

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**SOFTWARE DE USO DIDÁCTICO PARA EL CÁLCULO
MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y
DISTRIBUCIÓN.**

PRESENTADO POR:

RAÚL FERNANDO ALVARENGA AQUINO

JOEL EDGARDO FLORES RUBIO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR :

ING. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

**SOFTWARE DE USO DIDÁCTICO PARA EL CÁLCULO
MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y
DISTRIBUCIÓN.**

Presentado por :

RAÚL FERNANDO ALVARENGA AQUINO

JOEL EDGARDO FLORES RUBIO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :
JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ

San Salvador, Agosto de 2013

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ

DEDICATORIA

Este trabajo de graduación se lo dedico a Dios todopoderoso, quien me ha permitido lograr una meta más en mi vida.

También se lo dedico a mi familia; a mi papá José Raúl Alvarenga Valdez, a mi mamá María de la Luz Aquino de Alvarenga, mis hermanos Pedro Alberto Cruz Aquino y Josué Moisés Alvarenga Aquino, a mi abuelita Celia Meléndez Aquino.

Gracias por su apoyo incondicional, por su amor, cuidado y comprensión, por sus oraciones. Dios los bendiga siempre.

RAÚL ALVARENGA

Este trabajo de graduación está dedicado a dos personas muy importantes en mi vida y que lastimosamente no van a poder compartir conmigo la realización de esta meta tan importante, Cristina Luna (Q.D.D.G) y Salome Rubio (Q.D.D.G).

JOEL FLORES RUBIO.

AGRADECIMIENTOS.

“Anímate y esfuérzate, y manos a la obra; no temas, ni desmayes, porque Jehová Dios, mi Dios, estará contigo; él no te dejará ni te desampará”

1 Crónicas 28:20

Gracias a Dios todopoderoso, por darme la vida, por la bendición de finalizar mi carrera universitaria, por tener salud y darme la mayor bendición, la de tener una familia.

Gracias a mis Padres, José Raúl, y María de la Luz, personas maravillosas, por su apoyo incondicional, por su amor, por su comprensión, por haberme acogido en un hogar y demostrarme todo su amor, de todas las maneras posibles. Por estar siempre en mi vida, Dios los bendiga y los proteja siempre.

Gracias a mis hermanos, Pedro Alberto y Josué Moisés, por estar a mi lado, por su apoyo, por sus palabras de ánimos, por sus consejos, por cuidarme, por su amor, Dios los bendiga hermanos.

Gracias a mi abuelita Celia Meléndez, por estar en mi vida, y demostrarme con su amor, lo que significa ser una abuela, por sus cuidados, por sus enseñanzas, por sus consejos, y sus palabras de ánimos, Dios la bendiga abuela.

Gracias a mi tía Rosa Margarita, a mi amigo Guillermo Mejía, su hija Daniela Mejía, a mi cuñada Jancy Beatriz, a mi sobrina Fernandita, Dios los bendiga.

Gracias a mi compañero de tesis, Joel Edgardo, por su apoyo, comprensión, y convivencia a lo largo de la carrera.

Gracias al Ing. Miguel Hernández, por guiarnos y darnos todo su apoyo en la realización de este trabajo.

RAÚL ALVARENGA

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

Filipenses 4:13

Gracias a Dios por mantenerme con vida hasta este momento, por permitirme llegar a este día y estar por culminar mi carrera universitaria, por darme la fuerza para no darme por vencido aun cuando las cosas iban mal, gracias por permitir los medios para que todo esto fuera posible.

Gracias a mis padres José F. Flores, e Isabel Rubio, por todo el amor que me han brindado siempre, por su apoyo incondicional, por creer siempre en mí, por creer que todo esto es posible y darme todo lo necesario durante toda mi vida, por todo el esfuerzo que mis estudios han significado para ellos. A mi hermano Javier por sus palabras de apoyo en momentos difíciles.

Gracias a mis abuelos Mateo Flores y María de los Reyes Villalta, por todos sus muestras de cariño y apoyo, por ser un ejemplo de sacrificio y esfuerzo en la vida.

Gracias todos los familiares y amigos que siempre han estado pendientes de mí y de una u otra forma han colaborado conmigo en todo este proceso de aprendizaje son personas muy especiales en mi vida, especialmente, mi tío José I. Flores, mi tía Ana Vilma Flores, Doña Blanca Chávez, Liliana González.

Gracias a todos mis amigos y compañeros de estudio con quienes hemos luchado en busca de este objetivo y que además compartimos muchas alegrías y tristezas. A Raúl Alvarenga, mi compañero en este trabajo de graduación por todo el esfuerzo realizado.

Gracias a el Ing. José Miguel Hernández, nuestro asesor en este trabajo de graduación, por toda su colaboración y consejos.

JOEL FLORES RUBIO

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	i
OBJETIVOS	ii
GENERAL	ii
ESPECÍFICOS	ii
JUSTIFICACIÓN	iii
ANTECEDENTES	iv
CAPÍTULO I	1
1.1 HISTORIA RECIENTE DEL SECTOR ENERGÉTICO EN EL SALVADOR. 1	
1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN EL SALVADOR.....	4
1.2.1 Organización.....	4
1.2.2 Participantes del sector.	6
1.3 TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SALVADOR.....	11
1.3.1 Transmisión de energía eléctrica	11
1.3.2 Distribución de energía eléctrica.	16
1.4 CATEGORIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN	21
1.4.1 Línea de transmisión de alta tensión:.....	21
1.4.2 Línea de distribución de media tensión	21
1.4.3 Línea de distribución de baja tensión.....	21
1.5 NIVELES DE COSTO DE LAS INSTALACIONES DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN	22
1.5.1 Costos de Líneas de Transmisión y Distribución	22

1.5.2	Costos de Transformadores de Potencia	24
1.6	LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	25
1.6.1	Sistema de transmisión	25
1.6.2	Elementos constitutivos de las líneas de transmisión	26
1.7	CONDUCTORES	29
1.7.1	Conductores AAC	31
1.7.2	Conductores AAAC	32
1.7.3	Conductores ACSR	33
1.7.4	Conductores ACAR	35
1.7.5	Aspectos mecánicos importantes en conductores de media y alta tensión.	37
1.8	SOFTWARE EXISTENTES PARA EL CÁLCULO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.	38
CAPÍTULO II		41
2.1	CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	41
2.2	DISCUSIÓN MATEMÁTICA DEL CONDUCTOR A NIVEL	43
2.2.1	Catenaria del conductor.	43
2.2.2	Tiro en el conductor.	46
2.2.3	Ecuación de longitud en el conductor a nivel.	47
2.2.4	Flecha de un conductor a nivel.	49
2.2.5	Tiro en cualquier posición de la abscisa x	50
2.2.6	Tiro Vertical en el conductor.	51
2.2.7	Esfuerzo en el conductor.	52
2.2.8	Tiro y Esfuerzo en el extremo.	53
2.2.9	Catenaria en función del tiro máximo.	55

2.3	DISCUSIÓN MATEMÁTICA DEL CONDUCTOR DESNIVELADO.....	56
2.3.1	Ecuación de la catenaria.....	56
2.3.2	Ecuación de longitud del conductor.....	57
2.3.3	Ecuación de desnivel.....	58
2.3.4	Longitud en función del desnivel.....	60
2.3.5	Flecha y Saeta en función del desnivel.	62
2.3.6	Catenaria en función de la longitud.	66
2.3.7	Ubicación Cartesiana de los extremos.	67
2.3.8	Catenaria en función del tiro máximo.....	70
2.4	SOBRECARGAS EN EL CONDUCTOR.....	72
2.4.1	Consideraciones Previas.	72
2.4.2	Velocidad del viento.	75
2.4.3	Presión Unitaria del Viento.....	77
2.4.4	Peso Unitario del Hielo.....	78
2.5	ECUACIÓN DE CAMBIO DE ESTADO (ECE).	79
2.5.1	Consideraciones previas.....	79
2.5.2	ECE para vanos a nivel.	79
2.5.3	ECE para vanos a desnivel.....	83
2.6	HIPÓTESIS DE CÁLCULO MECÁNICO.	90
2.6.1	Vano ideal de regulación en vanos a nivel.....	90
2.6.2	Vano ideal de regulación con vanos a desnivel	92
CAPÍTULO III.....		94
3.1	FILOSOFÍA DE DISEÑO Y PROGRAMAS A UTILIZAR EN EL SOFTWARE DE CÁLCULO MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.	94
3.1.1	HTML	94

3.1.2	PHP	95
3.1.3	MySQL	95
3.1.4	JavaScript.....	96
3.1.5	Servidor XAMPP	97
3.2	METODOLOGÍA DE DISEÑO	99
3.2.1	Descripción de la metodología utilizada.....	99
3.2.2	Algoritmo General para ejecución de las definiciones.	103
3.2.3	Metodología para la consulta de la Base de Datos a utilizar.	105
3.2.4	Esquema básico de presentación en pantalla del Software de Cálculo Mecánico.....	106
CAPÍTULO IV.....		107
4.1	IMPLEMENTACIÓN DEL REGISTRO DE USUARIOS Y ACCESO AL SOFTWARE DE CÁLCULO MECÁNICO PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN.	107
4.1.1	Sistema de validación y registro.	107
4.1.2	Administrador del Sitio.....	112
4.1.3	Implementación de las definiciones.....	114
4.1.4	Estructura de las definiciones.	116
4.1.5	Correo de Confirmación.	118
4.1.6	Manejo de Sesiones.....	121
4.1.7	Mensaje de Bienvenida.	122
CONCLUSIONES		123
RECOMENDACIONES.....		125
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		126
ANEXOS.		127

A.	TABLAS DE CONDUCTORES.....	127
1.	Conductores AAAC.....	128
2.	Conductores AAC.....	129
3.	Conductores ACSR.....	131
4.	Conductores ACSS.....	135
5.	Conductores ACAR.....	138
B.	INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE SERVIDOR XAMPP.....	139
1.	Descarga de XAMPP.....	140
2.	Instalando XAMPP.....	141
3.	Arranque de los servicios de XAMPP.....	142
4.	Comprobando la instalación del servidor web.....	143
5.	Seguridad del servidor web.....	145
C.	CREACIÓN DE BASES DE DATOS Y PROCEDIMIENTO DE EJECUCION DEL PROGRAMA DE FORMA LOCAL.....	146
1.	phpMyAdmin.....	146
2.	Creación de base de datos de conductores.....	147
3.	Importar base de datos.....	150
4.	Ejecución del programa.....	153
D.	ESTRUCTURA BASICA DE ARCHIVOS DEL PROGRAMA DE CÁLCULO MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y ARCHIVOS.....	155
1.	Carpeta principal del programa.....	155
2.	Estructura básica de carpetas secundarias.....	158
E.	EJEMPLOS DE APLICACIÓN.....	171

Lista de Figuras

Figura 1. Información del Sector de electricidad.....	4
Figura 2. Participantes del sector energético en El Salvador.....	6
Figura 3. Estructura del sistema eléctrico en El Salvador.	10
Figura 4. Red de transmisión de ETESAL a nivel nacional.	15
Figura 5. Subestaciones de ETESAL a nivel nacional.	16
Figura 6. Zonas de prestación de servicio de las distintas distribuidoras en El Salvador.	20
Figura 7. Sección transversal de conductor AAC.....	31
Figura 8. Sección transversal conductor AAAC.....	32
Figura 9. Sección transversal conductor ACSR.....	34
Figura 10. Sección transversal conductor ACAR.	36
Figura 11. Aspectos mecánicos a evaluar en conductores.....	37
Figura 12. Representación de la catenaria.	43
Figura 13. Representación del parámetro de catenaria.	43
Figura 14. Representación analítica del parámetro de la catenaria.....	44
Figura 15. Representación del tiro en el conductor.	46
Figura 16. Representación de la longitud en el conductor a nivel.....	47
Figura 17. Representación de la flecha en el conductor a nivel.....	49
Figura 18. Representación del tiro, en cualquier punto de la abscisa x, para el conductor a nivel.....	50
Figura 19. Representación vectorial del tiro vertical en el conductor a nivel.....	51
Figura 20. Representación del esfuerzo en un conductor a nivel.	52
Figura 21. Representación del tiro en el extremo del conductor a nivel.....	53
Figura 22. Representación de la catenaria para el conductor a desnivel.	56
Figura 23. Representación de la longitud, para el conductor a desnivel.....	57
Figura 24. Representación de la ecuación de desnivel, $h > 0$ para el conductor a desnivel.	58
Figura 25. Representación de la ecuación de desnivel, $h < 0$ para el conductor a desnivel.	59

Figura 26. Representación de la longitud en función del desnivel, en un conductor con desnivel.	60
Figura 27. Aproximación de la longitud en un conductor con desnivel.	61
Figura 28. Representación de la flecha en un conductor con desnivel.	62
Figura 29. Representación de la saeta en un conductor con desnivel.	64
Figura 30. Representación de la ubicación cartesiana de los extremos, en un conductor con desnivel.	67
Figura 31. Representación del parámetro de la catenaria en función, en un conductor con desnivel.	70
Figura 32. Zonas de carga mecánica por viento en El Salvador.	75
Figura 33. Esquema de parámetros que participan en el cálculo de ECE.	85
Figura 34. Esquema para cálculo de vano regulador a nivel.	90
Figura 35. Esquema para cálculo de vano en desnivel.	92
Figura 36. Esquema para el cálculo vano regulador en desnivel.	93
Figura 37. Formularios para la recepción de datos.	99
Figura 38. Validación para un dato erróneo en un formulario.	100
Figura 39. Validación para una consulta errónea en la base de datos.	100
Figura 40. Validación para un dato erróneo en un formulario.	101
Figura 41. Validación para una consulta errónea en la base de datos.	101
Figura 42. Opciones para mostrar resultados.	101
Figura 43. Resultados mostrados en el navegador.	102
Figura 44. Datos mostrados en el archivo PDF.	102
Figura 45. Algoritmo general de la lógica del programa.	104
Figura 46. Algoritmo de la extracción de información desde la base de datos.	105
Figura 47. Esquema básico de la estructura del programa.	106
Figura 48. Esquema de un sistema de registro.	107
Figura 49. Estructura general del sistema de validación.	108
Figura 50. Implementación del sistema de validación.	109
Figura 51. Estructura general del sistema de registro.	110
Figura 52. Implementación del sistema de registro.	111

Figura 53. Administrador del software.	112
Figura 54. Administrar un usuario desde el menú de administrador.	113
Figura 55. Opciones del menú general.	114
Figura 56. Implementación de la Discusión Matemática del Conductor a Nivel.	115
Figura 57. Implementación de la Discusión Matemática del Conductor Desnivelado... 115	
Figura 58. Implementación de la definición de Sobrecargas en el Conductor.	115
Figura 59. Implementación de la definición de la Ecuación de Cambio de Estado.....	116
Figura 60. Implementación de la definición de Hipótesis de Cálculo Mecánico.	116
Figura 61. Implementación de la estructura básica para la definición del parámetro de la catenaria en función del tiro máximo.....	116
Figura 62. Implementación de la estructura básica para la definición del parámetro de la catenaria en función del tiro máximo.....	117
Figura 63. Registro de datos para el usuario.....	119
Figura 64. Notificación de invitación por parte del administrador.	119
Figura 65. Estado de la cuenta, sin la previa confirmación.	119
Figura 66. Email de confirmación por parte del administrador.	120
Figura 67. Campo del email de confirmación por parte del administrador.	120
Figura 68. Confirmación del registro.....	120
Figura 69. Estado de la cuenta, después de confirmación.	121
Figura 70. Identificación del Usuario Registrado.	122
Figura 71. Identificación de otro Usuario Registrado.....	122
Figura 72. Visualización del sitio de descarga de XAMPP para Windows.....	140
Figura 73. Selección de idioma del instalador de XAMPP para Windows.	141
Figura 74. Selección de la ubicación de la carpeta de instalación de XAMPP para Windows.	141
Figura 75. Habilitación de permisos del Firewall de Windows para la habilitación de puertos de red.....	142
Figura 76. Visualización del Panel de Control de XAMPP.....	143
Figura 77. Página principal del servidor XAMPP para Windows.....	144

Figura 78. Selección de opciones necesarias para la creación de una nueva base de datos en phpmyAdmin.....	148
Figura 79. Tablas necesarias para la creación de la base de datos de conductores.....	149
Figura 80. Selección de la opción de importación de base de datos en phpMyAdmin. .	150
Figura 81. Selección de archivo .sql para importar base de datos.	151
Figura 82. Lista de bases de datos instaladas en phpMyAdmin.	152
Figura 83. Tablas existentes dentro de la base de datos a3344146_tesis.....	152
Figura 84. Pantalla inicial del Software de Cálculo Mecánico de Líneas de Transmisión y Distribución (Inicio de Sesión).	153
Figura 85. Pantalla principal del Software de Cálculo Mecánico de Líneas de Transmisión y Distribución.....	154

Lista de Tablas

Tabla 1. Empresas generadoras de energía eléctrica en El Salvador.	7
Tabla 2. Empresa transmisora de energía eléctrica en El Salvador.	7
Tabla 3. Empresas bajo la modalidad de usuarios finales en El Salvador.	7
Tabla 4. Empresas comercializadoras de energía eléctrica en El Salvador.	8
Tabla 5. Empresas distribuidoras de energía eléctrica en El Salvador.	9
Tabla 6. Entidades reguladoras del Sistema de Electricidad en El Salvador.	9
Tabla 7. Consumo final de energía eléctrica por empresa distribuidora (GWh).	18
Tabla 8. Número de Clientes por empresa distribuidora (miles).	19
Tabla 9. Información de Costos de Líneas de Transmisión en El Salvador	23
Tabla 10. Información de Costos de Líneas de Distribución en El Salvador.	23
Tabla 11. Información de Costos de Transformadores de Potencia.	24
Tabla 12. Coeficiente aerodinámico para los principales componentes de una línea de transmisión.	74
Tabla 13. Presión de viento para los principales componentes de una línea de transmisión.	74
Tabla 14. Zonas de carga mecánica por viento en El Salvador.	75
Tabla 15. Conductores AAAC sus principales características.	128
Tabla 16. Conductores AAC y sus principales características.	130
Tabla 17. Conductores ACSR y sus principales características.	134
Tabla 18. Conductores ACSS y sus principales características.	137
Tabla 19. Conductores ACAR y sus principales características.	138
Tabla 20. Carpetas de archivos contenidas para el funcionamiento de todo el software de cálculo mecánico de conductores.	157

INTRODUCCIÓN

En el diseño electromecánico de proyectos de líneas de transmisión y distribución, como en muchos otros temas que abarca la ingeniería en la actualidad, se aplican procedimientos desarrollados por computadoras, en el caso particular de este trabajo se analizan los procesos de cálculo mecánico de líneas de transmisión y distribución asistidos por computadora.

Existen diversos materiales que son utilizados en las líneas de transmisión y distribución, esto, de acuerdo a las necesidades de la línea. Por ejemplo el cobre duro es utilizado en las líneas aéreas donde se requiere conocer las propiedades mecánicas de tensión.

El proceso de diseño de una línea de transmisión ó distribución implica una gran cantidad de cálculos, para verificar el diseño según criterios establecidos que consisten en combinaciones de condiciones previamente establecidas, el desarrollo de una aplicación por computadora con un enfoque educativo puede ser de gran utilidad para un mejor entendimiento por parte de los estudiantes de los principales parámetros relativos a los cálculos mecánicos de líneas de transmisión y distribución.

Muchos programas de cálculo mecánico, son desarrollados bajo licencias de pago. La programación a utilizar en este Trabajo de Graduación, se basa en los principios de software libre.

Para el logro de este propósito se definen una serie de objetivos, entre los cuales se tienen el describir y explicar los conceptos básicos asociados al cálculo mecánico de las líneas de transmisión y distribución.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar una herramienta computacional capaz de realizar el cálculo mecánico de líneas de transmisión y distribución para ser utilizada desde un enfoque pedagógico.

ESPECÍFICOS

- Analizar los conceptos básicos asociados a los cálculos mecánicos de las líneas de transmisión y distribución.
- Realizar una base de datos con los conductores necesarios para el uso en líneas de transmisión ó distribución.
- Elaborar la herramienta computacional capaz de ejecutar el cálculo mecánico de líneas de transmisión y distribución siguiendo la metodología adecuada.
- Crear una interfaz web para el funcionamiento de la aplicación.
- Crear un sistema de registro para el uso de la aplicación.
- Generar un reporte del análisis desarrollado, a petición del usuario.

JUSTIFICACIÓN

El material bibliográfico disponible en el área de líneas de transmisión y distribución es bastante limitado, además la dificultad que implica adquirir algún software comercial disponible debido a su alto costo económico, son las principales razones que motivan a realizar un software para el cálculo mecánico de líneas de transmisión. Reduciendo la complejidad en los cálculos involucrados. Además se establecerá un aporte a la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador, ya que servirá como una herramienta para los estudiantes, y de forma específica para aquellos que cursan asignaturas de diseño de líneas de transmisión e instalaciones eléctricas.

La propuesta de este trabajo de graduación irá orientada a realizar los cálculos necesarios para la obtención de todos los parámetros mecánicos que caracterizan una línea de transmisión y distribución.

ANTECEDENTES

La enseñanza superior es la máxima instancia de desarrollo para los profesionales del futuro, por esto resulta necesario contar con una metodología moderna e innovadora de enseñanza en términos de formar profesionales integrales, que permita al estudiante ir a la vanguardia en las técnicas y tecnologías que actualmente se manejan.

Bajo este concepto en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador surge la necesidad de innovar en la asignatura de líneas de transmisión y crear una herramienta de apoyo docente llamado “Software de uso didáctico para el cálculo mecánico de líneas de transmisión y distribución”.

Este trabajo de graduación, es bastante particular, y por lo mismo, no ha sido tratado con anterioridad en la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Siendo una herramienta innovadora, se espera satisfacer las necesidades actuales en lo referente a la enseñanza de cálculo mecánico de líneas de transmisión y distribución.

CAPÍTULO I

1.1 HISTORIA RECIENTE DEL SECTOR ENERGÉTICO EN EL SALVADOR

En la década de los noventa, la mayoría de países latinoamericanos realizaron reformas al sector energético. Estas reformas tuvieron como fin, entre otras cosas, propiciar la competencia en sectores tradicionalmente dominados por monopolios estatales verticalmente integrados.

En este contexto, El Salvador impulsó un proceso de reformas en el sector energético que consistió en la reestructuración de los sectores de hidrocarburos y de electricidad, así como la desregulación de los mercados respectivos y la privatización de la mayoría de empresas estatales que proporcionaban bienes o servicios energéticos.

Con respecto a los procesos de reforma en el sector eléctrico, se tenía como primer componente la Ley de Creación de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones, SIGET, y la Ley General de Electricidad, ambas aprobadas por la Asamblea Legislativa en 1996.

El segundo componente de la reforma eléctrica consistió en la descomposición de las empresas estatales que operaban en el sector eléctrico, respaldada por el artículo 119 de la Ley General de Electricidad, el cual establece la reestructuración del sector eléctrico dentro de los 3 años de vigencia de la misma (hasta 1999) a efecto que las actividades de operación del sistema de potencia y de transmisión sean realizadas por entidades independientes; y que en las actividades de generación participe el mayor número de operadores a fin de fomentar la competitividad y eficiencia en el suministro de energía eléctrica.

Este proceso de descomposición del aparato estatal en el sector eléctrico comenzó con la privatización de las empresas distribuidoras de electricidad en enero de 1998, y de las empresas de generación térmica en 1999. Posteriormente, en abril de 2002, se logró un acuerdo para vender a una empresa transnacional una parte de las acciones de la generadora estatal geotérmica.

Además, la unidad transmisora que era propiedad de Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa CEL, se dividió a efecto de crear dos sociedades independientes. Una empresa se constituyó para dar mantenimiento a la red transmisora nacional denominada Empresa Transmisora de El Salvador, S.A de C.V, ETESAL, que inició operaciones en octubre de 1999; y la otra empresa se dedicaría a la operación del sistema de transmisión, asegurar la calidad del suministro y de la administración del Mercado Mayorista de Electricidad, responsabilidades que quedaron en manos de la Unidad de Transacciones, UT, que inició operaciones independientes de CEL en enero de 1999.

Como medida para tratar de retomar, de cierta manera, el papel de planificador en materia de energía, el gobierno en turno decide crear en el año 2001 la Dirección de Energía Eléctrica (DEE), encargada de crear y coordinar políticas, planes y programas o cualquier otra iniciativa pública relacionada con el sector eléctrico.

No obstante, las reformas impulsadas en el sector eléctrico, no cumplieron con la gran mayoría de los objetivos en su momento planteados. En este sentido, vale la pena mencionar que muchos de los problemas encontrados a lo largo del proceso de reforma fueron pronosticados por expertos nacionales e internacionales; sin embargo, las acciones de la reforma siguieron adelante.

Hay aspectos positivos que se incluyeron en las reformas, uno de ellos es la creación de la Ley General de Electricidad (LGE), que tiene algunos aspectos de fondo que hay que reformar y otros que deben ser incluidos.

Dentro de esta se encuentra el mandato de establecer Contratos de Largo Plazo (CLP) para la compra de electricidad, así como la implementación de un sistema de cálculo de precios de la energía basado en costos de producción; y posteriormente, la emisión del Decreto Legislativo para la creación del Consejo Nacional de Energía. Dentro de este contexto, es hasta en años recientes que los CLP y el sistema basado en costos comienzan a tomar forma, impulsadas en su momento por el Ministerio de Economía y ahora mediante la puesta en marcha del Consejo Nacional de Energía.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN EL SALVADOR

1.2.1 Organización.

Luego que se hiciera una reforma estructural de este sector y de aprobar la Ley General de Electricidad en 1996, se definen nuevas instancias y la separación de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización detalladas a continuación.

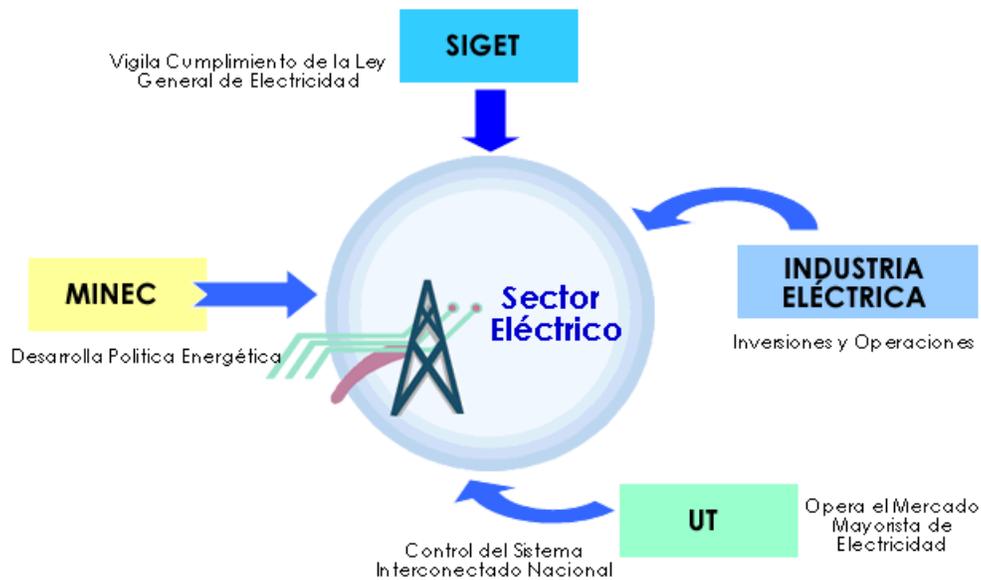


Figura 1. Información del Sector de electricidad.

La Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET), que tiene por misión aplicar las leyes que regulan los sectores de Electricidad y Telecomunicaciones, velar por su cumplimiento, garantizando los derechos de usuarios y operadores, generando seguridad jurídica, inversión, desarrollo y competencia. El Fondo Nacional en Electricidad y Telefonía (FINET) que tiene personería jurídica y patrimonio propio, administrado por el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL).

El FINET es el encargado de la administración y asignación de subsidios a los usuarios de bajos recursos, así como a la expansión de la electrificación rural.

La Unidad de Transacciones (UT) es la entidad encargada de la operación del mercado mayorista de electricidad de El Salvador con la función de operar el sistema de transmisión de energía eléctrica, mantener la seguridad del sistema eléctrico de potencia, asegurar la calidad mínima de los servicios y operar el mercado mayorista de electricidad. Su Junta Directiva está conformada de la siguiente manera: Dos representantes por cada serie o grupo de acciones de las sociedades que corresponden a las categorías de generadores, transmisores, distribuidores, usuarios finales y comercializadores independientes; un representante del Consejo Nacional de Energía, quien tiene derecho a voz y voto; un representante de la Defensoría del Consumidor, quien tiene derecho a voz y voto; y un representante de SIGET quien tiene derecho a voz pero no a voto.

La Empresa Transmisora de El Salvador S.A de C.V. (ETESAL) se crea con la finalidad de proveer una red de transmisión de energía eléctrica que satisfaga las expectativas de seguridad y continuidad del servicio eléctrico, haciendo posible las transacciones entre los participantes del mercado dentro del país así como con los países de la región centroamericana mediante el Sistema de Interconexión Eléctrica para América Central (SIEPAC).

Respecto al grupo de generadores eléctricos, existen 18 empresas que inyectan al sistema de transmisión, siendo las empresas con mayor capacidad instalada CEL (472 MW), LaGeo (204 MW), Duke Energy (338 MW), Nejapa Power (144 MW) e Inversiones Energéticas (100 MW). Se suman 11.7 MW de pequeños generadores hidroeléctricos que inyectan a la red de distribución.

Dentro del grupo de empresas distribuidoras, existen 8 empresas: CAESS, CLESA, EEO, DEUSEM (todas propiedad del grupo AES), DELSUR (cuyo accionista mayoritario es el grupo Empresas Públicas de Medellín EPM), ABRUZZO, EDESAL y B&D. Se suman a estos un grupo de comercializadores quienes usan la red de distribución existente, para vender energía eléctrica a usuarios finales.

1.2.2 Participantes del sector.

El sector electricidad está compuesto por los operadores y usuarios finales. Un operador es cualquier unidad generadora, transmisora, distribuidora o comercializadora de energía eléctrica y usuario final es quien compra la energía eléctrica para uso propio. Además es importante mencionar a los entes reguladores SIGET y UT.

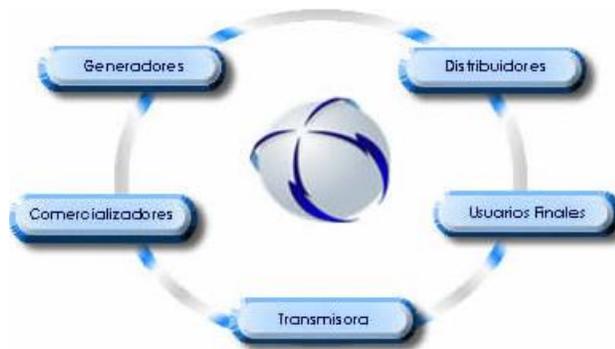


Figura 2. Participantes del sector energético en El Salvador.

Generador: Es la entidad poseedora de una o más centrales de producción de energía eléctrica que comercializa su producción en forma total o parcial.

CEL	Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.
LaGeo	LaGeo, S.A. de C.V.
Nejapa	Nejapa Power Company, LLC.
CASSA	Compañía Azucarera Salvadoreña, S.A. de C.V. (Cogenerador)
DUKE	DUKE Energy International, El Salvador.
CECSA	Compañía Eléctrica Cucumacayán, S.A.
CESSA	Cemento de El Salvador, S.A. de C.V. (Cogenerador)
De Matheu	Hidroeléctrica Sociedad De Matheu y Cía. de C.V.
Egi Holdco	Egi Holdco El Salvador
El Ángel	Ingenio El Ángel, S.A. de C.V. (Cogenerador)
EB	Energía Boreales
GECSA	Generadora Eléctrica Central, S.A. de C.V.
Hilcasa	Hilcasa Energy
INE	Inversiones Energéticas, S.A. de C.V.
La Cabaña	Ingenio La Cabaña, S.A. de C.V. (Cogenerador)
Papalote	Central Hidroeléctrica Papalote.
Sensunapán	Sociedad Hidroeléctrica Sensunapán, S.A. de C.V.
Textufile	Textufile, S.A. de C.V. (Cogenerador)

Tabla 1. Empresas generadoras de energía eléctrica en El Salvador.

Transmisor: Es la entidad poseedora de instalaciones destinadas al transporte de energía eléctrica en redes de alto voltaje, que comercializa sus servicios.

ETESAL	Empresa Transmisora de El Salvador, S.A. de C.V
---------------	---

Tabla 2. Empresa transmisora de energía eléctrica en El Salvador.

Usuario final: Es quien compra la energía eléctrica a nivel de mayorista para uso propio.

ANDA	Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillados
INVINTER	Inversiones Intercontinentales, S.A. de C.V. (Antes SICEPASA)

Tabla 3. Empresas bajo la modalidad de usuarios finales en El Salvador.

Comercializador: Es la entidad que compra la energía eléctrica a otros operadores con el objetivo de revenderla.

ABRUZZO	ABRUZZO, S.A. de C.V.
ACAEM	Asociación Cooperativa de Aprovechamiento Servicios Eléctricos de Morazán de R.L.
ACERO	ACERO, S.A. de C.V.
ADESCOLAB	Asociación de Desarrollo Comunal Colonia La Barra.
CECAM	Cutuco Energy Central America
CEL	Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, comercializadora.
CENERGICA	Compañía de Energía de Centroamérica, S.A. de C.V.
CENER	Comercio de Energía Regional
CONCARLOS	Inversiones Concarlos, S.A. de C.V.
CONEC- ES	Conexión Energética Centroamericana – El Salvador, S.A. de C.V.
DUKE	Duke Energy Internacional Comercializadora de El Salvador, S.A. de C.V.
ECOLOGICA	ECOLOGICA, S.A. de C.V.
EXCELERGY	Excelergy , S.A. de C. V.
HASGAR	HASGAR, S.A. de C.V.
LaGeo	LaGeo, S.A. de C.V.
LYNX	LYNX, S.A. de C.V.
MERCADOS ELÉCTRICOS	Mercados Eléctricos, S.A. de C.V.
ORIGEM	ORIGEM, S.A. de C.V.
POLIWATT	POLIWATT Sucursal El Salvador, Ltda.
POWERCOM	POWERCOM, S.A. de C.V.
SEC	Servicios Eléctricos Comerciales, S.A. de C.V.

Tabla 4. Empresas comercializadoras de energía eléctrica en El Salvador.

Distribuidor: Es la entidad poseedora y operadora de instalación es cuya finalidad es la entrega de energía eléctrica en redes de bajo voltaje.

ABRUZZO	ABRUZZO
AES - CLESA	Compañía de Luz Eléctrica de Santa Ana y Cía. S en C. de C.V.
B & D	B & D Servicios Técnicos, S.A. de C.V.
CAESS	Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador, S.A. de C.V.
DELSUR	Distribuidora de Electricidad del Sur, S.A. de C.V.
DEUSEM	Distribuidora Eléctrica de Usulután, Sociedad de Economía Mixta.
EDESAL	Empresa Distribuidora Eléctrica Salvadoreña, S.A. de C.V.
EEO	Empresa Eléctrica de Oriente, S.A. de C.V.

