principios de solidaridad, justicia, equidad y libertad, genera y difunde el conocimiento, la ciencia, el arte y la cultura a través de la investigación científica; y se vincula con la sociedad para contribuir a la transformación social-económica del país.

La visión indica que en el año 2015 la universidad se acredita y líder a nivel nacional en la formación integral de profesionales críticos, solidarios y comprometidos en el cambio social; en la ejecución de proyectos de investigación que aporten a la solución de los problemas de la región y del país, en un marco de alianzas estratégicas nacionales e internacionales; dotada de infraestructura física y tecnología moderna, de una planta docente y administrativa de excelencia; que mediante un sistema integral de gestión le permite garantizar la calidad de sus proyectos y alcanzar reconocimiento social.²⁷

²⁶ [En línea]. [ref. 15 de octubre del 2013]. Disponible en Web <http://www.utc.edu.ec/es-es/lautc/historia.aspx>

²⁷ [En línea]. [ref. 15 de octubre del 2013]. Disponible en Web <http://www.utc.edu.ec/es-es/lautc/misiónvisión.aspx>



Por tal motivo, el grupo de investigadores como estudiantes de la institución trata mediante un proceso investigativo lograr desarrollar un proyecto que permita complementar el aprendizaje en los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, mediante un programa computacional didáctico de fácil manejo y comprensión.

2.2 Diseño Metodológico

El trabajo de investigación para la elaboración de una guía con la cual se obtendrá los parámetros eléctricos y mecánicos de una línea de transmisión y servirá como una herramienta para reforzar los conocimientos teóricos en los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, emplea algunos tipos, métodos y técnicas de investigación con los cuales se pretende recopilar información para el desarrollo de la propuesta.

El presente trabajo de investigación tiene una metodología ordenada, eficaz y dinámica, la cual permitirá diseñar y planificar las actividades a desarrollarse, permitiendo realizar un proyecto factible y con esto alcanzar el propósito planteado, de elaborar un paquete computacional el cual servirá como una herramienta para mejorar el aprendizaje en los estudiantes.

2.2.1 Métodos de Investigación

2.2.1.1 Método Hipotético Deductivo

Este método fue utilizado por el grupo de investigadores ya que vieron la dificultad que tienen los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica para determinar los parámetros eléctricos y mecánicos de una manera analítica, debido a que para la obtención de los resultados, los cálculos a realizarse son muy tediosos por lo cual conlleva mucho tiempo determinarlos.

Por este motivo se plantea en la hipótesis, el desarrollo de un programa computacional de cálculo para el diseño de redes eléctricas, mediante la

simulación del comportamiento de parámetros eléctricos y mecánicos, la cual ayudara a complementar los conocimientos adquiridos sobre estos temas, y los resultados podrán ser comprobados en la fase de verificación o comparación de resultados mediante la implementación del programa computacional, el cual se indicara como resultado final de la investigación.

2.2.1.2 Método Inductivo

A partir de las encuestas y entrevistas realizadas a la población se determinó la necesidad de elaborar un programa computacional con el cual los estudiantes puedan reforzar todos los conocimientos adquiridos sobre el tema en estudio.

2.2.1.3 Tipos de Investigación

Para la elaboración y ejecución de la presente propuesta de estudio se utilizó los niveles de investigación, comprensivo e interactivo, y se recurrió a la investigación Bibliográfica, de Campo y Cuasi-Experimental.

2.2.1.4 Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación se utilizó en el presente estudio para recopilar información de los parámetros eléctricos y mecánicos de las redes eléctricas, modelación y comportamiento de estas, así como también determinar las ecuaciones más factibles para ser procesadas en un programa computacional. Siendo necesario la revisión de libros, revistas, folletos, fuentes electrónicas, textos, entre otros. Los cuales nos ayudaron a tener más claro los conocimientos científicos para diseñar una guía con la que se podrá determinar los parámetros eléctricos y mecánico de una red eléctrica, la cual servirá como una herramienta de aprendizaje y permitirá que los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica puedan fortalecer los conocimientos teóricos adquiridos, mediante la simulación del comportamiento de una red eléctrica, permitiendo un mejor proceso en el trabajo investigativo.

2.2.1.5 Investigación de Campo

Se utilizó la investigación de campo ya que se visitó las aulas en donde los alumnos de Ingeniería Eléctrica reciben clases. con el fin de conocer los inconvenientes que existe al no tener un programa computacional, en el que se pueda simular el comportamiento de las redes eléctricas y con el comparar los resultados obtenidos mediante el método analítico, por lo cual el grupo de investigadores pudo tener una perspectiva más amplia de los efectos que pueda traer la culminación de la presente propuesta.

2.2.1.6 Investigación Cuasi Experimental

Esta se utilizará en la fase de comprobación de resultados, con ejercicios resueltos en fuentes bibliográficas, para verificar el correcto funcionamiento del programa computacional, y si fuese el caso corregir posibles errores.

Todo este análisis se realizara con datos reales de una red eléctrica lo cual permitirá comparar resultados obtenidos en métodos analíticos, con el fin de elaborar una propuesta de proyecto didáctico y participativo, determinando ventajas y desventajas que presentará al momento de realizar el estudio de los parámetros eléctricos y mecánicos de las redes eléctricas.

2.3 Técnicas e Instrumentos de Investigación

2.3.1 Técnicas

2.3.1.1 Encuesta y Entrevista

Para dar un grado de veracidad a nuestro trabajo de investigación se requirió obtener datos cualitativos y cuantitativos, para ello se utilizó como técnicas la encuesta y la entrevista, mientras que como instrumentos de recopilación de información, un cuestionario formulado por preguntas acerca del “diseño de un

programa computacional para determinar los parámetros eléctricos y mecánicos de una red eléctrica”, el cual fue aplicado a las tres unidades en estudio: docentes, estudiantes de octavo nivel y alumnos egresados de la carrera de ingeniería eléctrica, cuyas opiniones fueron de gran ayuda para conocer el interés que presta la población encuestada al presente trabajo de investigación.

2.3.2 Instrumentos

2.3.2.1 Cuestionario de Encuesta

El cuestionario aplicado a la población escogida para el estudio consiste en un banco de preguntas que fueron diseñadas por el grupo de investigadores siguiendo un lineamiento al tema propuesto, con el fin de recopilar información y con ello determinar datos fundamentales los cuales se utilizarán para conocer si la propuesta presentada causa interés.

La encuesta realizada sobre el diseño de un programa computacional para determinar los parámetros eléctricos y mecánicos de una red eléctrica, consiste en 7 preguntas cerradas, las cuales se dividieron en dos secciones:

Sección 1: Conocimiento y uso de herramientas computacionales para determinar los parámetros eléctricos y mecánicos de las redes eléctricas.

Sección 2: Necesidad e implementación de un software para determinar los parámetros eléctricos y mecánicos de las redes eléctricas, en la carrera de ingeniería eléctrica.

Una vez recopilada toda la información se procede con la tabulación mediante la revisión de los cuestionarios, permitiendo facilitar el análisis de los resultados, posteriormente se representara mediante gráficos y cuadros estadísticos utilizando la herramienta “Microsoft Excel”.

2.3.2.2 Cuestionario de Entrevista

El cuestionario de entrevista fue aplicado a los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, esta consiste en un banco de preguntas diseñadas por el grupo de investigadores, con el fin de extraer información y determinar si la propuesta servirá a los docentes como herramienta para impartir clases.

La entrevista aplicada está estructurada por cinco preguntas abiertas, las cuales se dividen en dos secciones:

Sección 1: Conocimiento y uso de programas computacionales para determinar los parámetros eléctricos y mecánicos de una red eléctrica.

Sección 2: Utilización del programa computacional que determina los parámetros eléctricos y mecánicos de una red eléctrica en las aulas de clases para reforzar la información teórica impartida a los estudiantes

2.3.3 Población

La población con la cual se trabajó en el presente estudio, corresponde a una parte representativa, que conforma la carrera de ingeniería eléctrica y se dividen en tres unidades de estudio, los docentes, estudiantes de octavo ciclo y estudiantes egresados, en los cuales se empleó el método de muestreo probabilístico para recopilar información veraz y confiable.

TABLA N° 2.1
POBLACION ENCUESTADA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA

PERSONAL EN ESTUDIO	CANTIDAD
Docentes	6
Estudiantes de Octavo ciclo	39
Noveno ciclo (pasantes)	6
Total	51

Fuente: Consultas.utc.edu.ec/consultas/nominas.aspx

Realizado por: Grupo de estudiantes

2.3.4 Fuentes de Información

Como fuentes de información utilizadas en el presente trabajo de investigación se tomó en cuenta a los docentes, estudiantes de octavo nivel y alumnos egresados de ingeniería eléctrica, y como fuentes de información bibliográfica se utilizó libros, folleto, textos y otras, de acuerdo a la necesidad que se presentó en el desarrollo de la propuesta.

2.3.5 Operacionalización de Variables

HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
El desarrollo de una guía de cálculo para el diseño de redes eléctricas, mediante la simulación del	Variable Independiente Una guía de cálculo para el diseño de redes eléctricas, mediante la simulación del comportamiento de parámetros eléctricos y	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ¿Conoce usted de algún software que calcule los parámetros eléctricos de una línea de transmisión? ➤ ¿Conoce usted de algún software que calcule los parámetros mecánicos de una línea de transmisión? ➤ ¿Cree usted que sería mejor

<p>comportamiento de parámetros eléctricos y mecánicos, la cual ayudara a complementar los conocimientos adquiridos sobre estos temas en los estudiantes de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxí.</p>	<p>mecánicos.</p>	<p>utilizar un software en el cual se pueda calcular conjuntamente los parámetros eléctricos y mecánicos?</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ ¿Cree usted importante que la Universidad Técnica de Cotopaxi tenga un software en el cual los estudiantes de Ingeniería Eléctrica puedan simular el comportamiento de las redes de transmisión? ➤ ¿Cree usted importante que la Universidad Técnica de Cotopaxi tenga un software en el cual los estudiantes de Ingeniería Eléctrica puedan simular el comportamiento de las redes de transmisión
	<p>Variable dependiente Ayudará a complementar los conocimientos adquiridos sobre estos temas en los estudiantes de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ¿En el diseño de una línea de transmisión, cree usted que sería importante implementar un software en el cual se puedan calcular los parámetros eléctricos y mecánicos para obtener datos exactos y optimizar tiempo? ➤ ¿Cree usted importante que las clases impartidas de líneas de transmisión por los docentes de ingeniería eléctrica debería ser complementada con la

		<p>ayuda de un software en el cual se pueda simular el comportamiento de estas líneas?</p> <p>➤ ¿Cómo estudiante de ingeniería eléctrica, ha tenido la oportunidad de comparar resultados obtenidos mediante cálculos matemáticos en un software que simule los comportamientos de las redes de transmisión?</p>
--	--	--

2.3.6 Análisis e Interpretación de Resultados

El desarrollo del presente trabajo de investigación se realizó mediante la utilización de la estadística descriptiva, la cual facilita la descripción e interpretación de criterios que presente la población seleccionada con la finalidad de resumir y obtener una respuesta al segundo objetivo específico de la presente investigación.

2.3.6.1 Entrevista Aplicada a Ingenieros Docentes de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA) de la Carrera de Ingeniería Eléctrica

- 1. ¿Conoce usted algún paquete computacional en el cual se puede calcular conjuntamente los parámetros eléctricos y mecánicos en una línea de transmisión, y si lo conoce usted lo utiliza como un material de apoyo al momento de impartir las clases a los estudiantes de ingeniería eléctrica?**

Interpretación:

El Ing. Franklin Medina (Docente de la carrera de ingeniería eléctrica) menciona que si conoce un software de estas características (ETAP Thinking Power), el cual calcula los parámetros eléctricos, la relación entre la capacidad amperimétrica y la temperatura de operación, la relación entre flecha, tensión máxima y temperatura, pero no lo utiliza como material de apoyo para impartir sus clases debido a que su costo es muy elevado y no es factible su adquisición para implementar dentro de la Universidad.