Tabla 5. Empresas distribuidoras de energía eléctrica en El Salvador.

Entidades reguladoras: En el caso de la UT tiene como finalidad administrar el mercado mayorista de energía eléctrica, y en el caso de SIGET funcionar como entidad reguladora del sector eléctrico

UT	Unidad de Transacciones, S.A. de C.V.
SIGET	Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.

Tabla 6. Entidades reguladoras del Sistema de Electricidad en El Salvador.

La estructura del sistema eléctrico de potencia en nuestro país, en términos generales es la siguiente:

La generación de energía eléctrica en nuestro país proviene de recursos hidráulicos, geotérmicos y térmicos; esta energía es inyectada al sistema pasando por la red de transmisión (en un nivel de voltaje igual o mayor a 115,000 voltios), que sirve para transportar electricidad desde una fuente generadora a un punto de distribución del sistema, y luego es utilizada por los usuarios finales, los cuales pueden estar en bajo voltaje (≤ 600 V) o medio voltaje (entre 600 y 46 kV) y pueden ser clientes residenciales, comerciales o industriales.

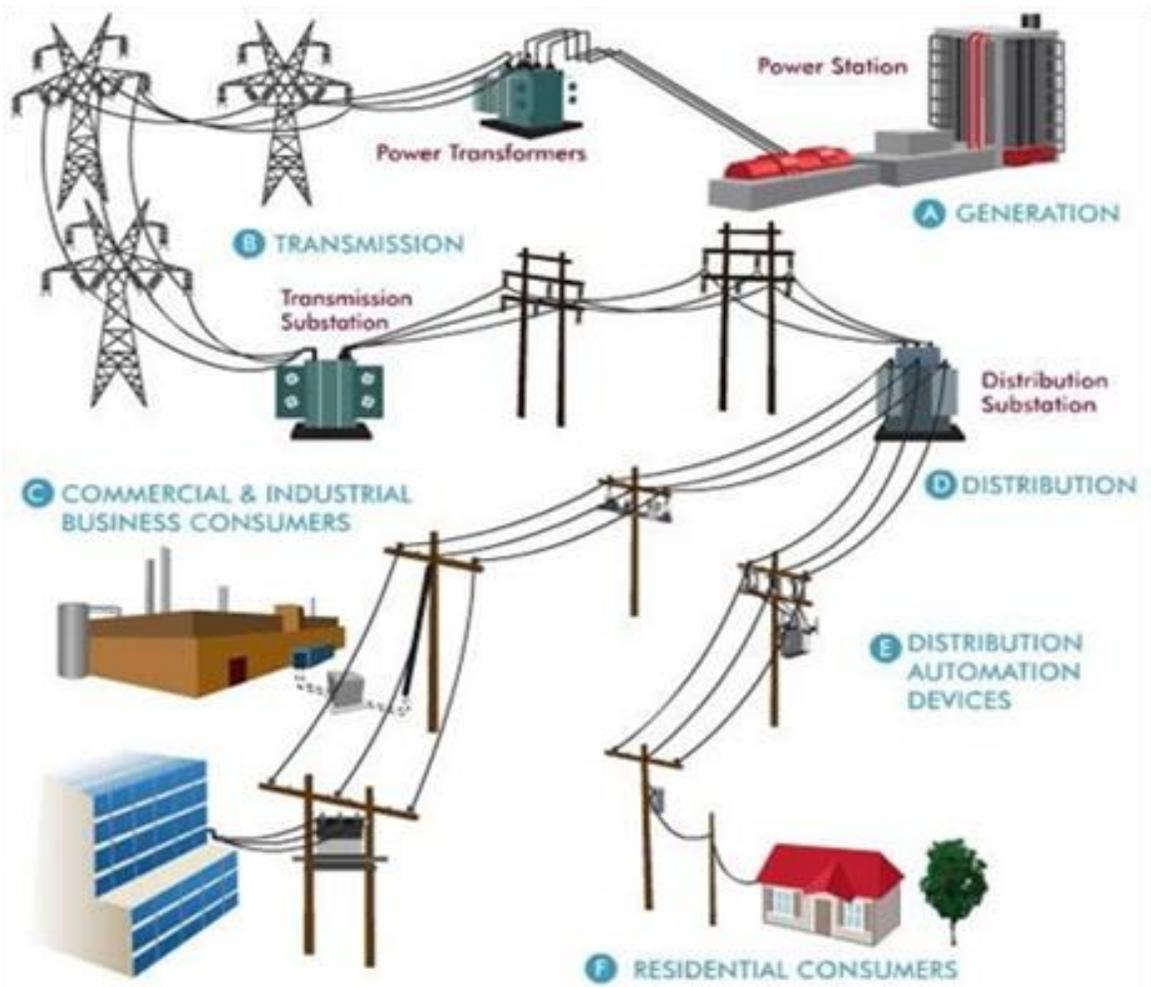


Figura 3. Estructura del sistema eléctrico en El Salvador.

1.3 TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SALVADOR.

1.3.1 Transmisión de energía eléctrica

Se entiende por transmisión de energía eléctrica al transporte de ésta desde los centros de generación (a través de las subestaciones) hasta los distintos centros de distribución para que llegue al consumidor final. Se caracteriza por la transferencia de potencia eléctrica a distancias relativamente grandes, con ayuda de sistemas de alta y media tensión.

Para ello, los niveles de energía eléctrica producidos deben ser transformados, elevándose su nivel de tensión. Ésto se hace considerando que para un determinado nivel de potencia a transmitir, al elevar la tensión se reduce la corriente que circulará, reduciéndose las pérdidas por efecto Joule. Con este fin se remplazan subestaciones elevadoras en las cuales dicha transformación se efectúa empleando transformadores, o bien autotransformadores. De esta manera, una red de transmisión emplea usualmente voltajes del orden de 115 kV y superiores, denominados alta tensión.

Parte de la red de transporte de energía eléctrica son las líneas de transporte. Una línea de transporte de energía eléctrica o línea de alta tensión es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias. Está constituida tanto por el elemento conductor, usualmente cables de acero, cobre o aluminio, como por sus elementos de soporte, las torres de alta tensión. Generalmente se dice que los conductores "tienen vida propia" debido a que están sujetos a tracciones causadas por la combinación de agentes como el viento, la temperatura del conductor, la temperatura del viento, etc.

Existen una gran variedad de torres de transmisión como son conocidas, entre ellas las más importantes y más usadas son las torres de amarre, la cual debe ser mucho más fuertes para soportar las grandes tracciones generadas por los elementos antes

mencionados, usadas generalmente cuando es necesario dar un giro con un ángulo determinado para cruzar carreteras, evitar obstáculos, así como también cuando es necesario elevar la línea para subir un cerro o pasar por debajo/encima de una línea existente.

Existen también las llamadas torres de suspensión, las cuales no deben soportar peso alguno más que el del propio conductor. Este tipo de torres son usadas para llevar al conductor de un sitio a otro, tomando en cuenta que sea una línea recta, que no se encuentren cruces de líneas u obstáculos.

La capacidad de la línea de transmisión afecta al tamaño de estas estructuras principales. Por ejemplo, la estructura de la torre varía directamente según el voltaje requerido y la capacidad de la línea. Al estar éstas formadas por estructuras hechas de perfiles de acero, como medio de sustentación del conductor se emplean aisladores de disco o aisladores poliméricos y herrajes para soportarlos.

En una instalación normal, los generadores de la central eléctrica suministran voltajes de 13,800 voltios; voltajes superiores no son adecuados por las dificultades que presenta su aislamiento y por el riesgo de cortocircuitos y sus consecuencias. El voltaje es elevado mediante transformadores a tensiones entre 115,000 y 230,000 voltios para la línea de transporte primaria (cuanto más alta es la tensión en la línea, menor es la corriente y menores son las pérdidas). En la subestación, el voltaje se transforma en tensiones entre 23,000 y 46,000 voltios para que sea posible transferir la electricidad al sistema de distribución. La tensión se baja de nuevo con transformadores en cada punto de distribución. La industria pesada suele trabajar a 13,000 voltios y 23,000 voltios. Para el suministro a los consumidores se baja más la tensión, la industria suele trabajar a tensiones entre 110 y 480 voltios y para el consumo residencial reciben 110/220 V.

La transmisión de energía eléctrica posee ciertas características, las cuales relacionan las centrales eléctricas, con subestaciones y las líneas de transmisión, todo ello en función de la potencia, la distancia a que se transmite y el área por servir.

Líneas de transmisión

Son los elementos encargados de transmitir la energía eléctrica, desde los centros de generación hasta los centros de consumo, a través de distintas etapas de transformación de voltaje, las cuales también se interconectan con el sistema eléctrico de potencia.

Los voltajes de transmisión utilizados son 115 kV y 230 kV en algunos tramos. Una de las formas de clasificar las líneas de transmisión es de acuerdo a su longitud, siendo:

Línea corta: menos de 80 km.

Línea media entre 80 y 240 km.

Línea larga: 240 km o más.

Subestaciones eléctricas

En función a su diseño son las encargadas en interconectar las líneas de transmisión de distintas centrales generadoras, transformar los niveles de voltaje para su transmisión y consumo.

La denominación de una subestación como transmisión o distribución es independiente de las tensiones involucradas y está determinada por el fin a que se destine. Las subestaciones de transmisión están alejadas de los centros urbanos, esto facilita el acceso de líneas de alta tensión y la localización de los terrenos lo suficientemente grandes para albergar en forma segura los delicados equipos para el manejo de alta tensión.

Por otro lado hay que mencionar que las subestaciones de distribución son alimentadas por las subestaciones de transmisión con líneas o cables de potencia a la tensión de 115 kV.

En El Salvador antes de entrar en vigencia la ley general de electricidad, CEL se encargaba de la vital función del transporte de la electricidad. En el año de 1999 inicio operaciones la Empresa Transmisora de El Salvador S.A. de C.V. (ETESAL). ETESAL, fue constituida el 24 de febrero de 1999, para dar cumplimiento a la Ley General de Electricidad, en el sentido de reestructurar la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), separando las funciones de Mantenimiento, Operación y Generación del Sistema de Potencia. El 1 de octubre de 1999 inició operaciones como una Empresa independiente, encargada del Mantenimiento del Sistema de Transmisión.

Como un participante importante dentro del mercado de electricidad en El Salvador, ETESAL hace posible las transacciones de energía eléctrica entre los diferentes agentes conectados directamente a su red de transmisión, así como las transacciones con mercados eléctricos fuera del territorio salvadoreño, a través de las interconexiones eléctricas con los países vecinos.

La principal actividad que desarrolla está relacionada con la disponibilidad del sistema de transmisión de energía eléctrica. A partir del año 2001, ETESAL es una empresa certificada bajo la norma internacional de calidad ISO 9001:2000; lo que garantiza la eficacia de los mantenimientos preventivos al sistema de transmisión, necesarios para el transporte de la energía eléctrica.

El Sistema de Transmisión bajo responsabilidad de ETESAL, se conforma de 34 líneas de transmisión a 115 kV, haciendo un total de 1,021.50 Km. y dos tramos de línea a 230 kV que suman 107.50 km, correspondientes a las porciones de El Salvador de las líneas de interconexión con Guatemala y Honduras; así como por 23 subestaciones de potencia a 115 kV con una capacidad de transformación de 1,485 MVA, además dos subestaciones a 230 kV: Ahuachapán y 15 de Septiembre, para las Interconexiones con Guatemala y Honduras respectivamente.



Figura 4. Red de transmisión de ETESAL a nivel nacional.

Las empresas generadoras de energía eléctrica inyectan en voltajes de 115 y 230 mil voltios, para que la energía pueda ser transportada en las líneas de transmisión, y ésta para ser entregada a los distribuidoras, sufre una transformación en las subestaciones donde las distribuidoras están conectadas, reduciéndola a niveles de voltaje de 46 kV, 34.5 kV y 23 kV.

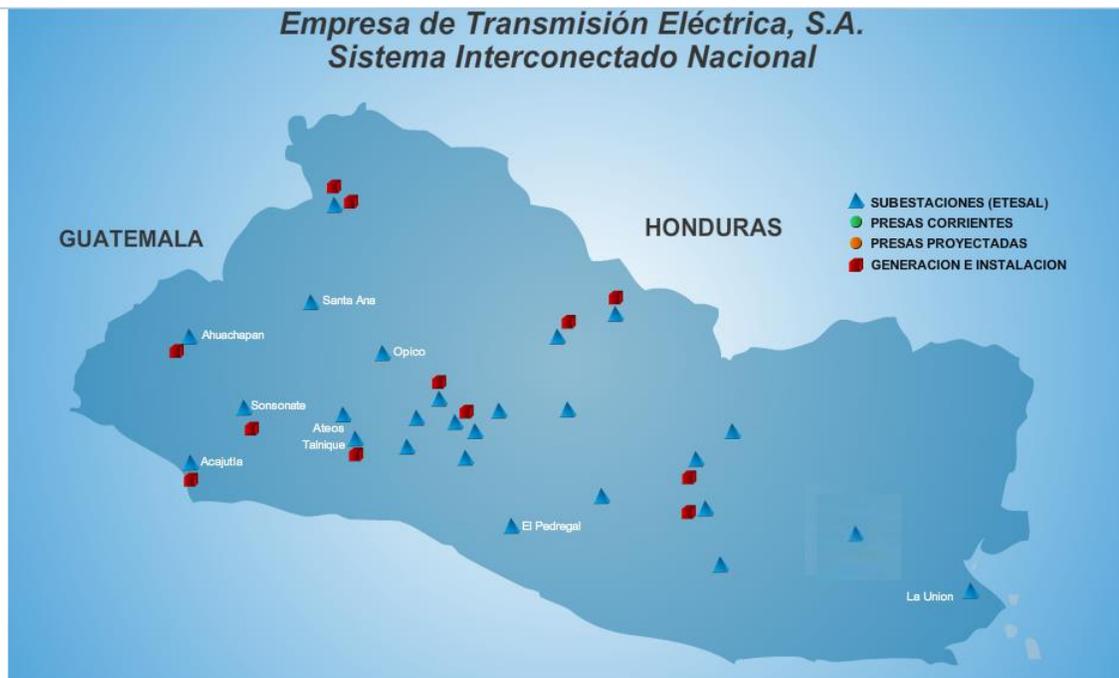


Figura 5. Subestaciones de ETESAL a nivel nacional.

1.3.2 Distribución de energía eléctrica.

La Red de Distribución de la Energía Eléctrica o Sistema de Distribución de Energía Eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (medidor del cliente). Se lleva a cabo por los Operadores del Sistema de Distribución.

El elemento principal lo conforman la red o sistema de distribución, es decir las subestaciones de distribución, que pueden ser definidas como el conjunto de elementos (transformadores, interruptores, seccionadores, etc.) cuya función es reducir los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión (o subtransmisión) hasta niveles de media tensión para su ramificación en múltiples salidas.

La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas.

La primera está constituida por la red de reparto, que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.

La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha y con una característica muy radial. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión.

Las líneas que forman la red de distribución se operan de forma radial, sin que formen mallas, al contrario que las redes de transporte y de reparto. Cuando existe una avería, un dispositivo de protección situado al principio de cada red lo detecta y abre el interruptor que alimenta esta red. La localización de averías generalmente se hace por el método de "prueba y error", dividiendo la red que tiene la avería en dos mitades y energizando una de ellas; a medida que se acota la zona con avería, se devuelve el suministro al resto de la red. Esto ocasiona que en el transcurso de localización se pueden producir varias interrupciones a un mismo usuario de la red.

La distribución de electricidad es realizada por el Grupo AES El Salvador, conformado por las empresas CAESS, S.A. de C.V.; AES-CLESA, S. en C. de C.V.; EEO, S.A. de C.V. y DEUSEM, S.A. de C.V; DELSUR, S.A. de C.V.; EDESAL, B&D Servicios Técnicos y ABRUZZO.

El consumo final de energía eléctrica registrado en el año 2011, de conformidad a la información preliminar proporcionada por las empresas distribuidoras, fue de 4,668.82 GWh, volumen que refleja un crecimiento de 2.3 % respecto a la demanda final registrada en el año 2010, que ascendió a 4,562.91 GWh. El cuadro siguiente muestra las variaciones por distribuidora, destacando que la mayor variación la presentó B&D (77.7%), seguido de ABRUZZO (19.0%), EDESAL (6.1%), DELSUR (4.0%) y CLESA (4.0%). Las empresas con menor crecimiento fueron DEUSEM (1.7%), EEO (1.1%) CAESS (0.4%).

Distribuidora	2010	2011	Var %
CAESS	2,005.83	2,013.73	0.4
DELSUR	1,1243.91	1,169.94	4.0
CLESA	799.75	832.05	4.0
EEO	477.11	482.37	1.1
DEUSEM	109.60	111.45	1.7
EDESAL	29.13	30.91	6.1
B&D	14.69	26.11	77.7
ABRUZZO	1.90	2.26	19.0
TOTAL	4,562.91	4,668.82	2.3

Tabla 7. Consumo final de energía eléctrica por empresa distribuidora (GWh)¹.

¹ Fuente: Empresas Distribuidoras. Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones. Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 13 2011, pág. 48. San Salvador, El Salvador, 2011

El cuadro anterior refleja que las empresas que cubren la mayor parte de la demanda son CAESS, con una participación de 43.1% de las ventas; DELSUR, 25.1%; CLESA, 17.8% y EEO, 10.3%, cubriendo en conjunto 96.4% de la demanda, el 3.6% restante lo abastecen DEUSEM (2.4%), EDESAL (0.7%) y B&D (0.6%). Si observamos dicha demanda a partir de las categorías tarifarias (ver gráfica N° 5), se destaca que la mayor proporción es consumida por las grandes demandas (46.0%), el segundo lugar lo ocupa la demanda residencial con el 34.3%. Por su parte la demanda para uso general representa el 8.8%, las medianas demandas el 8.1% y alumbrado público el 2.8%.

Las empresas distribuidoras reportan un crecimiento de 3.1% en el total de clientes, al 31 de diciembre de 2011, aumentando de 1,484,844 clientes en diciembre de 2010 a 1,531,598 usuarios en el mismo mes de 2011. Si observamos los datos por distribuidoras, a excepción de B&D todas las compañías reportan crecimientos que van desde 2.3% en el caso de CAESS a 17.5% en el caso de ABRUZZO.

Distribuidora	2010	2011	Var %
CAESS	529.84	541.78	2.3
DELSUR	320.71	329.73	2.8
CLESA	317.40	328.64	3.5
EEO	242.71	253.82	4.6
DEUSEM	64.37	66.49	3.3
EDESAL	9.74	11.03	13.3
B&D	0.01	0.01	0.0
ABRUZZO	0.08	0.09	13.3
TOTAL	1,484.84	1,531.60	3.1

Tabla 8. Número de Clientes por empresa distribuidora (miles)².

² Fuente: Empresas Distribuidoras. Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones. Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 13 2011, pág. 49. San Salvador, El Salvador, 2011

El cálculo de las proporciones de usuarios atendidos por cada distribuidora refleja que las empresas CAESS, DELSUR, AES CLESA y EEO, atienden el 35.4%, 21.5%, 21.5% y 16.6%, respectivamente, concentrando entre las cuatro el 94.9% de los usuarios, el resto es atendido por DEUSEM (4.3%), EDESAL (0.7%), ABRUZZO (0.006%) y B&D (0.001%).



Figura 6. Zonas de prestación de servicio de las distintas distribuidoras en El Salvador.

1.4 CATEGORIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

En general las líneas de transmisión y distribución de El Salvador se clasifican de la siguiente manera:

1.4.1 Línea de transmisión de alta tensión:

230 kV: (EPR y ETESAL) Red de transmisión y conexión internacional (con Guatemala y Honduras).

- Línea Ahuachapán – Nejapa – 15 de Septiembre (longitud total: 191.9 km)
- Conexión con Guatemala: Ahuachapán – Este de Guatemala (longitud total: 112.6 km)
- Conexión con Honduras: 15 de Septiembre – Agua Caliente (longitud total: 147 km)

115 kV: (ETESAL) Red de transmisión nacional (longitud total: 1,072 km)

1.4.2 Línea de distribución de media tensión

Redes eléctricas pertenecientes a las empresas distribuidoras. A niveles de voltaje de 46 kV, 34.5 kV, 23 kV, 13.2 kV, 4.16 kV, 2.4 kV, según la cantidad de usuarios y energía demanda en cada región.

1.4.3 Línea de distribución de baja tensión

Para conexión eléctrica a los usuarios finales, a niveles inferiores a 600 V, en su mayoría son usuarios residenciales con niveles de voltaje 120/240 V

1.5 NIVELES DE COSTO DE LAS INSTALACIONES DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

En esta sección se recoge la información relacionada con los costos de las instalaciones de transmisión en 115 kV, y distribución en 46 kV, 23 kV y 13.2 kV. Dado que no existen fuentes estadísticas sobre dichos costos, se ha recogido información de funcionarios y técnicos involucrados en el desarrollo de proyectos recientes.

1.5.1 Costos de Líneas de Transmisión y Distribución

Los costos aquí recopilados relacionados con los proyectos de líneas de transmisión y distribución incluyen el suministro de material, equipo y mano de obra para el montaje, pero no así el costo de la servidumbre.

En el cuadro siguiente se muestran los costos de líneas de transmisión en El Salvador. El costo promedio de una línea de transmisión de 115 kV alcanza el valor de 173,700 US \$/km, valor cercano al informado por IASA.

También, este costo es la mitad de los costos de línea de transmisión de 115 kV en Estados Unidos (325,000 US \$/km). El costo de la línea 15 de Septiembre – San Miguel equivale al 46% del costo promedio, esto debido que la línea fue mal presupuestada y hubo pérdidas para el constructor.

El costo de la línea San Miguel – La Unión equivale al 153% del costo promedio, esto debido diversos factores técnicos como adaptación a regiones montañosas con dificultad de acceso que incrementaron el tamaño de los equipos (torres, pararrayos, entre otros).

Nombre del Proyecto ³	Tipo de Estructura	Año	Compañía	Potencia (MVA)	Voltaje (kV)	Longitud (km)	Costo Total (Millones de US \$)	Costo Unitario (US \$ / km)
Proyectos diversos	Torre de Celosía	Varios	IASA	100	115	---	---	175,000
15 Sept. - San Miguel	Poste de Acero	2005	ETESAL	100	115	44	3.5	79,545
San Miguel – La Unión ⁴	Torre de Celosía	2006	ETESAL	100	115	45	12.0	266,667

Tabla 9. Información de Costos de Líneas de Transmisión en El Salvador

En el cuadro siguiente se muestran los costos de líneas de distribución típicas en El Salvador para los niveles de tensión de 13.2 kV, 23 kV y 46 kV. Los costos unitarios de una línea de distribución (US \$/km) se incrementan al aumentar el nivel de tensión, esto debido a la utilización de mayor tamaño de conductores como mostrado en la tabla.

Especificaciones Técnicas ⁵	Tipo de Estructura	Año	Compañía	Voltaje (kV)	Costo Unitario (US \$ / km)
3 fases, 477 MCM, vano de 70 m.	Poste de Concreto de 40pies	2011	EDESAL	46	61,300
3 fases, 4/0 AWG, vano de 70 m.	Poste de Concreto de 40pies	2011	EDESAL	23	55,3000
3 fases, 1/0 AWG, vano de 70 m.	Poste de Concreto de 40pies	2011	EDESAL	13.2	37,000

Tabla 10. Información de Costos de Líneas de Distribución en El Salvador.

³ Fuente: Ing. Nelson Hidalgo, Gerente General IASA (Ingeniería Asociada S. A.)

⁴ Fuente: Ing. Julio Posada, Supervisor de Proyectos ETESAL.

⁵ Fuente: Ing. Leonel Bolaños, Gerente Técnico EDESAL.

1.5.2 Costos de Transformadores de Potencia

Los costos de los transformadores de potencia aquí mencionados no incluyen los costos de montaje, tratamiento del aceite y los repuestos sugeridos, sino únicamente los costos por suministro del equipo.

También, el desembarco de transformadores de potencia se realiza hasta la fecha por el puerto de Acajutla, por lo tanto, la ruta para llegar al lugar de montaje debe ser la menos complicada considerando el paso de ciudades, puentes, etc. Esto, el transporte, puede aumentar los costos en los transformadores de 115 kV o mayores.

En el cuadro siguiente se muestran los costos de transformadores de potencia en El Salvador para diferentes tipos de proyectos de transmisión, distribución y generación. El costo promedio de transformadores para proyectos de transmisión resulta aproximadamente en 18,500 US \$/MVA, menor que los costos para proyectos en distribución y generación. En el cuadro se muestran ejemplos de transformadores de potencia que serían usados en pequeños proyectos de generación, estos pueden ser conectados a la red de distribución en 13.2 kV o mayores niveles de voltaje, dependiendo de la capacidad de generación, y presentan un costo promedio de 26,667 US \$/MVA. Los precios mostrados son aproximados, ya que dependen de la tensión, capacidad y cantidad de los transformadores.

Subestación Eléctrica	Tipo de Proyecto	Año	Compañía	Capacidad Nominal (MVA) P/S/T	Voltaje (kV) P/S/T	Costo Total (Millones de US \$)	Costo Unitario (US \$/MVA)
La Unión ⁶	Transmisión	2008	ETESAL	45/60/75	115/46/23	1.20	16,000
Nejapa ⁷	Transmisión	2010	ETESAL	75/115/155	230/115/46	3.25	20,968
S/E EEO	Distribución	2010	EEO	10/12	46/13.2	0.356	29,667
San Luis II ⁸	Generación	2010	CECSA	1.2	2.3/13.2	0.032	26,667

Tabla 11. Información de Costos de Transformadores de Potencia.

⁶ Fuente: Ing. Julio Posada, Supervisor de Proyectos de ETESAL.

⁷ Fuente: Ing. Erasmo Hércules del Cid, Contratista EEO

⁸ Ing. Jorge Landaverde, Director Financiero Corporativo de INGENDEHSA

1.6 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

1.6.1 Sistema de transmisión

La función de un sistema de transmisión eléctrico es transportar la energía desde las unidades generadoras hasta el sistema de distribución. Para este objetivo se emplean líneas de transmisión que conectan a la red de transmisión los generadores y subestaciones de distribución, (así como las diversas áreas de la red de transmisión).

La ingeniería para un proyecto de línea de transmisión, puede ser dividido en tres categorías principales: planeamiento del sistema, diseño eléctrico y diseño mecánico de los componentes de la línea. Este trabajo se enfoca en el último aspecto mencionado.

Concepto de línea de transmisión

Una línea de transmisión se puede decir que es una adaptación de componentes destinados al transporte de energía eléctrica en bloques considerables. Está constituida por conductores usualmente desnudos, tendidos en espacios abiertos y que están soportados por estructuras con los accesorios necesarios para la fijación, separación y aislamiento de los mismos conductores a las estructuras que los soportan. El aislamiento entre conductores lo proporciona el aire, y el aislamiento entre los conductores y la tierra, se obtiene por medio de las cadenas de aisladores.

En el campo de la ingeniería de sistemas de potencia, una línea de transmisión de energía eléctrica se define también como el conjunto formado por cables conductores y cables de guarda sujetos en soportes o estructuras los cuales van separados a una cierta distancia llamada claro o vano.

1.6.2 Elementos constitutivos de las líneas de transmisión

En términos generales podemos decir que los elementos principales de un sistema de líneas de transmisión son:

1. Estructuras.

Las torres o estructuras, constituyen el soporte mecánico de las líneas de transmisión y económicamente, representan la mayor inversión. En El Salvador se construyen principalmente de acero para transmisión y cemento armado, subtransmisión.

Dentro de este apartado podemos incluir también otros elementos como la obra civil de las cimentaciones, zanjas, los corredores o servidumbres, mallas de puesta a tierra, y demás obras que brinden la seguridad necesaria para el personal de mantenimiento y a personas que puedan movilizarse zonas aledañas.

2. Conductores.

Debe cumplir los requisitos de resistencia mecánica, parámetros eléctricos para una capacidad de conducción de energía aceptable, pérdidas los más bajo posible tanto por efecto Joule como por efecto corona, entre otros.

En la construcción de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica, se utilizan casi exclusivamente conductores trenzados, los cuales son cables formados por alambres, en capas alternadas, enrolladas en sentidos opuestos. Generalmente se utiliza aluminio reforzado con acero, se prefieren por ser más livianos y económicos respecto a otros materiales como por ejemplo el cobre. Si una línea es muy larga, debe tener empalmes, los cuales deben ser de poca resistencia eléctrica y gran resistencia mecánica. Al igual que las placas de un capacitor, los conductores de una línea mantienen la carga al desconectar la fuente de tensión; para prevenir graves accidentes, antes de trabajar sobre una línea en vacío, ésta se pone a tierra, por lo cual se colocan interruptores adecuados de puesta a tierra.

3. Apoyos.

Soportan el peso y los esfuerzos de los conductores, aisladores, herrajes, y los empujes adicionales debido al viento y en otras latitudes con climas fríos la acumulación de hielo y nieve en los cables. Además mantienen separados los conductores entre sí.

Clasificación según material empleado:

- Apoyos de madera
- Apoyos de hormigón
- Apoyos metálicos

Clasificación según función:

- Apoyos de alineación
- Apoyos de amarre
- Apoyos de ángulo
- Apoyos de fin de línea

4. Herrajes.

Dispositivo metálico que tiene como fin la fijación, empalme, protección eléctrica o mecánica, reparación, separación, amortiguamiento de vibraciones, etc. de los conductores o cables de guarda. Están formados por los siguientes elementos o dispositivos:

- Grapas para sujetar cables de fases y guarda
- Amortiguadores
- Espaciadores para mantener separados los conductores de un haz
- Anillos para control de efecto corona
- Cuernos de arco

5. Aisladores.

Sirven de apoyo y soporte a los conductores, al mismo tiempo que los mantienen aislados de tierra. El material más utilizado para los aisladores es la porcelana, aunque también se emplea el vidrio templado y materiales sintéticos. Desde el punto de vista eléctrico, los aislantes deben tener mucha resistencia ante las corrientes de fuga superficiales y tener suficiente espesor para evitar la perforación ante el fuerte gradiente de tensión que deben soportar. Para aumentar la resistencia al contacto, se moldean en forma acampanada. Bajo el punto de vista mecánico, deben ser suficientemente robustos para resistir los esfuerzos debidos al peso de los conductores.

1.7 CONDUCTORES

El conductor eléctrico es uno de los elementos más importante de la línea de transmisión y/o distribución, ya que de él depende aspectos significativos como es: el costo de inversión de la línea y el costo de operación de la misma.

El conductor para una línea de transmisión debe cumplir los requisitos de resistencia mecánica, capacidad de conducción de corriente, pérdidas aceptables tanto por efecto Joule como por efecto corona, así como características de flecha adecuada a los perfiles topográficos donde se pretende implementar, puesto que uno de los criterios más limitantes en el diseño de una línea de transmisión o distribución es la altura mínima del conductor sobre el terreno por razones de seguridad.

Los conductores que son utilizados en líneas de transmisión se obtienen mediante cableados de hilos metálicos alrededor de un hilo central. Un conductor puede estar conformado por hilos del mismo material o de distintos materiales, según sean las características mecánicas y eléctricas deseadas. El material utilizado para la conducción de la corriente eléctrica en el conductor de alto voltaje es el aluminio. Hoy en día se puede encontrar conductores formados por aluminio puro, aluminio recocido o aluminio aleado con otro tipo de material; ejemplo (Aluminio - Acero).

En la actualidad existen varios tipos de materiales para conformar el alma del conductor. El material más utilizado es el acero, pero con el avance de la tecnología hoy también se utiliza fibra de carbono y compuestos metálicos especiales. Entre las principales características electromecánicas que deben cumplir los materiales que conforman el conductor están:

1. Presentar una baja resistencia eléctrica.
2. Presentar una elevada resistencia mecánica
3. Tener un costo razonable

Los conductores convencionales son conductores metálicos contruidos de aluminio, aleación de aluminio, y la combinación de acero y aluminio. Estos conductores operan a temperaturas de 75 °C en condiciones normales y 90 °C en condiciones de emergencia. Podemos decir que el conductor de una línea de transmisión de potencia se divide en dos categorías:

- Conductores de fase
- Cable de guarda

Cada uno de los cuales tiene características propias según la función desempeñada, y podemos mencionar los siguientes:

Conductores de fase

- Transportan la energía eléctrica
- Baja resistencia eléctrica
- Resistencia mecánica a la tracción elevada
- Materiales: cobre, aluminio, aleación de aluminio, acero

Cable de guarda

- Protege los conductores de fase frente a rayos
- Resistencia eléctrica: dato poco importante
- Resistencia mecánica a la tracción elevada
- Materiales: acero galvanizado, aluminio
- Actualmente: OPGW (Optical Ground Wire)

A continuación se presentan algunos de los conductores utilizados comúnmente para transmisión y distribución de energía eléctrica.

1.7.1 Conductores AAC

All Aluminum Conductor

“AAC Todos los conductores de Aluminio”: Este tipo de conductores se utilizan en líneas de transmisión y en líneas de distribución primaria y secundaria, donde los vanos requeridos sean relativamente cortos y se desee un conductor liviano. Los conductores AAC están fabricados con alambres de aluminio tipo EC 1350.

Estos conductores están compuestos de varios alambres de aluminio, cableados en capas concéntricas. Todos los alambres tienen el mismo diámetro. La mayoría de las composiciones constan de 7, 19, 37, 61 y 91 alambres.

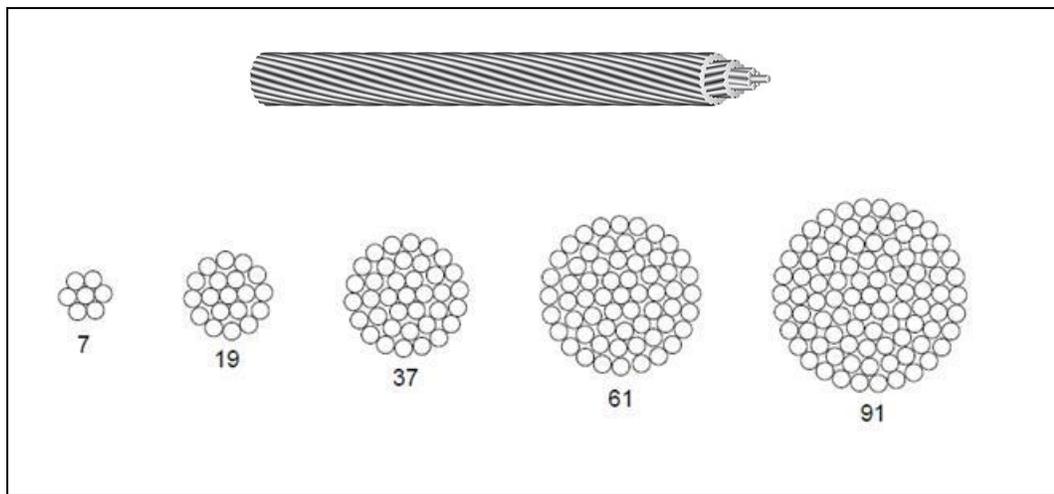


Figura 7. Sección transversal de conductor AAC.