El Ing. Vicente Quispe (Docente de la carrera de ingeniería eléctrica), manifiesta que conoce paquetes computacionales los cuales únicamente permiten determinar los parámetros eléctricos, mas no un software en cual se pueda calcular conjuntamente los parámetros indicados con los parámetros mecánicos de una línea de transmisión, y que si lo utiliza para impartir sus clases de modelación de líneas de transmisión.

2. ¿Conoce usted si la Universidad Técnica de Cotopaxi tiene herramientas computacionales en las cuales los docentes de Ingeniería Eléctrica puedan simular el comportamiento de una línea de transmisión, para complementar las enseñanzas impartidas en un aula de clases?

Interpretación:

El Ing. Franklin Medina, manifiesta que la Universidad Técnica de Cotopaxi no posee herramientas computacionales en las cuales se permita a los docentes realizar simulaciones del comportamiento de una línea de transmisión por lo cual no es factible comparar los resultados obtenidos mediante cálculos realizados por métodos analíticos, y poder complementar todas las enseñanzas teóricas que imparten en un aula de clases.

El Ing. Vicente Quispe (Docente de la carrera de ingeniería eléctrica) indica que la Universidad Técnica de Cotopaxi no posee este tipo de herramientas y que los docentes utilizan versiones demo con muchas limitaciones por iniciativa propia de

ellos, las cuales no son de mucha utilidad para reforzar los conocimientos impartidos en un aula de clases.

3. ¿Cree usted que podría ser útil un software didáctico para reforzar los conocimientos adquiridos por los estudiantes al transcurso de la carrera de Ingeniería eléctrica?

Interpretación:

El Ing, Franklin Medina, menciona que sería de gran utilidad la implementación de un software el cual permita determinar los parámetros eléctricos y mecánicos de una línea de transmisión, con el cual se pueda reforzar los conocimientos adquiridos por los estudiantes, ya que se podría realizar simulaciones de cálculos en la fase de construcción y analizar el comportamiento de este tipo de líneas.

El Ing. Vicente Quispe (Docente de la carrera de ingeniería eléctrica) indica que sería de mucha utilidad este tipo de software ya que por medio de él podrían realizar la comprobación de valores obtenidos mediante un cálculo analítico e incluso permitiría la variación de datos para realizar un mejor análisis al momento de realizar el diseño de una línea de transmisión.

4. ¿Al tener un software didáctico en el cual se pueda simular el comportamiento eléctrico y mecánico de las líneas de transmisión, usted lo utilizaría, para complementar las enseñanzas teóricas impartidas en las aulas de clases?

Interpretación:

El Ing, Franklin Medina (Docente de la carrera de ingeniería eléctrica) indica que si utilizaría el software con el cual se pueda simular el comportamiento eléctrico y mecánico de las líneas de transmisión ya que le permitiría demostrar y comparar



los resultados obtenidos mediante cálculos analíticos realizados en clases teóricas impartidas a los estudiantes.

El Ing. Vicente Quispe, expresa que si fuese posible que la Universidad Técnica de Cotopaxi pudiera dotar sus laboratorios con paquetes computacionales los cuales puedan simular el comportamiento eléctrico y mecánico de las líneas de transmisión, él tendría la mejor predisposición para utilizarlos y con el complementar las enseñanzas impartidas en un aula de clases, ya que todo lo que aporte al desarrollo de la enseñanza es de mucha importancia en la Universidad.

5. ¿Cómo docente de la Universidad Técnica de Cotopaxi apoyaría la iniciativa que tenemos los estudiantes para desarrollar este tipo de herramientas computacionales en las cuales usted pueda complementar las enseñanzas teóricas impartidas a los alumnos de la carrera de Ingeniería Eléctrica?

Interpretación:

El Ing. Franklin Medina, está de acuerdo con la iniciativa de la propuesta de desarrollar una herramienta computacional en la cual se pueda complementar las enseñanzas teóricas, ya que sería de mucha utilidad ya que facilitaría el aprendizaje y permitiría reforzar los conocimientos por parte de los estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

El Ing. Vicente Quispe (Docente de la carrera de ingeniería eléctrica) indica que si apoyaría la iniciativa que se tiene para desarrollar este tipo de herramientas ya que mediante la utilización del software se inculcaría al estudiante la necesidad de investigar a profundidad sobre las variables que influyen en el funcionamiento de una red eléctrica de transmisión.

2.3.6.2 Encuesta Aplicada a Estudiantes de Octavo Ciclo y Egresados de la Especialidad de Ingeniería Eléctrica

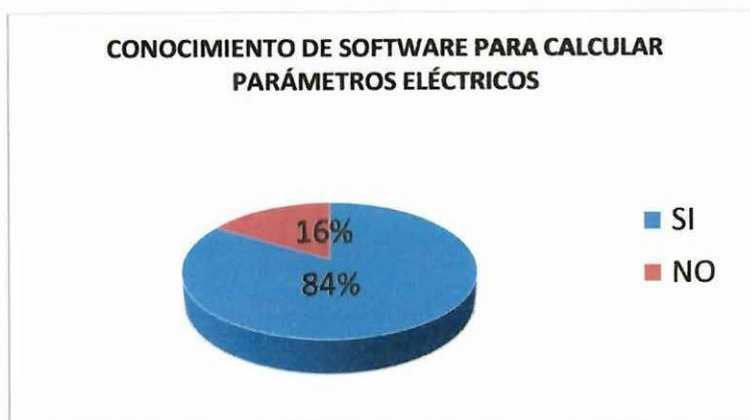
Para la interpretación de los resultados se procedió a tabular las respuestas de una manera individual, es decir las 7 preguntas de la encuesta se aplicó a 45 estudiantes.

1. ¿Conoce usted de algún software que calcule los parámetros eléctricos de una línea de transmisión?

TABLA N° 2.2
CONOCIMIENTO DE SOFTWARE PARA CALCULAR PARÁMETROS ELÉCTRICOS

ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	38	83,9
NO	7	16,1
TOTAL	45	100%

GRÁFICO N° 2.1



Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Realizada por: Investigadores.

Interpretación:

De los datos obtenidos mediante la encuesta realizada a los estudiantes de los ciclos superiores de la carrera de ingeniería eléctrica, se determinó que el 83,9% de estos, tienen conocimiento de software en el cual se pueda calcular los parámetros eléctricos de una red de transmisión, mientras que el 16% no tienen conocimientos acerca de este tipo de software. De los valores obtenidos se puede concluir que la mayoría de encuestados tiene conocimiento de que existen software en los cuales se pueda realizar cálculos para determinar los parámetros eléctricos de una línea de transmisión.

Los estudiantes encuestados forman parte del último ciclo y alumnos egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por lo cual se considera que todos ellos deberían tener conocimiento acerca de la existencia de este tipo de programas computacionales, saberlos manipular y utilizarlos diariamente para poder fortalecer los conocimientos teóricos adquiridos en un aula de clases.

2. ¿Conoce usted de algún software que calcule los parámetros mecánicos de una línea de transmisión?

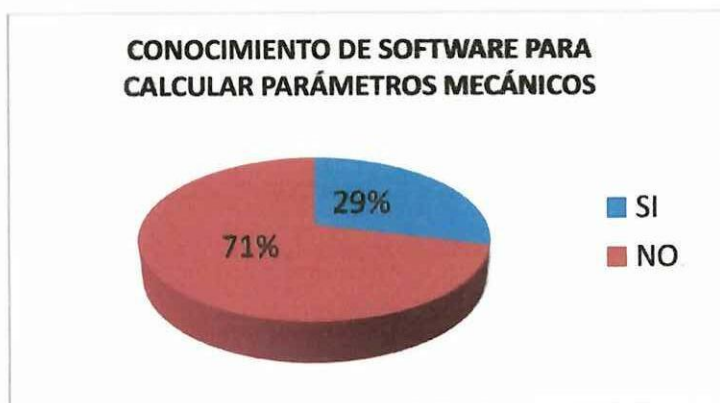
TABLA N° 2.3
CONOCIMIENTO DE SOFTWARE PARA CALCULAR PARÁMETROS MECÁNICOS

ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	13	29,0
NO	32	71,0
TOTAL	45	100%

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Realizada por: Investigadores.

GRÁFICO N° 2.2



Interpretación:

De los datos obtenidos mediante la encuesta realizada a los estudiantes de los ciclos superiores de la carrera de ingeniería eléctrica, se determinó que el 29% de estos, tienen conocimiento de software en el cual se pueda calcular los parámetros mecánicos de una red de transmisión, mientras que el 71% no tienen conocimientos acerca de este tipo de software.

De los valores obtenidos se puede concluir que la mayoría de encuestados no tiene conocimiento que existen software en el cual se puede realizar cálculos para determinar los parámetros mecánicos de una línea de transmisión, ya que la existencia de este tipo de programas es limitada y difícil acceso para un estudiante en su periodo de formación.

3. ¿Cree usted que sería mejor utilizar un software en el cual se pueda calcular conjuntamente los parámetros eléctricos y mecánicos?

TABLA N° 2.4
IMPORTANCIA DE UN SOFTWARE EN EL QUE SE CALCULEN
PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	42	93,7
NO	3	6,3
TOTAL	45	100%

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Realizada por: Investigadores.

GRÁFICO N° 2.3



Interpretación:

De los datos obtenidos mediante la encuesta realizada a los estudiantes de los ciclos superiores de la carrera de ingeniería eléctrica, se determinó que el 94% de estos, creen que sería muy importante y útil un software en el cual se pueda calcular conjuntamente los parámetros eléctricos y mecánicos de una línea de transmisión, mientras que el 6% no lo creen necesario.

De los valores obtenidos de estas tres preguntas se puede concluir que los estudiantes en su mayoría tienen conocimiento acerca de software en los que se pueda calcular los parámetros eléctricos y mecánicos, pero a la vez ellos

consideran que sería de mayor utilidad un software en el cual se pueda determinar conjuntamente estos dos parámetros.

4. ¿Cree usted importante que la Universidad Técnica de Cotopaxi tenga un software en el cual los estudiantes de Ingeniería Eléctrica puedan simular el comportamiento de las redes de transmisión?

TABLA N° 2.5
NECESIDAD DE UN SISTEMA EN EL QUE SEPUEDA SIMULAR EL
COMPORTAMIENTO DE LAS REDES DE TRANSMISIÓN

ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	42	93,7
NO	3	6,3
TOTAL	45	100%

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Realizada por: Investigadores.

GRÁFICO N° 2.4



Interpretación:

En vista de que en la actualidad la tecnología ha tenido un avance significativo y los programas computacionales son utilizados en la mayoría de campos educativos, investigativos y metodológicos, los estudiantes encuestados de los ciclos superiores de la carrera de Ingeniería Eléctrica en un 94% consideran importante que la Universidad Técnica de Cotopaxi debe tener software en donde los estudiantes de esta carrera puedan simular el comportamiento de las redes de transmisión y así complementar los conocimientos adquiridos en las aulas de clase, mientras que el 6% no creen importante la implementación de este software en la universidad.

5. ¿En el diseño de una línea de transmisión, cree usted que sería importante implementar un software en el cual se puedan calcular los parámetros eléctricos y mecánicos para obtener datos exactos y optimizar tiempo?

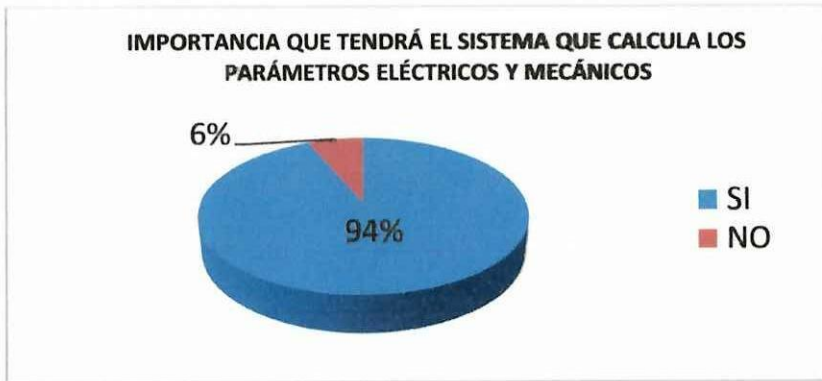
TABLA N° 2.6
IMPORTANCIA QUE TENDRÁ EL SISTEMA QUE CALCULA LOS
PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS

ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	42	93,7
NO	3	6,3
TOTAL	45	100%

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Realizada por: Investigadores.