1.7.2 Conductores AAAC

All Aluminum Alloy Conductor

“AAAC Todos los conductores de aleación de Aluminio”: Son conductores utilizados por sus características flecha – tensión en sistemas de distribución de energía, tiene un peso bajo, una buena conductividad, alta resistencia a la tracción y buena resistencia a la corrosión, son utilizados en zonas costeras (alta salinidad) y en zonas industriales con presencia de contaminación química. Pueden presentar algunos problemas por ser más susceptibles a la vibración si se comparan con los conductores ACSR tendidos a la misma tensión. El AAAC está construido con alambres de aluminio 6201 para uso eléctrico.

Estos conductores están compuestos de varios alambres de aleación de aluminio, cableados en capas concéntricas. Todos los alambres tienen el mismo diámetro. Las composiciones más usuales constan de 7, 19, 37, 61 y 91 alambres.

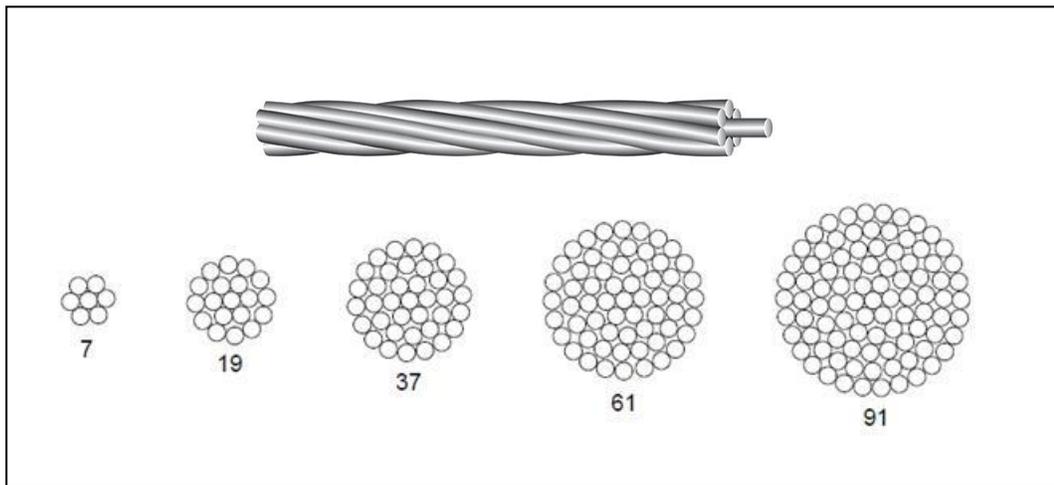


Figura 8. Sección transversal conductor AAAC.

1.7.3 Conductores ACSR

Aluminum Conductor Steel Reinforced

“ACSR Conductor de Aluminio con Alma de Acero”: Este tipo de conductores es empleado en sistemas de transmisión y distribución, es muy utilizado en zonas montañosas, debido a que presenta una buena carga de rotura; característica especial que presenta el conductor para diseño de líneas de transmisión en zonas con terrenos a desnivel.

El conductor tipo ACSR debido a su constitución bimetálica es propenso a la corrosión galvánica, esta corrosión aparece cuando los conductores están instalados en zonas cercanas a la costa o en zonas con contaminación industriales. Para evitar la corrosión es conveniente elegir una galvanización adecuada del alma del conductor.

Estos conductores están compuestos por varios alambres de aluminio y acero galvanizado, cableados en capas concéntricas. El alambre o alambres que forman el alma, son de acero galvanizado y la capa o capas externas, de aluminio. El alma de acero consta normalmente de 1, 7 ó 19 alambres. Los diámetros de los alambres de aluminio y acero pueden ser idénticos o diferentes. Variando las proporciones relativas de aluminio y acero, se pueden conseguir las características requeridas para cualquier aplicación. Incrementando la proporción de acero se consigue una resistencia a la tracción más alta e incrementando la proporción de aluminio, una conductividad eléctrica mayor.

En comparación con los conductores de cobre, los conductores ACSR proporcionan ventajas técnicas y económicas. Su bajo peso, combinado con su alta resistencia a la tracción, permiten la adopción de vanos más largos. Las pérdidas por efecto corona se reducen, debido al mayor diámetro de este tipo de conductor.

De esta manera la transmisión y distribución de energía eléctrica a elevadas tensiones y distancias es posible con la utilización de este tipo de conductor.

El conductor ACSR está constituido por:

- Alambres de aluminio, aleación 1350 – H19 para uso eléctrico
- Alambre de acero

Recubierto con zinc

Recubierto de aluminio

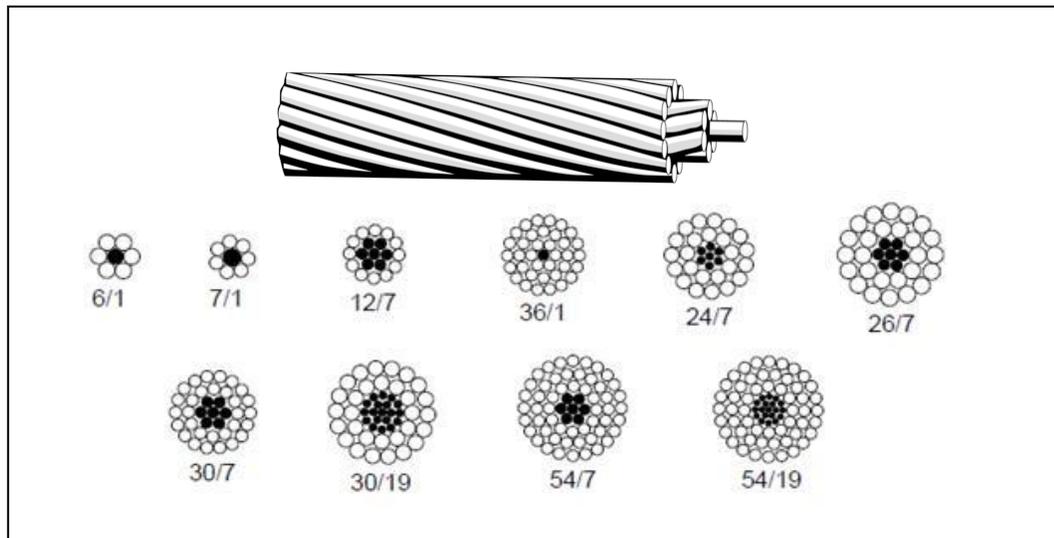


Figura 9. Sección transversal conductor ACSR.

1.7.4 Conductores ACAR

Aluminum Conductor Alloy Reinforced

“ACAR Conductor de Aluminio con Refuerzo de Aleación”: Este conductor es utilizado en líneas de transmisión y distribución, por tener una buena relación (carga, rotura, peso), hace que este conductor sea aplicado en sistemas de vanos largos.

Este cable está compuesto por varios alambres de aluminio y aleación de aluminio, cableados en capas concéntricas. El alambre o alambres que forman el alma es/son de aleación de aluminio y las capas externas de aluminio.

El alma consta normalmente de 7, 19, 37, 61 y 91 alambres. Los diámetros de todos los alambres es el mismo. Los alambres de aluminio y aleación de aluminio se pueden mezclar en la misma capa. Variando las proporciones relativas de aluminio y aleación de aluminio, se pueden lograr las características requeridas para cualquier aplicación. A mayor proporción de aleación, mayor resistencia a la tracción y a mayor proporción de aluminio mayor conductividad eléctrica.

La excelente resistencia a la corrosión los hace adecuados para el servicio en ambiente marítimo e industrial. Por ser totalmente de aluminio “homogéneo” queda eliminada la posibilidad de la corrosión galvánica.

El conductor ACAR está constituido por:

- Alambre de aluminio, aleación 1350 – H19
- Alambre de aluminio, aleación 6201 – T81

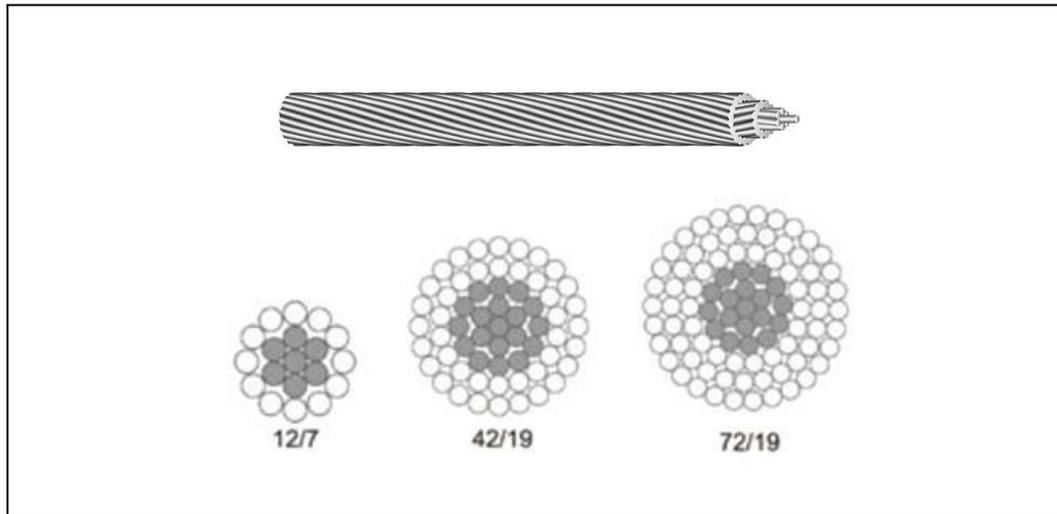


Figura 10. Sección transversal conductor ACAR.

1.7.5 Aspectos mecánicos importantes en conductores de media y alta tensión.

Los aspectos mecánicos de los conductores en una línea de transmisión intervienen en conjunto con los aspectos eléctricos, un buen diseño mecánico está relacionado al buen funcionamiento de una línea de transmisión.

El conductor de una línea de transmisión se comporta mecánicamente hablando como un elemento sometido a tensión y sostenido en sus dos extremos, y de ahí se derivan muchos parámetros que influyen en la selección del conductor de un sistema de líneas de transmisión.

Como mencionamos anteriormente este trabajo de graduación se enfoca en el cálculo mecánico de conductores, a continuación se muestra un esquema con los conceptos a abordar a lo largo de este documento:

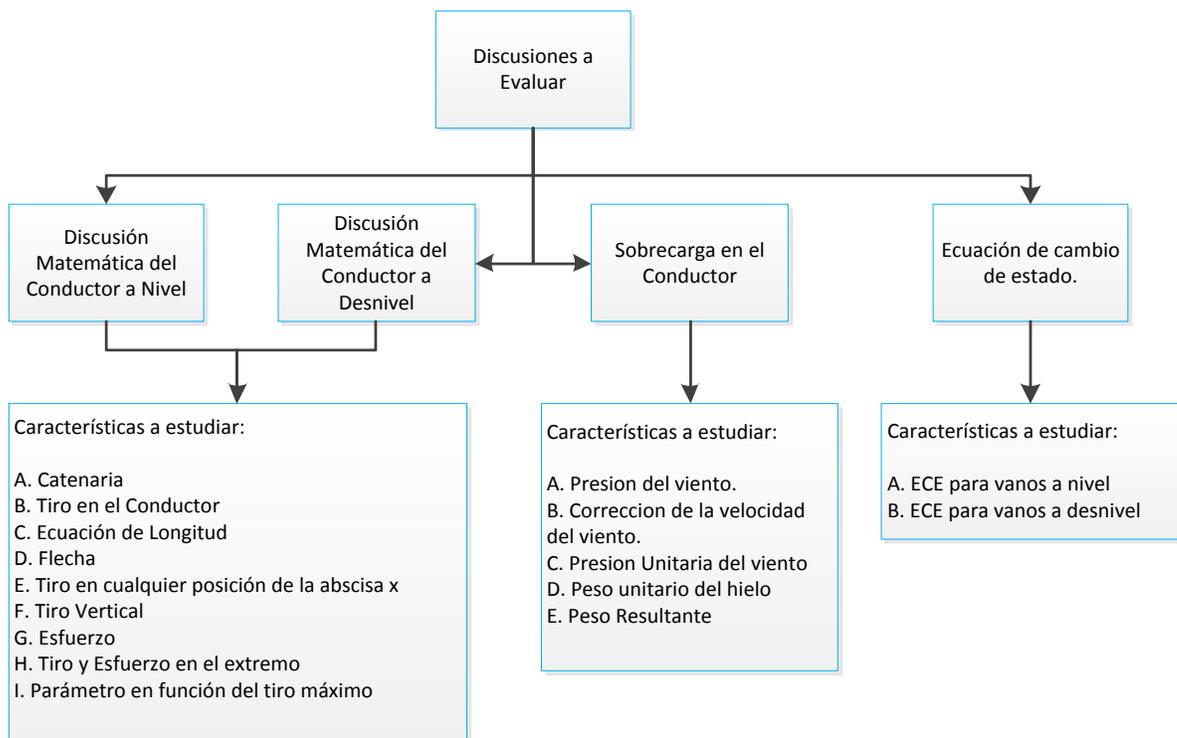


Figura 11. Aspectos mecánicos a evaluar en conductores.

1.8 SOFTWARE EXISTENTES PARA EL CÁLCULO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

En la actualidad, el uso de herramientas computacionales como apoyo en la solución de diversos problemas de ingeniería es cada vez más frecuente, para el diseño de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica existen herramientas comerciales muy elaboradas y poderosas. En trabajo investigativo, se presentan algunos programas de software que utilizados por algunas empresas involucradas en el rubro de la transmisión y distribución de la energía eléctrica en El Salvador y algunos países de Latinoamérica. Se menciona algunas de las características de estos programas, parte de la metodología de funcionamiento, así como sus alcances y/o limitaciones, vale aclarar que conllevan una inversión económica considerable.

Este tipo de programas son de gran utilidad ya sea en empresas involucradas en la transmisión y/o distribución de energía eléctrica porque facilitan el desarrollo de los cálculos mecánicos del conductor, cálculos de la catenaria según la ubicación de las estructuras en el perfil topográfico, cálculos eléctricos que permiten evaluar el comportamiento de la línea desde el punto de vista eléctrico y múltiples herramientas que facilitarán el desarrollo de sus proyectos de Líneas de Trasmisión aéreas.

- ✚ PLS-CADD de Power Line Systems (<http://www.powline.com>) una herramienta ampliamente difundida en el mercado. Su edición estándar incluye excelentes funciones prácticas para el trabajo sobre el terreno, evaluación de flecha-tensión, cargas, distancias de seguridad y dibujos para el diseño de una línea de transmisión completa (2D y 3D). Su precio es de US\$ 9,500 y se incrementa con la adición de módulos funcionales. La edición simplificada permite cálculos de flechas y tensiones en un solo vano, régimen térmico y árbol de cargas para una sola estructura. Su precio es de US\$ 2,000. En nuestro país ETESAL y CEL hacen uso de este potente software.

- ✚ DLT-CAD de ABS Ingenieros SAC (www.absingenieros.com) toma como base el perfil topográfico (2D) y proporciona las herramientas necesarias a través de un entorno gráfico interactivo para trabajar sobre éste. Incorpora bases de datos de estructuras, soportes, conductores y aisladores. El precio de las ediciones estándar y simplificada es de US\$ 2,400 y US\$ 1,200, respectivamente. La versión completa tiene un valor de US\$ 4,200.

- ✚ DILATE es una herramienta de cómputo para el diseño de líneas aéreas trifásicas de transmisión de energía eléctrica." DILATE fue desarrollada en Microsoft Excel empleando Visual Basic para Aplicaciones (VBA); esta herramienta le permite cubrir las áreas generales del "Diseño Eléctrico", "Diseño Mecánico" y "Proceso de Plantillado". Otras características de DILATE le permiten guardar/cargar los datos empleados en los módulos de "Diseño Eléctrico" y "Diseño Mecánico" en archivos con extensión *.dilate, crear informes de los resultados en formato HTML y modificar la base de datos de cables (conductores eléctricos y de cables de guarda). Una característica a tomar muy en cuenta de este programa es que se distribuye gratuitamente.

Existen otros desarrollos comerciales y académicos que satisfacen el propósito del diseño de líneas pero que no abarcan en conjunto procedimientos de cálculo eléctrico, mecánico y de plantillado, centrándose generalmente en estos dos últimos. Existen también otros requerimientos que son particulares a cada región y que por esta misma razón es difícil tenerlos en cuenta, por ejemplo, la normatividad vigente aplicable en cada país respecto de las distancias de seguridad. El proceso de diseño de una línea de transmisión ó distribución implica una gran cantidad de cálculos, para verificar el diseño según criterios establecidos que consisten en combinaciones de condiciones previamente establecidas, el desarrollo de una aplicación por computadora con un enfoque educativo puede ser de gran utilidad para un mejor entendimiento por parte de los estudiantes de los principales parámetros relativos a los cálculos mecánicos de líneas de transmisión y/o distribución.

Muchos programas de cálculo mecánico, son desarrollados bajo licencias de pago. La programación a utilizar en este Trabajo de Graduación, se basa en los principios de software libre. Esto como una iniciativa de un mejor desarrollo de la temática abordada en la asignatura de Diseño de Líneas de Transmisión y Distribución impartida en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador. En los siguientes capítulos se desarrollan los componentes de nuestro software de uso libre y con ello los objetivos propuestos para este Trabajo de Graduación.

CAPÍTULO II.

2.1 CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Los conductores más empleados actualmente para estos tipos de líneas son los de aleación aluminio – acero (como se mencionó detalladamente en el capítulo anterior), que a pesar de tener menor conductividad eléctrica, tienen una resistencia mecánica mejor que los de cobre y suponen una opción más económica.

En el cálculo mecánico de conductores es necesario conocer propiedades del conductor como su tensión de rotura para tenerla en cuenta a la hora de su tendido, su sección para calcular la carga que soporta el conductor sometido a sobrecargas, el módulo de elasticidad para calcular tensiones y el coeficiente de dilatación lineal del cual depende el comportamiento del conductor con la temperatura y por lo tanto si implica un aumento o disminución de la tensión mecánica en el mismo.

La elección del conductor por su sollicitación mecánica depende en su mayor parte de la zona donde se sitúa la línea, que puede ser A, B ó C según la altura a la que se encuentre. La zona conlleva unas sobrecargas debidas a viento, (hielo, en países con bajas temperaturas) ó su acción conjunta determinadas, siendo la zona C la más desfavorable y la situada a mayor altura de todas.

Es siempre interesante utilizar conductores con la menor sección posible, ya que la magnitud de las sobrecargas que se van a estudiar (hielo y viento) depende proporcionalmente del diámetro del conductor. Pero hay tener en cuenta que también cuanto menor es el diámetro, menor es la tensión de rotura y por eso es muy importante comprobar que un determinado conductor soporta las diversas tensiones a las que puede estar sometido durante su vida útil.

Hay que estudiar la tensión más desfavorable con la que se puede encontrar el conductor. Al hacer el cálculo de la resistencia mecánica hay que tener cuidado con la flecha que tiene el conductor en todo momento, porque al disminuir la tensión sobre el mismo, que suele coincidir con el aumento de temperatura y la ausencia de sobrecarga, la flecha aumenta debido a la dilatación del cable, pudiendo sobrepasar la distancia de seguridad al terreno.

Como parámetros importantes en la geometría de un conductor suspendido entre dos apoyos se deben conocer el vano (a), que es la proyección horizontal de la distancia entre los mismos, el vano real (b) que es la distancia de la recta que une ambos apoyos y la flecha (f) que es la máxima distancia vertical entre la recta que une los puntos de sujeción del conductor y éste.

Finalmente, a manera de síntesis, el cálculo mecánico de conductores tiene la siguiente finalidad:

- Obtener la tensión mecánica con la que se debe tender un conductor, partiendo de unas determinadas condiciones de temperatura y sobrecarga y según la geometría del vano y las propiedades del conductor. Además una vez conseguido esto, ver las distintas tensiones a las que está sometido el conductor en otras condiciones de tensión y temperatura.
- Obtener la máxima flecha del conductor para los distintos casos que se plantean y comprobar la distancia al suelo, entre conductores, o a otros elementos.

Para el cálculo de lo primero, será necesario emplear la ecuación del cambio de estado, que asigna nuevos valores de tensión a unas nuevas condiciones de temperatura y sobrecarga en el conductor a partir de unas condiciones de temperatura y tensión mecánica iniciales. Para el cálculo de lo segundo, se llegará a una expresión distinta para la flecha a partir de la ecuación de la catenaria.

A continuación se analizan detalladamente los principales parámetros en el cálculo mecánico de conductores en líneas aéreas.

2.2 DISCUSIÓN MATEMÁTICA DEL CONDUCTOR A NIVEL.

2.2.1 Catenaria del conductor.

Definición: Cuando un conductor de peso uniforme, sujeto entre dos puntos situados a la misma altura, sometido bajo la fuerza de la gravedad, forma una curva llamada catenaria.

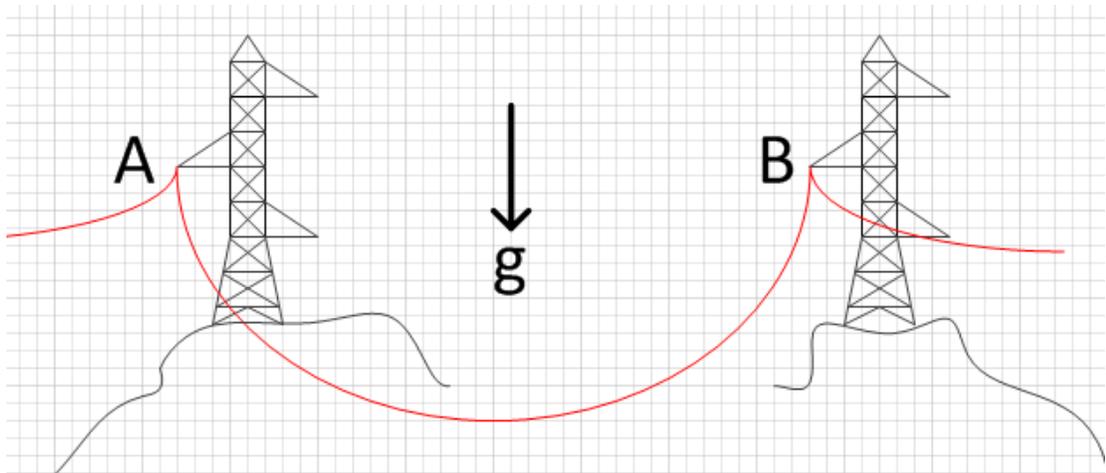


Figura 12. Representación de la catenaria.

El parámetro de la catenaria(C), es una constante, que regula la apertura de dicha curva:

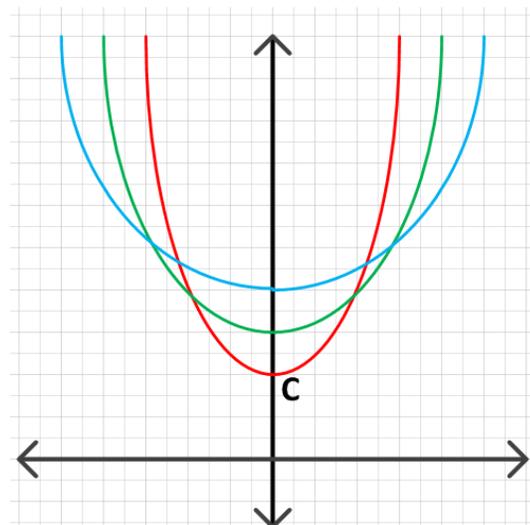


Figura 13. Representación del parámetro de catenaria.

Representación matemática de la catenaria:

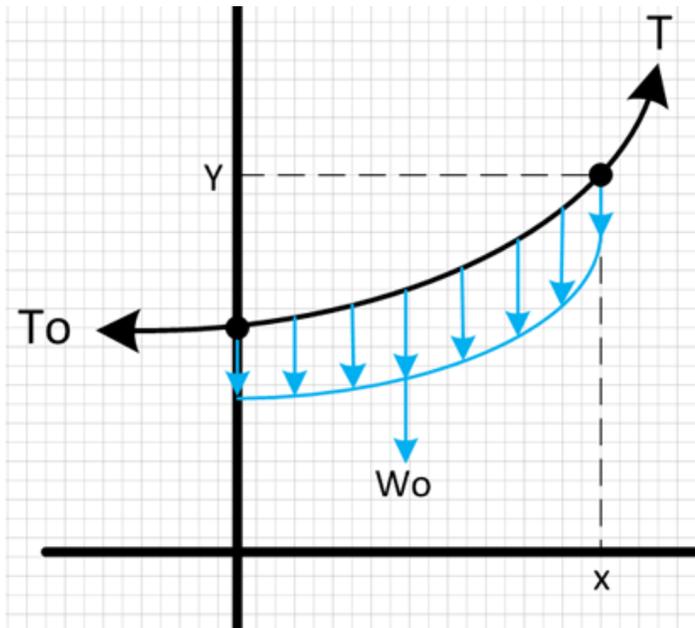


Figura 14. Representación analítica del parámetro de la catenaria

Parámetro de la catenaria:

$$C = \frac{T_0}{W_0}$$

Para el caso:

$$y = C \left[\cosh \left(\frac{W_0 \cdot X}{T_0} \right) \right]$$

Donde:

C : Parámetro de la Catenaria.

W_0 : Peso unitario del conductor.

T_0 : Tiro en el vértice.

X : Valor de referencia horizontal.

Una excepción para el análisis de la catenaria, es si esa curva, se adapta a la forma de una parábola, para tal caso:

$$y = C + \frac{X^2}{2C}$$

Sustituyendo el parámetro de la catenaria:

$$y = \frac{T_0}{W_0} + \frac{X^2 \cdot W_0}{2 \cdot T_0}$$

2.2.2 Tiro en el conductor.

Definición: fuerza en el punto del conductor de abscisa “x”, formando un ángulo de θ grados con la horizontal.

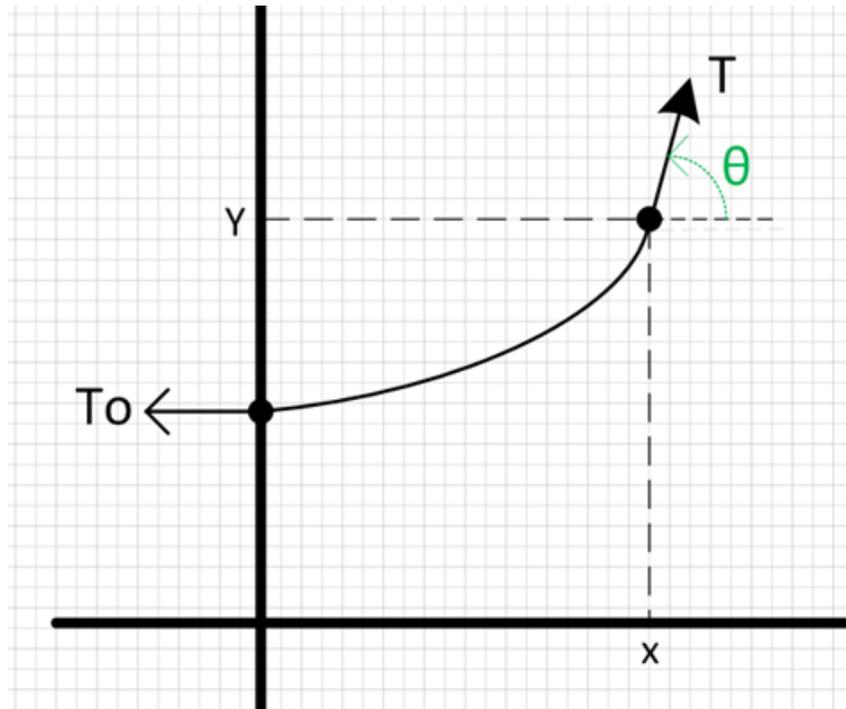


Figura 15. Representación del tiro en el conductor.

Tiro en el conductor:

$$T = \frac{T_0}{\cos(\theta)}$$

Donde T_0 , es un valor constante, llamado tiro en el vértice, componente horizontal constante, para cualquier punto en la abscisa “x”:

$$T_0 = T \cdot \cos(\theta)$$

2.2.3 Ecuación de longitud en el conductor a nivel.

Definición: Es la distancia del conductor, sujetado entre dos puntos, situados a la misma altura.

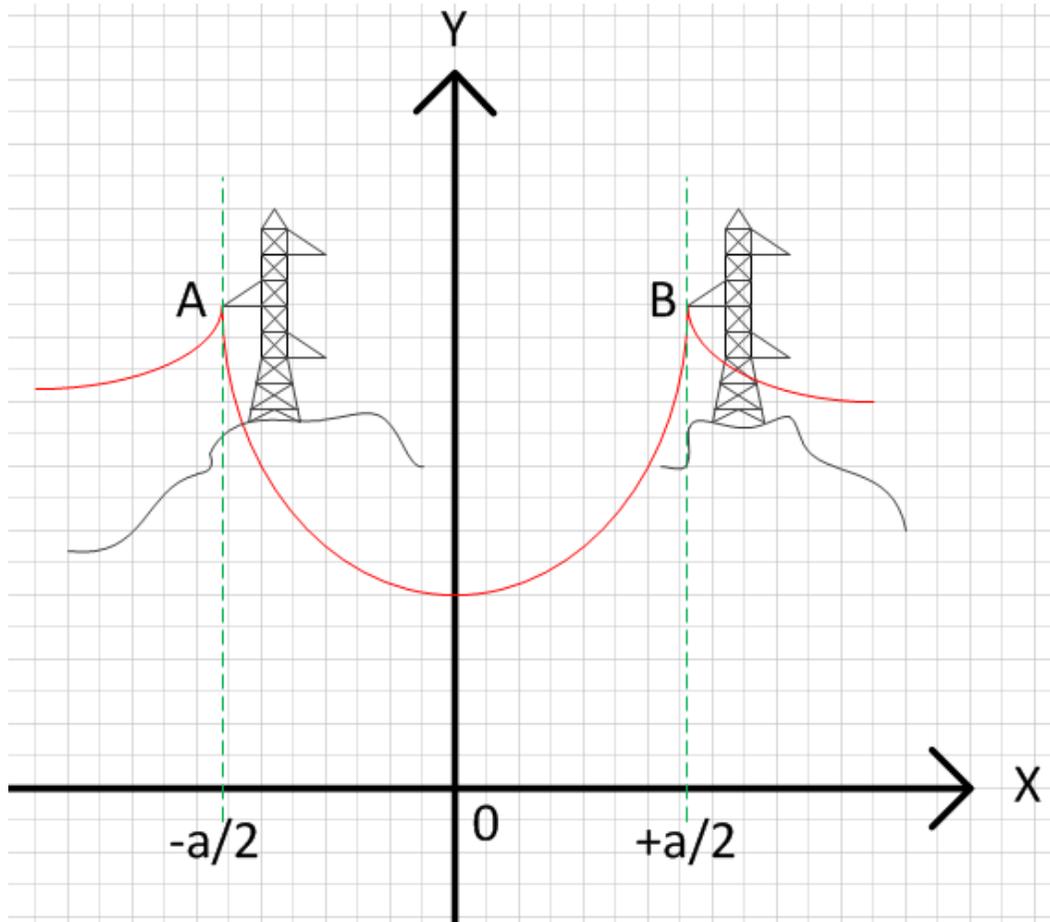


Figura 16. Representación de la longitud en el conductor a nivel

En la figura anterior, se muestran las abscisas de los extremos del conductor que son $-a/2$ y $+a/2$, siendo “a” el vano o distancia horizontal entre los dos puntos de suspensión.

La ecuación de longitud del conductor, sería la siguiente:

$$L' = 2C \operatorname{senh} \left(\frac{a}{2C} \right)$$

Pero, para una forma aproximada, se obtiene la siguiente ecuación:

$$L' = a + \frac{a^3 W_0^2}{24T_0^2}$$

Reescribiendo:

$$L' = a + \frac{a^3}{24C^2}$$

En donde, para los casos anteriores:

C : Parámetro de la catenaria

a : Longitud del vano en metros

W_0 : Peso unitario del conductor.

T_0 : Tiro en el vértice.

2.2.4 Flecha de un conductor a nivel.

Definición: La máxima distancia vertical entre la recta imaginaria que une los extremos del conductor y el punto más bajo de la curva formada por el conductor. Para el caso de conductores a nivel, la flecha se ubica a medio vano y sobre el eje de las ordenadas.

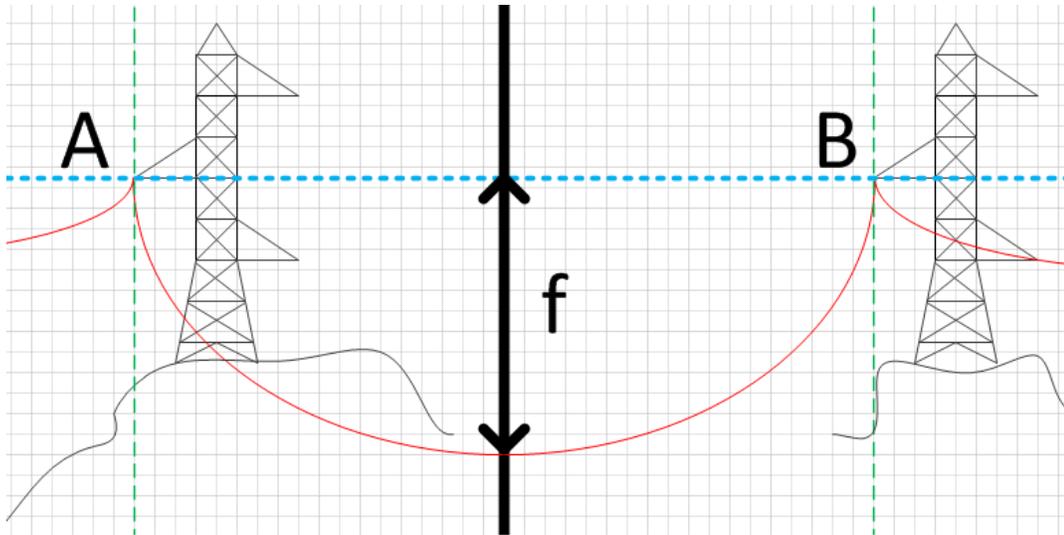


Figura 17. Representación de la flecha en el conductor a nivel.

Para el caso:

$$f' = C \left[\cosh\left(\frac{a}{2C}\right) - 1 \right]$$

De manera aproximada:

$$f' = \frac{a^2}{8C}$$

Donde:

f' : Flecha del conductor a nivel.

a : Longitud del vano en metros.

C : Parámetro de la catenaria.

2.2.5 Tiro en cualquier posición de la abscisa x.

Definición: Al producto, de la ordenada del punto de la abscisa x del conductor, por el peso unitario de este.