GRÁFICO N° 2.5



Interpretación:

De los datos obtenidos se determinó que el 94% de estos consideran que la utilización de un software para determinar los parámetros eléctricos y mecánicos, tendría mucha importancia al momento de simular el comportamiento de una red de transmisión, ya que ayudaría a obtener datos exactos y se podría optimizar tiempo, dando lugar a que las clases impartidas por los docentes se las realice de una manera dinámica y lograr que exista mejor comprensión del tema en estudio.

6. **¿Cree usted importante que las clases impartidas de líneas de transmisión por los docentes de ingeniería eléctrica debería ser complementada con la ayuda de un software en el cual se pueda simular el comportamiento de estas líneas?**

TABLA N° 2.7

COMPLEMENTACIÓN DE CLASES CON SISTEMAS DE SIMULACIÓN

ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	43	96,8
NO	2	3,2
TOTAL	45	100%

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

GRÁFICO N° 2.6



Interpretación:

De los datos obtenidos mediante la encuesta realizada a los estudiantes de los ciclos superiores de la carrera de ingeniería eléctrica, se determinó que el 97% de estos, consideran que es importante que los docentes al momento de impartir su cátedra deberían tener un software en el cual se pudiese simular el comportamiento de una línea de transmisión, y así complementar las enseñanzas teóricas impartidas por el docente. Mientras que el 3% no considera este tipo de herramienta didáctica.

En vista que los conocimientos adquiridos por los estudiantes son de una forma teórica existe la necesidad de poder utilizar un programa computacional donde todos estos conocimientos puedan ser comparados y analizados de una manera práctica.

7. ¿Cómo estudiante de ingeniería eléctrica, ha tenido la oportunidad de comparar resultados obtenidos mediante cálculos matemáticos en un software que simule los comportamientos de las redes de transmisión?

TABLA N° 2.8
COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN CÁLCULOS
ANALÍTICOS CON SISTEMAS COMPUTACIONALES

ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	17	38,7
NO	28	61,3
TOTAL	45	100%

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Realizada por: Investigadores.

GRÁFICO N° 2.7



Interpretación:

De los datos obtenidos mediante la encuesta realizada a los estudiantes de los ciclos superiores de la carrera de ingeniería eléctrica, se determinó que el 61% de estos, no han tenido la oportunidad de comparar los resultados obtenidos mediante cálculos analíticos, en un software, el cual pueda simular el comportamiento de una línea de transmisión. Mientras que el 39% si lo ha realizado.



En vista que en la actualidad ya existen programas en donde se pueden comparar resultados obtenidos mediante cálculos analíticos, los cuales son de difícil acceso para un estudiante, hay la necesidad de implementar un programa computacional con estas características el cual sea de fácil acceso y manipulación para todos los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

2.3.7 Verificación de la Hipótesis

2.3.7.1 Hipótesis.

El desarrollo de una guía de cálculo para el diseño de redes eléctricas, mediante la simulación del comportamiento de parámetros eléctricos y mecánicos, ayudara a complementar los conocimientos adquiridos sobre estos temas en los estudiantes de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.3.7.2 Hipótesis nula

El desarrollo de una guía de cálculo para el diseño de redes eléctricas, mediante la simulación del comportamiento de parámetros eléctricos y mecánicos, no ayudara a complementar los conocimientos adquiridos sobre estos temas en los estudiantes de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.3.7.3 Variable Tentativa

El desarrollo de una guía de cálculo para el diseño de redes eléctricas, mediante la simulación del comportamiento de parámetros eléctricos y mecánicos, si ayudara a complementar los conocimientos adquiridos sobre estos temas en los estudiantes de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.3.7.3 Argumentación, Estadístico de prueba

Para la verificación de la hipótesis se toma la fórmula del Chi-cuadrado, se utilizó la encuesta como técnica de investigación, escogiendo siete preguntas como se muestra en la tabla 2.9

Tabla N° 2.9 Datos de la encuesta observada

Frecuencia observada				
Items	N° Pregunta	SI (<i>f_o</i>)	NO (<i>f_o</i>)	TOTAL
1	1	83,9	16,1	100
2	2	29	71	100
3	3	93,7	6,3	100
4	4	93,7	6,3	100
5	5	93,7	6,3	100
6	6	96,8	3,2	100
7	7	38,7	61,3	100
TOTAL		529,5	170,5	700

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Elaborado: Tesistas.

Aplicamos la fórmula de la frecuencia esperada²⁸

$$fe = n * pi \qquad \text{Ecuación (2.1)}$$

Dónde:

fe: frecuencia esperada

n: número total de preguntas

pi: probabilidad de ocurrencia asociada

²⁸ MONJE IVARS, Juan Francisco; PEREZ, Angel. Estadística No Paramétrica Prueba Chi Cuadrado.

De las siete preguntas se obtuvo el cálculo de la frecuencia esperada y se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2.10 Resultados de la frecuencia esperada

Frecuencia Esperada				
Nº Pregunta	pi	SI (fe)	NO (fe)	TOTAL
1	0,142	75,189	24,211	99,4
2	0,142	75,189	24,211	99,4
3	0,142	75,189	24,211	99,4
4	0,142	75,189	24,211	99,4
5	0,142	75,189	24,211	99,4
6	0,142	75,189	24,211	99,4
7	0,142	75,189	24,211	99,4

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Elaborado: Tesistas.

Aplicamos la fórmula de Chi-cuadrado.

$$X^2 = \frac{(fo-fe)^2}{fe} \quad \text{Ecuacion 2.2}$$

Dónde:

X²: Valor a calcularse de Chi-cuadrado

fo: frecuencia observada

fe: frecuencia esperada

2.3.7.4 Resolución de la fórmula

Tabla 2.11 Cálculo del Chi-cuadrado

N° Pregunta		fo	fe	(fo-fe)	(fo-fe) ²	X ²
1	SI	83,9	75,189	8,711	75,881521	1,0092104
	NO	16,1	24,211	-8,111	65,788321	2,71729053
2	SI	29	75,189	-46,189	2133,42372	28,3741468
	NO	71	24,211	46,789	2189,21052	90,4221437
3	SI	93,7	75,189	18,511	342,657121	4,55727727
	NO	6,3	24,211	-17,911	320,803921	13,2503375
4	SI	93,7	75,189	18,511	342,657121	4,55727727
	NO	6,3	24,211	-17,911	320,803921	13,2503375
5	SI	93,7	75,189	18,511	342,657121	4,55727727
	NO	6,3	24,211	-17,911	320,803921	13,2503375
6	SI	96,8	75,189	21,611	467,035321	6,21148467
	NO	3,2	24,211	-21,011	441,462121	18,2339482
7	SI	38,7	75,189	-36,489	1331,44712	17,7080041
	NO	61,3	24,211	37,089	1375,59392	56,8168981
				TOTAL X²		274,915971

Fuente: Encuesta aplicada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Elaborado: Tesistas.

2.3.7.5 Regla de decisión

Grados de libertad

Aplicamos la fórmula para el calcular el grado de Libertad

$$gl = (n - 1) \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Dónde:

gl: Grado de libertad

n: número total de preguntas

$$gl = (7 - 1)$$

$$gl = 6$$

Con un nivel de significación de 6% y 6 grado de libertad $X^2_{0,975}(6) = 14,449$

Tabla 2.12 Distribución Chi-cuadrado

Nº	X ² 0,005	X ² 0,01	X ² 0,025	X ² 0,05	X ² 0,95	X ² 0,975	X ² 0,99	X ² 0,995
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,759
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,698	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278

Fuente: From "Tables of the Percentage Points of the Distribution." Biometrika, Vol. 32 (1941), pp 188-189, by Catherine M. Thompson.

Decisión

El valor de $X_c = 274,91 > X^2_{0,975}(6) = 14,449$, y de conformidad a lo establecido en la regla de decisión, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la

hipótesis alternativa, es decir, El desarrollo de una guía de cálculo para el diseño de redes eléctricas, mediante la simulación del comportamiento de parámetros eléctricos y mecánicos, si ayudara a complementar los conocimientos adquiridos sobre estos temas en los estudiantes de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi De tal forma la hipótesis planteada es viable, ya que ha permitido ser la guía de trabajo investigativo, llegando a ser comprobada satisfactoriamente por medio del Método Chi-cuadrado.

2.3.8 Resultados que se Obtendrán al Implementar el Software

- Determinar los parámetros eléctricos y mecánicos de una línea de transmisión de una forma más rápida y optimizando recursos
- Los reportes que entrega el programa serán de fácil entendimiento, para manejo de los docentes y estudiantes
- Se disminuirá en lo posible la utilización de materiales didácticos al momento de realizar los cálculos por parte de los estudiantes
- Se reducirá el tiempo empleado para el cálculo y mejorara la comprensión del tema por parte de los estudiantes
- El software dispone de un manual de usuario el cual fue diseñado de una forma didáctica para que sea de fácil comprensión para las personas que quieran utilizar el software
- Con todo lo expuesto se puede ver que el software para la determinación de los parámetros eléctricos y mecánicos es de fácil manejo y se convertirá en una herramienta útil para todas aquellos usuarios que quieran diseñar redes eléctricas de transmisión ya que será de libre acceso y fácil manipulación; con lo cual verificamos la hipótesis mencionada en el anteproyecto de tesis.

CAPITULO III

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 Presentación

En vista que las redes eléctricas son parte fundamental de un sistema eléctrico de potencia, ya que es la arteria primordial que une los centros de generación con los centros de consumo, se debe hacer un correcto diseño considerando los parámetros que afectaría su óptimo funcionamiento, como son los parámetros eléctricos y mecánicos.

En las redes eléctricas intervienen cuatro parámetros que son, la resistencgia e inductancia, que forman la impedancia en serie, la presencia de estas provoca una oposición al paso de la corriente por el conductor ocasionando pérdidas de potencia, mientras que la capacitancia y la conductancia, que combinadas forman la admitancia en paralelo, la que inyecta potencia reactiva al sistema.

Los parámetros mecánicos son otra parte fundamental a considerar para realizar el diseño de una red eléctrica, para esto se debe tener en cuenta que los conductores se encuentran expuestos a sobrecargas motivadas por el viento, hielo y el peso propio del conductor, es por eso que se debe realizar los cálculos correctos para poder dimensionarlos de una forma adecuada y así evitar posibles rupturas.

Con estos componentes se forman en su totalidad los sistemas eléctricos, desde un simple circuito hasta los más complejos sistemas de potencia.

En la actualidad la demanda de energía eléctrica a nivel mundial crece constantemente, por lo que es necesario que también se incrementen las redes eléctricas, en los países desarrollados han surgido infinidad de estudios sobre el diseño de redes eléctricas, los cuales han permitido crear programas computacionales de todo tipo, que facilitan el diseño de estas, sin embargo varios programas al tener patentes, tienen restricciones para su uso, por lo cual una persona natural no las puede adquirir

El Ecuador actualmente está abriendo nuevos campos dentro del estudio de la electricidad debido a que se están construyendo centrales de generación eléctrica con las cuales se proyecta cubrir la demanda nacional, teniendo en cuenta que las redes eléctricas son muy importantes en un sistema eléctrico, se busca brindar mejores niveles de confiabilidad en estas, para lo cual se debería realizar un correcto diseño evitando que a la postre las redes que estén construidas se expongan a diversos riesgos. Debido a que la adquisición de los programas computacionales son de difícil acceso para cualquier profesional que no se encuentre ligado con empresas dedicadas al diseño y construcción de las redes eléctricas los cálculos para poder determinar los parámetros que interviene en el funcionamiento de una red se los deberá realizar de una manera analítica.

Por todo lo expuesto anteriormente, en el presente proyecto se desarrollará un programa computacional el cual se permitirá determinar los parámetros eléctricos, mecánicos y el análisis de las redes eléctricas cuando a estas se encuentren funcionando a plena carga o en vacío.

El programa computacional será un sistema amigable y de fácil manejo para el usuario, ya que en la pantalla se mostrara ordenadamente cada uno de los aspectos que se toman en cuenta para realizar los cálculos y así obtener los resultados con un margen de error mínimo garantizando un correcto diseño, además proporciona

hojas de reportes en las que se resumen los resultados obtenidos y con esto el usuario podrá dar la utilidad que el crea necesaria.

3.2 Justificación y Significación

Los procedimientos para diseñar redes de transmisión se basan en cálculos tradicionales, pero su aplicación puede resultar muy compleja ya que las redes de transmisión atraviesan por diversas partes de una región y estarán expuestas a diversas variaciones en sus parámetros eléctricos y mecánicos, ya que el comportamiento de una red de transmisión dependerá de los estados climatológicos y topográficos del sector.

Una red de transmisión permite transportar energía eléctrica desde los centros de generación hasta las subestaciones de distribución a grandes niveles de voltaje con la finalidad de evitar pérdidas de energía, ya que a mayor voltaje existirá menor corriente, reduciendo así la disipación de energía por factores magnéticos, por lo tanto un correcto diseño brinda importantes beneficios al conocer los niveles de pérdidas a las cuales están expuestas estas redes, para así brindar un buen servicio a los consumidores de energía eléctrica.

Debido a que en la construcción de una red de transmisión se invierte mucho dinero es necesario asegurar un correcto diseño de la misma. En la actualidad, existen diversas herramientas computacionales que permiten el diseño y simulación de la redes de transmisión, sin embargo los altos costos de las licencias de dichos programas hacen que su acceso sea limitado, por lo que el presente proyecto busca brindar una herramienta de fácil comprensión y libre acceso que sirva al nivel educativo como una ayuda didáctica para los estudiantes de Ingeniería Eléctrica y como un soporte para los profesionales que se involucren con el área.

Con el desarrollo de este proyecto, se tendrá la oportunidad de explicar y comprender claramente los parámetros que intervienen y afectan a una red de

transmisión y satisfacer las necesidades de conocimientos los cuales serán transmitidos a los diseñadores y constructores, para lograr una mayor comprensión del tema en estudio.

Con esta herramienta computacional, se busca asegurar el diseño de las redes de transmisión con lo que se alcanzaría un mayor índice de confiabilidad del sistema eléctrico de potencia y menor riesgo con los componentes del Sistema, y así evitar pérdidas los cuales disminuirán los costos de energía no suministrada.

El estudio, diseño y aplicación de este paquete computacional, se fundamentará en toda la información disponible acerca de las redes de transmisión por lo cual se considera que existe información suficiente para ser usada como fuente de consulta, basadas en normas técnicas para su correcta utilización.

El costo que representa el desarrollo de nuestro proyecto no es representativo, motivo por lo que existe mayor predisposición de los postulantes para llevar a cabo esta tarea con el fin de que el presente trabajo se constituya en un instrumento de análisis y reflexión para todo el personal que trabaje en diseño de redes de transmisión y además se constituya en una guía para futuros estudios bajo el mismo enfoque.

Los postulantes consideramos que la aplicación que se ha dado hoy en día a la tecnología informática dentro de varios campos y observando que se ha adaptado de una manera positiva en otros países dando resultados exitosos, por lo expuesto también en nuestro medio se debe ya contar con estos sistemas que sean motivo de cambio y uso de herramientas informáticas que en la actualidad están siendo usados dentro del campo energético y aún más en etapas de diseño.

La aplicación tendrá sustentos tecnológicos e informativos los cuales serán útiles en el diseño de redes de transmisión eléctrica siendo una innovadora herramienta para estudiantes y docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.



Considerando que para el desarrollo del tema debe existir una buena preparación de parte de los investigadores, los cuales se encuentran debidamente capacitados en lo académico es decir que se cumplió ya actividades previas durante la asistencia a las aulas, lo cual es de gran ayuda para el desarrollo de la investigación que tiene por objetivo el desarrollo del software que posteriormente se entregará a la Institución, cumpliendo así todo lo propuesto.

3.3 Objetivos

3.3.1 Objetivo General

Elaborar una guía para la obtención de los de parámetros eléctricos y mecánicos de una línea de transmisión.

3.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los fundamentos teóricos y conceptuales en los que se enmarca el diseño de las redes de transmisión.
- Crear una herramienta computacional didáctica que permita el diseño y simulación de los parámetros de las redes de transmisión.
- Comprobar los resultados del programa computacional con ejercicios resueltos analíticamente.

3.4 Descripción de la Investigación

El principal propósito de “Elaborar una guía para la obtención de los parámetros eléctricos y mecánicos de una línea de transmisión”, es disponer de una herramienta computacional con la cual los estudiantes de ingeniería eléctrica podrán realizar una simulación del comportamiento de las redes eléctricas y así reforzar todos los conocimientos adquiridos en un aula de clases.

El sistema será controlado por un ente (usuario), el cual tendrá la capacidad de ingresar datos con la finalidad de que el programa realice cálculos automáticamente, también tendrá la posibilidad de corregir esta información si existieran datos erróneos, una vez finalizado todo el proceso de cálculo se tendrá la ventaja de resumir todos los resultados en una hoja de reporte la cual se podrá generar en archivos de Word, Excel, PDF.

La implementación de este software servirá como un material de apoyo ya que disminuirá el tiempo y la utilización de materiales didácticos, empleados cuando el estudiante realiza los cálculos de una forma analítica, permitiendo que el estudiante asimile de mejor manera los conocimientos impartidos por el docente.

3.5 Alcance de la Investigación

Este programa computacional permitirá al usuario realizar el estudio y análisis de los parámetros eléctricos y mecánicos de una red eléctrica, considerando los diferentes tipos de configuración, como son: redes monofásicas, trifásicas simétricas y asimétricas, también dependiendo del tipo de material del cual están constituidos los conductores, además permite simular el comportamiento de estas redes para determinar la caída de tensión, rendimiento de la línea y pérdidas de potencia a las cuales está expuesta cuando se encuentra funcionando a plena carga y en vacío, permitiendo que el estudiante tenga la oportunidad de comparar sus resultados obtenidos mediante el cálculo analítico, con resultados obtenidos mediante este programa, y así pueda combinar sus conocimientos teóricos con una simulación práctica.

3.6 Impacto de la Investigación

El presente trabajo de investigación tiene un impacto a nivel educativo, ya que el grupo de investigadores pretende que el programa computacional en el cual se puedan determinar los parámetros eléctricos y mecánicos de una red eléctrica sea

utilizado por los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica para complementar las clases impartidas de materias relacionadas al tema, y lograr que los estudiantes asimilen de mejor manera los conocimientos adquiridos.

3.7 Limitaciones de la Investigación

Al momento de ejecutar el programa los resultados que se obtienen son debidamente analizados y comparados por parte del grupo de investigadores con varias fuentes bibliográficas, debido a que el programa computacional será utilizado como un material de apoyo didáctico para que el docente imparta sus clases, la comparación de resultados se los realizo únicamente con estas fuentes bibliográficas. Además el programa muestra la curva característica del conductor en la que se puede analizar los parámetros mecánicos que intervienen en este, únicamente por vanos.

3.8 Desarrollo de la Propuesta

En el primer capítulo se define cada uno de los aspectos que se debe considerar para la obtención de los parámetros eléctricos, mecánicos y análisis de redes eléctricas, así como analizar las ecuaciones más factibles, permitiendo que los postulantes tengan un mejor entendimiento acerca de los temas en investigación, toda esta información fue recopilada de fuentes bibliográficas, folletos, archivos magnéticos y fuentes virtuales.

Una vez determinado que existe factibilidad de información teórica, para dar un grado de veracidad a la propuesta el grupo de investigadores recopiló datos cualitativos y cuantitativos, formulando un banco de preguntas a los estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, para conocer si el tema de investigación causa interés a estas unidades en estudio.

Con toda la información obtenida se desarrollará un programa computacional, el cual permita calcular de una forma más rápida y precisa los parámetros definidos en el primer capítulo.

3.8.1 Diseño del Software

3.8.1.1 Antecedentes

Actualmente el avance tecnológico ha obligado a la implementación de programas computacionales con los cuales se permite optimizar tiempo y recursos para realizar cualquier tipo de cálculos a nivel institucional y profesional, obteniendo resultados más confiables.

Estos avances tecnológicos exige al diseñador a buscar una correcta metodología para obtener un programa de calidad empleando el menor tiempo posible y reduciendo recursos humanos y económicos, de ahí que existe la necesidad de conocer las técnicas a utilizar en el diseño del programa computacional, para luego someterlo a pruebas, y apreciar su funcionamiento y determinar los posibles errores que presente, y así cumplir con todos los procedimientos que indica la norma ISO 12207 acerca del proceso de vida del software.

3.8.1.2 Proceso de Desarrollo del Programa Computacional

El desarrollo del programa computacional engloba un marco de referencia de procesos y actividades que pueden ser organizados en pasos y también sirve como referencia común para la comunicación y el entendimiento.²⁹

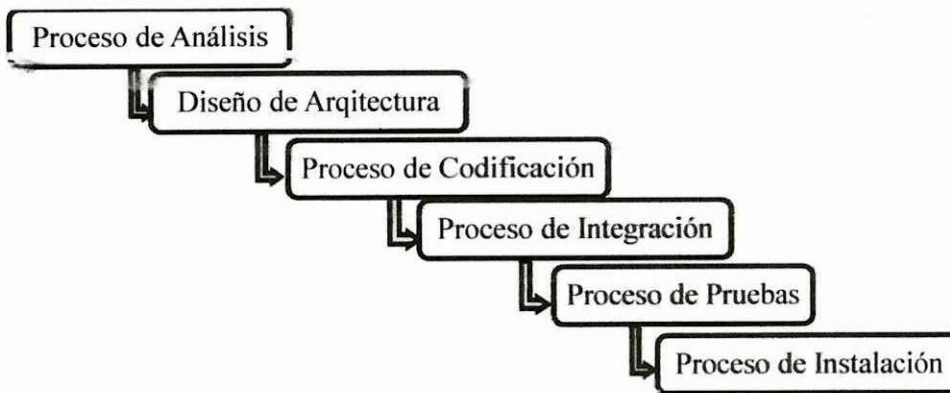
Según los investigadores para el desarrollo de un software se debe tener en cuenta todo el ciclo de proceso de construcción, comenzando con su concepción y

²⁹ PIATTINI VELTHUIS Mario G. GARCIA RUBIO Felix O., GARCIA Ignacio, PINO Francisco, Calidad de Sistemas de Información, Segunda Edición, Pag 181

finalizando cuando este ya sea de utilidad, es por eso que se puede decir que el desarrollo de un programa computacional tiene una metodología secuencial ya que se debe seguir una serie de pasos de manera ordenada con la finalidad de obtener como resultados una información de salida acertada y confiable.

GRÁFICO 3.1

PROCESO DE DESARROLLO DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL



Fuente: Kendall & Kendall, Análisis y Diseño de Sistemas, Sexta Edición
Realizado por: Grupo de Investigadores

3.8.1.3 Proceso de Análisis

Consiste en analizar y procesar toda la información recopilada de diferentes fuentes bibliográficas y determinar las de mayor facilidad para ser transformadas en el lenguaje del sistema. En vista que nuestra investigación se trata de un sistema de cálculo, en esta etapa del desarrollo del paquete computacional se procedió a seleccionar las ecuaciones matemáticas que se considera serán admisibles por el lenguaje del sistema.