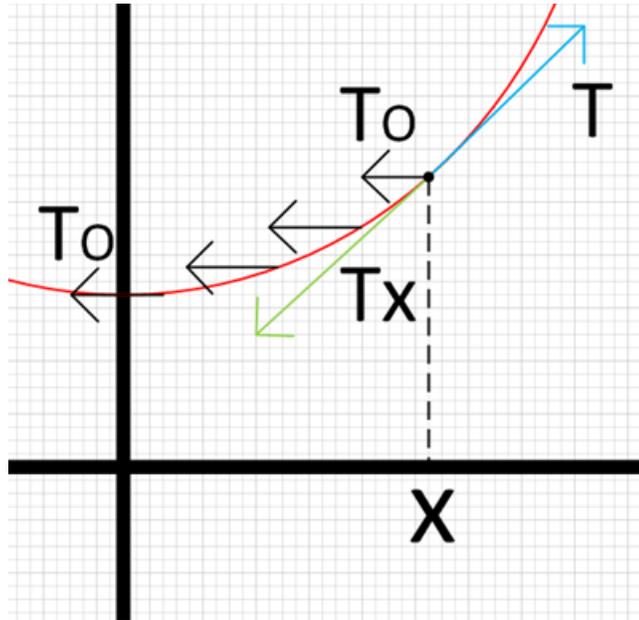


Figura 18. Representación del tiro, en cualquier punto de la abscisa x, para el conductor a nivel.

Para el caso:

$$T_x = T_0 \cosh\left(\frac{x}{C}\right)$$

Donde:

T_x : Tiro en cualquier punto de la abscisa “x”.

x: Posición de la abscisa “x”.

C: Parámetro de la catenaria.

2.2.6 Tiro Vertical en el conductor.

Definición: La resultante del tiro en el vértice (componente horizontal constante), y el tiro, para cualquier punto de la abscisa “x”.

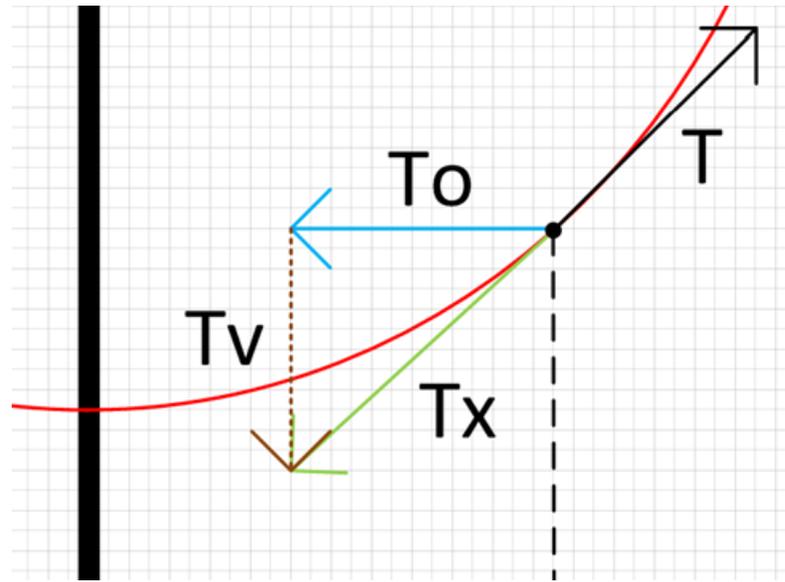


Figura 19. Representación vectorial del tiro vertical en el conductor a nivel.

Para el caso:

$$T_v = \sqrt{T_x^2 - T_0^2}$$

O también:

$$T_v = W_0 \frac{L'}{2}$$

Donde:

T_x : Tiro en cualquier posición de la abscisa “x”

T_0 : Tiro en el vértice (componente horizontal constante).

W_0 : Peso unitario del conductor.

L' : Longitud del conductor.

2.2.7 Esfuerzo en el conductor.

Definición: Se define como el cociente de dividir el tiro (T), y la sección transversal del conductor.

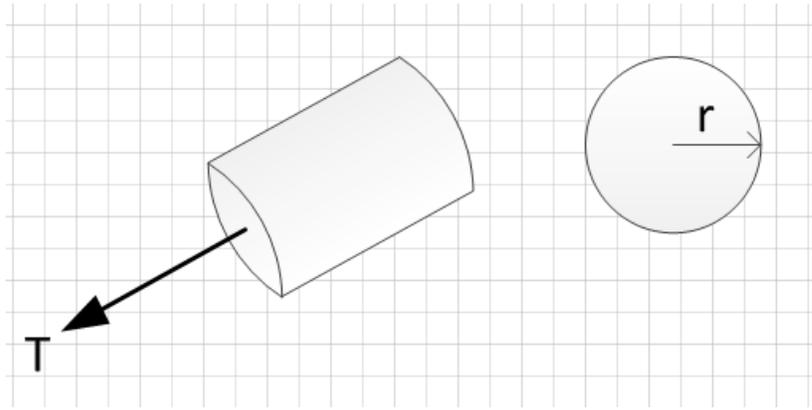


Figura 20. Representación del esfuerzo en un conductor a nivel.

Para el caso:

$$\sigma = \frac{T}{A}$$

Donde:

σ : Esfuerzo en el conductor.

T : Tiro en el conductor

A : Sección transversal del conductor.

2.2.8 Tiro y Esfuerzo en el extremo.

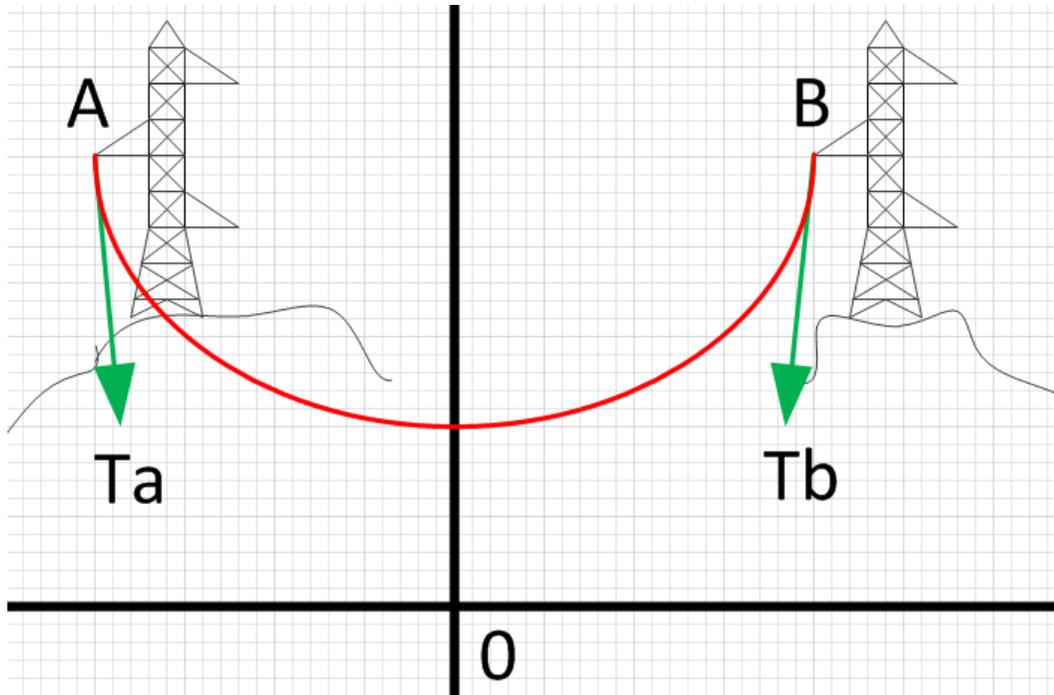


Figura 21. Representación del tiro en el extremo del conductor a nivel.

Para el caso:

$$T_A = T_B$$

$$T_B = T_0 \cosh\left(\frac{a}{2C}\right)$$

Así mismo:

$$\sigma_A = \sigma_B$$

$$\sigma_B = \sigma_0 \cosh\left(\frac{a}{2C}\right)$$

$$\sigma_0 = \frac{T_0}{A}$$

Donde:

a : Longitud del vano.

C : Parámetro de la catenaria.

T_0 : Tiro en el vértice.

σ_0 : Esfuerzo en el vértice.

2.2.9 Catenaria en función del tiro máximo.

Físicamente, el máximo tiro que es probable aplicar al conductor (y que a su vez es transmitido a la estructura), deberá ser menor que el Tiro de Rotura obtenido por pruebas y dado por el fabricante.

Definición: Se obtiene dividiendo el tiro de rotura (TR), por un coeficiente de seguridad, generalmente asignado por el diseñador, o dispuesto por normas.

Para el caso:

$$T_{max} = \frac{TR}{CS}$$

Donde:

TR : Tiro de ruptura.

CS : Coeficiente de seguridad

Para el parámetro de la catenaria:

$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{T_B}{W_0} + \sqrt{\left(\frac{T_B}{W_0}\right)^2 - \frac{a^2}{2}} \right]$$

También, para el cálculo del tiro en el vértice:

$$T_0 = C W_0$$

Donde:

T_B : Tiro en el extremo.

W_0 : Peso unitario del conductor.

a : Longitud del vano.

2.3 DISCUSIÓN MATEMÁTICA DEL CONDUCTOR DESNIVELADO

2.3.1 Ecuación de la catenaria.

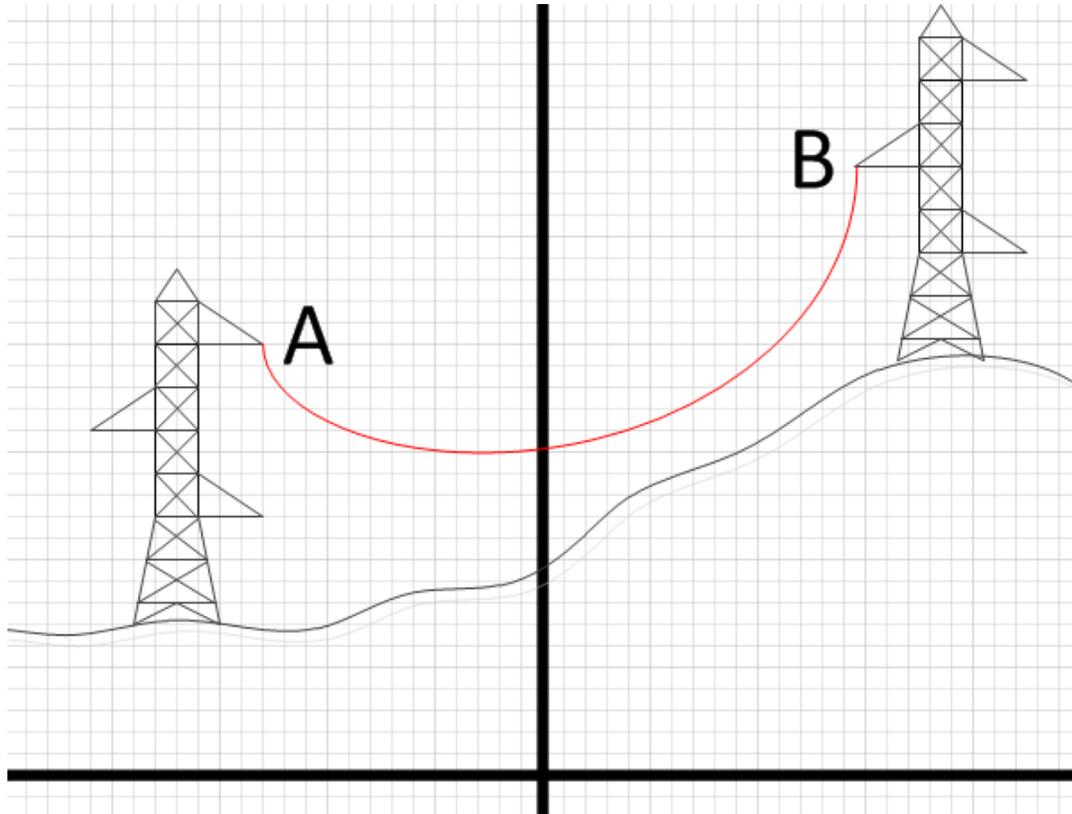


Figura 22. Representación de la catenaria para el conductor a desnivel.

Para el caso, la ecuación es la misma a la presentada en el conductor a nivel:

$$C = \frac{T_0}{W_0}$$

Por lo tanto:

$$y = C \left[\cosh \left(\frac{W_0 \cdot X}{T_0} \right) \right]$$

2.3.2 Ecuación de longitud del conductor.

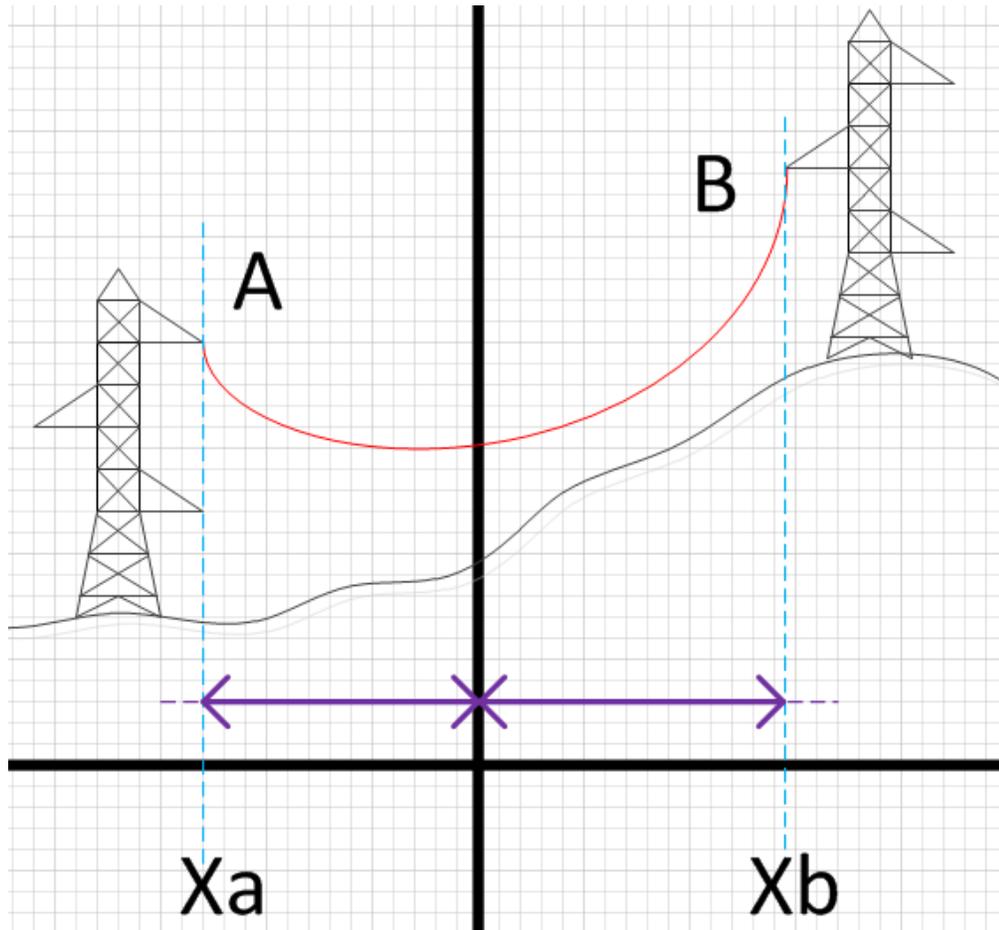


Figura 23. Representación de la longitud, para el conductor a desnivel.

Para el caso:

$$L = C \left[\operatorname{senh} \left(\frac{X_b}{C} \right) - \operatorname{senh} \left(\frac{X_a}{C} \right) \right]$$

Donde:

L : Longitud del conductor.

C : Parámetro de la catenaria.

X_a, X_b : Valor de la abscisas en x .

2.3.3 Ecuación de desnivel.

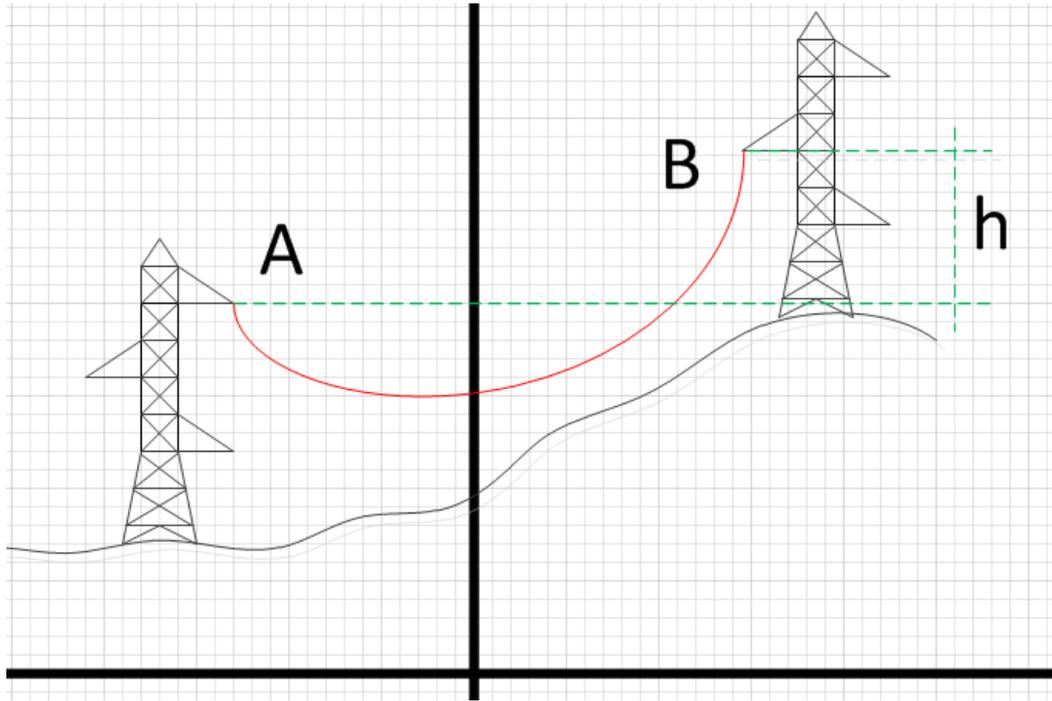


Figura 24. Representación de la ecuación de desnivel, $h > 0$ para el conductor a desnivel.

Para el caso:

$$h = C \left[\cosh\left(\frac{X_b}{C}\right) - \cosh\left(\frac{X_a}{C}\right) \right]$$

Donde:

C: Parámetro de la catenaria.

X_a, X_b : Valor de la abscisas en x

Se puede considerar, la siguiente situación:

$$\cosh(x) = \cosh(-x) = \cosh|x|$$

Así que por lo tanto:

$$h \begin{cases} > 0, & |X_b| > |X_a| \\ < 0, & |X_b| < |X_a| \\ = 0, & |X_b| = |X_a| \end{cases}$$

Caso en el que $h < 0$:

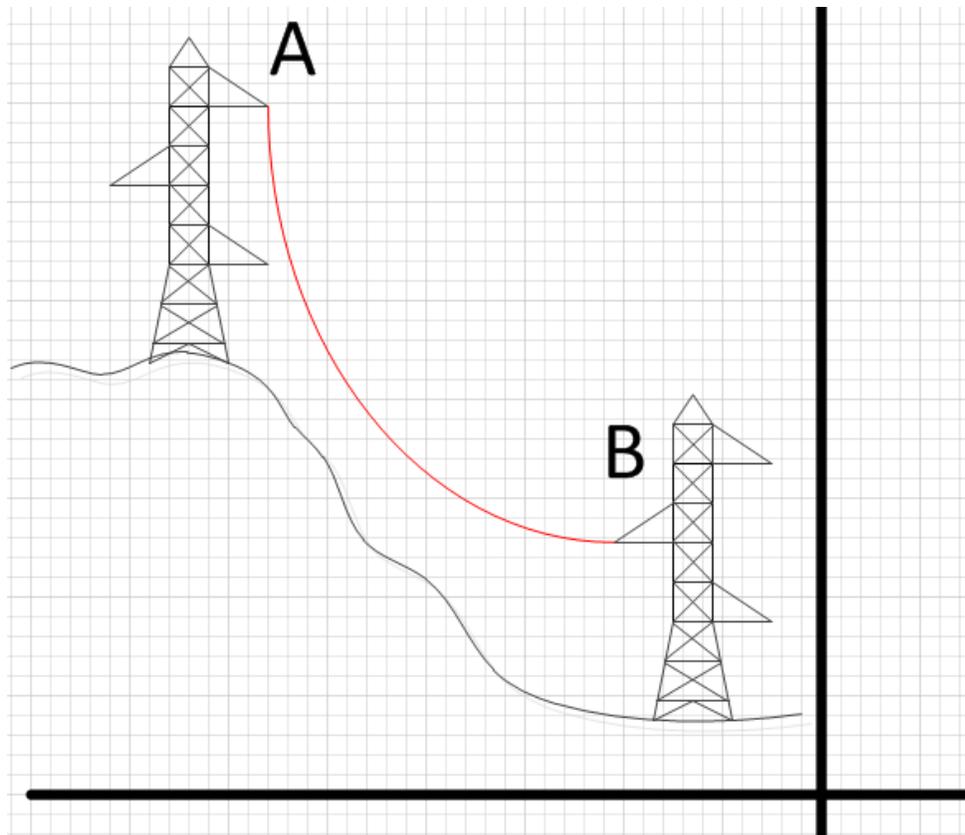


Figura 25. Representación de la ecuación de desnivel, $h < 0$ para el conductor a desnivel.

2.3.4 Longitud en función del desnivel.

La longitud, en función del desnivel, es la siguiente:

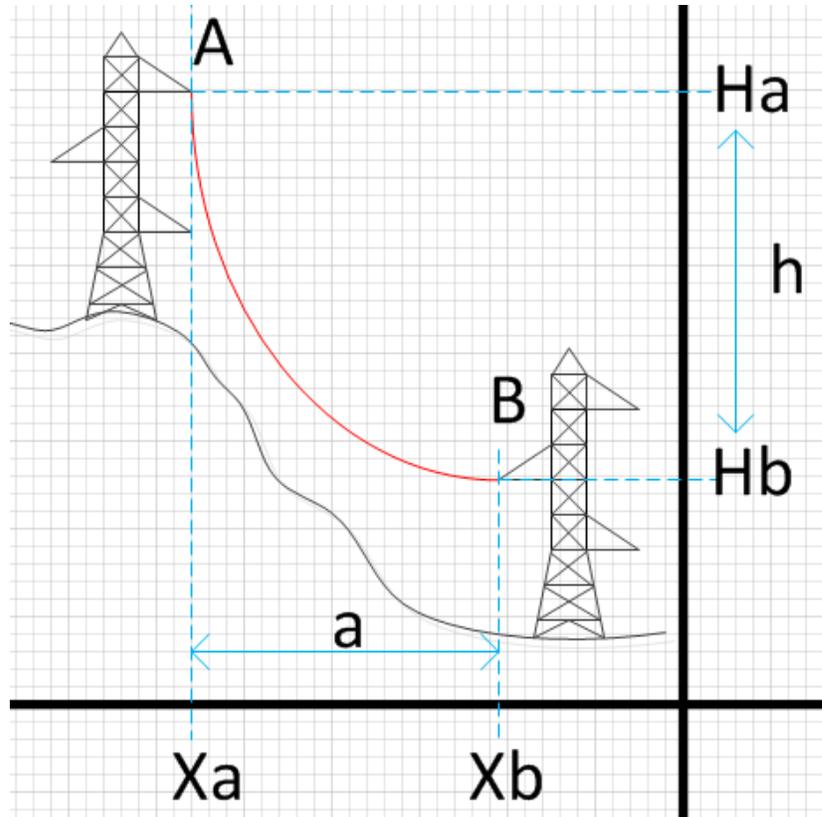


Figura 26. Representación de la longitud en función del desnivel, en un conductor con desnivel.

Para el caso:

$$L = \sqrt{\left[2 C \operatorname{senh}\left(\frac{a}{2 C}\right)\right]^2 + h^2}$$

Donde:

C : Parámetro de la catenaria.

a : Longitud del vano.

h : Altura del desnivel.

Otra aproximación, es la siguiente: “La longitud del cable desnivelado es igual a la longitud del cable nivelado multiplicado por un factor de corrección igual a $\sec\delta$ ”.

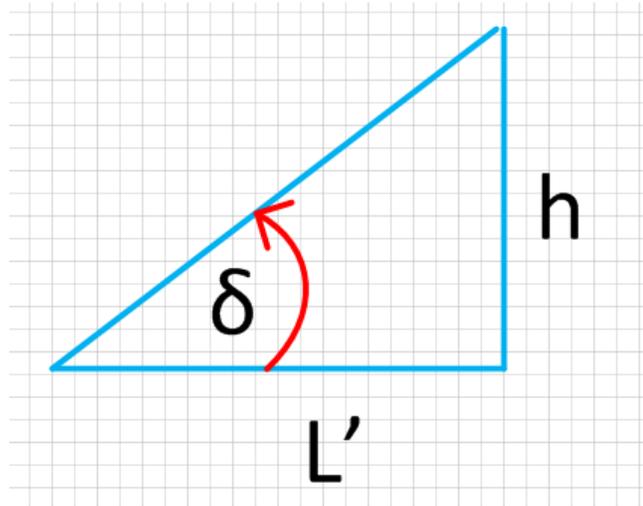


Figura 27. Aproximación de la longitud en un conductor con desnivel.

En donde:

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{L'}\right)$$

Por lo tanto:

$$L = L'\sec(\delta)$$

2.3.5 Flecha y Saeta en función del desnivel.

Para una flecha localizada en la abscisa X_m :

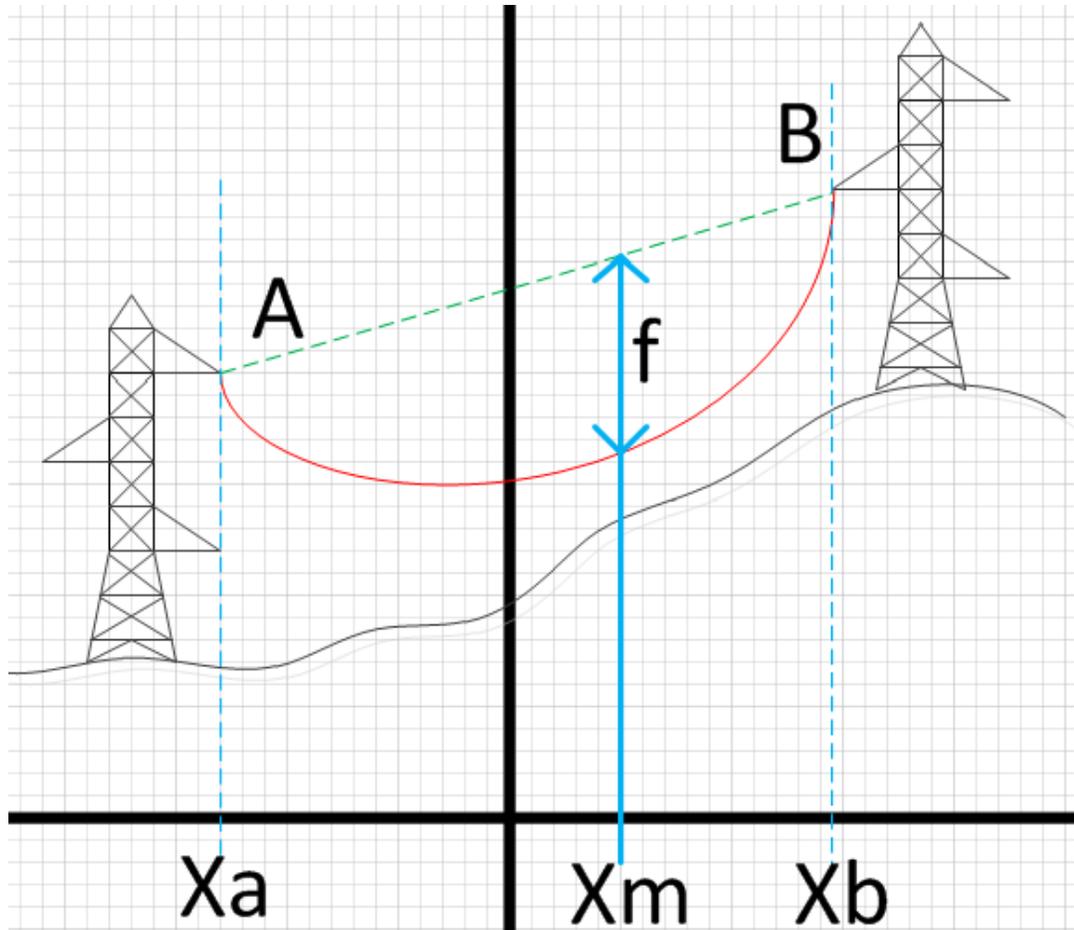


Figura 28. Representación de la flecha en un conductor con desnivel.

Para el caso, de un medio vano:

$$X_m = \frac{X_a + X_b}{2}$$

Por lo tanto:

$$f = f' \cosh\left(\frac{X_m}{C}\right)$$

Donde C , representa el parámetro de la catenaria.

De lo anterior podemos concluir: “La flecha del cable a desnivel, es igual a la flecha del cable a nivel, multiplicada por un factor de corrección igual a $\cosh\left(\frac{x_m}{C}\right)$ ”.

Una aproximación, para el vano real sería:

$$b = \sqrt{a^2 + h^2}$$

Por lo tanto:

$$f = \frac{ab}{8C}$$

Donde:

f : Flecha del vano a desnivel.

a : Vano entre los extremos.

b : Vano real.

C : Parámetro de la catenaria.

h : Altura de desnivel.

La saeta: Se define como la distancia vertical entre el punto de suspensión más bajo del cable y su vértice.

Para el análisis de la saeta:

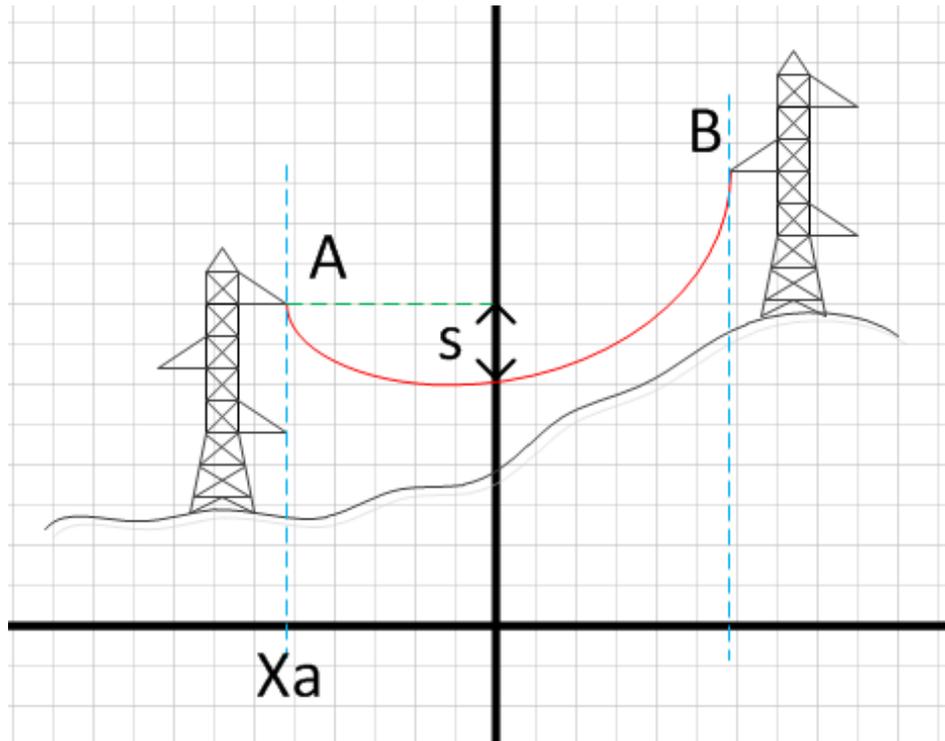


Figura 29. Representación de la saeta en un conductor con desnivel.

Para el caso:

$$S = C \left[\cosh\left(\frac{X_a}{C}\right) - 1 \right]$$

Donde:

S : Saeta.

X_a : Abscisa del punto más bajo,

C : Parámetro de la catenaria.

De manera más aproximada:

$$S = \frac{X_a^2}{2C}$$

Pero también:

$$S = \frac{X_a^2 W_0}{2T_0}$$

Cabe mencionar

Si las abscisas de los extremos (X_a y X_b) tienen el mismo signo, entonces el vértice de la catenaria cae fuera del vano y en este caso se dice que el vértice es virtual, así como la saeta.

2.3.6 Catenaria en función de la longitud.

Para el caso de los siguientes parámetros:

$$q = \frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{a}$$

$$z = 3.162278 \sqrt{\sqrt{1.2q - 0.2} - 1}$$

Se obtiene:

$$C = \frac{a}{2z}$$

Donde:

L : Longitud el conductor con desnivel.

h : Altura de desnivel.

a : Vano del conductor

C : Parámetro de la catenaria

2.3.7 Ubicación Cartesiana de los extremos.

Conocidos el parámetro de la catenaria, así como el vano y desnivel, es posible calcular las ubicaciones cartesianas de los extremos y con ellos evaluar los tiros respectivos.

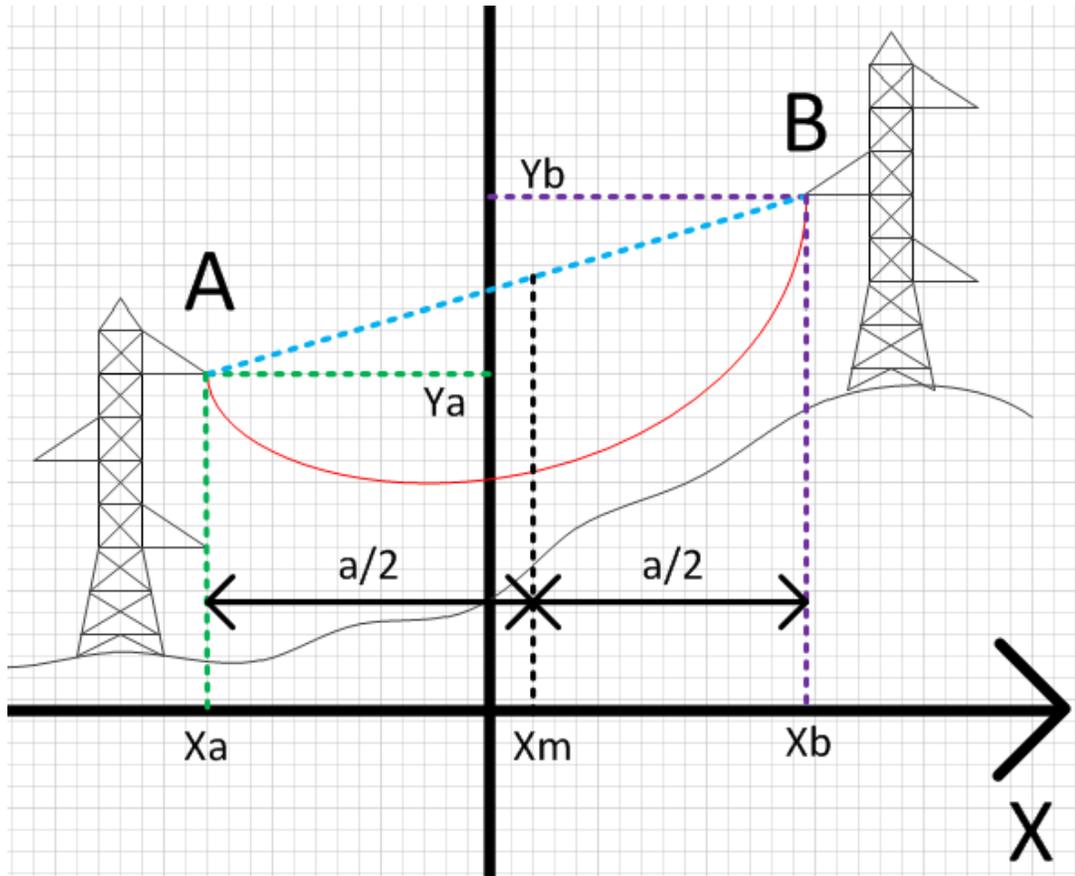


Figura 30. Representación de la ubicación cartesiana de los extremos, en un conductor con desnivel.

Para el desnivel:

$$h = C \left[\cosh\left(\frac{X_b}{C}\right) - \cosh\left(\frac{X_a}{C}\right) \right]$$

Además, siendo X_m , la abscisa del vano medio:

$$X_a = X_m - \frac{a}{2} \quad y \quad X_b = X_m + \frac{a}{2}$$

Si retomamos la siguiente ecuación:

$$L' = 2C \operatorname{senh} \left(\frac{a}{2C} \right)$$

Por lo tanto:

$$X_m = C . a \operatorname{senh} \left(\frac{h}{L'} \right)$$

O también, podemos considerar:

$$L = C \left[\operatorname{senh} \left(\frac{X_b}{C} \right) - \operatorname{senh} \left(\frac{X_a}{C} \right) \right]$$

Por lo tanto:

$$X_m = C . a \operatorname{cosh} \left(\frac{L}{L'} \right)$$

Donde:

h : Altura de desnivel.

C : Parámetro de la catenaria.

X_a, X_b : Valor de las abscisas en el eje x.

a : Vano del conductor.

L' : Longitud el conductor a nivel.

L : Longitud el conductor con desnivel.

Si tomamos la siguiente aproximación:

$$L' \cong a$$

Por lo tanto:

$$X_m = C \operatorname{senh}^{-1} \left(\frac{h}{a} \right)$$

O también:

$$X_m = C \operatorname{cosh}^{-1} \left(\frac{L}{a} \right)$$

2.3.8 Catenaria en función del tiro máximo.

Podemos considerar, que el tiro máximo del conductor se encuentra en el extremo superior:

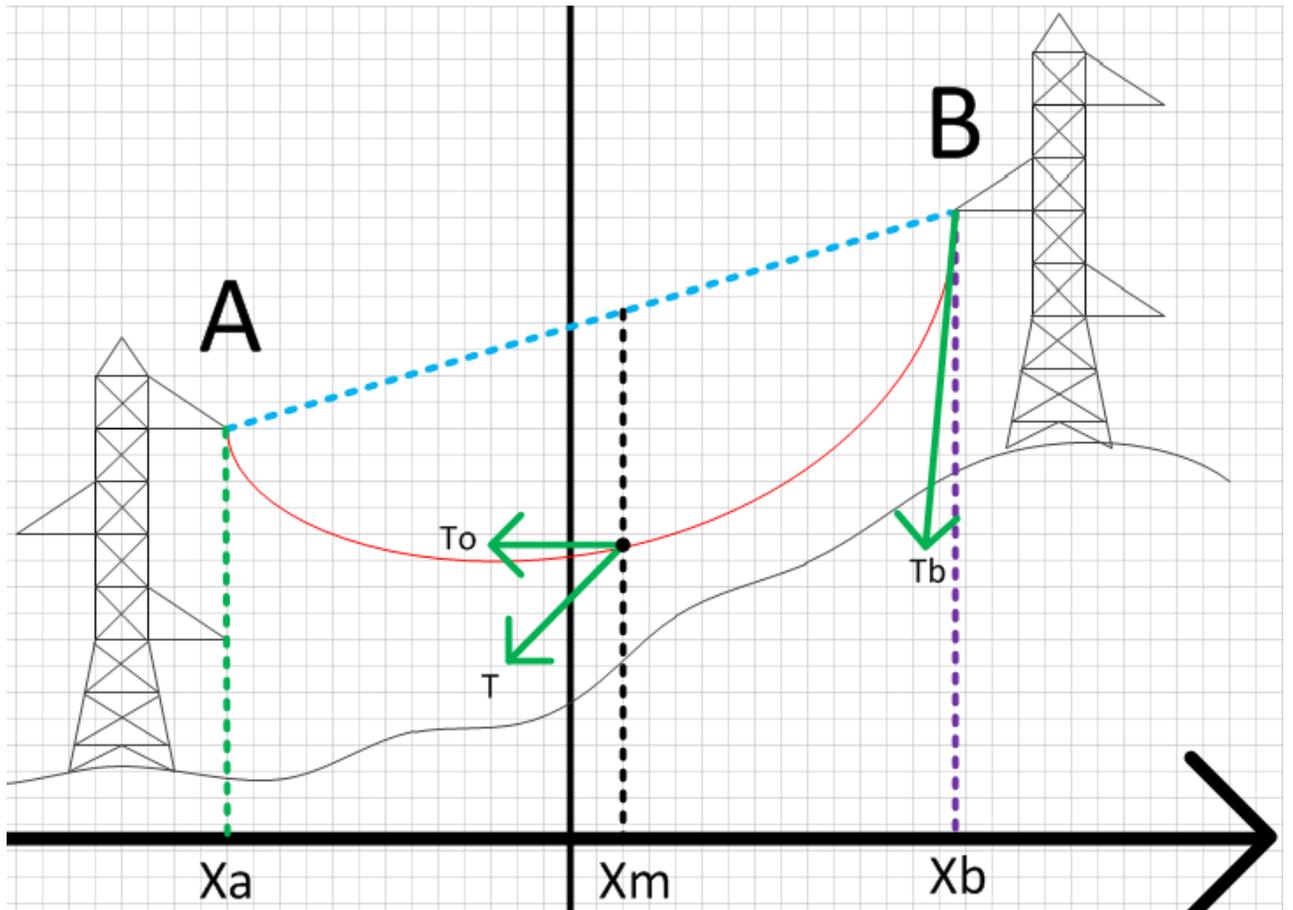


Figura 31. Representación del parámetro de la catenaria en función, en un conductor con desnivel.

Si el tiro a medio vano es:

$$T_m = T_0 \left[\cosh \left(\frac{X_m}{C} \right) \right]$$

Consideremos el vano real:

$$b = \sqrt{a^2 + h^2}$$

El tiro máximo sería:

$$T_b = T_m + w_0 \left[\frac{ab}{8C} + \frac{h}{2} \right]$$

Donde a , es la longitud del vano.

El parámetro K , es:

$$K = 1 + \frac{1}{2} \left(\operatorname{senh}^{-1} \left(\frac{h}{a} \right) \right)^2$$

Luego, obtenemos el parámetro de la catenaria:

$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_0} - \frac{h}{2} \right) + \sqrt{\left[\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_0} - \frac{h}{2} \right) \right]^2 - \frac{ab}{2K}} \right]$$

2.4 SOBRECARGAS EN EL CONDUCTOR

2.4.1 Consideraciones Previas.

El conductor aéreo, en condiciones normales de trabajo, puede estar sometido además de la carga propia (peso w_0) a otros tipos de cargas debido a las condiciones climáticas de la zona o región donde se instalara la línea, dichas cargas pueden ser:

- a. Temperatura.
- b. Viento.
- c. Hielo.
- d. Nieve.
- e. Acción simultanea de temperatura-viento, temperatura-hielo, temperatura-viento-hielo o temperatura-viento-nieve.

En El Salvador, y debido a las características del clima, consideramos que la sobrecarga fundamental en el conductor se debe a la presión del viento y no al peso unitario adicional de la costra del hielo, ya que en nuestro país no tenemos un clima suficientemente frío como para experimentar ese fenómeno. Podemos considerar lo siguiente:

w_0 : Peso unitario del conductor (kg/m).

w_v : Peso unitario ocasionado por la presión del viento sobre el conductor (kg/m).

w_h : Peso unitario adicional, provocado por el peso del hielo (kg/m).

w_r : Peso unitario resultante de los tres efectos simultáneos (kg/m).

Para el caso, el peso unitario resultante sería:

$$w_r = \sqrt{(w_0 + w_h)^2 + w_v^2}$$

El coeficiente de sobrecarga seria:

$$m = \frac{w_r}{w_0}$$

Presión de 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, o huracán.

Sin embargo, el viento máximo no necesariamente afecta en forma instantánea el vano horizontal completo de un soporte con vano relativamente grande. Las velocidades al viento, están generalmente evaluadas en condiciones de campo abierto, sin embargo los accidentes geográficos pueden hacer requerir una evaluación más puntual.

Cuando el soporte de línea tiene altura menor de 10 metros, la sobrecarga originada por el viento se determina utilizando una presión de viento constante; si son mayores, entonces será necesario considerar una carga mayor.

La presión dinámica ejercida por el viento sobre una superficie está dada por:

$$P_v = \frac{C_A Q v^2}{2g} \text{ kg/m}^2$$

Donde:

Q : Peso del aire, por unidad de volumen (1.225 kg/m³).

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s).

v : Velocidad del viento (m/s).

C_A : Coeficiente de efecto aerodinámico.

Para el caso del coeficiente aerodinámico:

Descripción	Coficiente(C_A)
Conductores	1
Estructuras	2
Aisladores	1.25

Tabla 12. Coeficiente aerodinámico para los principales componentes de una línea de transmisión.

En resumen:

Descripción	Velocidad en m/s	Velocidad en km/s
Presión del viento en Conductores	$P_v = 0.0624 v^2$	$P_v = 0.00482 v^2$
Presión del viento en Estructuras	$P_v = 0.1248 v^2$	$P_v = 0.00964 v^2$
Presión del viento en Aisladores	$P_v = 0.078 v^2$	$P_v = 0.006 v^2$

Tabla 13. Presión de viento para los principales componentes de una línea de transmisión.

2.4.2 Velocidad del viento.

Según las normas técnicas de diseño, seguridad y operación de las instalaciones de distribución eléctrica creado por la SIGET, las diferentes zonas de carga mecánica en El Salvador, están distribuidas de la siguiente manera:

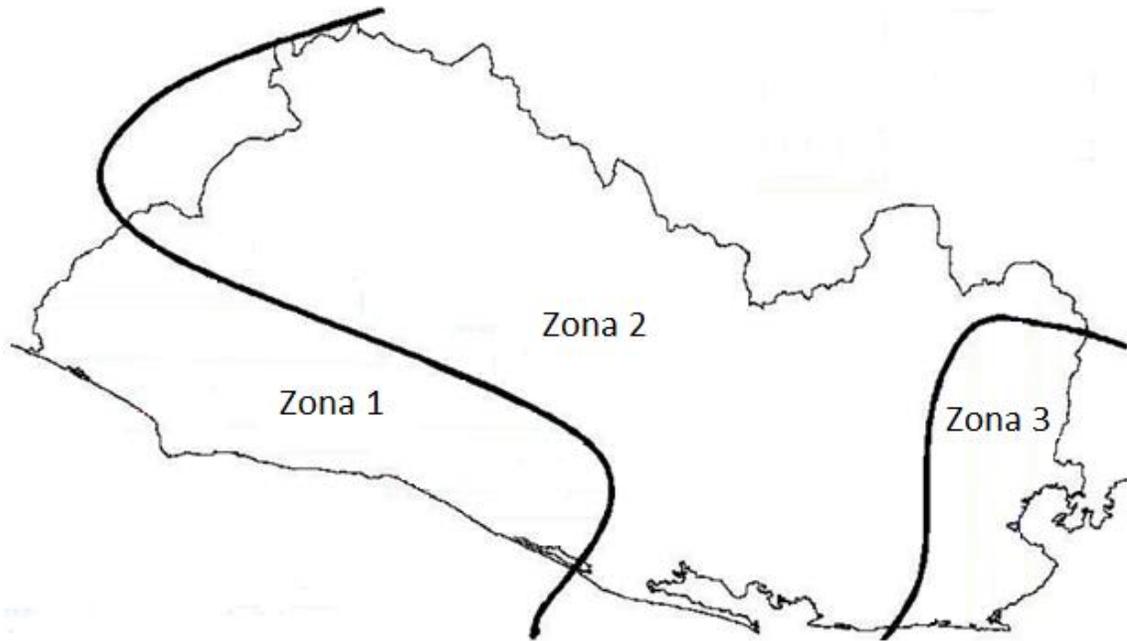


Figura 32. Zonas de carga mecánica por viento en El Salvador.

Para el caso:

Zona de Carga Mecánica	Velocidad de Viento de Diseño (km/h)	Presión del Viento Sobre Superficies Cilíndricas (kg/m ²)
1	80	31
2	100	48
3	120	69

Tabla 14. Zonas de carga mecánica por viento en El Salvador.

Estas velocidades de viento dadas, son para una altura promedio hasta de 10 m sobre la superficie, por lo tanto para estructuras de mayor altura deberán efectuarse la debida corrección según la relación:

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}$$

Donde:

V_1 : Velocidad del viento corregida (a x metros de altura).

V_2 : Velocidad del viento corregida (a x metros de altura).

h_1 : Altura para la velocidad de viento corregida

h_2 : Altura constante (10 metros).

2.4.3 Presión Unitaria del Viento.

La presión unitaria del viento en kg/m, sobre el conductor depende de la velocidad del viento y el área de la sección transversal expuesta al viento.

Si d_0 (mm) es el diámetro del conductor, con costra de hielo de espesor e (mm); entonces, la presión unitaria del viento, sobre los conductores será:

$$w_v = 0.00482v^2 \frac{(d_0 + 2e)}{1000}$$

Donde:

w_v : Presión unitaria de viento (kg/m).

v : Velocidad del viento (km/h).

d_0 : Diámetro del conductor (en milímetros).

e : Espesor de la costra de hielo (en milímetros).

2.4.4 Peso Unitario del Hielo.

Por efecto de la congelación de la lluvia que se adhiere sobre la superficie del conductor de la línea aérea, se origina una sobrecarga adicional al conductor. El peso específico del hielo es bajo, sin embargo, cuando se adhiere al conductor, su peso fácilmente sobrepasa incluso el peso propio del conductor.

Es importante analizar el efecto que origina una sobrecarga de hielo diferente a ambos vanos adyacentes a un soporte; el resultado, como es lógico, es un tiro diferente a ambos lados, originando una resultante en kilogramos en la estructura; así mismo en el momento del deshielo, el manguito (tubo para empalmar dos piezas cilíndricas del mismo diámetro) se desprende bruscamente del cable conductor; esta caída evidentemente no sincronizada en todos los vanos, hace aparecer tiros longitudinales que se complican con efectos dinámicos. Si d_0 (mm) es el diámetro del conductor, con manguito de e (mm) de costra; entonces la superficie neta de costra de hielo (S_h) será:

$$S_h = \frac{\pi}{4} [(d_0 + 2e)^2 - d_0^2] mm^2$$

Pero también:

$$S_h = 10^{-6} \cdot \pi (e^2 + ed_0) m^2$$

Sabemos que:

$$w_h = \rho_h \cdot S_h$$

$$w_h = 897.12 \times 10^{-6} \cdot \pi (e^2 + ed_0)$$

$$w_h = 0.0028 (e^2 + ed_0) \frac{kg}{m}$$

2.5 ECUACIÓN DE CAMBIO DE ESTADO (ECE).

2.5.1 Consideraciones previas.

Tendido el conductor y en condiciones de servicio normal, éste se ve sometido a los efectos de cambios en la presión de viento o el peso adicional de costra de hielo según donde se instale la línea.

Estas circunstancias hacen que el cable no mantenga estática su ecuación, y por tanto su parámetro es cambiante. Es posible deducir una ecuación que teniendo como dato un tiro inicial (o esfuerzo inicial) en determinadas condiciones, calcular un tiro final en otras condiciones.

2.5.2 ECE para vanos a nivel.

La variación de longitud del conductor por cambio de condiciones, es igual a la variación de longitud debido al cambio de temperatura (efecto dilatación) más el debido al cambio en el tiro (efecto de Ley de Hooke); es decir:

$$\Delta L = \Delta L_{Temperatura} + \Delta L_{Tiro}$$

Para el caso:

$$L_2 - L_1 = \alpha(\theta_2 - \theta_1)a + \left(\frac{T_{02} - T_{01}}{AE}\right)a$$

En donde:

α : Coeficiente de dilatación térmica del cable ($^{\circ}\text{C}$)⁻¹.

a : Longitud del vano (m).

A : Sección transversal del cable.

E : Coeficiente de elasticidad del cable.

Tomamos la definición de longitud aproximada, para vanos a nivel:

$$L' = a + \frac{a^3 W_r^2}{24T_0^2}$$

Por lo tanto, la sustituimos en la ecuación x:

$$L_2 - L_1 = \left(a + \frac{a^3 W_{r2}^2}{24T_{02}^2} \right) - \left(a + \frac{a^3 W_{r1}^2}{24T_{01}^2} \right)$$

$$L_2 - L_1 = \frac{a^3 W_{r2}^2}{24T_{02}^2} - \frac{a^3 W_{r1}^2}{24T_{01}^2}$$

La ecuación x, quedaría de la siguiente manera:

$$\frac{a^3 W_{r2}^2}{24T_{02}^2} - \frac{a^3 W_{r1}^2}{24T_{01}^2} = \alpha(\theta_2 - \theta_1)a + \left(\frac{T_{02} - T_{01}}{AE} \right) a$$

Multiplicando ambos términos por $\left(\frac{AE}{a} \right)$:

$$\left(\frac{AE}{a} \right) \left[\frac{a^3 W_{r2}^2}{24T_{02}^2} - \frac{a^3 W_{r1}^2}{24T_{01}^2} \right] = \left[\alpha(\theta_2 - \theta_1)a + \left(\frac{T_{02} - T_{01}}{AE} \right) a \right] \left(\frac{AE}{a} \right)$$

$$\frac{a^2 W_{r2}^2 AE}{24T_{02}^2} - \frac{a^2 W_{r1}^2 AE}{24T_{01}^2} = \alpha(\theta_2 - \theta_1)AE + T_{02} - T_{01}$$

Reordenando ecuación:

$$\frac{a^2 W_{r2}^2 AE}{24T_{02}^2} - = T_{02} + \alpha(\theta_2 - \theta_1)AE + \frac{a^2 W_{r1}^2 AE}{24T_{01}^2} - T_{01}$$

Multiplicando ambos términos por T_{02}^2 :

$$T_{02}^2 \left[\frac{\alpha^2 W_{r2}^2 AE}{24 T_{02}^2} \right] = \left[T_{02} + \alpha(\theta_2 - \theta_1)AE + \frac{\alpha^2 W_{r1}^2 AE}{24 T_{01}^2} - T_{01} \right] T_{02}^2$$

Finalmente se obtiene:

$$T_{02}^2 \left[T_{02} + \alpha(\theta_2 - \theta_1)AE + \frac{\alpha^2 W_{r1}^2 AE}{24 T_{01}^2} - T_{01} \right] = \frac{\alpha^2 W_{r2}^2 AE}{24}$$

La ecuación anterior, la multiplicamos por $\frac{1}{A}$:

$$\left(\frac{1}{A}\right) T_{02}^2 \left[T_{02} + \alpha(\theta_2 - \theta_1)AE + \frac{\alpha^2 W_{r1}^2 AE}{24 T_{01}^2} - T_{01} \right] = \frac{\alpha^2 W_{r2}^2 AE}{24} \left(\frac{1}{A}\right)$$

$$T_{02}^2 \left[\frac{T_{02}}{A} + \frac{\alpha(\theta_2 - \theta_1)AE}{A} + \frac{\alpha^2 W_{r1}^2 AE}{24 T_{01}^2 A} - \frac{T_{01}}{A} \right] = \frac{\alpha^2 W_{r2}^2 AE}{24A}$$

Pero si utilizamos la definición de esfuerzo en el vértice:

$$\sigma_0 = \frac{T_0}{A}$$

Por lo tanto de la ecuación x, obtenemos lo siguiente:

$$T_{02}^2 \left[\sigma_{02} + \alpha(\theta_2 - \theta_1)E + \frac{\alpha^2 W_{r1}^2 E}{24 T_{01}^2} - \sigma_{01} \right] = \frac{\alpha^2 W_{r2}^2 E}{24}$$

Y si multiplicamos la ecuación anterior por $\frac{1}{A^2}$ y realizamos el arreglo $\frac{A^2}{A^2}$:

$$\left(\frac{1}{A^2}\right) T_{02}^2 \left[\sigma_{02} + \alpha(\theta_2 - \theta_1)E + \left(\frac{A^2}{A^2}\right) \frac{a^2 W_{r1}^2 E}{24 T_{01}^2} - \sigma_{01} \right] = \frac{a^2 W_{r2}^2 E}{24} \left(\frac{1}{A^2}\right)$$

Obtenemos lo siguiente:

$$\frac{T_{02}^2}{A^2} \left[\sigma_{02} + \alpha(\theta_2 - \theta_1)E + \frac{a^2 W_{r1}^2 E A^2}{24 A^2 T_{01}^2} - \sigma_{01} \right] = \frac{a^2 W_{r2}^2 E}{24 A^2}$$

Finalmente se obtiene:

$$\sigma_{02}^2 \left[\sigma_{02} + \alpha E(\theta_2 - \theta_1) + \frac{W_{r1}^2 a^2 E}{24 A^2 \sigma_{01}} - \sigma_{01} \right] = \frac{W_{r2}^2 a^2 E}{24 A^2}$$

Donde:

σ_{02} : Esfuerzo a determinar en la condición 2 (kg/mm^2), teniendo como dato σ_{01}

E : Modulo de elasticidad (kg/mm^2)

A : Sección del cable (mm^2)

a : Longitud del vano (m)

W_{r1}, W_{r2} : Peso resultante del conductor para condición inicial y final (kg/m)

θ_1, θ_2 : Temperatura para condición inicial y final ($^{\circ}\text{C}$).

2.5.3 ECE para vanos a desnivel.

Evidentemente, cuando dos soportes se encuentran instalados a diferente nivel y con vanos amplios, entonces el vano horizontal “ a ” incluido en la ecuación de cambio de estado, no representa ni por aproximación, la longitud real del cable.

Será necesario pues, incluir ahora el concepto de vano real “ b ” y ángulo de desnivel δ que permitirán “corregir” la ecuación de cambio de condiciones para obtener con ella resultados más aceptables.

Para el caso, retomamos la ECE para vanos a nivel:

$$L_2 - L_1 = \alpha(\theta_2 - \theta_1)a + \left(\frac{T_{02} - T_{01}}{AE}\right)a$$

Expresando en términos del esfuerzo:

$$L_2 - L_1 = \alpha(\theta_2 - \theta_1)a + \left(\frac{T_{02}}{A} - \frac{T_{01}}{A}\right)\left(\frac{1}{E}\right)a$$

$$L_2 - L_1 = \alpha(\theta_2 - \theta_1)a + \left(\frac{\sigma_{02} - \sigma_{01}}{E}\right)a$$

Tomamos la definición de longitud aproximada, para vanos a nivel:

$$L' = a + \frac{a^3}{24C^2}$$

$$L_2 - L_1 = \left(a + \frac{a^3}{24C^2}\right)_2 - \left(a + \frac{a^3}{24C^2}\right)_1$$

$$L_2 - L_1 = a + \frac{a^3}{24C^2_2} - a - \frac{a^3}{24C^2_1}$$

$$L_2 - L_1 = \frac{a^3}{24C^2_2} - \frac{a^3}{24C^2_1}$$

$$L_2 - L_1 = \frac{a^3}{24} \left(\frac{1}{C^2_2} - \frac{1}{C^2_1} \right)$$

Si utilizamos la siguiente definición de catenaria:

$$C = \frac{\sigma_0^2 A^2}{W_r^2}$$

Por lo tanto:

$$L_2 - L_1 = \frac{a^3}{24} \left(\frac{W_r^2_2}{\sigma_{02}^2 A^2} - \frac{W_r^2_1}{\sigma_{01}^2 A^2} \right)$$

Igualando:

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1)a + \left(\frac{\sigma_{02} - \sigma_{01}}{E} \right) a = \frac{a^3}{24} \left(\frac{W_r^2_2}{\sigma_{02}^2 A^2} - \frac{W_r^2_1}{\sigma_{01}^2 A^2} \right)$$

Dividiendo por $\frac{1}{a}$:

$$\frac{1}{a} \left[\alpha(\theta_2 - \theta_1)a + \left(\frac{\sigma_{02} - \sigma_{01}}{E} \right) a \right] = \left[\frac{a^3}{24} \left(\frac{W_r^2_2}{\sigma_{02}^2 A^2} - \frac{W_r^2_1}{\sigma_{01}^2 A^2} \right) \right] \frac{1}{a}$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \left(\frac{\sigma_{02} - \sigma_{01}}{E} \right) = \frac{a^2}{24} \left(\frac{W_r^2_2}{\sigma_{02}^2 A^2} - \frac{W_r^2_1}{\sigma_{01}^2 A^2} \right)$$

Igualando a cero la ecuación anterior:

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \left(\frac{\sigma_{02} - \sigma_{01}}{E}\right) - \frac{a^2}{24} \left(\frac{W_{r2}^2}{\sigma_{02}^2 A^2} - \frac{W_{r1}^2}{\sigma_{01}^2 A^2}\right) = 0$$

Tomando en cuenta lo siguiente:

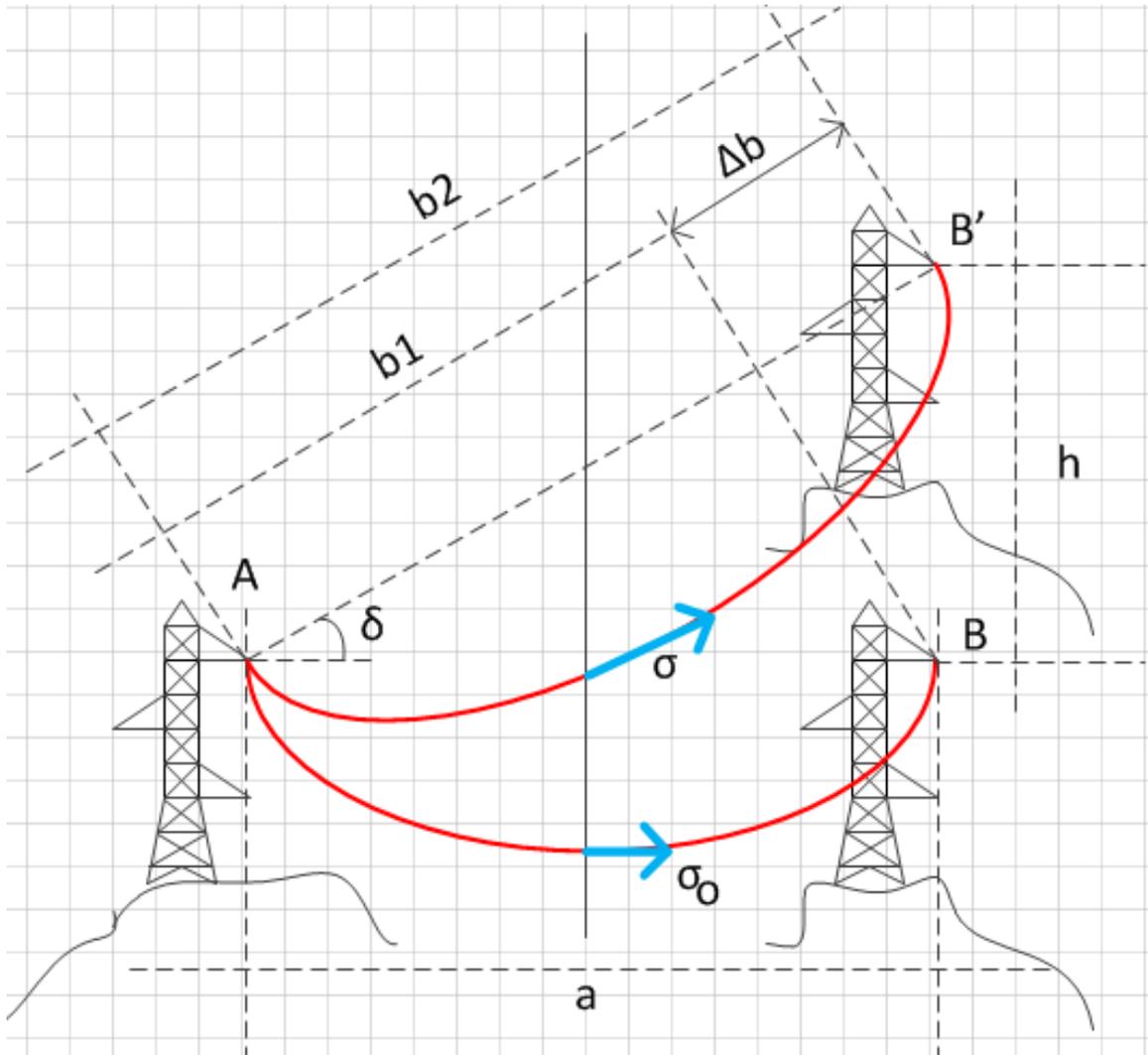


Figura 33. Esquema de parámetros que participan en el cálculo de ECE.

La figura anterior, muestra la ubicación del esfuerzo σ , a medio vano, la variación del vano por efecto del desnivel h , será: Δb y $\Delta b/b$ es la variación en pu.

Por lo que podemos igualar:

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E}\right) - \frac{a^2}{24A^2} \left(\frac{W_r^2}{\sigma_2^2} - \frac{W_r^2}{\sigma_1^2}\right) = \frac{\Delta b}{b}$$

De la figura x, podemos saber:

$$b^2 = a^2 + h^2$$

También podemos aproximar:

$$b \Delta b = a \Delta a$$

$$\Delta b = \frac{a \Delta a}{b}$$

Por lo tanto:

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E}\right) - \frac{a^2}{24A^2} \left(\frac{W_r^2}{\sigma_2^2} - \frac{W_r^2}{\sigma_1^2}\right) = \frac{a \Delta a}{b}$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E}\right) - \frac{a^2}{24A^2} \left(\frac{W_r^2}{\sigma_2^2} - \frac{W_r^2}{\sigma_1^2}\right) = \frac{a \Delta a}{b^2}$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) \frac{b^2}{a} + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E}\right) \frac{b^2}{a} - \frac{a^2}{24A^2} \frac{b^2}{a} \left(\frac{W_r^2}{\sigma_2^2} - \frac{W_r^2}{\sigma_1^2}\right) = \Delta a$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) \frac{b^2}{a} + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E}\right) \frac{b^2}{a} - \frac{ab^2}{24A^2} \left(\frac{W_r^2}{\sigma_2^2} - \frac{W_r^2}{\sigma_1^2}\right) = \Delta a$$

Siendo "a" el vano horizontal invariable el incremento Δa es nulo; luego la ecuación anterior se transforma en:

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) \frac{b^2}{a} + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \right) \frac{b^2}{a} - \frac{ab^2}{24A^2} \left(\frac{W_{r2}^2}{\sigma_2^2} - \frac{W_{r1}^2}{\sigma_1^2} \right) = 0$$

Dividiendo entre b^2 la ecuación anterior:

$$\left(\frac{1}{b^2} \right) \left[\alpha(\theta_2 - \theta_1) \frac{b^2}{a} + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \right) \frac{b^2}{a} - \frac{ab^2}{24A^2} \left(\frac{W_{r2}^2}{\sigma_2^2} - \frac{W_{r1}^2}{\sigma_1^2} \right) \right] = 0 \left(\frac{1}{b^2} \right)$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) \frac{1}{a} + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \right) \frac{1}{a} - \frac{a}{24A^2} \left(\frac{W_{r2}^2}{\sigma_2^2} - \frac{W_{r1}^2}{\sigma_1^2} \right) = 0$$

Podemos considerar:

$$\sigma_{01} = \sigma_1 \cos(\delta) \quad \sigma_{02} = \sigma_2 \cos(\delta)$$

$$\frac{\sigma_{01}}{\cos(\delta)} = \sigma_1 \quad \frac{\sigma_{02}}{\cos(\delta)} = \sigma_2$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) \frac{1}{a} + \left(\frac{\frac{\sigma_{02}}{\cos(\delta)} - \frac{\sigma_{01}}{\cos(\delta)}}{E} \right) \frac{1}{a} - \frac{a}{24A^2} \left(\frac{W_{r2}^2}{\left[\frac{\sigma_{02}}{\cos(\delta)} \right]^2} - \frac{W_{r1}^2}{\left[\frac{\sigma_{01}}{\cos(\delta)} \right]^2} \right) = 0$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) \frac{1}{a} + \left(\frac{\sigma_{02} - \sigma_{01}}{E \cos(\delta)} \right) \frac{1}{a} - \frac{a}{24A^2} \left(\frac{W_{r2}^2 \cos(\delta)^2}{\sigma_{02}^2} - \frac{W_{r1}^2 \cos(\delta)^2}{\sigma_{01}^2} \right) = 0$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) \frac{1}{a} + \left(\frac{\sigma_{02} - \sigma_{01}}{E} \right) \frac{1}{a \cos(\delta)} - \frac{a \cos(\delta)^2}{24A^2} \left(\frac{W_{r2}^2}{\sigma_{02}^2} - \frac{W_{r1}^2}{\sigma_{01}^2} \right) = 0$$

Luego multiplicamos por $acos(\delta)$, la ecuación anterior:

$$acos(\delta) \left[\alpha(\theta_2 - \theta_1) \frac{1}{a} + \left(\frac{\sigma_{02} - \sigma_{01}}{E} \right) \frac{1}{acos(\delta)} - \frac{acos(\delta)^2}{24A^2} \left(\frac{W_r^2}{\sigma_{02}^2} - \frac{W_r^2}{\sigma_{01}^2} \right) \right] = 0$$

$$\left[\alpha(\theta_2 - \theta_1)cos(\delta) + \left(\frac{\sigma_{02} - \sigma_{01}}{E} \right) - \frac{a^2cos(\delta)^3}{24A^2} \left(\frac{W_r^2}{\sigma_{02}^2} - \frac{W_r^2}{\sigma_{01}^2} \right) \right] = 0$$

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1)cos(\delta) + \frac{\sigma_{02}}{E} - \frac{\sigma_{01}}{E} - \frac{a^2cos(\delta)^3}{24A^2} \frac{W_r^2}{\sigma_{02}^2} + \frac{a^2cos(\delta)^3}{24A^2} \frac{W_r^2}{\sigma_{01}^2} = 0$$

$$\frac{\sigma_{02}}{E} - \frac{a^2cos(\delta)^3 W_r^2}{24A^2 \sigma_{02}^2} - \frac{\sigma_{01}}{E} + \frac{a^2cos(\delta)^3 W_r^2}{24A^2 \sigma_{01}^2} + \alpha(\theta_2 - \theta_1)cos(\delta) = 0$$

Multiplicamos por E, la ecuación anterior:

$$E \left[\frac{\sigma_{02}}{E} - \frac{a^2cos(\delta)^3 W_r^2}{24A^2 \sigma_{02}^2} - \frac{\sigma_{01}}{E} + \frac{a^2cos(\delta)^3 W_r^2}{24A^2 \sigma_{01}^2} + \alpha(\theta_2 - \theta_1)cos(\delta) \right] = 0$$

$$\sigma_{02} - \frac{a^2Ecos(\delta)^3 W_r^2}{24A^2 \sigma_{02}^2} - \sigma_{01} + \frac{a^2Ecos(\delta)^3 W_r^2}{24A^2 \sigma_{01}^2} + \alpha E(\theta_2 - \theta_1)cos(\delta) = 0$$

Multiplicamos por σ_{02}^2 la ecuación anterior:

$$\sigma_{02}^2 \left[\sigma_{02} - \frac{a^2Ecos(\delta)^3 W_r^2}{24A^2 \sigma_{02}^2} - \sigma_{01} + \frac{a^2Ecos(\delta)^3 W_r^2}{24A^2 \sigma_{01}^2} + \alpha E(\theta_2 - \theta_1)cos(\delta) \right] = 0$$

$$\sigma_{02}^3 - \sigma_{02}^2 \sigma_{01} + \frac{\sigma_{02}^2 a^2 E cos(\delta)^3 W_r^2}{24A^2 \sigma_{01}^2} + \alpha \sigma_{02}^2 E(\theta_2 - \theta_1)cos(\delta) = \frac{a^2 E cos(\delta)^3 W_r^2}{24A^2}$$

Agrupando términos que contienen σ_{02}^2 :

$$\sigma_{02}^2 \left[\sigma_{02} - \sigma_{01} + \frac{a^2 E \cos(\delta)^3 W_{r1}^2}{24A^2 \sigma_{01}^2} + \alpha E (\theta_2 - \theta_1) \cos(\delta) \right] = \frac{a^2 E \cos(\delta)^3 W_{r2}^2}{24A^2}$$

Finalmente obtenemos:

$$\sigma_{02}^2 \left[\sigma_{02} + \alpha E (\theta_2 - \theta_1) \cos(\delta) + \frac{a^2 W_{r1}^2 E \cos(\delta)^3}{24A^2 \sigma_{01}^2} - \sigma_{01} \right] = \frac{a^2 W_{r2}^2 E \cos(\delta)^3}{24A^2}$$

Donde:

σ_{02} : Esfuerzo a determinar en la condición (kg/mm^2), teniendo como dato σ_{01} .