3.8.1.4 Diseño de Arquitectura

El diseño arquitectónico se define la estructura y la organización de las componentes que integraran el programa computacional, las cuales se deben

definir para que se encuentren de una forma clara y ordenada y con esto lograr que sea de fácil manejo para los usuarios, también se debe considerar que el programa debe ser amigable para realizar cambios oportunos.

3.8.1.5 Proceso de Codificación del Programa

En el proceso de codificación del programa se deberán definir las variables en el lenguaje del sistema, lo cual proporcionara la información suficiente para generar el código fuente, su representación puede ser mediante formatos de texto o diagramas de flujo.

3.8.1.6 Proceso de Integración

El propósito de este proceso es integrar los elementos que intervienen en el programa computacional, para obtener como resultado un sistema completo que satisfaga las necesidades del usuario, en este proceso intervienen tres elementos que son:

- Integración con el usuario.- Establece el medio de comunicación entre el usuario y el sistema, interviniendo elementos estéticos técnicos y ergonómicos.
- Integración externa.- Es la comunicación que existe con sistemas externos a la aplicación, con los cuales se puedan considerar el reporte de los datos obtenidos para un posterior análisis.
- Integración interna.- Permite la comunicación entre las componentes que conforman el diseño.

3.8.1.7 Proceso De Pruebas

El proceso de pruebas consiste en que una vez terminado el programa computacional, los resultados puedan ser sometidos a comprobación con varios

ejercicios resueltos en fuentes bibliográficas, y determinar que los datos obtenidos en el sistema sean los correctos, si fuese el caso corregir algún tipo de error.

3.8.1.8 Proceso De Instalación

Una vez terminado todos los procesos anteriormente mencionados el sistema se someterá a su fase final la cual será la instalación en varios ordenadores para que estén a disposición de los usuarios, se debe tener en cuenta que el producto terminado debe cumplir con todos los requerimientos considerados para su desarrollo.

3.9 Diseño y Desarrollo del Software para Elaborar una Guía la Cual Permita Determinar los Parámetros Eléctricos y Mecánicos de una Línea de Transmisión “SIALT”

Una vez analizado cada uno de los procesos de desarrollo del programa computacional y utilizando una metodología secuencial se definirá el procedimiento que se tuvo en cuenta para el desarrollo del sistema al cual se lo presentara como SIALT “Sistema de Análisis de Líneas de Transmisión”

3.9.1 Requerimientos del Programa Computacional

El propósito que se tuvo en cuenta para desarrollar el programa computacional es obtener resultados confiables y de una manera rápida, de los parámetros eléctricos que intervienen en el funcionamiento normal de una línea de transmisión, tales como son: resistencia, inductancia y capacitancia, dependiendo de cada uno de los datos de entrada que se ingresará en el sistema, obtenidos estos resultados el programa computacional procederá analizar el comportamiento que presenten estas redes cuando se encuentren con funcionamiento a plena carga o en vacío.

Conjuntamente con lo definido anteriormente el sistema determinará los parámetros mecánicos a los cuales se encuentra expuesta una red eléctrica y estos son tensiones en el conductor, flecha, catenaria, saeta, longitud, y sobrecargas del conductor.

Los requerimientos que tiene el programa son:

- Las características de los conductores: que se encontraran definidas en un documento externo al sistema
- Datos de entrada para parámetros eléctricos: frecuencia del sistema, temperatura ambiente, longitud del conductor, distancia de separación entre conductores, distancia de separación entre conductores del haz, (potencia activa, factor de potencia y voltaje del extremo receptor).
- Datos de entrada para parámetros mecánicos: vano de separación entre torres, velocidad del viento, altura a la cual se encuentra suspendido el conductor, coeficiente de seguridad, manguito de hielo.
- Entregar un reporte de resultados obtenidos en un documento externo al sistema (Word, Excel, PDF).
- Graficara la catenaria formado por el conductor suspendido entre dos puntos.

3.9.2 Requerimientos Informáticos

Los requerimientos informáticos es un conjunto de actividades, acciones, tareas que se utilizan en el desarrollo de un software los cuales deben ser detallados y tener relación entre sí.

Los paquetes informáticos que se elijan, para permitir que el programa computacional sea amigable con el usuario deben ser flexibles y facilitar el

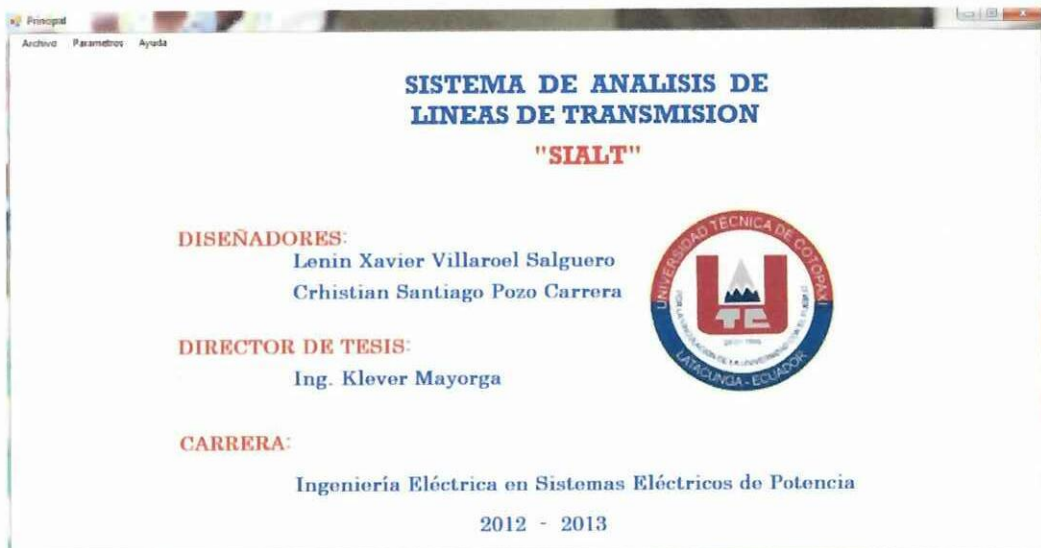
cambio y la innovación, es por eso que se debe escoger herramientas de fácil manejo y que satisfagan todas las necesidades que el programa presente para su construcción

Para la elaboración de nuestro proyecto se utilizaron los paquetes computacionales: Visual Studio (Lenguaje de Programación Visual Basic) y Microsoft Office (Microsoft Word, Excel), los cuales permitieron que se pueda crear un software de fácil manejo y comprensión.

3.9.3 Descripción del Sistema de Análisis de Líneas de Transmisión "SIALT"

El Sistema de Análisis de Líneas de Transmisión, SIALT, es un programa computacional el cual servirá de mucha ayuda para los docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, que sirve para determinar los parámetros eléctricos, mecánicos y el análisis de una línea de transmisión de una manera rápida y confiable.

GRÁFICO 3.2
PANTALLA PRINCIPAL DEL SIALT



Para tener mayor entendimiento y una fácil comprensión en el manejo del sistema, el análisis del comportamiento eléctrico de una línea de transmisión se ha subdividido en:

- Parámetros eléctricos
- Parámetros mecánicos
- Análisis de líneas
- Reportes

3.9.3.1 Parámetros Eléctricos

Dentro de los Parámetros Eléctricos, se contempla: resistencia, inductancia y capacitancia, en donde para su cálculo el usuario deberá seleccionar las características de los conductores eléctricos de una base de datos, se deberá ingresar valores numéricos en algunos campos específicos, permitiendo que el sistema realice cálculos automáticamente, así como también se podrán realizar modificaciones las veces que se crean necesarias hasta obtener los resultados deseados.

GRÁFICO 3.3
CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS

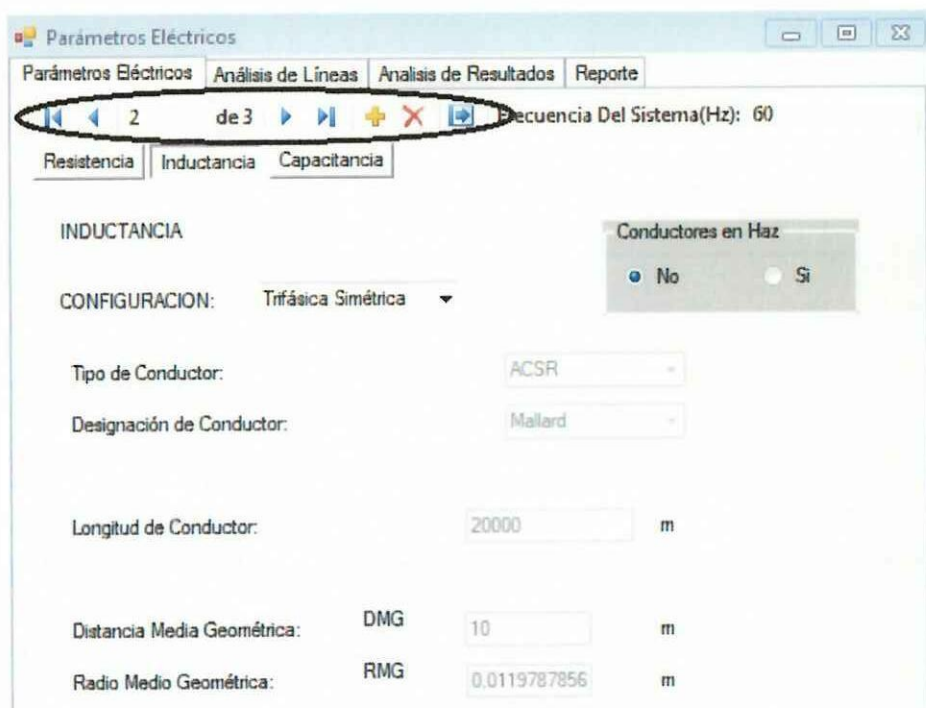
The screenshot shows a software window titled "Parámetros Eléctricos" with a menu bar containing "Parámetros Eléctricos", "Análisis de Líneas", "Análisis de Resultados", and "Reporte". Below the menu bar, there are navigation buttons and a label "Frecuencia Del Sistema(Hz): 60". The main interface has three tabs: "Resistencia", "Inductancia", and "Capacitancia", with "Resistencia" selected. A section titled "CONDUCTOR FASE" contains the following fields and values:

Tipo de Conductor:	ACSR
Designación de Conductor:	Grackie
CONFIGURACION:	Tifásica
Área:	1192500 cm ²
Longitud de Conductor:	20000 m
Temperatura 2:	30 °C
Temperatura 1:	20 °C
Constante Temperatura:	208.10 °C
Resistividad a 20°C:	P20°C: 55.76 ohm cmil
Resistividad a Temperatura 2:	P30: 58.067 ohm cmil
Resistencia en CD:	RCD30: 0.992 ohm
Factor del efecto piel:	Ya: 0.000120
Resistencia en CA:	RC A: 0.992 ohm



En el sistema SIALT se puede determinar parámetros eléctricos tramo por tramo, es decir creando n número de vanos, los cuales para su cálculo se los ejecuta de una manera independiente, cuando se requiera realizar cálculos con las características del vano anterior se hereda toda la información ingresada en dicho vano.