E : Modulo de elasticidad (kg/mm^2).

A : Sección del cable (mm^2).

a : Longitud del vano (m).

b : Longitud del vano real (m).

W_{r1}, W_{r2} : Peso resultante del conductor para condición inicial y final (kg/m).

θ_1, θ_2 : Temperatura para condición inicial y final ($^{\circ}\text{C}$).

$$\cos(\delta) = a/b$$

2.6 HIPÓTESIS DE CÁLCULO MECÁNICO.

2.6.1 Vano ideal de regulación en vanos a nivel

Para el caso:

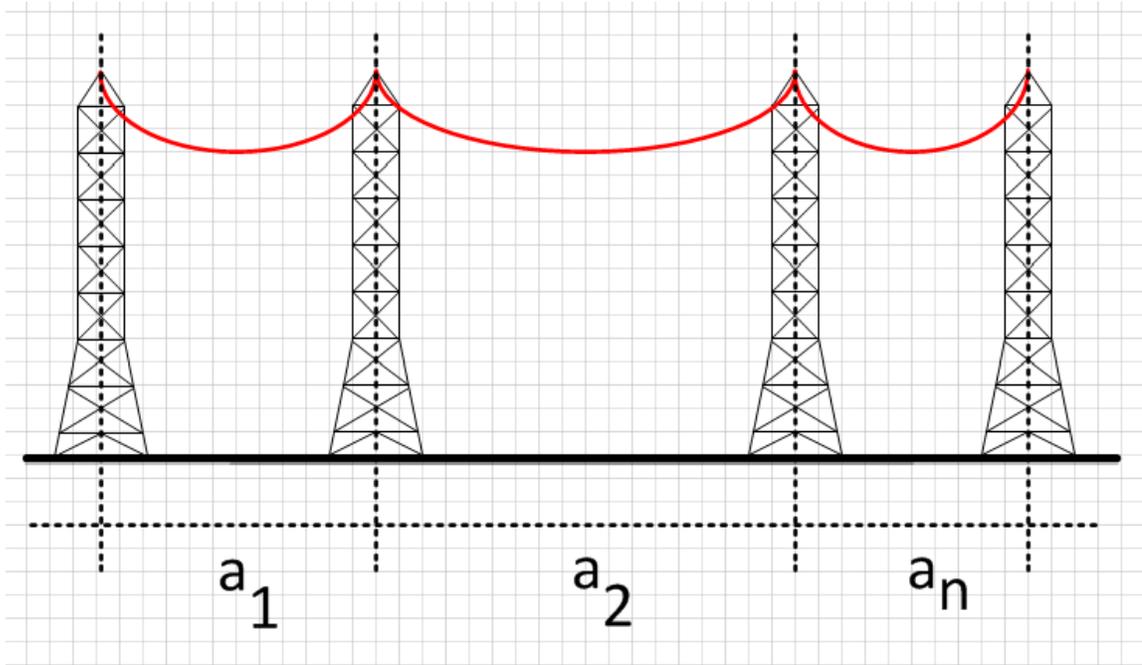


Figura 34. Esquema para cálculo de vano regulador a nivel.

Por lo tanto, el cálculo del vano ideal de regulación (VIR) o Ruler Spanning:

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \binom{n}{k} a_i^3}{\sum_{i=1}^n \binom{n}{k} a_i}}$$

Flechas Consecutivas en el tramo a nivel.

La flecha para vanos a nivel se calcula de la siguiente manera:

$$f' = \frac{a^2}{8C}$$

Asumiendo dos vanos consecutivos:

$$f'_{1} = \frac{a_1^2}{8C} \quad f'_{2} = \frac{a_2^2}{8C}$$

Dividiendo ambas ecuaciones:

$$\frac{f'_{1}}{f'_{2}} = \frac{\frac{a_1^2}{8C}}{\frac{a_2^2}{8C}} = \frac{a_1^2}{a_2^2}$$

Por lo tanto:

$$\frac{f'_{1}}{f'_{2}} = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2$$

2.6.2 Vano ideal de regulación con vanos a desnivel

Específicamente entre dos soportes:

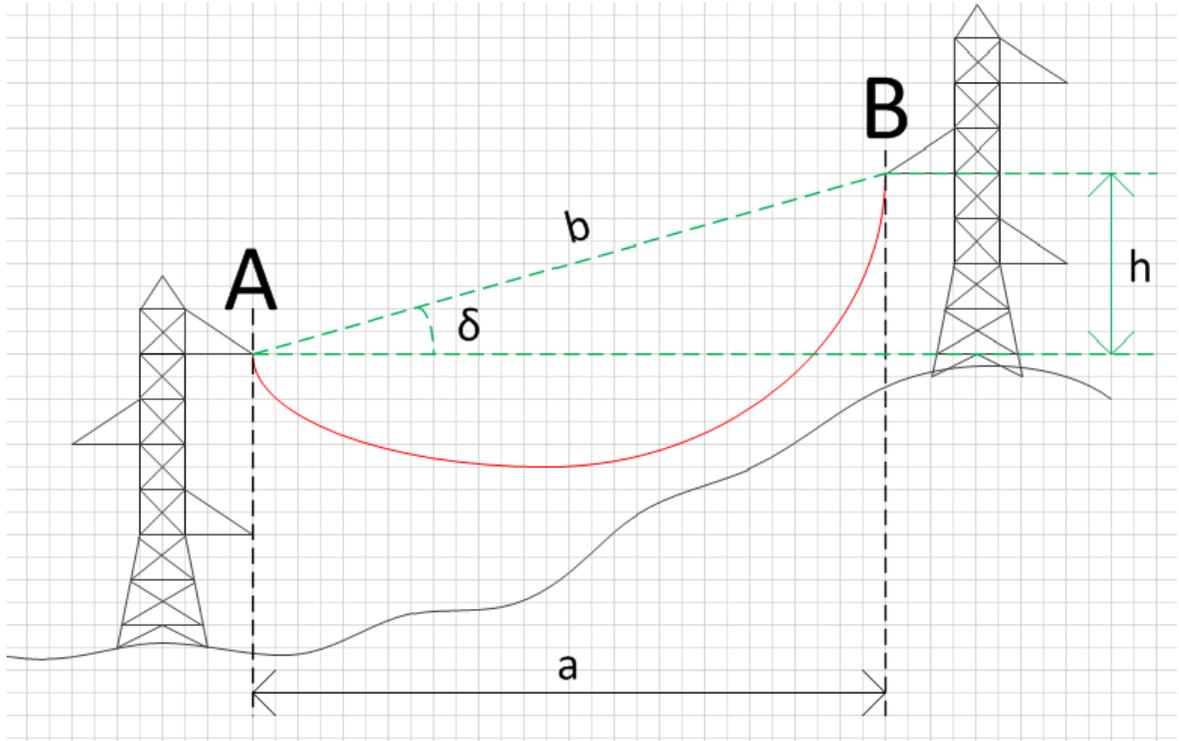


Figura 35. Esquema para cálculo de vano en desnivel.

Para el caso:

$$\cos(\delta) = \frac{a}{b}$$

Para la disposición de un conductor con soportes desnivelados:

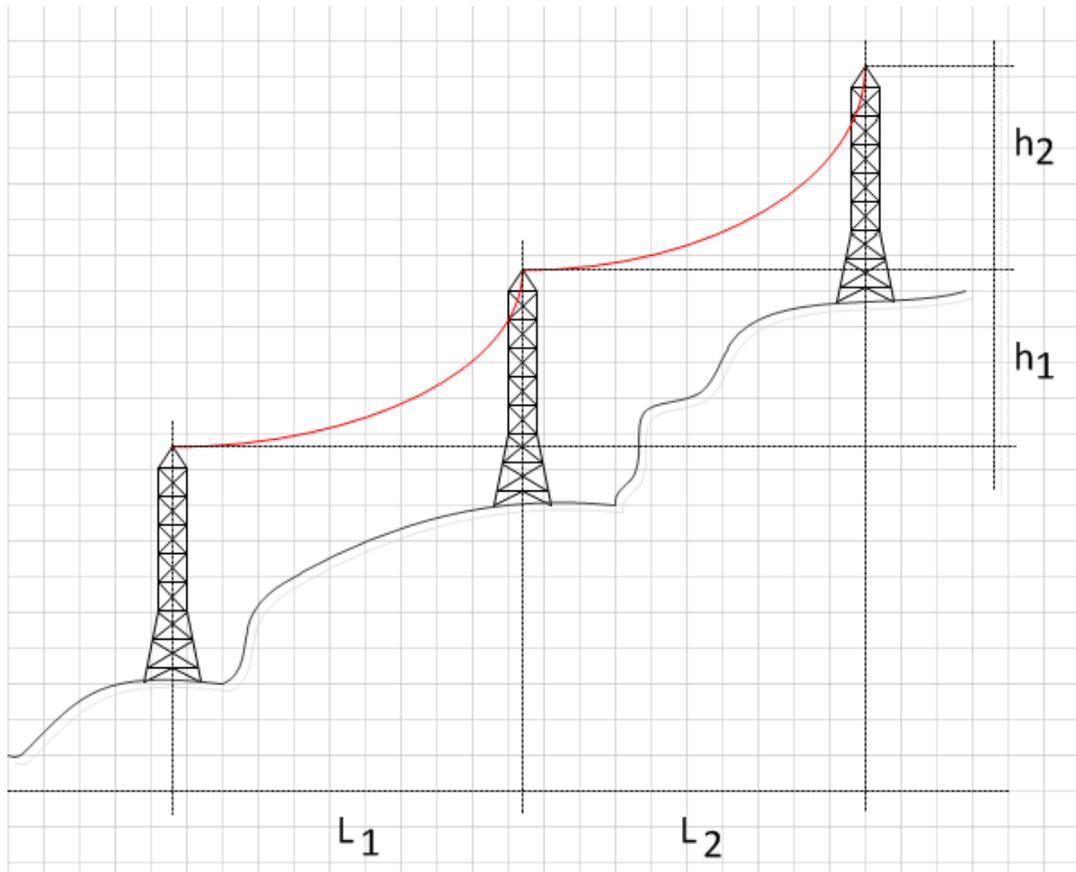


Figura 36. Esquema para el cálculo vano regulador en desnivel

Por lo tanto, el cálculo del vano ideal de regulación (VIR) o Ruler Spanning:

$$a_r = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\cos^3 \delta_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\cos^2 \delta_i}} \right) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \binom{n}{k} a_i^3}{\frac{a_i}{\cos^2 \delta_i}}}$$

CAPÍTULO III.

3.1 FILOSOFÍA DE DISEÑO Y PROGRAMAS A UTILIZAR EN EL SOFTWARE DE CÁLCULO MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

Para el diseño y elaboración de nuestro Software de Cálculo Mecánico de Líneas de Transmisión haremos uso de herramientas de programación de ambientación web, específicamente de los lenguajes de programación HTML, PHP y el gestor de bases de datos MySQL, todos estos deben funcionar bajo un servidor web, en nuestro caso utilizamos XAMPP SERVER, el cual nos permite gestionar los tres lenguajes de programación antes mencionados, adicionalmente se utilizó el lenguaje JavaScript, sobre todo en la parte de validación de datos y verificación de errores, a continuación se presenta una breve explicación de sus principales funciones y características; y en el apartado de anexos se explica más detalladamente la instalación y uso del servidor web y sus componentes:

3.1.1 HTML

El HTML (Hyper Text Markup Language) es el lenguaje con el que se escriben las páginas web. Es un lenguaje de hipertexto, es decir, un lenguaje que permite escribir texto de forma estructurada, y que está compuesto por etiquetas, que marcan el inicio y el fin de cada elemento del documento.

Un documento hipertexto no sólo se compone de texto, puede contener imágenes, sonido, vídeos, etc., por lo que el resultado puede considerarse como un documento multimedia. Los documentos HTML deben tener la extensión html o htm, para que puedan ser visualizados en los navegadores (programas que permiten visualizar las páginas web). Los navegadores se encargan de interpretar el código HTML de los documentos, y de mostrar a los usuarios las páginas web resultantes del código interpretado. Para poder

crear una página HTML se requiere un simple editor de texto y para ponerlo en marcha o ejecutarlo un navegador de internet (IE Explorer, FireFox, Chrome etc.). Existe una infinidad de recursos en la web para el aprendizaje a fondo de esta temática. Para el caso de este Trabajo de Graduación las páginas web o html están alojadas en un servidor Apache, que viene integrado en el servidor XAMPP, el cual posee Apache, MySQL, PHP y Perl.

3.1.2 PHP

PHP (acrónimo de PHP: Hypertext Preprocessor) es un lenguaje de programación de uso general de código del lado del servidor originalmente diseñado para el desarrollo web de contenido dinámico. Fue uno de los primeros lenguajes de programación del lado del servidor que se podían incorporar directamente en el documento HTML en lugar de llamar a un archivo externo que procese los datos. El código es interpretado por un servidor web con un módulo de procesador de PHP que genera la página Web resultante. PHP ha evolucionado por lo que ahora incluye también una interfaz de línea de comandos que puede ser usada en aplicaciones gráficas independientes. PHP puede ser usado en la mayoría de los servidores web al igual que en casi todos los sistemas operativos y plataformas sin ningún costo.

En síntesis los scripts PHP nos ayudan a procesar la información requerida desde las páginas web, es decir nos ayudan a interactuar con el usuario, solicitando información, realizando cálculos, realizando consultas a las bases de datos, etc; todas esas tareas son transparentes al usuario, es decir se realizan del lado del servidor, y solamente se presentan los resultados al usuario.

3.1.3 MySQL

MySQL es un gestor de base de datos sencillo de usar e increíblemente rápido. También es uno de los motores de base de datos más usados en Internet, la principal razón de esto

es que es gratis para aplicaciones no comerciales. Las características principales de MySQL son:

- Es un gestor de base de datos. Una base de datos es un conjunto de datos y un gestor de base de datos es una aplicación capaz de manejar este conjunto de datos de manera eficiente y cómoda.
- Es una base de datos relacional. Una base de datos relacional es un conjunto de datos que están almacenados en tablas entre las cuales se establecen unas relaciones para manejar los datos de una forma eficiente y segura. Para usar y gestionar una base de datos relacional se usa el lenguaje estándar de programación SQL.
- Es Open Source. El código fuente de MySQL se puede descargar y está accesible a cualquiera, por otra parte, usa la licencia GPL para aplicaciones no comerciales.
- Es una base de datos muy rápida, segura y fácil de usar. Gracias a la colaboración de muchos usuarios, la base de datos se ha ido mejorando optimizándose en velocidad. Por eso es una de las bases de datos más usadas en Internet.

3.1.4 JavaScript

JavaScript es un lenguaje de scripts desarrollado para incrementar las funcionalidades del lenguaje HTML. Sus características más importantes son:

- JavaScript es un lenguaje interpretado, es decir, no requiere compilación. El navegador del usuario se encarga de interpretar las sentencias JavaScript contenidas en una página HTML y ejecutarlas adecuadamente.

- JavaScript es un lenguaje orientado a eventos. Cuando un usuario pincha sobre un enlace o mueve el puntero sobre una imagen se produce un evento. Mediante JavaScript se pueden desarrollar scripts que ejecuten acciones en respuesta a estos eventos.
- JavaScript es un lenguaje orientado a objetos. El modelo de objetos de JavaScript está reducido y simplificado, pero incluye los elementos necesarios para que los scripts puedan acceder a la información de una página y puedan actuar sobre la interfaz del navegador.

3.1.5 Servidor XAMPP

XAMPP es un servidor independiente de plataforma, software libre, que consiste principalmente en la base de datos MySQL, el servidor web Apache y los intérpretes para lenguajes de script: PHP y Perl. El nombre proviene del acrónimo de X (para cualquiera de los diferentes sistemas operativos), Apache, MySQL, PHP, Perl. El programa está liberado bajo la licencia GNU y actúa como un servidor web libre, fácil de usar y capaz de interpretar páginas dinámicas. Actualmente XAMPP está disponible para Microsoft Windows, GNU/Linux, Solaris y MacOS X.

XAMPP solamente requiere descargar y ejecutar un archivo zip, tar o exe, con unas pequeñas configuraciones en alguno de sus componentes que el servidor Web necesitará. XAMPP se actualiza regularmente para incorporar las últimas versiones de Apache/MySQL/PHP y Perl. También incluye otros módulos como OpenSSL y phpMyAdmin. Para instalar XAMPP se requiere solamente una pequeña fracción del tiempo necesario para descargar y configurar los programas por separado.

Oficialmente, los diseñadores de XAMPP sólo pretendían su uso como una herramienta de desarrollo, para permitir a los diseñadores de sitios webs y programadores testear su trabajo en sus propios ordenadores sin ningún acceso a Internet.

En la práctica, sin embargo, XAMPP es utilizado actualmente como servidor de sitios Web, ya que, con algunas modificaciones, es generalmente lo suficientemente seguro para serlo. Con el paquete se incluye una herramienta especial para proteger fácilmente las partes más importantes.

En nuestro trabajo de graduación hemos utilizado XAMPP siguiendo ese mismo propósito, el de prueba y depuración de cada uno de los archivos que componen nuestro software. Utilizando la siguiente dirección (En sistema operativo Windows) desde cualquier aplicación de navegación web, Ahora sólo se guardan los archivos del sitio dentro de la carpeta **c:\archivos de programas\xampp\htdocs** para que puedan ser vistos desde **http://localhost/** en cualquier navegador. Por ejemplo, si se tiene el archivo **c:\archivos de programa\xampp\htdocs\index.php**, se puede visualizar desde Internet Explorer o Firefox sin problemas escribiendo **http://localhost/index.php**.

En el caso particular de este Trabajo de Graduación, todos los archivos están alojados en la dirección **http://localhost/public_html**, en el cual están alojados todos los archivos necesarios para el funcionamiento de nuestro software, y a partir del cual se puede tener acceso a cada uno de los parámetros de cálculo mecánico abarcados en nuestro programa.

Estas son las principales herramientas de programación a utilizar en nuestro Trabajo de Graduación, en la sección de Anexos se muestra detalladamente la instalación y configuración de todos los componentes necesarios para nuestro Software de Uso Didáctico para el Cálculo Mecánico de Líneas de Transmisión y de Distribución, y la forma en que interactúan las partes antes mencionadas, además, algunos fragmentos de código que son la base de la ideología y funcionamiento de nuestro software.

3.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO

3.2.1 Descripción de la metodología utilizada.

En el presente trabajo de graduación, se desarrolló una metodología para su respectivo funcionamiento, en la cual incluía diferentes acciones, como validación de datos, una captura y selección de estos, y la forma de cómo se presentarían resultados.

a) Recolección de Datos.

Para la recolección de datos, se utilizó la interfaz gráfica web, siendo específicos, utilizando programación HTML, PHP, y JavaScript.

Para el caso:

Tiro en el vertice	<input type="text"/>	kg
Peso unitario del conductor	<input type="text"/>	kg/m
Valor de referencia horizontal	<input type="text"/>	m

Figura 37. Formularios para la recepción de datos.

b) Validación de datos.

La validación de datos, se realiza por medio de funciones en JavaScript, cuya función principal, sería la de impedir el funcionamiento de nuestra aplicación, si esta no cumple dichas condiciones.

Las condiciones a evaluar serían las siguientes:

- Caracteres en lugar de números.
- Numero negativos, en ciertos parámetros.
- Mal notación de numeración, como por ejemplo, colocar “,” en vez de “.”.

La validación, se hace de manera visual, mostrando un mensaje, en el cual se hace un llamado de atención, recordando que un parámetro, ha sido erróneo, las validaciones realizadas son:

Para el navegador Internet Explorer 8:

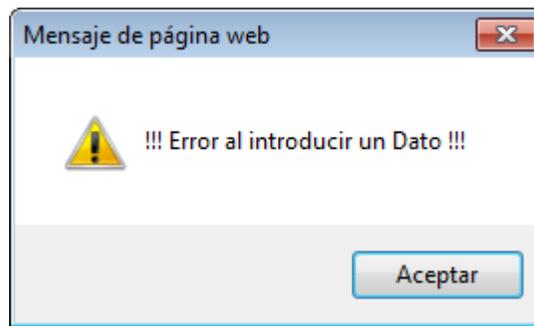


Figura 38. Validación para un dato erróneo en un formulario.

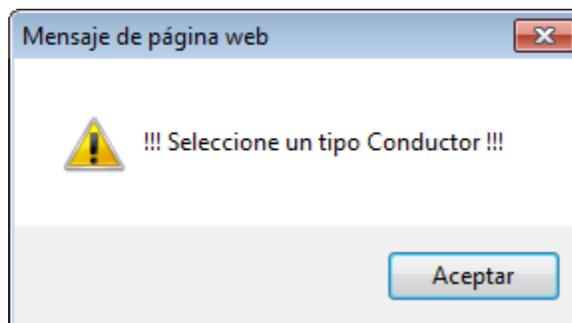


Figura 39. Validación para una consulta errónea en la base de datos.

Para el navegador Mozilla Firefox 2.1:

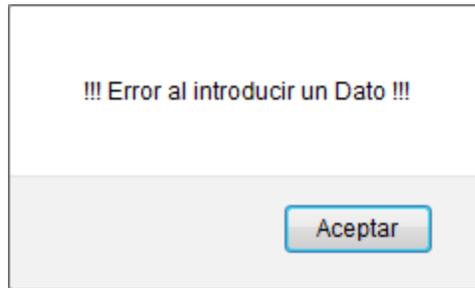


Figura 40. Validación para un dato erróneo en un formulario.



Figura 41. Validación para una consulta errónea en la base de datos.

c) Presentación de Resultados.

Los resultados se pueden visualizar de dos maneras diferente, la primera, es mostrar dichos resultados en la interfaz web (el navegador), y la siguiente es la de exportar dichos resultados en un archivo PDF, para el caso.



Figura 42. Opciones para mostrar resultados.

El botón calcular, nos mostrara el resultado en el navegador:

Parametro de la Catenaria: m
Ecuacion de la catenaria: m

[Inicio](#)

Figura 43. Resultados mostrados en el navegador.

Para resultados exportados en un archivo PDF:

Ecuacion de la catenaria

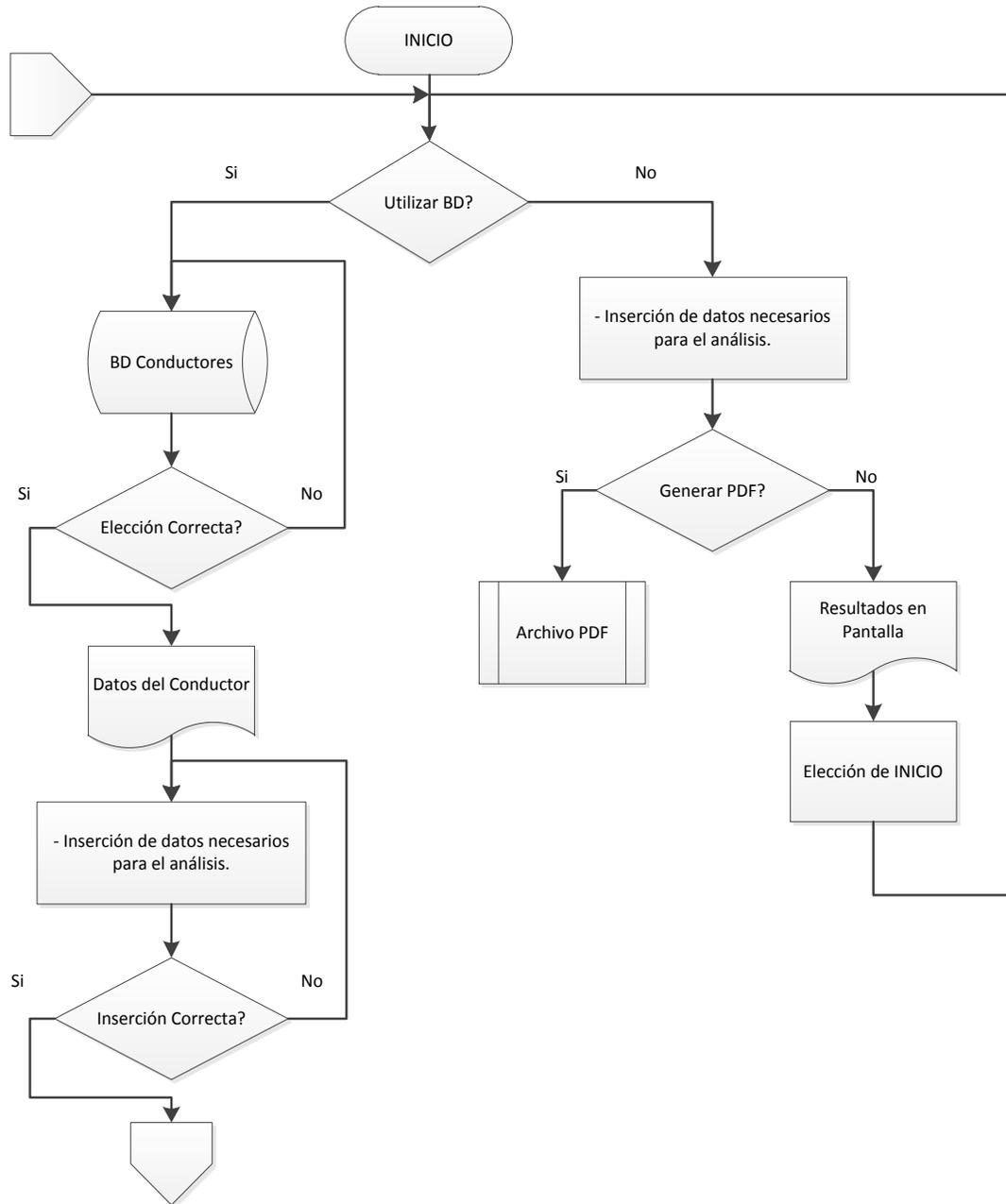
- Tipo de Conductor: AAAC
- Conductor Utilizado: Ames
- Tiro en el vertice: 400 kg
- Peso unitario en el conductor: 0.1074270478095 (kg/m)
- Valor de referencia horizontal (x): 45 m
- Parametro de la Catenaria (C): 3723.4570637119 m
- Ecuacion de la catenaria (y): 3723.4571465449 m

Autores:

Raul Alvarenga , Joel Flores
Escuela de Ingenieria Electrica
Universidad de El Salvador

Figura 44. Datos mostrados en el archivo PDF

3.2.2 Algoritmo General para ejecución de las definiciones.



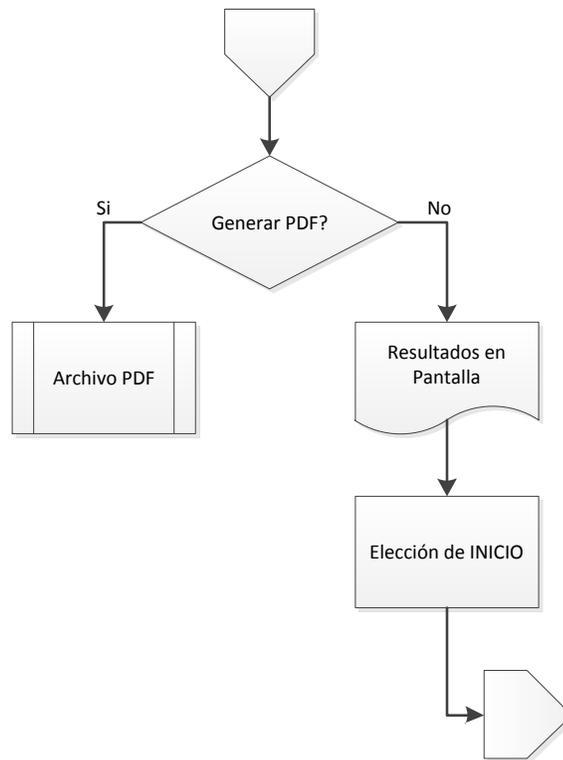


Figura 45. Algoritmo general de la lógica del programa.

3.2.3 Metodología para la consulta de la Base de Datos a utilizar.

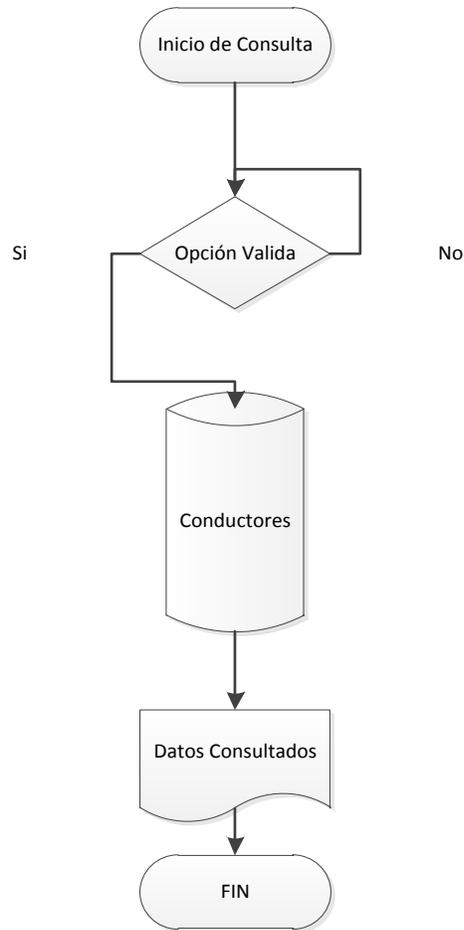


Figura 46. Algoritmo de la extracción de información desde la base de datos.

3.2.4 Esquema básico de presentación en pantalla del Software de Cálculo Mecánico

A continuación se muestra un esquema básico de la estructura del programa, en el cual desde pantalla principal se tiene la opción de seleccionar entre 5 posibles tipos de cálculo, luego se tiene la selección del parámetro deseado a calcular, según la Figura 11, y dentro de cada uno de estas opciones además la posibilidad de realizar cálculos utilizando las bases de datos de conductores creadas o introduciendo todos los datos por parte del usuario.

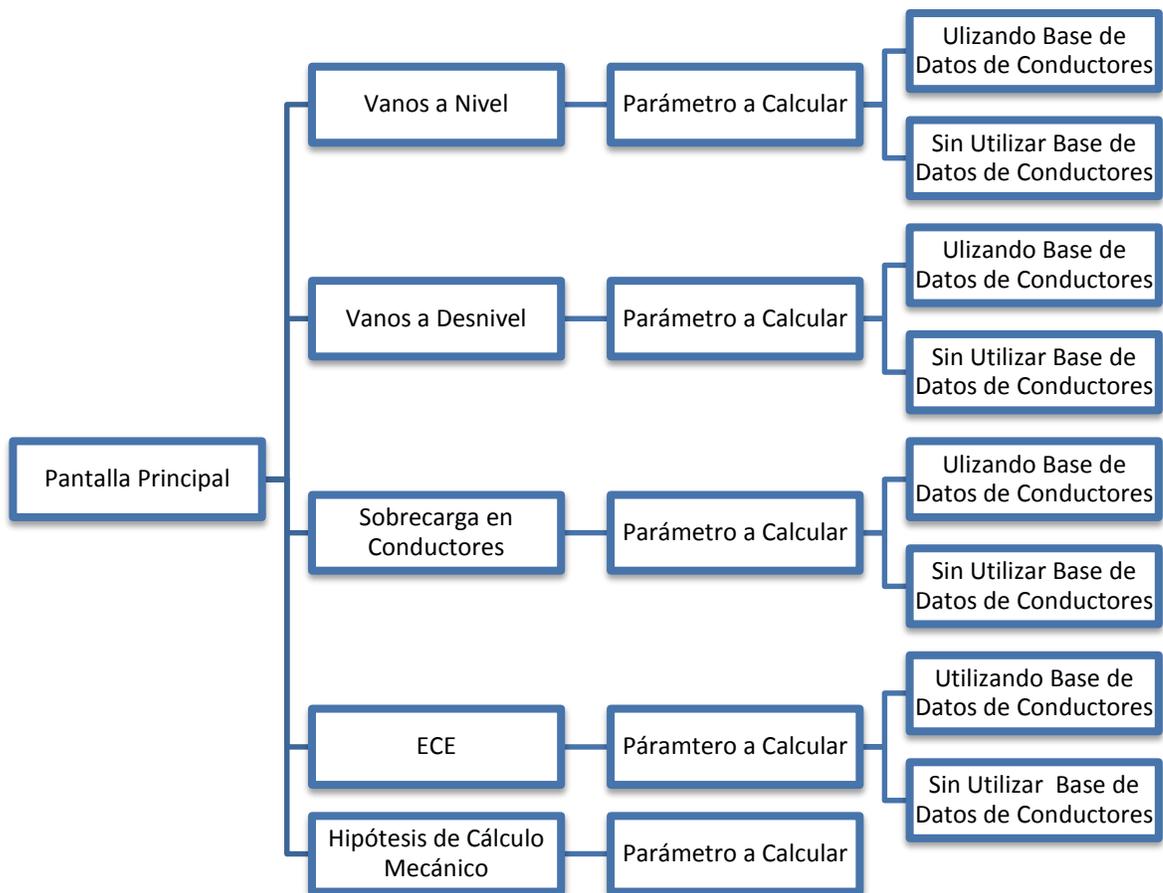


Figura 47. Esquema básico de la estructura del programa.