GRÁFICO 3.4
REPRODUCTOR DE VANOS

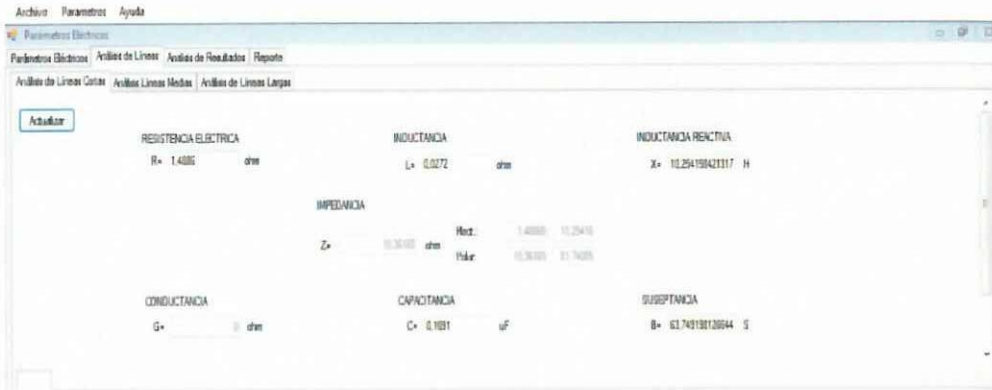


3.9.3.2 *Análisis de Líneas*

Para realizar el análisis de líneas de transmisión, dependiendo de su longitud, el sistema las clasifica en tres grupos:

- Líneas Cortas
- Líneas Medias
- Líneas Largas

GRÁFICO 3.5 ANÁLISIS DE LÍNEAS



Debido que para su cálculo intervienen los parámetros eléctricos que afectan su funcionamiento, el sistema brinda la oportunidad de heredar los valores de estos parámetros calculados anteriormente, dichos valores podrán ser modificados según se crea conveniente, una vez definidos estos valores el usuario deberá proporcionar al sistema datos de uno de los extremos de la línea para realizar el análisis de esta.

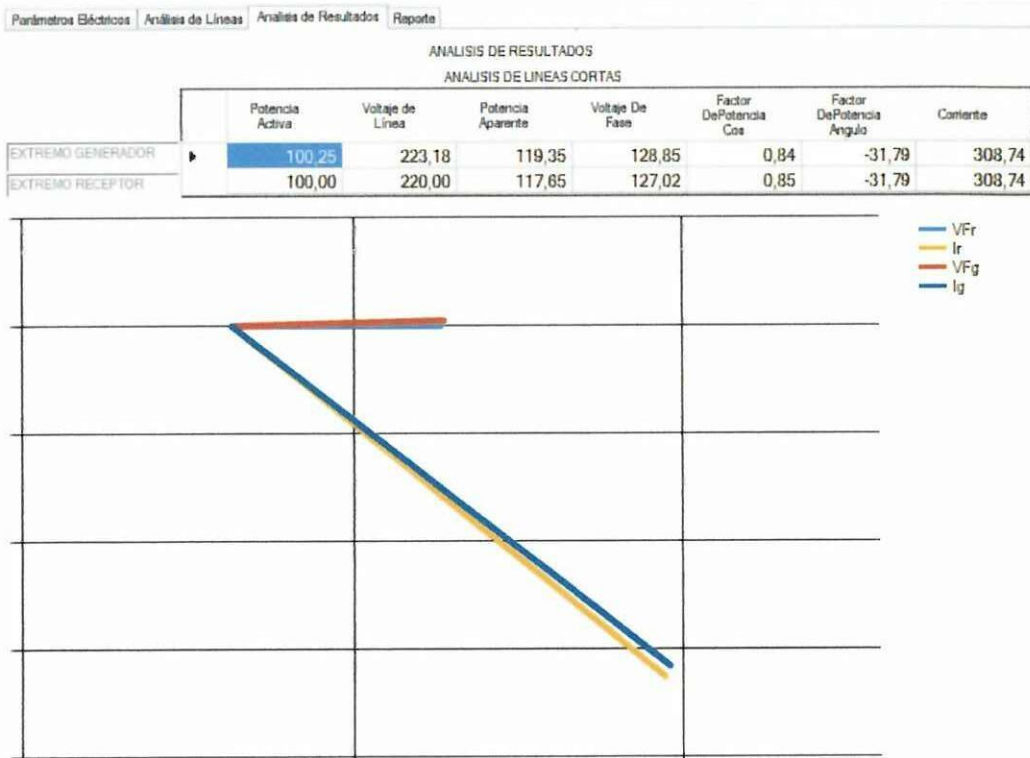
GRÁFICO 3.6 CÁLCULO DEL COMPORTAMIENTO DE LA LÍNEA



3.9.3.3 Interpretación de Resultados

Todos los resultados obtenidos en la etapa de cálculo del sistema podrán ser analizados de una manera gráfica en un diagrama donde se muestran los vectores de voltaje y corriente del extremo generador y receptor.

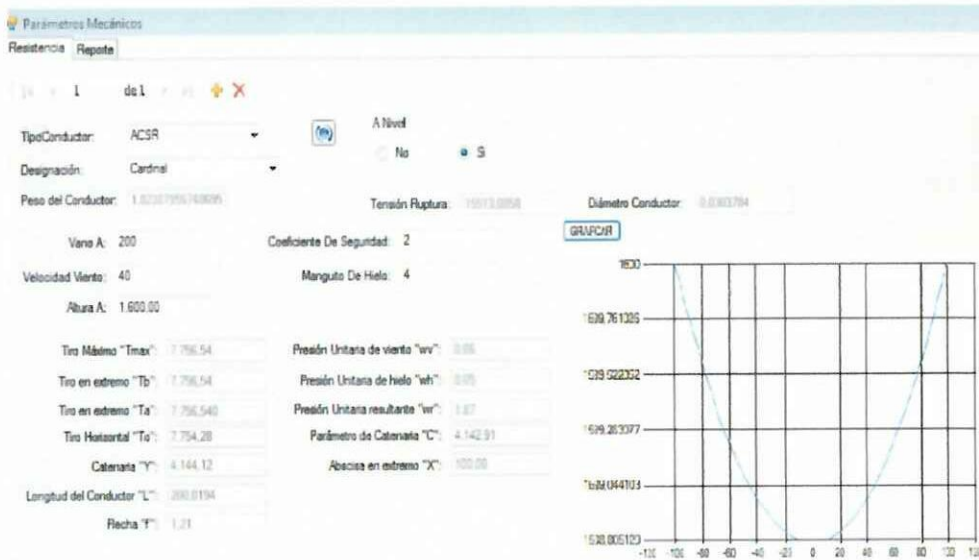
GRÁFICO 3.7
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



3.9.3.4 Parámetros Mecánicos

Para realizar el análisis del comportamiento mecánico de una línea de transmisión el usuario deberá seleccionar de la base de datos del sistema las características del conductor eléctrico e ingresar valores numéricos en los campos que se los requiera y automáticamente se calculara todos los parámetros mecánicos que intervienen en el funcionamiento de la línea.

GRÁFICO 3.8
CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS



De la misma manera como se indicó en los parámetros eléctricos, los cálculos podrán realizarse por vanos de una manera independiente. Además se podrá visualizar en una gráfica la catenaria formada por el conductor suspendido entre dos estructuras, los resultados obtenidos serán generados y exportados en archivos exteriores al sistema.

3.9.3.5 Reportes

El sistema podrá exportar todos los resultados obtenidos mediante el cálculo realizado de los parámetros eléctricos y mecánicos, en archivos externos al sistema los cuales son: Microsoft Word, Excel y PDF.

GRÁFICO 3.9

REPORTE DE RESULTADOS



3.9.4 Definición De Variables

El sistema SIALT, es un programa computacional mediante el cual permite al estudiante y docente de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, optimizar tiempo y calcular de una manera rápida y precisa los parámetros eléctricos, mecánicos y análisis de las líneas de transmisión, con el objetivo de permitir que las clases se las realice de una manera didáctica, en dicho sistema se podrá visualizar en la pantalla diferentes variables las cuales se encuentran detalladas y con su respectiva declaración como variable en la herramienta Visual Basic.net 2010, en la tabla 3.1.

TABLA 3.1.
LISTA DE PARÁMETROS.

Símbolo	Definición	Unidad	Declaración como variable en Visual Basic.net 2010
A	Area	[cmill]	Dim area as Decimal
Long	Longitud del conductor	[m]	Dim longitud del conductor as Decimal
t 2	Temperatura ambiente	[°C]	Dim temperatura ambiente as Decimal
t 1	Temperatura 1	[°C]	Dim temperatura 1 as Decimal

T	Constante de temperatura	[°C]	Dim constante de temperatura as Decimal
$\rho_{20^{\circ}\text{C}}$	Resistividad a 20°C	[$\Omega\text{cmil/m}$]	Dim resistividad a 20°C as Decimal
ρ_2	Resistividad a temperatura 2	[$\Omega\text{cmil/m}$]	Dim resistividad a temperatura 2 as Decimal
R_{CD}	Resistencia en corriente directa	[Ω]	Dim resistencia en corriente directa as Decimal
Y_s	Factor de efecto piel		Dim factor de efecto piel as Decimal
R_{CA}	Resistencia en corriente alterna	[Ω]	Dim resistencia en corriente alterna as Decimal
DMG	Distancia Media Geométrica	[m]	Dim distancia media geométrica as Decimal
RMG	Radio Medio Geométrico	[m]	Dim radio medio geométrico as Decimal
L_A	Inductancia del conductor A	[H]	Dim inductancia del conductor a as Decimal
L_T	Inductancia total	[H]	Dim inductancia total as Decimal
X_L	Reactancia inductiva	[Ω]	Dim reactancia inductiva as Decimal
DAB	Distancia entre los conductores A y B	[m]	Dim distancia entre los conductores a y b as Decimal
DBC	Distancia entre los conductores B y C	[m]	Dim distancia entre los conductores b y c as Decimal
DAB	Distancia entre los conductores A y C	[m]	Dim distancia entre los conductores a y c as Decimal
DSL	Separación entre haces	[m]	Dim separación entre haces as Decimal
D	Separación entre los conductores del haz	[m]	Dim separación entre los conductores del haz as Decimal
R	Radio exterior del conductor	[m]	Dim radio exterior del conductor as Decimal
CAB	Capacitancia entre los	[μF]	Dim capacitancia entre

	conductores de fase		los conductores de fase as Decimal
C_n	Capacitancia a neutro	[μ F]	Dim capacitancia a neutro as Decimal
X_C	Reactancia capacitiva	[Ω]	Dim reactancia capacitiva as Decimal
Z	Impedancia	[Ω]	Dim impedancia as Decimal
G	Conductancia	[Ω]	Dim conductancia as Decimal
C	Capacitancia	[μ F]	Dim capacitancia as Decimal
B	Suceptancia	[S]	Dim suceptancia as Decimal
Y	Admitancia	[S]	Dim admitancia as Decimal
P_R	Potencia activa receptor	[MW]	Dim potencia activa receptor as Decimal
fp_R	Factor de potencia receptor		Dim factor de potencia receptor as Decimal
θ	Angulo del factor de potencia	[$^\circ$]	Dim angulo del factor de potencia as Decimal
VL_R	Voltaje de línea receptor	[KV]	Dim voltaje de línea receptor as Decimal
VF_R	Voltaje de fase receptor	[KV]	Dim voltaje de fase receptor as Decimal
I_R	Corriente receptor	[A]	Dim corriente receptor as Decimal
I_G	Corriente generador	[A]	Dim corriente generador as Decimal
VF_G	Voltaje de fase del generador	[KV]	Dim corriente generador as Decimal
VL_G	Voltaje de línea del generador	[KV]	Dim voltaje de línea del generador as Decimal
P_G	Potencia activa del generador	[MW]	Dim potencia activa del generador as Decimal
S_G	Potencia aparente del generador	[MVA]	Dim potencia aparente del generador as Decimal
fp_G	Factor de potencia del generador		Dim factor de potencia del generador as Decimal