CAPÍTULO IV

4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL REGISTRO DE USUARIOS Y ACCESO AL SOFTWARE DE CÁLCULO MECÁNICO PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN.

Este capítulo trata acerca del sistema de registro de usuarios, de la filosofía de diseño, y creación de dicha interfaz de registro para los usuarios. Un sistema de registro y autenticación, es un módulo de seguridad que garantiza que el usuario que visita la página, está debidamente registrado.

4.1.1 Sistema de validación y registro.

El proceso de autenticación se ejecuta de la siguiente manera:



Figura 48. Esquema de un sistema de registro.

En la imagen anterior podemos observar, como se realiza la verificación de un usuario, que inicia por la presentación o página donde se pide los datos de un usuario y su respectiva contraseña, o facilitar la opción de poder registrarse para crear un usuario, con esto se podrá acceder a la aplicación cuyo acceso es restringido. Los datos de autenticación (usuario y contraseña), se comprueban en una base de datos, acá se evalúa la situación si ya existe, o si se necesita crear un usuario.

Estructura general del sistema de validación:

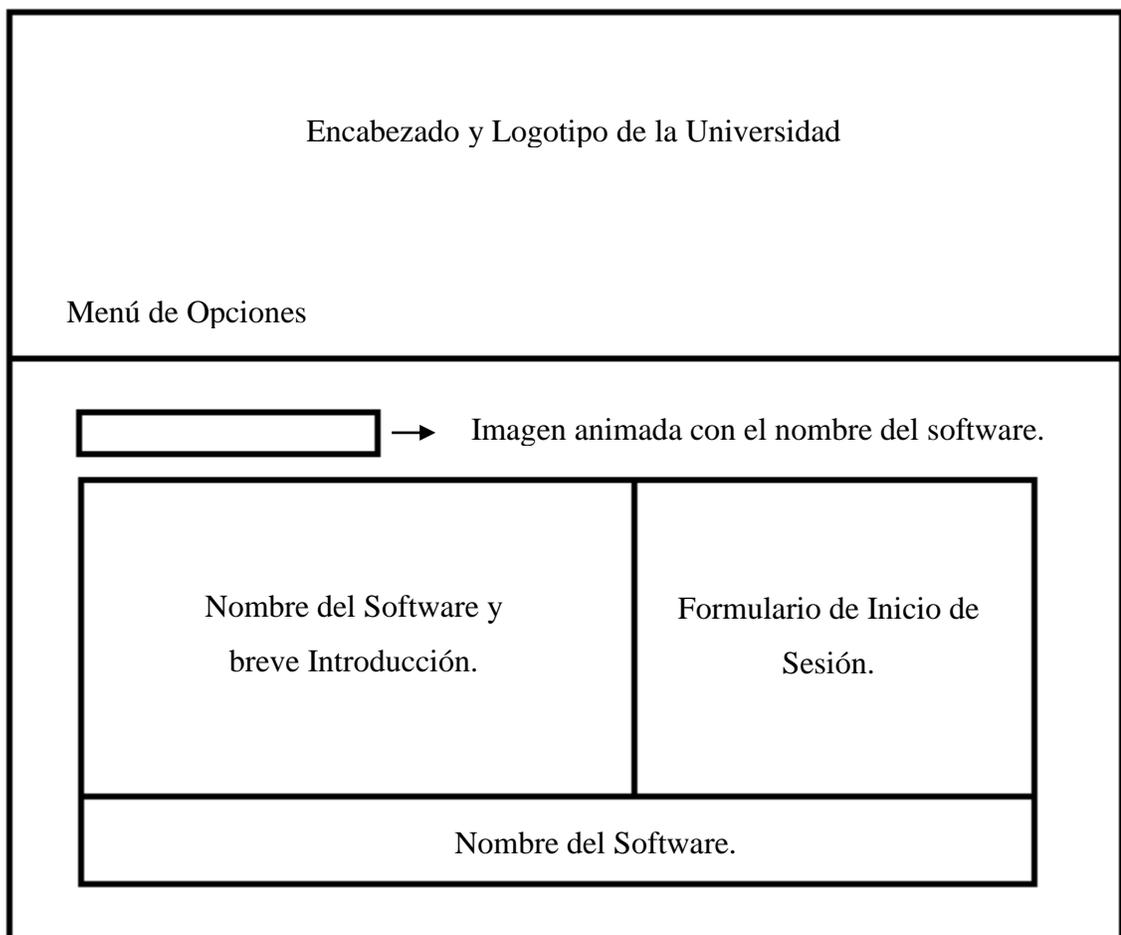


Figura 49. Estructura general del sistema de validación.

La implementación de dicho sistema de validación, se muestra a continuación:

Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Ciclo I-2013

REGISTRASE AYUDA

SOFTWARE DE

SOFTWARE DE USO DIDÁCTICO PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Una línea de transmisión es una estructura material utilizada para dirigir la transmisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, comprendiendo el todo o una parte de la distancia entre dos lugares que se comunican.

Iniciar sesión

Usuario
admin

Contraseña

Registrarse

INGRESAR

SOFTWARE DE USO DIDÁCTICO PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Copyright (c) 2013

Figura 50. Implementación del sistema de validación.

Estructura general del sistema de registro:

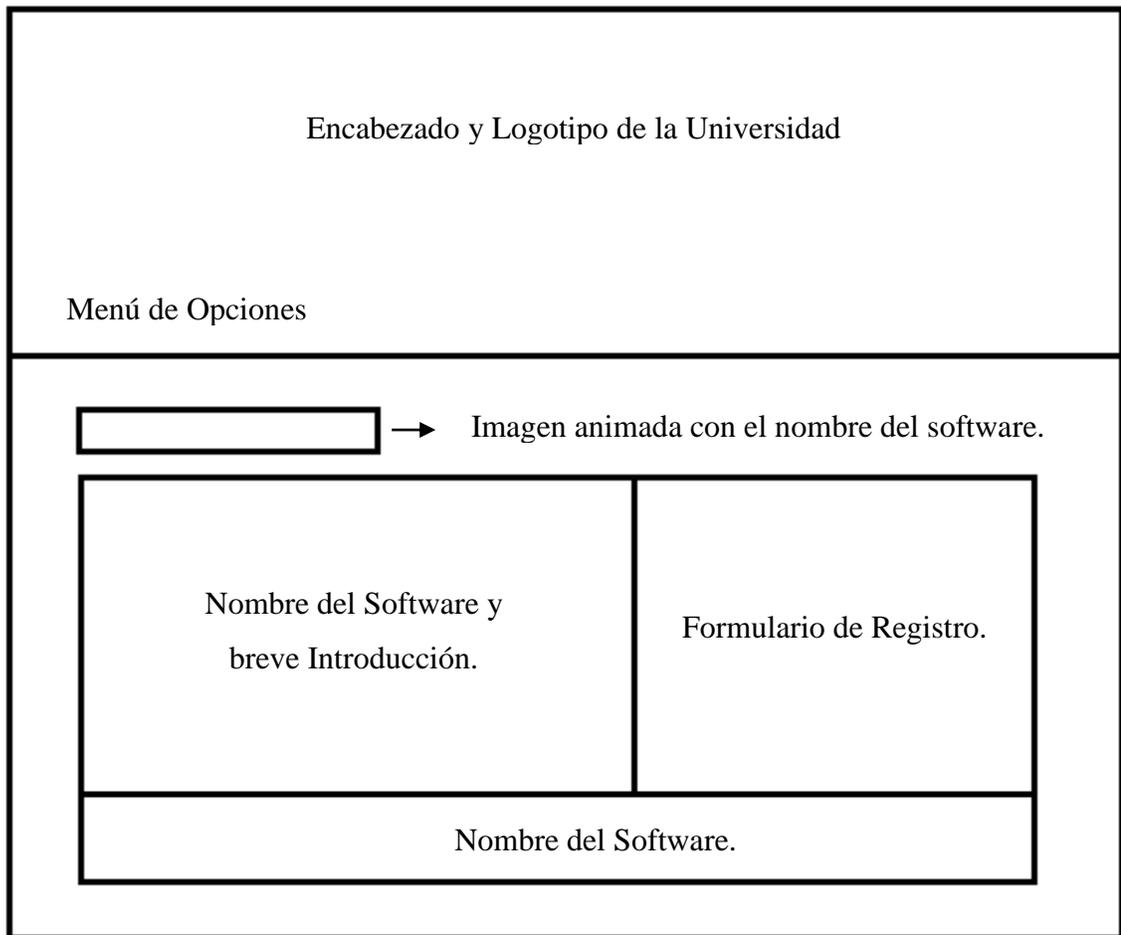


Figura 51. Estructura general del sistema de registro.

La implementación de dicho sistema de registro, se muestra a continuación:

Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Ciclo I-2013

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
CENTRO AMERICA

REGISTRASE AYUDA

¡O PARA EL CAL!

Registro de usuario

Para poder acceder a todo el contenido necesitas estar registrado de lo contrario no podras descargar ni acceder a ningun contenido. Si no puedes registrarte enviale un mensaje al administrador.

Registrar Usuario

Nombre

Password

Correo

REGISTRAR INICIO

Figura 52. Implementación del sistema de registro.

4.1.2 Administrador del Sitio.

El administrador general del sitio, tiene la facultad de agregar/eliminar usuarios, el nivel más alto en la jerarquía del diseño, así como también la capacidad de modificar el software según crea conveniente. En el presente trabajo de graduación, tendrán como rol de administradores, el docente director y los autores del mismo.

La implementación del administrador del software es la siguiente:



Figura 53. Administrador del software.

Administrar un usuario, según preferencia:

Agregar usuario

Usuario

Contraseña

Correo

Nivel Estado

AGREGAR

Eliminar usuario

ELIMINAR

Adminstradores

administrador[1]:admin

Usuarios

Software de uso didactico para lineas de transmision y distribucion

Figura 54. Administrar un usuario desde el menú de administrador.

Se observa que para agregar un usuario, se necesitan ciertos campos por defecto, los cuales son el nombre de un usuario, la contraseña, y la dirección de email, desde este menú, el administrador puede establecer el nivel que desee darle (usuario, o administrador), y el estado, que por defecto estará en activo.

También cuenta con la opción de eliminar un usuario, esto se diseñó así, debido a que todo administrador necesita alguna vez, ejecutar esta opción, ya sea con la finalidad de depurar los usuarios, o renovar por completo los usuarios del software.

4.1.3 Implementación de las definiciones.

En la implementación de las definiciones, se desarrollaron cinco discusiones referentes al cálculo mecánico en las líneas de transmisión y distribución, y una ventana de menú general, para el caso:

Ventana de menú general:



Figura 55. Opciones del menú general.

En la figura anterior, se agregaron diferentes opciones en lo que respecta a la navegación dentro del sitio, información de los autores, la opción de descarga de la versión demo del software desarrollada en el ciclo académico II/2011 en la asignatura DLT-115(Diseño de Líneas de Transmisión y Distribución), de la cual surge la idea de este Trabajo de Graduación; y la principal opción, la administración de los usuarios, así como también cerrar su sesión actual.

Diferentes definiciones implementadas:

Discusion Matematica del Conductor a Nivel	
Catenaria del Conductor	Tiro en el Conductor
Ecuacion de Longitud en el Conductor a Nivel	Flecha de un conductor a nivel
Tiro en cualquier posicion de la abscisa x	Tiro Vertical en el conductor
Esfuerzo en el conductor	Tiro y Esfuerzo en el extremo
Parametro en funcion del tiro maximo	

Figura 56. Implementación de la Discusión Matemática del Conductor a Nivel.

Discusion Matematica del Conductor Desnivelado	
Ecuacion de la Catenaria	Ecuacion de Longitud
Ecuacion de Desnivel	Longitud en Funcion del Desnivel
Flecha en Funcion del Desnivel	Saeta en Funcion del Desnivel
Parametro en Funcion de la Longitud	Ubicacion Cartesiana de los Extremos
Parametro de la Catenaria en Funcion del Tiro Maximo	

Figura 57. Implementación de la Discusión Matemática del Conductor Desnivelado.

Sobrecargas en el Conductor	
Peso Resultante	Presion del viento
Velocidad del viento	Presion Unitaria del Viento
Peso Unitario del Hielo	

Figura 58. Implementación de la definición de Sobrecargas en el Conductor.

Ecuacion de Cambio de Estado

ECE para Vanos a Nivel
ECE para Vanos a Desnivel

Figura 59. Implementación de la definición de la Ecuación de Cambio de Estado.

Hipotesis de Calculo Mecanico

Hipotesis de Calculo Mecanico

Figura 60. Implementación de la definición de Hipótesis de Cálculo Mecánico.

4.1.4 Estructura de las definiciones.

En el desarrollo de cada definición, se tomó en cuenta aspectos teóricos como definición, esquema representativo, y su respectiva ejecución.

A manera de ejemplo, se puede tomar la definición del parámetro de la catenaria en función del tiro máximo:

Figura 61. Implementación de la estructura básica para la definición del parámetro de la catenaria en función del tiro máximo.

En la figura anterior, se muestra la implementación de la estructura básica de una definición, en la cual se puede observar una representación gráfica (lado izquierdo), y su respectiva ejecución (lado derecho).

Todas las definiciones cumplen la estructura antes mencionada, con esto se pretende dar una mejor referencia para el usuario.

Inicio Autores Ayuda Demo en MATLAB Administrador Cerrar Sesión

DEFINICION TEORICA:

Ubicación Cartesiana de los extremos:
 Parámetro de catenaria en función del tiro máximo:

$$T_m = T_0 \left[\cosh\left(\frac{X_m}{C}\right) \right]$$

$$b = \sqrt{a^2 + h^2}$$

$$K = 1 + \frac{1}{2} \left(\operatorname{senh}^{-1}\left(\frac{h}{a}\right) \right)^2$$

Luego, obtenemos el parámetro de la catenaria:

$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_0} - \frac{h}{2} \right) + \sqrt{\left[\frac{1}{K} \left(\frac{T_b}{w_0} - \frac{h}{2} \right) \right]^2 - \frac{ab}{2K}} \right]$$

Dónde:

T_m : Tiro a la mitad del vano (kg).
 B : Vano real (m).

PARAMETRO DE LA CATENARIA EN FUNCION DEL TIRO MAXIMO

UTILIZANDO LA BASE DE DATOS:
 Seleccione el Tipo de Conductor:

Aceptar

SIN UTILIZAR LA BASE DE DATOS:

Aceptar

Figura 62. Implementación de la estructura básica para la definición del parámetro de la catenaria en función del tiro máximo.

En la figura anterior, se muestra la definición teórica de la definición implementada (lado izquierdo).

4.1.5 Correo de Confirmación.

Esto se logrará con la función mail de PHP. Con la función mail() se pueden enviar mensajes con texto simple, sin formato, y también se pueden enviar mensajes con formato HTML, por ejemplo dar color al texto, formato , insertar imágenes, dibujar tablas, etc.

La función mail es:

mail (destino, asunto, mensaje, encabezados);

Dónde:

destino: es la dirección a donde se enviará el mensaje.

asunto: es el asunto del mensaje.

mensaje: es el mensaje en sí.

encabezado: por lo general llevara el título del email de confirmación.

Una vez insertados los datos del usuario, se le enviara el mail de confirmación, si el usuario confirma el mail el campo estado de la tabla usuarios será actualizado a ACTIVO. En caso contrario será un usuario inactivo y no podrá iniciar sesión. Para el caso, se detalla el proceso de la confirmación:

Figura 63. Registro de datos para el usuario

El proceso de registro, desplegará la siguiente notificación, la cual es un mensaje en el cual se le solicita al usuario que revise su email:

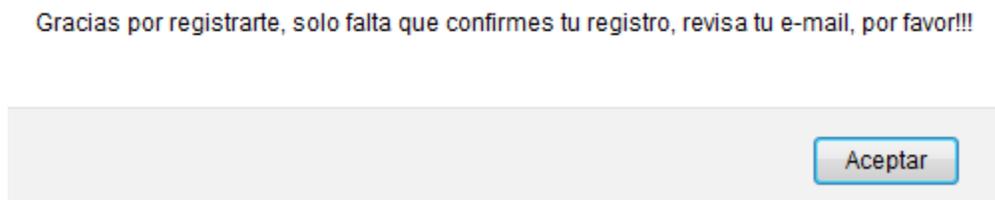


Figura 64. Notificación de invitación por parte del administrador.

La base de datos creada para contener a los usuarios, estará de la siguiente manera, mientras el usuario no realice su confirmación de registro, como se puede observar el estado, permanece en “INACTIVO”.

	mail	nivel	fecha_registro	estado
e	admin@server.com	1	2013-07-22	ACTIVO
o	rfaalvarenga@hotmail.com	0	2013-08-07	INACTIVO

Figura 65. Estado de la cuenta, sin la previa confirmación.

Luego, accediendo a la cuenta de email del solicitante, estará el mensaje por parte del administrador, se puede observar el remitente, y el asunto:

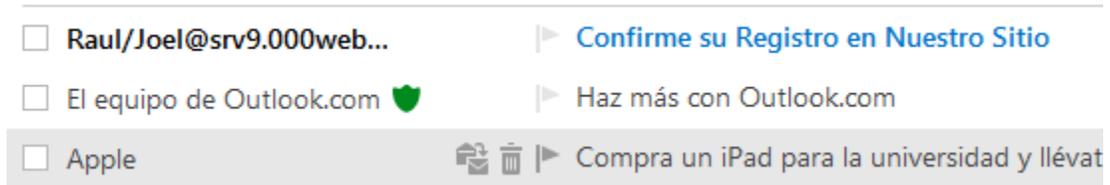


Figura 66. Email de confirmación por parte del administrador.

Al revisar el campo del mensaje, se podrá observar lo siguiente:

```
Confirmar Registro
Gracias Por Registrarte Raul, confirmar tu registro, siguiendo
el enlace a continuacion:

Enlace:
http://tesis2013eie.site88.net/confirma.php?codigo=27&f=07-08-2013&h=02:08:23

Atentamente:
Raul/Joel EIE
07-08-2013
02:08:23
```

Figura 67. Campo del email de confirmación por parte del administrador.

Posteriormente al confirmar el registro, mostrará la siguiente notificación:

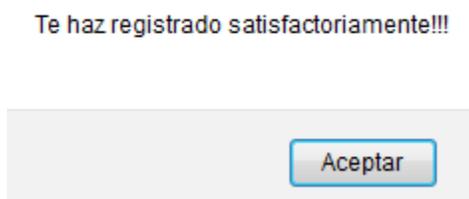


Figura 68. Confirmación del registro.

Finalmente, la base de datos con los usuarios registrados, mostrará el estado del solicitante:

mail	nivel	fecha_registro	estado
admin@server.com	1	2013-07-22	ACTIVO
rfaalvarenga@hotmail.com	0	2013-08-07	ACTIVO

Figura 69. Estado de la cuenta, después de confirmación.

Al realizar el proceso anterior, se acredita a un usuario a poder usar el software.

4.1.6 Manejo de Sesiones.

Una sesión es un array asociativo, que contiene variables de sesión disponibles para el script actual.

El soporte para sesiones en PHP consiste en una forma de preservar cierta información a través de accesos subsiguientes. Esto habilita la construcción de aplicaciones más personalizadas e incrementa el atractivo de un sitio web. Un visitante que accede al sitio web se le asigna un id único, también llamado id de sesión. Éste es almacenado en una cookie en la parte del cliente o se propaga en el URL.

Los usuarios existentes, los dividiremos en dos grupos:

- Usuario comunes: Serán usuarios con nivel 0 y no tendrán privilegios de administración.
- Usuarios administradores: serán usuarios con nivel 1 y tendrán privilegios de administración, tales como agregar y/o eliminar usuarios.

4.1.7 Mensaje de Bienvenida.

Al estar debidamente registrado, el software le asigna una identificación, esta es la que se ingresa a la hora de realizar su registro, para el caso del administrador:

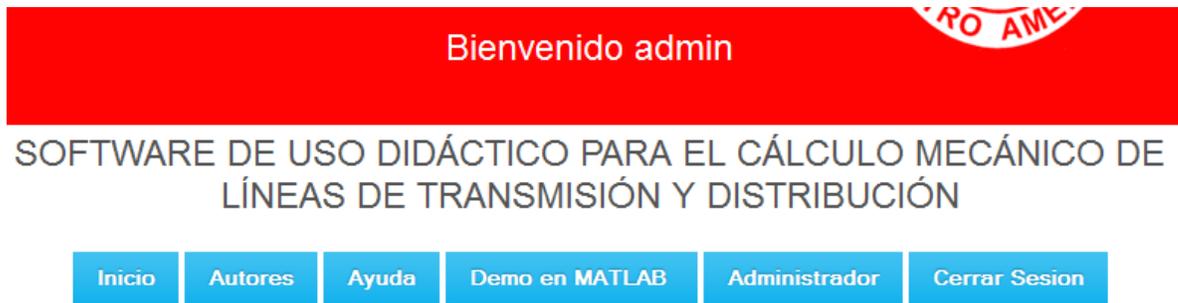


Figura 70. Identificación del Usuario Registrado.

Para otro usuario registrado, el resultado será el siguiente:



Figura 71. Identificación de otro Usuario Registrado.

CONCLUSIONES

- Se analizaron los conceptos básicos asociados a los cálculos mecánicos de las líneas de transmisión y distribución, con lo cual se espera realizar un aporte didáctico en beneficio de la población estudiantil de la Escuela de Ingeniería Eléctrica UES, esto en vista del vacío bibliográfico existente en temas como el investigado en este Trabajo de Graduación.
- Se hace ver la importancia que tiene el cálculo de la tensión mecánica y parámetros asociados para el correcto diseño y funcionamiento de una Línea de Transmisión, ya que por medio de éstos, se obtiene el comportamiento del cable a través de distintas condiciones geográficas y climáticas a las cuales se enfrenta en el trayecto una línea de transmisión o distribución.
- La construcción de una herramienta computacional capaz de realizar el cálculo mecánico de conductores en líneas de transmisión y distribución, facilita en gran medida los cálculos matemáticos correspondientes, además se brinda la posibilidad de analizar diferentes escenarios con el simple hecho de modificar parámetros de entrada y de esta manera tener una mejor comprensión del concepto a través la variación de sus componentes, sin la necesidad de incurrir en los cálculos matemáticos antes mencionados.
- La elaboración de una base de datos con los conductores necesarios para el uso en líneas de transmisión ó distribución, y el establecimiento de una metodología de consulta de datos eficiente, constituye una herramienta importante para futuras investigaciones y ampliaciones del tema analizado en este Trabajo de Graduación, siendo el más recomendado el cálculo eléctrico de conductores.

- La utilización de tecnologías basadas en software libre para la implementación de páginas web, procesadores de páginas web dinámicas, servidor local, bases de datos, nos brinda la oportunidad de demostrar como es el caso de este Trabajo de Graduación, que poseen todo el potencial como cualquier herramienta privativa de este tipo, implementando sistemas seguros, robustos; y que además se pueden desarrollar proyectos e investigaciones muy serias y con amplio contenido, adaptándose a las necesidades y a la realidad económica de la Universidad de El Salvador y la sociedad en general.

- El uso de dicha herramienta computacional, está a disposición de profesionales que trabajen en el campo de cálculo mecánico, así como estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica.

- La funcionalidad de esta herramienta computacional, está disponible desde cualquier ordenador con acceso a internet, únicamente con su proceso de autenticación previo.

RECOMENDACIONES

Con vistas en la posibilidad de una futura expansión de este trabajo de graduación, es conveniente profundizar en la investigación de otros tipos de conductores existentes en el mercado, es decir, investigar mediante mayor cantidad de proveedores de conductores, posibles variantes o tipos de cable a los propuestos en este Trabajo de Graduación.

Se propone, además, investigar más a fondo el tema de aleaciones, la forma en que éstas inciden en el comportamiento y desempeño de las líneas aéreas, ya sea de transmisión o distribución, y además de los procesos de fabricación estandarizados mediante la aprobación de organismos internacionales tales como NEMA, ANSI, IEC, IEEE, entre otros similares.

Para poder brindarle a continuidad a este Trabajo de Graduación, y un enfoque mucho más práctico se recomienda incorporar el cálculo eléctrico de conductores, además de investigar más detalladamente los temas relacionados al aislamiento, apoyos, herrajes y estructuras de líneas aéreas ya sea de transmisión o distribución, e incorporar esos cálculos al software aquí presentado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Jiménez Obed, Cantú Vicente, Conde Arturo. “Diseño de Líneas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica”. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2006.
- Bautista Ríos Juan. “Líneas de Transmisión de Potencia Volumen I, Aspectos Mecánicos y Conductores”. Lima, Perú, 2001.
- Becerra C. “Desarrollo de una herramienta de cómputo para el diseño de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica”. Tesis para optar al título de Ingeniero Electricista. Universidad del Valle. Cali, Colombia. 2005.
- Hernández José Miguel. “Apuntes de clase del curso Diseño de Líneas de Transmisión”. Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Consejo Nacional de la Energía. “Política Energética Nacional de El Salvador 2010-2024”. San Salvador, El Salvador, 2010.
- Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones. Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 13 2011. San Salvador, El Salvador, 2011.
- Empresa Propietaria de la Red C. A. “Definición de los Aspectos Básicos del Diseño de la Línea de Transmisión SIEPAC”. AB Transmission-Consult Rutherford, NJ, USA, Mayo 2004.

ANEXOS.

A. TABLAS DE CONDUCTORES.

A continuación se presentan los datos generales de los conductores usados generalmente usados en líneas aéreas de transmisión o distribución, y que además son los que se ha utilizado como origen para la creación de la base de datos utilizados en el Software de Uso Didáctico para Cálculo Mecánico de Líneas de Transmisión, como se mencionó en el Capítulo I, los tipos de conductores analizados son:

- AAAC
- AAC
- ACSR
- ACSS
- ACAR

1. Conductores AAAC.

Code Word	Size (kcmil)	Stranding	Diameter (ins.)		Cross-Sectional Area (Sq. ins.)	Weight Per 1000 ft. (lbs.)	Rated Strength (lbs.)	Resistance OHMS/1000 ft.		Allowable Ampacity+ (Amps)	ACSR With Equiv. Diam.		Approx. EC Cond. With Equivalent Resistance
			Individual Wires	Complete Cables				DC @ 20°C	AC @ 75°C		Size	Stranding (AL/STL)	
Akron	30.58	7	0.0661	0.198	0.024	28.5	1110	0.659	0.785	107	6	6/1	6
Alton	48.69	7	0.0834	0.25	0.0382	45.4	1760	0.414	0.493	143	4	6/1	4
Ames	77.47	7	0.1052	0.316	0.0608	72.2	2800	0.26	0.31	191	2	6/1	2
Azusa	123.3	7	0.1327	0.398	0.0968	115	4460	0.163	0.195	256	1/0	6/1	1/0
Anaheim	155.4	7	0.149	0.447	0.1221	144.9	5390	0.13	0.154	296	2/0	6/1	2/0
Amherst	195.7	7	0.1672	0.502	0.1537	182.5	6790	0.103	0.123	342	3/0	6/1	3/0
Alliance	246.9	7	0.1878	0.563	0.1939	230.2	8560	0.0816	0.0973	395	4/0	6/1	4/0
Butte	312.8	19	0.1283	0.642	0.2456	291.7	11000	0.0644	0.0769	460	266.8	26/7	266.8
Canton	394.5	19	0.1441	0.72	0.3099	367.9	13300	0.0511	0.061	532	336.4	26/7	336.4
Cairo	465.4	19	0.1565	0.783	0.3655	434	15600	0.0433	0.0518	590	397.5	26/7	397.5
Darien	559.5	19	0.1716	0.858	0.4394	521.7	18800	0.036	0.0431	663	477	26/7	477
Elgin	652.4	19	0.1853	0.927	0.5124	608.4	21900	0.0309	0.0371	729	556.5	26/7	556.5
Flint	740.8	37	0.1415	0.99	0.5818	690.8	24400	0.0272	0.0327	790	636	26/7	636
Greeley	927.2	37	0.1583	1.108	0.7282	864.6	30500	0.0217	0.0263	908	795	26/7	795

Tabla 15. Conductores AAAC sus principales características.

2. Conductores AAC.

Code Word	Size (AWG or kcmil)	Stranding		Diameter (ins.)		Cross-Sectional Area (Sq. ins.)	Weight Per 1000 ft. (lbs.)	Rated Strength (lbs.)	Resistance OHMS/1000 ft.		Allowable Ampacity+ (Amps)
		No. of Wires	Class	Individual Wires	Complete Cable				DC @ 20°C	AC @ 75°C	
Peachbell	6	7	A	0.0612	0.184	0.0206	25	563	0.658	0.805	103
Rose	4	7	A	0.0772	0.232	0.0328	39	881	0.414	0.506	138
Iris	2	7	AA, A	0.0974	0.292	0.0522	62	1350	0.26	0.318	185
Pansy	1	7	AA	0.1093	0.328	0.0657	78	1640	0.207	0.252	214
Poppy	1/0	7	AA, A	0.1228	0.368	0.0829	99	1990	0.164	0.2	247
Aster	2/0	7	AA, A	0.1379	0.414	0.1045	125	2510	0.13	0.159	286
Phlox	3/0	7	AA, A	0.1548	0.464	0.1317	157	3040	0.103	0.126	331
Oxlip	4/0	7	AA, A	0.1739	0.522	0.1663	198	3830	0.0817	0.0999	383
Sneezewort	250	7	AA	0.189	0.567	0.1964	234	4520	0.0691	0.0846	425
Valerian	250	19	A	0.1147	0.574	0.1963	234	4660	0.0691	0.0846	426
Daisy	266.8	7	AA	0.1952	0.586	0.2095	250	4830	0.0648	0.0793	443
Laurel	266.8	19	A	0.1185	0.592	0.2095	250	4970	0.0648	0.0793	444
Peony	300	19	A	0.1257	0.628	0.2358	281	5480	0.0576	0.0706	478
Tulip	336.4	19	A	0.1331	0.665	0.2644	315	6150	0.0514	0.063	513
Daffodil	350	19	A	0.1357	0.679	0.2748	328	6390	0.0494	0.0605	526
Canna	397.5	19	AA, A	0.1446	0.723	0.312	373	7110	0.0435	0.0534	570
Goldentuft	450	19	AA	0.1539	0.769	0.3534	422	7890	0.0384	0.0472	616
Cosmos	477	19	AA	0.1584	0.792	0.3744	447	8360	0.0362	0.0445	639
Syringa	477	37	A	0.1135	0.795	0.3744	447	8690	0.0362	0.0445	639
Zinnia	500	19	AA	0.1622	0.811	0.3926	469	8760	0.0346	0.0425	658
Hyacinth	500	37	AA	0.1162	0.814	0.3924	469	9110	0.0346	0.0425	658
Dahlia	556.5	19	AA	0.1711	0.856	0.4369	522	9750	0.0311	0.0382	703
Mistletoe	556.5	37	AA	0.1226	0.858	0.4368	522	9940	0.0311	0.0382	704
Meadowsweet	600	37	AA	0.1273	0.891	0.4709	562	10700	0.0228	0.0355	738
Orchid	636	37	AA, A	0.1311	0.918	0.4995	596	11400	0.0272	0.0335	765
Heuchera	650	37	AA	0.1325	0.928	0.5102	609	11600	0.0266	0.0328	775
Verbena	700	37	AA	0.1375	0.963	0.5494	656	12500	0.0247	0.0305	812
Flag	700	61	A	0.1071	0.964	0.5495	656	12900	0.0247	0.0305	812
Violet	715.5	37	AA	0.1391	0.973	0.5623	671	12800	0.0242	0.0299	823
Nasturtium	715.5	61	AA	0.1083	0.975	0.5619	671	13100	0.0242	0.0299	823
Petunia	750	37	AA	0.1424	0.997	0.5893	703	13100	0.023	0.0286	847
Cattail	750	61	AA	0.1109	0.998	0.5892	703	13500	0.023	0.0286	847
Arbutus	795	37	AA	0.1466	1.026	0.6245	745	13900	0.0217	0.027	878
Lilac	795	61	A	0.1142	1.027	0.6248	745	14300	0.0217	0.027	879

Code Word	Size (AWG or kcmil)	Stranding		Diameter (ins.)		Cross-Sectional Area (Sq. ins.)	Weight Per 1000 ft. (lbs.)	Rated Strength (lbs.)	Resistance OHMS/1000 ft.		Allowable Ampacity+ (Amps)
		No. of Wires	Class	Individual Wires	Complete Cable				DC @ 20°C	AC @ 75°C	
Snapdragon	900	61	AA	0.1215	1.093	0.7072	844	15900	0.0192	0.0239	948
Magnolia	954	37	AA	0.1606	1.124	0.7495	894	16400	0.0181	0.0226	982
Goldenrod	954	61	A	0.1251	1.125	0.7498	894	16900	0.0181	0.0226	983
Hawkweed	1000	37	AA	0.1644	1.151	0.7854	937	17200	0.0173	0.0216	1010
Camellia	1000	61	AA	0.128	1.152	0.7849	937	17700	0.0713	0.0216	1011
Bluebell	1033.5	37	AA	0.1671	1.17	0.8114	969	17700	0.0167	0.021	1031
Larkspur	1033.5	61	AA	0.1302	1.171	0.8122	969	18300	0.0167	0.021	1032
Marigold	1113	61	AA, A	0.1351	1.216	0.8744	1043	19700	0.0155	0.0195	1079
Hawthorn	1192.5	61	AA, A	0.1398	1.258	0.9363	1118	21100	0.0145	0.0183	1124
Narcissus	1272	61	AA, A	0.1444	1.3	0.999	1192	22000	0.0136	0.0173	1169
Columbine	1351.5	61	AA, A	0.1488	1.34	1.0608	1267	23400	0.0128	0.0163	1212
Carnation	1431	61	AA, A	0.1532	1.378	1.1244	1341	24300	0.0121	0.0155	1253
Gladiolus	1510.5	61	A	0.1574	1.416	1.1869	1416	25600	0.0144	0.0147	1294
Coreopsis	1590	61	AA	0.1614	1.453	1.248	1490	27000	0.0109	0.0141	1333
Jessamine	1750	61	AA	0.1694	1.524	1.3748	1640	29700	0.00988	0.0129	1408
Cowslip	2000	91	A	0.1482	1.631	1.5697	1875	34200	0.00864	0.0115	1518
Sagebrush	2250	91	A	0.1572	1.73	1.7662	2130	37500	0.00776	0.0105	1612
Lupine	2500	91	A	0.1657	1.823	1.9623	2366	41900	0.00698	0.00969	1706
Bitterroot	2750	91	A	0.1738	1.912	2.1589	2603	46100	0.00635	0.009	1793
Trillium	3000	127	A	0.1537	1.998	2.3564	2839	50300	0.00582	0.00834	1874
Bluebonnet	3500	127	A	0.166	2.158	2.7486	3345	58700	0.00499	0.00756	2024

Tabla 16. Conductores AAC y sus principales características.