V_C	Voltaje del condensador	[KV]	Dim voltaje del condensador as Decimal
I	Corriente en el centro de la línea	[A]	Dim corriente en el centro de la línea as Decimal
Y_L	Admitancia de la línea	[S]	Dim admitancia de la línea as Decimal
Z_C	Impedancia característica	[Ω]	Dim impedancia característica as Decimal
T_{max}	Tiro Máximo del conductor	[Kg]	Dim tiro máximo del conductor as Decimal
T_b	Tiro en el extremo "b" del conductor	[Kg]	Dim tiro en el extremo "b" del conductor as Decimal
T_a	Tiro en el extremo "a" del conductor	[Kg]	Dim tiro en el extremo "a" del conductor as Decimal
T_o	Tiro horizontal en el conductor	[Kg]	Dim tiro horizontal en el conductor as Decimal
Y	Catenaria	[m]	Dim catenaria as Decimal
L	Longitud del conductor	[m]	Dim longitud del conductor as Decimal
F	Flecha	[m]	Dim flecha as Decimal
S	Saeta	[m]	Dim saeta as Decimal
w_v	Presión unitaria del viento	[Kg/m]	Dim presión unitaria del viento as Decimal
w_h	Peso unitario del hielo	[Kg/m]	Dim peso unitario del hielo as Decimal
w_r	Peso resultante	[Kg/m]	Dim peso resultante as Decimal
H	Desnivel	[m]	Dim desnivel as Decimal
B	Vano real	[m]	Dim vano real as Decimal
K	Constante	[m]	Dim constante as Decimal
C	Parámetro de la catenaria	[m]	Dim parámetro de la catenaria as Decimal
X_a	Abscisa en el extremo "A"	[m]	Dim abscisa en el extremo "a" as Decimal
X_b	Abscisa en el extremo "B"	[m]	Dim abscisa en el

			extremo “b” as Decimal
X_m	Abscisa del medio vano	[m]	Dim abscisa del medio vano as Decimal
T_R	Tensión de ruptura del conductor	[Kg]	Dim tensión de ruptura del conductor as Decimal
ϕ_c	Diámetro del conductor	[mm]	Dim diámetro del conductor as Decimal
w_c	Peso del conductor	[Kg/m]	Dim peso del conductor as Decimal
a	Vano	[m]	Dim vano as Decimal
v	Velocidad del viento	[Km/h]	Dim velocidad del viento as Decimal
e	Manguito de hielo	[mm]	Dim manguito de hielo as Decimal
C_s	Coeficiente de seguridad		Dim coeficiente de seguridad as Decimal

Fuente: Ingeniería del software

Realizado por: Grupo de Investigadores

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Para el desarrollado del sistema SIALT se programó con Visual Basic, el cual al inicio resulto compleja su utilización, ya que como estudiantes de Ingeniería Eléctrica no se tiene los suficientes conocimientos acerca de la utilización de las diversas herramientas que posee este programa.
- La formulación matemática para el cálculo de algunos parámetros eléctricos y mecánicos, no fue de fácil consecución, porque no existe la suficiente información bibliográfica en las bibliotecas del centro del país.
- En la mayoría de fuentes bibliográficas, las unidades de medida y desarrollos matemáticos, están expresadas en el Sistema Ingles, lo que produce un error de precisión al momento de realizar las transformaciones al Sistema Internacional, ya que se considera únicamente una parte del valor decimal, provocando que los resultados obtenidos en el sistema SIALT tenga pequeñas variaciones con los ejercicios resueltos en fuentes bibliográficas.
- El sistema SIALT fue desarrollado como una herramienta computacional didáctica, donde los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, puedan reforzar todos los conocimientos teóricos adquiridos en un aula de clases, el mismo tiene un proceso de cálculo de parámetros básicos eléctricos y mecánicos paso a paso, que ayudará a una mejor comprensión teórico practico del cálculo de líneas eléctricas.
- El sistema SIALT tiene un margen de error aproximadamente del 0.9 % comparado con ejercicios resueltos en varias fuentes bibliográficas las



cuales se encuentran citas en la presente propuesta, debido a la cantidad decimal que se considera en la resolución de los ejercicios planteados.

- El proyecto desarrollado sirve como una referencia a estudiantes y profesionales que se desenvuelven en el campo de Ingeniería Eléctrica, para análisis y cálculo de parámetros eléctricos y mecánicos de líneas de transmisión, subtransmisión y distribución.

- El programa está diseñado en forma modular, para que en un futuro se pueda realizar modificaciones, incrementos o cambios y se le pueda dar una finalidad comercial, y no tenga únicamente el carácter didáctico con el que fue diseñado en el presente proyecto de tesis.

Recomendaciones

- Para el desarrollo de este tipo de propuestas en las cuales se plantea aplicaciones con paquetes computacionales, como en el presente caso en el ámbito de la Carrera de Ingeniería Eléctrica y en vista que existe la posibilidad de realizar tesis de grado entre dos estudiantes, se recomienda que se lo haga en forma conjunto con alumnos egresados de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería en Sistemas, con lo que se tendrá una mayor facilidad al momento de desarrollar este tipo de propuestas.
- Se recomienda a las autoridades competentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, analicen la factibilidad de incrementar fuentes bibliográficas relacionadas con la Carrera de Ingeniería Eléctrica, esto permitirá que los estudiantes tengan acceso a distintas fuentes de consulta.
- Debido a que en nuestro medio únicamente se reconoce las unidades de medida expresadas en el Sistema Internacional, se recomienda realizar las respectivas transformaciones cuando se encuentre valores expresados en un sistema diferente a este, y con esto evitar que exista dificultades al momento de realizar ejercicios con la ayuda del sistema SIALT.
- Se recomienda a los docentes y estudiantes utilizar el sistema SIALT para determinar los parámetros eléctricos, mecánicos y el análisis de líneas de transmisión, y realizar comparaciones entre la parte analítica y con la utilización de este programa de simulación.
- Los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi a más de tener conocimientos teóricos, podrán fortalecer sus conocimientos prácticos, por lo cual se recomienda la utilización del presente sistema SIALT, como una alternativa de simulación de situaciones reales a las que se encuentra expuesta una línea de transmisión.

- El sistema SIALT se encuentra abierto a posibles modificaciones, por lo cual se recomienda a los Docentes y Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, continuar con este tipo de trabajos de investigación, con la finalidad de mejorar el manejo y funcionalidad de este sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografías citadas

- MUJAL ROSAS, Ramón M., Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas, Primera Edición, , publicado en septiembre del 2002, pág. 14
- GRAINGER John J. – STEVENSON Jr. William D. Análisis de Sistemas de Potencia, Segunda Edición, pág. 133
- GIOVER J. Duncan y SARME Mulukutle S., Análisis y diseño Sistemas de Potencia, Tercera Edición, pág. 152
- [En línea]. [ref. 15 de agosto del 2013]. Disponible en Web http://www.es.wikipedia.org/wiki/efecto_pelicular
- KOTHARI D.P. – NAGRATH I. Sistemas Eléctricos de Potencia, Tercera Edición, pág.72
- MUJAL ROSAS Ramón M., Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas, Primera Edición, publicado en septiembre del 2002, pág. 18
- RAMÍREZ CASTAÑO Samuel, Redes de Distribución de Energía, Tercera Edición, Enero 2004, Pág. 96
- [En línea]. [ref. 16 de agosto del 2013]. Disponible en Web http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learnig/index.php?id=1&id_sec=7
- GRAINGER John J. – STEVENSON William D. Jr. Análisis de Sistemas de Potencia, Segunda Edición, pág. 159
- Los ingenieros GIOVR J. Duncan y SARME Mulukutlo S. en su libro “Sistemas de Potencia Análisis y Diseño III edición”

- CORIA CISNEROS Lino, Cálculo de Parámetros y Operación en Estado Estacionario de Líneas de Transmisión, pág. 50
- MUJAL ROSAS Ramón M., Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas, Primera Edición, publicado en septiembre del 2002, pág. 37,38,44
- TERRASA, Cálculo de Líneas Eléctricas en Régimen Permanente, publicado en el 2002, pág. 37
- CHASIPANTA GONZALES , Joaquín Alfredo, Estudio Para Repotenciación de la Línea de Transmisión Pucara-Mulalo a 138kV Utilizando el conductor mas Económico, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito Junio 2011, Pág. 68
- CHECA Luis María, Líneas de Transporte de Energía, Tercera Edición, publicado en el año 2000, Pág. 150
- CHECA Luis María, Líneas de Transporte de Energía, Tercera Edición, publicado en el año 2000, Pág. 163
- CÓRDOVA Leonardo C. Modelación de Redes de Transmisión de Energía Eléctrica, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Mecánica Universidad Nacional de Colombia, Agosto 2004, Pág. 74
- CHAMORRO QUITAMA Edmundo Xavier, MUYULEMA MASAQUIZA Braulio David, Incidencia del Viento en la Temperatura del Conductor y en los Esfuerzos Mecánicos de las Estructuras, Caso Línea de Transmisión Totoras-Quevedo 230 kV, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Pág. 77
- CHAMORRO QUITAMA Edmundo Xavier, MUYULEMA MASAQUIZA Braulio David, Incidencia del Viento en la Temperatura del

Conductor y en los Esfuerzos Mecánicos de las Estructuras, Caso Línea de Transmisión Totoras-Quevedo 230 kV, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Pág. 118

- BARRETO Marvin , Diseño Electromecánico de Líneas de Transmisión, realizada en Guatemala en octubre del 2003
- BAUTISTA RÍOS Juan, Líneas de Transmisión de Potencia, Volumen 1, Aspectos Mecánicos y Conductores, Pre edición 2001, Pág. 33
- BAUTISTA RÍOS Juan, Líneas de Transmisión de Potencia, Volumen 1, Aspectos Mecánicos y Conductores, Pre edición 2001, Pág. 72
- CHAMORRO QUITAMA Edmundo Xavier, MUYULEMA MASAQUIZA Braulio David, Incidencia del Viento en la Temperatura del Conductor y en los Esfuerzos Mecánicos de las Estructuras, Caso Línea de Transmisión Totoras-Quevedo 230 kV, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Pág. 47
- [En línea]. [ref. 15 de octubre del 2013]. Disponible en Web <http://www.utc.edu.ec/es-es/lautc/historia.aspx>
- [En línea]. [ref. 15 de octubre del 2013]. Disponible en Web <http://www.utc.edu.ec/es-es/lautc/misiónvisión.aspx>
- PIATTINI VELTHUIS Mario G. GARCIA RUBIO Felix O., GARCIA Ignacio, PINO Francisco, Calidad de Sistemas de Información, Segunda Edición, Pag 181
- [En línea]. [ref. 16 de octubre del 2013]. Disponible en Web <http://www.forovisualprog.com/visualdefinicion.html>>

- [En línea]. [ref. 17 de octubre del 2013]. Disponible en Web <http://www.monografias.com/trabajos10/visual/visual.html>
- [En línea]. [ref. 17 de octubre del 2013]. Disponible en Web <http://wwwdefinicion.de/microsoft-office/>

Bibliografía consultada

- JÁCOME Luis Fdo. Andrés, Capacitación de Líneas Tx, Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Octubre 2009
- ZARCO PERIÑÁN Pedro Javier – GÓMEZ EXPÓSITO Antonio, Estimación de Estado y de Parámetros en Redes Eléctricas, Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- NARANJO ALDAS Homero Alberto, Determinación del Cable Optimo de Conductores Para las Líneas de Transmisión del Plan de Expansión de Transelectric S.A. del Periodo 2007-2006, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
- BARRETO VILLEDA Marvin, Diseño Electromecánico de Líneas de Transmisión en 69 kV. Ventajas del Empleo del Diseño Asistido por Computadora, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica Eléctrica, Octubre de 2003
- GALLO GALARZA Juan, Proyecto de Líneas de Transmisión de Alta Tensión, Escuela Politécnica del Litoral, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Junio 1981
- GUEVARA GARCÍA Mauro Rodolfo, Guía para la Elaboración de Plantillas de Curvas de Localización de Estructuras en Líneas de Transmisión Usando Computador Personal, Universidad de San Carlos de

Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica Eléctrica, Agosto
2005

Bibliografía virtual

- [En línea]. [ref. 15 de agosto del 2013]. Disponible en Web
http://www.es.wikipedia.org/wiki/efecto_pelicular

- [En línea]. [ref. 16 de agosto del 2013]. Disponible en Web
http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learnig/index.php?id=1&id_sec=7

- [En línea]. [ref. 15 de octubre del 2013]. Disponible en Web
<http://www.utc.edu.ec/es-es/lautc/historia.aspx>

- [En línea]. [ref. 15 de octubre del 2013]. Disponible en Web
<http://www.utc.edu.ec/es-es/lautc/misionvision.aspx>

- [En línea]. [ref. 17 de octubre del 2013]. Disponible en Web
http://www.monografias.com/trabajos_10/visual/visual.html

ANEXO 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FORMULARIO DE ENCUESTA

ENCUESTA A SER APLICADA A ESTUDIANTES DE LA
ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.

INSTRUCCIONES:

- La encuesta es anónima para que responda con confianza.
- Lea detenidamente para que proporcione las respuestas adecuadas.
- Las respuestas que nos proporcione son confidenciales.
- Seleccione la alternativa correcta con una (X) dentro del paréntesis.

CONTENIDO:

1. ¿Conoce usted de algún software que calcule los parámetros eléctricos de una línea de transmisión?

() Si

() NO

2. ¿Conoce usted de algún software que calcule los parámetros mecánicos de una línea de transmisión?

() Si

() NO

3. ¿Cree usted que sería mejor utilizar un software en el cual se pueda calcular conjuntamente los parámetros eléctricos y mecánicos?

() Si

() NO

4. ¿Cree usted importante que la Universidad Técnica de Cotopaxi tenga un software en el cual los estudiantes de Ingeniería Eléctrica puedan simular el comportamiento de las redes de transmisión?

() Si

() NO

5. **¿En el diseño de una línea de transmisión, cree usted que sería importante implementar un software en el cual se puedan calcular los parámetros eléctricos y mecánicos para obtener datos exactos y optimizar tiempo?**

Si

NO

6. **¿Cree usted importante que las clases impartidas de líneas de transmisión por los docentes de ingeniería eléctrica debería ser complementada con la ayuda de un software en el cual se pueda simular el comportamiento de estas líneas?**

Si

NO

7. **¿Cómo estudiante de ingeniería eléctrica, ha tenido la oportunidad de comparar resultados obtenidos mediante cálculos matemáticos en un software que simule los comportamientos de las redes de transmisión?**

Si

NO



ANEXO 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FORMULARIO DE ENCUESTA

ENTREVISTA DIRIGIDA A INGENIEROS DOCENTES DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS (CIYA)

- 1. ¿Conoce usted algún paquete computacional en el cual se puede calcular conjuntamente los parámetros eléctricos y mecánicos en una línea de transmisión, y si lo conoce usted lo utiliza como un material de apoyo al momento de impartir las clases a los estudiantes de ingeniería eléctrica?**
- 2. ¿Conoce usted si la Universidad Técnica de Cotopaxi tiene herramientas computacionales en las cuales los docentes de Ingeniería Eléctrica puedan simular el comportamiento de una línea de transmisión, para complementar las enseñanzas impartidas en un aula de clases?**
- 3. ¿Cree usted que podría ser útil un software didáctico para reforzar los conocimientos adquiridos por los estudiantes al transcurso de la carrera de Ingeniería eléctrica?**
- 4. ¿Al tener un software didáctico en el cual se pueda simular el comportamiento eléctrico y mecánico de las líneas de transmisión, usted lo utilizaría, para complementar las enseñanzas teóricas impartidas en las aulas de clases?**

5. Como docente de la Universidad Técnica de Cotopaxi apoyaría la iniciativa que tenemos los estudiantes para desarrollar este tipo de herramientas computacionales en las cuales usted pueda complementar las enseñanzas teóricas impartidas a los alumnos de la carrera de Ingeniería Eléctrica?

ANEXO 3

Características de los conductores eléctricos (ACSR)

Palabras clave	Aluminio circular milis	Hilos al	Capas	Diámetro de hilo (pulg)	Hilos a	Diámetro de hilo (pulg)	Diámetro exterior (m)	Resistencia máxima (kg)	Peso (kg/m)	Rmg a 60 hz (m)	Capacidad de corriente aprox (A)
COND1	1590000	54	3	0,1716	19	0,103	0,014021	4301,25	0,97	0,01585	1380
COND2	1510500	54	3	0,1673	19	0,1004	0,014021	53200	2,82	0,015454	1340
COND3	1431000	54	3	0,1628	19	0,0977	0,155499	44800	2,4	0,015027	1300
FALCON	1590000	54	3	0,1716	19	0,103	0,039243	25401,54	3,033794	0,01585	1380
PARROT	1510500	54	3	0,1673	19	0,1004	0,038252	24131,47	2,88178	0,015454	1340
POLOVER	1431000	54	3	0,1628	19	0,0977	0,037211	22861,39	2,73033	0,015027	1300
MARTIN	1351000	54	3	0,1582	19	0,0949	0,03617	21591,31	2,578598	0,0146	1250
PHEASANT	1272000	54	3	0,1535	19	0,0921	0,035103	20321,24	2,426866	0,014173	1200
GRACKLE	1192500	54	3	0,1486	19	0,0892	0,033985	19550,12	2,275134	0,013716	1160
FINCH	1113000	54	3	0,1436	19	0,0862	0,032842	18234,68	2,123684	0,013259	1110
CURLEW	1033500	54	3	0,1384	7	0,1384	0,031648	16828,52	1,975893	0,012802	1060
CARDINAL	954000	54	3	0,1329	7	0,1329	0,030378	15513,09	1,82388	0,012284	1010
CANARY	900000	54	3	0,1291	7	0,1291	0,029515	14651,25	1,720567	0,011918	970
CRANE	874500	54	3	0,1273	7	0,1273	0,029108	14243,01	1,672148	0,011765	950
CONDOR	795000	54	3	0,1214	7	0,1214	0,027762	12927,57	1,519853	0,011217	900

DRAKE	795000	26	2	0,1749	7	0,136	0,028143	14152,29	1,624292	0,01143	900
MALLARD	795000	30	3	0,1628	19	0,0977	0,028956	17418,2	1,834577	0,011979	910
CROW	715500	54	3	0,1151	7	0,1151	0,026314	11929,65	1,367839	0,010638	830
STARLING	715500	26	2	0,1659	7	0,129	0,026695	12746,13	1,461862	0,010821	840
REDWING	715500	30	2	0,1544	19	0,0926	0,027457	15694,53	1,651035	0,011339	840
FLAMINGO	666600	54	3	0,1111	7	0,1111	0,0254	11113,18	1,274379	0,010119	800
ROOK	636000	54	3	0,1085	7	0,1085	0,024816	10704,94	1,215826	0,010028	770
GROSBKAK	636000	26	2	0,1564	7	0,1216	0,025146	11339,98	1,299433	0,010211	780
EGRET	636000	30	2	0,1456	19	0,0874	0,025883	14288,37	1,467493	0,010699	780
PEACOCK	605000	54	3	0,1059	7	0,1059	0,024206	10205,98	1,15671	0,009784	750
SQUAB	605000	26	2	0,1525	7	0,1186	0,024536	10931,74	1,236094	0,009967	760
DOVE	556500	26	2	0,1463	7	0,1138	0,023546	10160,62	1,137004	0,00954	730
EAGLE	556500	30	2	0,1362	7	0,1362	0,024206	12337,89	1,291551	0,009998	730
HERON	500000	30	2	0,1291	7	0,1291	0,022962	11067,82	1,160369	0,009479	690
HAWK	477000	26	2	0,1355	7	0,1054	0,021793	8813,429	0,974575	0,008839	670
HEN	477000	30	2	0,1261	7	0,1261	0,022428	10568,86	1,107164	0,009266	670
IBIS	397500	26	2	0,1236	7	0,0961	0,019888	7343,768	0,812146	0,008077	590
LARK	397500	30	2	0,1151	7	0,1151	0,020472	9062,908	0,922496	0,008474	600
LINNET	336400	26	2	0,1138	7	0,0885	0,018313	6373,066	0,687438	0,007437	530
ORIOLE	336400	30	2	0,1059	7	0,1059	0,018821	7729,327	0,780899	0,007772	530
OSTRICH	300000	26	2	0,1074	7	0,0835	0,017272	5738,027	0,613121	0,00701	490
PIPER	300000	30	2	0,1	7	0,1	0,01778	6999,033	0,696165	0,007346	500
PARTRIDGE	266800	26	2	0,1013	7	0,0788	0,016307	5102,989	0,544996	0,006614	460

Características de los conductores eléctricos (CU)

Circular mils	Awg y mcm	Numero de hilos	Diametro de hilo solo (pulg)	Diametro exterior (m)	Resistencia a la ruptura (kg)	Peso (kg/m)	Capacidad de corriente aprox (a)	Rmg a 60 hz (m)
1000000	1000	37	0,1644	0,0292	19881,24417	4,588553318	1300	0,011216776
900000	900	37	0,1560	0,0277	17921,69649	4,129697987	1220	0,010637649
800000	800	37	0,1470	0,0261	15930,39688	3,670842655	1130	0,010028042
750000	750	37	0,1424	0,0253	15150,2066	3,442822521	1090	0,009723238
700000	700	37	0,1375	0,0245	14138,68083	3,211987323	1040	0,009387954
600000	600	37	0,1273	0,0226	12256,24498	2,753413497	940	0,008686906
500000	500	37	0,1162	0,0207	10210,51349	2,294558166	840	0,007924896
500000	500	19	0,1622	0,0206	9793,20241	2,294558166	840	0,007802975
450000	450	19	0,1539	0,0196	8958,58025	2,0651305	780	0,00740673
400000	400	19	0,1451	0,0184	7965,19844	1,835702834	730	0,006980005
350000	350	19	0,1357	0,0172	7071,60841	1,606275168	670	0,006522799
350000	350	12	0,1708	0,0180	6867,48886	1,606275168	670	0,006588083
300000	300	19	0,1257	0,0160	6128,12249	1,376847502	610	0,00605645
300000	300	12	0,1581	0,0167	5973,89883	1,376847502	610	0,006339917
250000	250	19	0,1147	0,0146	5152,88464	1,147419836	540	0,005526091
250000	250	12	0,1443	0,0152	5048,55687	1,147419836	540	0,005797366
211600	4/0	19	0,1055	0,0134	4362,261583	0,971196868	480	0,005084126
211600	4/0	12	0,1328	0,0140	4301,479317	0,971196868	480	0,005334065
211600	4/0	7	0,1739	0,0133	4152,245246	0,971196868	480	0,004812851

167800	3/0	12	0,1183	0,0125	3427,394044	0,770201342	420	0,00475189
167800	3/0	7	0,1548	0,0118	3341,210234	0,770201342	420	0,004279444
133100	2/0	7	0,1379	0,0105	2688,027674	0,610868755	360	0,003816142
105500	1/0	7	0,1228	0,0093	2155,502448	0,484190902	310	0,003392465
83690	1	7	0,1093	0,0083	1725,490596	0,383974646	270	0,003023653
83690	1	3	0,1670	0,0091	1642,02838	0,380315063	270	0,003096806
66370	2	7	0,0974	0,0074	1381,208955	0,304589858	230	0,002691417
66370	2	3	0,1487	0,0081	1321,333887	0,301493289	240	0,002752377
66370	2	1	1,0000	0,0066	1362,157797	0,298678225	220	0,002548159
52630	3	7	0,0867	0,0066	1103,606367	0,241532438	200	0,002398805
52630	3	3	0,1325	0,0072	1070,040041	0,239280388	200	0,00245367
41740	4	1	1,0000	0,0058	1106,327961	0,236746831	190	0,002270788
41740	4	3	0,1180	0,0065	852,312521	0,189735272	180	0,002185443
33100	5	1	1,0000	0,0052	893,59003	0,187764728	170	0,002020849
33100	5	3	0,1050	0,0057	682,666495	0,150324385	150	0,001944648
26250	6	1	1,0000	0,0046	721,676009	0,148916853	140	0,001798342
26250	6	3	0,0935	0,0051	546,586795	0,119358688	130	0,001731285
20820	7	1	1,0000	0,0041	580,60672	0,118232662	120	0,001603267
16510	8	1	1,0000	0,0037	467,20697	0,093741611	110	0,001426481
				0,0033	374,672774	0,074317673	90	0,001271031