3. Conductores ACSR.

Code Word	Size (AWG or kcmil)	Stranding (Al/Stl)	Diameter (ins.)				Weight Per 1000 ft. (lbs.)			Content (%)		Rated Strength (lbs.)	Resistance OHMS/1000 ft.		Allowable Ampacity (Amps)
			Individual Wires		Steel Core	Complete Cable	Al	Stl	Total	Al	Stl		DC @ 20°C	AC @ 75°C	
			Al	Stl											
Turkey	6	6/1	0.0661	0.0661	0.0661	0.198	24	12	36	67.88	32.12	1190	0.641	0.806	105
Swan	4	6/1	0.0834	0.0834	0.0834	0.25	39	18	57	67.87	32.12	1860	0.403	0.515	140
Swanate	4	7/1	0.0772	0.103	0.103	0.257	39	28	67	58.1	41.9	2360	0.399	0.519	140
Sparrow	2	6/1	0.1052	0.1052	0.1052	0.316	62	29	91	67.9	32.1	2850	0.254	0.332	184
Sparate	2	7/1	0.0974	0.1298	0.1298	0.325	62	45	107	58.12	41.88	3460	0.251	0.338	184
Robin	1	6/1	0.1181	0.1181	0.1181	0.354	78	37	115	67.88	32.12	3550	0.201	0.268	212
Raven	1/0	6/1	0.1327	0.1327	0.1327	0.398	99	47	145	67.89	32.11	4380	0.159	0.217	242
Quail	2/0	6/1	0.1489	0.1489	0.1489	0.447	124	59	183	67.88	32.12	5310	0.126	0.176	276
Pigeon	3/0	6/1	0.1672	0.1672	0.1672	0.502	156	74	230	67.87	32.13	6620	0.1	0.144	315
Penguin	4/0	6/1	0.1878	0.1878	0.1878	0.563	197	93	291	67.89	32.12	8350	0.0795	0.119	357
Waxwing	266.8	18/1	0.1217	0.1217	0.1217	0.609	250	39	289	86.43	13.57	6880	0.0643	0.0787	449
Partridge	266.8	26/7	0.1013	0.0788	0.2363	0.642	251	115	367	68.51	31.49	11300	0.0637	0.0779	475
Ostrich	300	26/7	0.1074	0.0835	0.2506	0.68	283	130	412	68.51	31.49	12700	0.0567	0.0693	492
Merlin	336.4	18/1	0.1367	0.1367	0.1367	0.684	315	49	365	86.43	13.57	8680	0.051	0.0625	519
Linnet	336.4	26/7	0.1137	0.0885	0.2654	0.72	317	146	462	68.51	31.49	14100	0.0505	0.0618	529
Oriole	336.4	30/7	0.1059	0.1059	0.3177	0.741	318	209	526	60.35	39.65	17300	0.0502	0.0613	535
Chickadee	397.5	18/1	0.1486	0.1486	0.1486	0.743	373	58	431	86.43	13.57	9940	0.0432	0.0529	576
Brant	397.5	24/7	0.1287	0.0858	0.2574	0.772	374	137	511	73.21	26.79	14600	0.043	0.0526	584
Ibis	397.5	26/7	0.1236	0.0962	0.2885	0.783	374	172	546	68.51	31.49	16300	0.0428	0.0523	587
Lark	397.5	30/7	0.1151	0.1151	0.3453	0.806	375	247	622	60.35	39.65	20300	0.0425	0.0519	594

Code Word	Size (AWG or kcmil)	Stranding (Al/Stl)	Diameter (ins.)				Weight Per 1000 ft. (lbs.)			Content (%)		Rated Strength (lbs.)	Resistance OHMS/1000 ft.		Allowable Ampacity (Amps)
			Individual Wires		Steel Core	Complete Cable	Al	Stl	Total	Al	Stl		DC @ 20°C	AC @ 75°C	
			Al	Stl											
Pelican	477	18/1	0.1628	0.1628	0.1628	0.814	447	70	517	86.44	13.56	11800	0.036	0.0442	646
Flicker	477	24/7	0.141	0.094	0.2819	0.846	449	164	614	73.21	26.79	17200	0.0358	0.0439	655
Hawk	477	26/7	0.1354	0.1053	0.316	0.858	449	207	656	68.51	31.49	19500	0.0356	0.0436	659
Hen	477	30/7	0.1261	0.1261	0.3783	0.883	450	296	746	60.35	39.65	23800	0.0354	0.0433	666
Osprey	556.5	18/1	0.1758	0.1758	0.1758	0.879	522	82	603	86.43	13.57	13700	0.0308	0.0379	711
Parakeet	556.5	24/7	0.1523	0.1015	0.3045	0.914	524	192	716	73.21	26.79	19800	0.0307	0.0376	721
Dove	556.5	26/7	0.1463	0.1138	0.3413	0.927	524	241	765	68.51	31.49	22600	0.0306	0.0375	726
Eagle	556.5	30/7	0.1362	0.1362	0.4086	0.953	525	345	871	60.35	39.65	27800	0.0303	0.0372	734
Peacock	605	24/7	0.1588	0.1059	0.3177	0.953	570	209	779	73.2	26.8	21600	0.0282	0.0346	760
Squab	605	26/7	0.1525	0.1186	0.3559	0.966	570	262	832	68.51	31.49	24300	0.0281	0.0345	765
Wood Duck	605	30/7	0.142	0.142	0.426	0.994	571	375	946	60.35	39.65	28900	0.0279	0.0342	774
Teal	605	30/19	0.142	0.0852	0.426	0.994	571	367	939	60.86	39.14	30000	0.0279	0.0342	773
Kingbird	636	18/1	0.188	0.188	0.188	0.94	596	94	690	86.43	13.57	15700	0.027	0.0332	773
Swift	636	36/1	0.1329	0.1329	0.1329	0.93	596	47	643	92.72	7.28	13690	0.0271	0.0334	769
Rook	636	24/7	0.1628	0.1085	0.3256	0.977	599	219	818	73.22	26.78	22600	0.0268	0.033	784
Grosbeak	636	26/7	0.1564	0.1216	0.3649	0.991	599	275	874	68.51	31.49	25200	0.0267	0.0328	789
Scoter	636	30/7	0.1456	0.1456	0.4368	1.019	600	395	995	60.35	39.65	30400	0.0256	0.0325	798
Egret	636	30/19	0.1456	0.0874	0.4368	1.019	600	386	987	60.85	39.15	31500	0.0266	0.0326	798
Flamingo	666.6	24/7	0.1667	0.1111	0.3333	1	628	230	858	73.21	26.79	23700	0.0256	0.0315	807
Gannet	666.6	26/7	0.1601	0.1245	0.3736	1.014	628	289	916	68.51	31.49	26400	0.0255	0.0313	812
Stilt	715.5	24/7	0.1727	0.1151	0.3453	1.036	674	247	920	73.21	26.79	25500	0.0239	0.0294	844
Starling	715.5	26/7	0.1659	0.129	0.3871	1.051	674	310	984	68.51	31.49	28400	0.0238	0.0292	849
Redwing	715.5	30/19	0.1544	0.0927	0.4633	1.081	676	435	1110	60.85	39.15	34600	0.0236	0.029	859

Code Word	Size (AWG or kcmil)	Stranding (Al/Stl)	Diameter (ins.)				Weight Per 1000 ft. (lbs.)			Content (%)		Rated Strength (lbs.)	Resistance OHMS/1000 ft.		Allowable Ampacity (Amps)
			Individual Wires		Steel Core	Complete Cable	Al	Stl	Total	Al	Stl		DC @ 20°C	AC @ 75°C	
			Al	Stl											
Coot	795	36/1	0.1486	0.1486	0.1486	1.04	745	58	804	92.72	7.28	16710	0.0217	0.0268	884
Drake	795	26/7	0.1749	0.136	0.408	1.107	749	344	1093	68.51	31.49	31500	0.0214	0.0263	907
Tern	795	45/7	0.1329	0.0886	0.2658	1.063	749	146	895	83.67	16.33	22100	0.0216	0.0269	887
Condor	795	54/7	0.1213	0.1213	0.364	1.092	749	274	1023	73.21	26.79	28200	0.0215	0.0272	889
Mallard	795	30/19	0.1628	0.0977	0.4884	1.14	751	483	1234	60.86	39.14	38400	0.0213	0.0261	918
Ruddy	900	45/7	0.1414	0.0943	0.2828	1.131	848	165	1013	83.67	16.33	24400	0.0191	0.0239	958
Canary	900	54/7	0.1291	0.1291	0.3873	1.162	848	310	1158	73.22	26.78	31900	0.019	0.0241	961
Rail	954	45/7	0.1456	0.0971	0.2912	1.165	899	175	1074	83.67	16.33	25900	0.018	0.0225	993
Cardinal	954	54/7	0.1329	0.1329	0.3987	1.196	899	329	1227	73.21	26.79	33800	0.0179	0.0228	996
Ortolan	1033.5	45/7	0.1515	0.101	0.3031	1.212	973	190	1163	83.67	16.33	27700	0.0167	0.0209	1043
Curlew	1033.5	54/7	0.1383	0.1383	0.415	1.245	973	356	1330	73.21	26.79	36600	0.0165	0.0211	1047
Bluejay	1113	45/7	0.1573	0.1048	0.3145	1.258	1048	205	1253	83.67	16.33	29800	0.0155	0.0194	1092
Finch	1113	54/19	0.1436	0.0861	0.4307	1.292	1053	375	1429	73.72	26.28	39100	0.0154	0.0197	1093
Bunting	1192.5	45/7	0.1628	0.1085	0.3256	1.302	1123	219	1343	83.67	16.33	32000	0.0144	0.0182	1139
Grackle	1192.5	54/19	0.1486	0.0892	0.4458	1.337	1129	402	1531	73.72	26.28	41900	0.0144	0.0184	1140
Bittern	1272	45/7	0.1681	0.1121	0.3362	1.345	1198	234	1432	83.67	16.33	34100	0.0135	0.0171	1184
Pheasant	1272	54/19	0.1535	0.0921	0.4605	1.381	1204	429	1633	73.71	26.29	43600	0.0135	0.0173	1187
Dipper	1351.5	45/7	0.1733	0.1155	0.3466	1.386	1273	248	1521	83.67	16.33	36200	0.0127	0.0162	1229
Martin	1351.5	54/19	0.1582	0.0949	0.4746	1.424	1279	456	1735	73.72	26.28	46300	0.0127	0.0163	1232
Bobolink	1431	45/7	0.1783	0.1189	0.3566	1.427	1348	263	1611	83.67	16.33	38300	0.012	0.0153	1272
Lapwing	1590	45/7	0.188	0.1253	0.3759	1.504	1498	292	1790	83.67	16.33	42200	0.0108	0.0139	1354
Falcon	1590	54/19	0.1716	0.103	0.5148	1.544	1505	536	2041	73.72	26.28	54500	0.0108	0.014	1359
Chukar	1780	84/19	0.1456	0.0874	0.4368	1.602	1685	386	2072	81.35	18.65	51000	0.0097	0.0125	1453
Bluebird	2156	84/19	0.1602	0.0962	0.4808	1.762	2040	468	2508	81.34	18.66	60300	0.00801	0.0105	1623

Code Word	Size (AWG or kcmil)	Stranding (Al/Stl)	Diameter (ins.)				Weight Per 1000 ft. (lbs.)			Content (%)		Rated Strength (lbs.)	Resistance OHMS/1000 ft.		Allowable Ampacity (Amps)
			Individual Wires		Steel Core	Complete Cable	Al	Stl	Total	Al	Stl		DC @ 20°C	AC @ 75°C	
			Al	Stl											
HIGH MECHANICAL STRENGTH															
Grouse	80	8/1	0.1	0.1667	0.1667	0.367	75	74	149	50.48	49.52	5200	0.207	0.294	204
Petrel	101.8	12/7	0.0921	0.0921	0.2763	0.461	96	158	254	37.79	62.21	10400	0.158	0.25	237
Minorca	110.8	12/7	0.0961	0.0962	0.2885	0.481	104	172	276	37.75	62.25	11300	0.145	0.235	248
Leghorn	134.6	12/7	0.1059	0.1059	0.3177	0.53	127	209	335	37.79	62.21	13600	0.12	0.204	273
Guinea	159	12/7	0.1151	0.1151	0.3453	0.576	150	247	396	37.79	62.21	16000	0.101	0.181	297
Dotterel	176.9	12/7	0.1214	0.1214	0.3642	0.607	167	274	441	37.79	62.21	17300	0.0911	0.169	312
Dorking	190.8	12/7	0.1261	0.1261	0.3783	0.63	180	296	476	37.78	62.22	18700	0.0845	0.16	324
Cochin	211.3	12/7	0.1327	0.1327	0.398	0.663	199	328	527	37.8	62.2	28400	0.0763	0.15	340

Tabla 17. Conductores ACSR y sus principales características.

4. Conductores ACSS.

Code Word	Size (kcmil)	Stranding (Al/St)	Diameter (in)				Weight Per 1000 ft (lb)			Rated Strength			Resistance OHMS/1000 ft		Ampacity at 200°C (AMPS)
			Individual Wires		Steel Core	Complete Cable	Al	Steel	Total	Standard Strength lb	High Strength lb	HS285** Strength lb	DC @ 20°C	AC @ 75°C	
			Al	Steel											
Partridge/ACSS	266.8	26/7	0.1013	0.0788	0.2363	0.642	251.3	115.5	366.8	8880	9730	11400	0.0619	0.0761	812
Junco/ACSS	266.8	30/7	0.0943	0.0943	0.2829	0.66	251.9	165.5	417.4	11700	13000	15200	0.0615	0.0756	822
Ostrich/ACSS	300	26/7	0.1074	0.0835	0.2506	0.68	282.6	129.9	412.4	10000	10900	12800	0.0551	0.0677	877
Linnet/ACSS	336.4	26/7	0.1137	0.0885	0.2654	0.72	316.8	145.7	462.5	11200	12300	14400	0.0491	0.0604	945
Oriole/ACSS	336.4	30/7	0.1059	0.1059	0.3177	0.741	317.6	208.7	526.3	14800	16300	19100	0.0488	0.06	957
Brant/ACSS	397.5	24/7	0.1287	0.0858	0.2574	0.772	374.4	137	511.4	11000	12100	14100	0.0417	0.0514	1047
Ibis/ACSS	397.5	26/7	0.1236	0.0962	0.2885	0.783	374.4	172.1	546.5	13000	14200	16500	0.0416	0.0512	1054
Lark/ACSS	397.5	30/7	0.1151	0.1151	0.3453	0.806	375.3	246.5	621.9	17500	19300	22600	0.0413	0.0508	1068
Flicker/ACSS	477	24/7	0.141	0.094	0.2819	0.846	449.3	164.4	613.6	13000	14200	16400	0.0348	0.0429	1180
Hawk/ACSS	477	26/7	0.1354	0.1053	0.316	0.858	449.3	206.5	655.8	15600	17100	19800	0.0346	0.0427	1188
Hen/ACSS	477	30/7	0.1261	0.1261	0.3783	0.883	450.4	295.9	746.3	21000	22700	26700	0.0344	0.0424	1204
Dove/ACSS	556.5	26/7	0.1463	0.1138	0.3413	0.927	524.2	240.9	765.1	18200	19900	23200	0.0297	0.0366	1315
Eagle/ACSS	556.5	30/7	0.1362	0.1362	0.4086	0.953	525.4	345.2	870.6	24500	26500	31100	0.0295	0.0363	1331
Peacock/ACSS	605	24/7	0.1588	0.1058	0.3175	0.953	569.8	208.5	778.3	16500	18100	20800	0.0274	0.0339	1379
Squab/ACSS	605	26/7	0.1525	0.1186	0.3559	0.966	569.8	261.9	831.8	19700	21300	25200	0.0273	0.0337	1389
Wood Duck/ACSS	605	30/7	0.142	0.142	0.426	0.994	571.2	375.3	946.5	26000	28300	33300	0.0271	0.0334	1407
Teal/ACSS	605	30/19	0.142	0.0852	0.426	0.994	571.2	367.4	938.6	26600	29300	34800	0.0272	0.0335	1406
Rook/ACSS	636	24/7	0.1628	0.1085	0.3256	0.977	599	219.2	818.2	17300	19000	21900	0.0261	0.0322	1425
Grosbeak/ACSS	636	26/7	0.1564	0.1216	0.3649	0.991	599	275.4	874.4	20700	22400	26000	0.026	0.0321	1435
Scoter/ACSS	636	30/7	0.1456	0.1456	0.4368	1.019	600.5	394.5	995	27400	29700	35000	0.0258	0.0318	1454

Code Word	Size (kcmil)	Stranding (Al/St)	Diameter (in)				Weight Per 1000 ft (lb)			Rated Strength			Resistance OHMS/1000 ft		Ampacity at 200°C (AMPS)
			Individual Wires		Steel Core	Complete Cable	Al	Steel	Total	Standard Strength lb	High Strength lb	HS285** Strength lb	DC @ 20°C	AC @ 75°C	
			Al	Steel											
Egret/ACSS	636	30/19	0.1456	0.0874	0.4368	1.019	600.5	386.3	986.8	28000	30900	36600	0.0258	0.0319	1453
Flamingo/ACSS	666.6	24/7	0.1667	0.1111	0.3333	1	627.9	229.7	857.6	18200	19900	22900	0.0249	0.0308	1470
Gannet/ACSS	666.6	26/7	0.1601	0.1245	0.3736	1.014	627.8	288.6	916.4	21700	23400	27300	0.0248	0.0306	1480
Stilt/ACSS	715.5	24/7	0.1727	0.1151	0.3453	1.036	673.9	246.5	920.5	19500	21300	24600	0.0232	0.0287	1540
Starling/ACSS	715.5	26/7	0.1659	0.129	0.3871	1.051	673.9	309.8	983.7	23300	25200	29800	0.0231	0.0286	1550
Redwing/ACSS	715.5	30/19	0.1544	0.0927	0.4633	1.081	675.6	434.6	1110.1	30800	34000	39800	0.023	0.0284	1570
Cuckoo/ACSS	795	24/7	0.182	0.1213	0.364	1.092	748.8	274	1022.7	21700	23300	26900	0.0209	0.0259	1650
Drake/ACSS	795	26/7	0.1749	0.136	0.408	1.107	748.8	344.2	1093	25900	28000	32600	0.0209	0.0257	1662
Macaw/ACSS	795	42/7	0.1376	0.0764	0.2293	1.055	748.8	108.7	857.5	11800	12600	14300	0.0211	0.0262	1621
Tern/ACSS	795	45/7	0.1329	0.0886	0.2658	1.063	748.8	146.1	894.9	14200	15200	17400	0.021	0.0263	1618
Condor/ACSS	795	54/7	0.1213	0.1213	0.364	1.092	748.8	274	1022.7	21700	23300	26900	0.0209	0.0266	1618
Mallard/ACSS	795	30/19	0.1628	0.0977	0.4884	1.139	750.6	482.8	1233.4	34300	37900	44300	0.0207	0.0255	1683
Ruddy/ACSS	900	45/7	0.1414	0.0943	0.2828	1.131	847.7	165.4	1013.1	15800	17000	19200	0.0186	0.0233	1755
Canary/ACSS	900	54/7	0.1291	0.1291	0.3873	1.162	847.7	310.1	1157.8	24600	26400	30500	0.0184	0.0236	1756
Redbird/ACSS	954	24/7	0.1994	0.1329	0.3987	1.196	898.5	328.7	1227.3	26000	28000	32300	0.0174	0.0217	1859
Rail/ACSS	954	45/7	0.1456	0.0971	0.2912	1.165	898.5	175.3	1073.9	16700	18000	20400	0.0175	0.022	1824
Towhee/ACSS	954	48/7	0.141	0.1097	0.329	1.175	898.5	223.7	1122.3	19700	21300	24300	0.0175	0.0218	1842
Cardinal/ACSS	954	54/7	0.1329	0.1329	0.3987	1.196	898.6	328.7	1227.3	26000	28000	32300	0.0174	0.0223	1825
Canvasback/ACSS	954	30/19	0.1783	0.107	0.535	1.248	900.7	579.4	1480.1	41100	45400	53100	0.0172	0.0214	1897
Snowbird/ACSS	1033.5	42/7	0.1569	0.0871	0.2614	1.203	973.4	141.3	1114.7	15400	16500	18500	0.0162	0.0204	1924
Ortolan/ACSS	1033.5	45/7	0.1515	0.101	0.3031	1.212	973.4	190	1163.4	18100	19500	22000	0.0162	0.0204	1921
Curlew/ACSS	1033.5	54/7	0.1383	0.1383	0.415	1.245	973.4	356.2	1329.6	28200	30300	35000	0.0161	0.0206	1924
Bluejay/ACSS	1113	45/7	0.1573	0.1048	0.3145	1.258	1048.3	204.5	1252.8	19500	21100	23800	0.015	0.019	2017

Code Word	Size (kcmil)	Stranding (Al/St)	Diameter (in)				Weight Per 1000 ft (lb)			Rated Strength			Resistance OHMS/1000 ft		Ampacity at 200°C (AMPS)
			Individual Wires		Steel Core	Complete Cable	Al	Steel	Total	Standard Strength lb	High Strength lb	HS285** Strength lb	DC @ 20°C	AC @ 75°C	
			Al	Steel											
Finch/ACSS	1113	54/19	0.1436	0.0861	0.4307	1.292	1053.4	375.5	1428.9	30400	33200	38700	0.015	0.0193	2015
Bunting/ACSS	1192.5	45/7	0.1628	0.1085	0.3256	1.302	1123.2	219.2	1342.4	21400	23500	25400	0.014	0.0178	2110
Pheasant/ACSS	1272	54/19	0.1535	0.0921	0.4604	1.381	1203.9	429.2	1633	34100	37300	43000	0.0131	0.0169	2200
Dipper/ACSS	1351	45/7	0.1733	0.1155	0.3465	1.386	1272.5	248.3	1520.8	23700	25500	28800	0.0124	0.0158	2289
Martin/ACSS	1351	54/19	0.1582	0.0949	0.4745	1.424	1278.7	455.8	1734.5	36200	39600	45600	0.0123	0.016	2288
Bobolink/ACSS	1431	45/7	0.1783	0.1189	0.3566	1.427	1347.8	263	1610.8	25100	27000	30500	0.0117	0.015	2375
Plover/ACSS	1431	54/19	0.1628	0.0977	0.4884	1.465	1354.4	482.8	1837.2	38400	41900	48300	0.0117	0.0151	2375
Nuthatch/ACSS	1510	45/7	0.1832	0.1221	0.3664	1.465	1422.2	277.5	1699.8	26500	28100	31800	0.0111	0.0143	2459
Parrot/ACSS	1510	54/19	0.1672	0.1003	0.5017	1.505	1429.2	509.5	1938.6	40400	44200	51000	0.011	0.0144	2460
Ratite/ACSS	1590	42/7	0.1946	0.1081	0.3243	1.492	1497.6	217.4	1715	23400	25000	27900	0.0105	0.0136	2543
Lapwing/ACSS	1590	45/7	0.188	0.1253	0.3759	1.504	1497.6	292.2	1789.8	27900	29600	33500	0.0105	0.0136	2543
Falcon/ACSS	1590	54/19	0.1716	0.103	0.5148	1.544	1504.9	536.5	2041.4	42600	46600	53700	0.0105	0.0137	2545
Chukar/ACSS	1780	84/19	0.1456	0.0873	0.4367	1.601	1684.7	386.1	2070.8	35400	38200	43900	0.0094	0.0122	2751
Mockingbird/ACSS	2034.5	72/7	0.1681	0.1121	0.3362	1.681	1925.6	233.7	2159.3	27200	28900	32000	0.0083	0.011	2960
Roadrunner/ACSS	2057	76/19	0.1645	0.0768	0.3839	1.7	1946.9	298.3	2245.2	31700	33900	38300	0.0082	0.0108	2992
Bluebird/ACSS	2156	84/19	0.1602	0.0961	0.4806	1.762	2040.6	467.6	2508.2	42100	45500	51700	0.0078	0.0103	3106
Kiwi/ACSS	2167	72/7	0.1735	0.1157	0.347	1.735	2051	248.9	2299.9	29000	30800	34100	0.0078	0.0104	3080
Thrasher/ACSS	2312	76/19	0.1744	0.0814	0.407	1.802	2188.2	335.3	2523.5	35600	38100	43000	0.0073	0.0098	3218
Joree/ACSS	2515	76/19	0.1819	0.0849	0.4245	1.88	2380.4	364.7	2745.1	38700	41400	46800	0.0067	0.0092	3390

Tabla 18. Conductores ACSS y sus principales características.

5. Conductores ACAR.

Size (kcmil)	Stranding (EC/6201)	Diameter (ins.)			Weight Per 1000 ft. (lbs.)	Rated Strength (lbs)	Resistance OHMS/1000 ft.		Allowable Ampacity+ (Amps)
		Individual Wires		Complete Cable			DC @ 20°C	AC @ 75°C	
		6201	1350						
355	12/7	0.1367	0.1367	0.683	332.1	8500	0.0514	0.0624	519
465.9	12/7	0.1566	0.1566	0.783	435.8	11000	0.0392	0.0477	616
503.6	12/7	0.1628	0.1628	0.814	471.1	11900	0.0362	0.0441	646
653.1	12/7	0.1854	0.1854	0.927	611	15400	0.0279	0.0342	760
739.8	30/7	0.1414	0.1414	0.99	692.7	15300	0.024	0.0296	831
739.8	18/19	0.1414	0.1414	0.99	691.6	18800	0.0252	0.0308	814
853.7	30/7	0.1519	0.1519	1.063	799.3	17500	0.0208	0.0257	907
853.7	18/19	0.1519	0.1519	1.063	798	21500	0.0218	0.0268	890
927.2	30/7	0.1583	0.1583	1.108	868.2	19000	0.0192	0.0238	955
927.2	18/19	0.1583	0.1583	1.108	866.7	23400	0.0201	0.0247	936
1024.5	30/7	0.1664	0.1664	1.165	959.3	20900	0.0173	0.0216	1015
1024.5	18/19	0.1664	0.1664	1.165	957.7	25800	0.0182	0.0225	995
1081	30/7	0.1709	0.1709	1.196	1012.1	22100	0.0164	0.0205	1048
1081	18/19	0.1709	0.1709	1.196	1010.5	27200	0.0172	0.0213	1028
1109	30/7	0.1731	0.1731	1.212	1038.4	22700	0.016	0.02	1065
1109	18/19	0.1731	0.1731	1.212	1036.6	27900	0.0168	0.0208	1044
1172	30/7	0.178	0.178	1.246	1097.3	24000	0.0152	0.019	1101
1172	18/19	0.178	0.178	1.246	1095.5	29500	0.0159	0.0198	1080
1197	30/7	0.1799	0.1799	1.259	1120.8	24500	0.0148	0.0187	1115
1197	18/19	0.1799	0.1799	1.259	1118.9	30200	0.0156	0.0194	1094
1280	30/7	0.186	0.186	1.302	1198.5	26200	0.0139	0.0175	1160
1280	18/19	0.186	0.186	1.302	1196.5	32200	0.0146	0.0182	1139
1361	42/19	0.1494	0.1494	1.344	1273.6	30300	0.0133	0.0168	1196
1527	42/19	0.1582	0.1582	1.424	1428.8	33600	0.0118	0.0151	1314
1703	42/19	0.1671	0.1671	1.504	1593.5	37500	0.0106	0.0137	1363
1933	42/19	0.178	0.178	1.602	1808.8	42500	0.00936	0.0123	1465
2267	42/19	0.1928	0.1928	1.735	2142	49900	0.00806	0.0108	1594
2493	72/19	0.1655	0.1655	1.821	2356.9	50400	0.00722	0.0099	1687
2493	54/37	0.1655	0.1655	1.821	2354.5	57600	0.00743	0.0101	1670

Tabla 19. Conductores ACAR y sus principales características.

B. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE SERVIDOR XAMPP.

La instalación de un servidor web no suele ser fácil y se complica aún más si se desea agregar un servidor de bases de datos y algún lenguaje de programación orientado al desarrollo web. Uno de los servidores web más utilizado es el Apache, desarrollado y mantenido por una comunidad abierta de desarrolladores. Por otro lado, MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario. MySQL funciona en una gran variedad de plataformas como Linux, Mac OS X, Solaris, Symbian, SunOS, Windows, etc.

En cuanto a los lenguajes de programación, Perl es un lenguaje muy utilizado en desarrollo web. Se trata de un lenguaje de programación que toma características de C. Respecto a PHP, se trata de un lenguaje de programación interpretado, diseñado especialmente para desarrollo web y que puede ser embebido dentro de código HTML. Generalmente se ejecuta en un servidor web, tomando el código en PHP como su entrada y creando páginas web como salida. Puede ser desplegado en la mayoría de los servidores web y en casi todos los sistemas operativos y plataformas sin costo alguno. El gran parecido que posee PHP con los lenguajes más comunes de programación estructurada, como C y Perl, permiten a la mayoría de los programadores crear aplicaciones complejas con una curva de aprendizaje muy corta.

XAMPP es una forma fácil de instalar la distribución Apache que contiene MySQL, PHP y Perl. XAMPP es realmente simple de instalar y usar - basta descargarlo, extraerlo y comenzar.

En este momento hay cuatro versiones de XAMPP:

- XAMPP para Windows
- XAMPP para Linux
- XAMPP para Mac OS X
- XAMPP para Solaris

A continuación se proporcionan los pasos principales para la descarga, instalación y configuración de XAMPP en el sistema operativo Windows:

1. Descarga de XAMPP

La última versión disponible (hasta el mes de julio de 2013) de XAMPP para Windows (compatible con las versiones 98, 2000, XP, Vista, 7 y 8), se puede descargar de la siguiente dirección electrónica:

<http://www.apachefriends.org/en/xampp-windows.html>



Figura 72. Visualización del sitio de descarga de XAMPP para Windows.

Esta versión incluye:

- Apache 2.4.4
- MySQL 5.5.32
- PHP 5.4.16
- phpMyAdmin 4.0.4
- FileZilla FTP Server 0.9.41
- Tomcat 7.0.41 (con mod_proxy_ajp como conector)
- Strawberry Perl 5.16.3.1 Portable
- XAMPP Control Panel 3.2.1 (por hackattack142)

2. Instalando XAMPP

Una vez obtenido el instalador, se ejecuta y por si solo se encargará de todo. En primer lugar pregunta el idioma del instalador, y posteriormente dónde instalar XAMPP:



Figura 73. Selección de idioma del instalador de XAMPP para Windows.

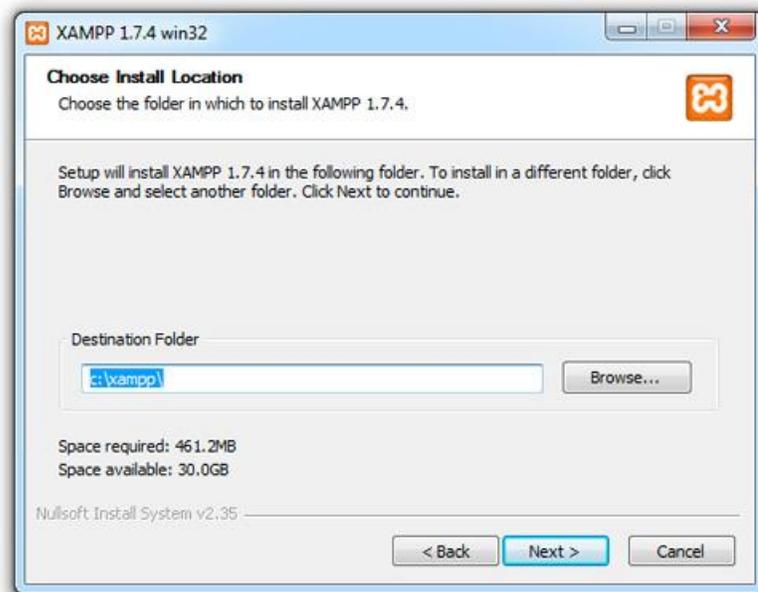


Figura 74. Selección de la ubicación de la carpeta de instalación de XAMPP para Windows.

Conviene pulsar Siguiente (Next) en las diferentes ventanas que mostrará el instalador a lo largo del proceso. La instalación por defecto funciona perfectamente, de esta manera se evita futuros errores. Se continúa los pasos dando click en Install, aparecerán algunas ventanas CMD incluida la de Firewall en Windows Vista, Windows 7 y Windows 8

donde se debe permitir el acceso, pues es una aplicación que requerirá permisos de lectura o escritura remota según sea necesario.



Figura 75. Habilitación de permisos del Firewall de Windows para la habilitación de puertos de red.

3. Arranque de los servicios de XAMPP

Después de finalizada la instalación, XAMPP se puede encontrar en Inicio | Programas | XAMPP. También se puede utilizar el Panel de Control XAMPP para iniciar o detener todos los servicios del programa, La forma más sencilla de lanzar XAMPP es mediante dicho panel de control de XAMPP que se instala junto con el resto del software.

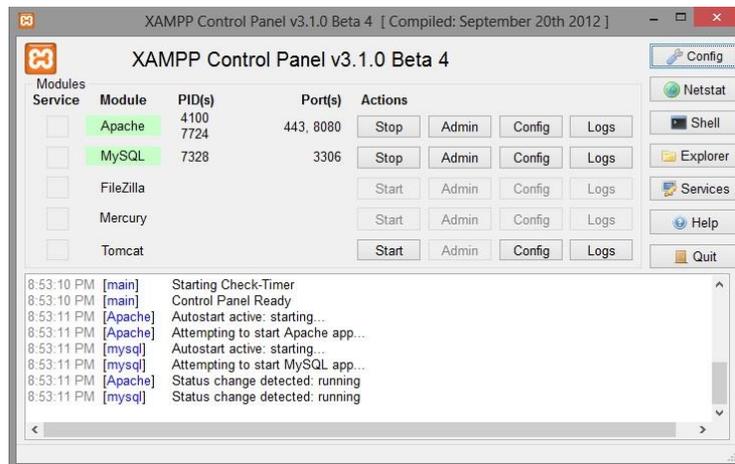


Figura 76. Visualización del Panel de Control de XAMPP.

El panel de control nos permite lanzar los diversos servicios (Apache y MySQL son los que interesan en este caso).

4. Comprobando la instalación del servidor web

La mejor manera de probar XAMPP es conectarse al servidor que acabamos de montar. Para eso, lanzamos un navegador (Firefox, Safari, Internet Explorer, Opera, etc.) y conectamos con **http://localhost**

En algunos casos, es posible que nuestra máquina no nos conecte bien con **http://localhost** y en ese caso, daremos la dirección IP directamente (es equivalente) **http://127.0.0.1**

Tras conectarnos, podremos ver la página de bienvenida de XAMPP:

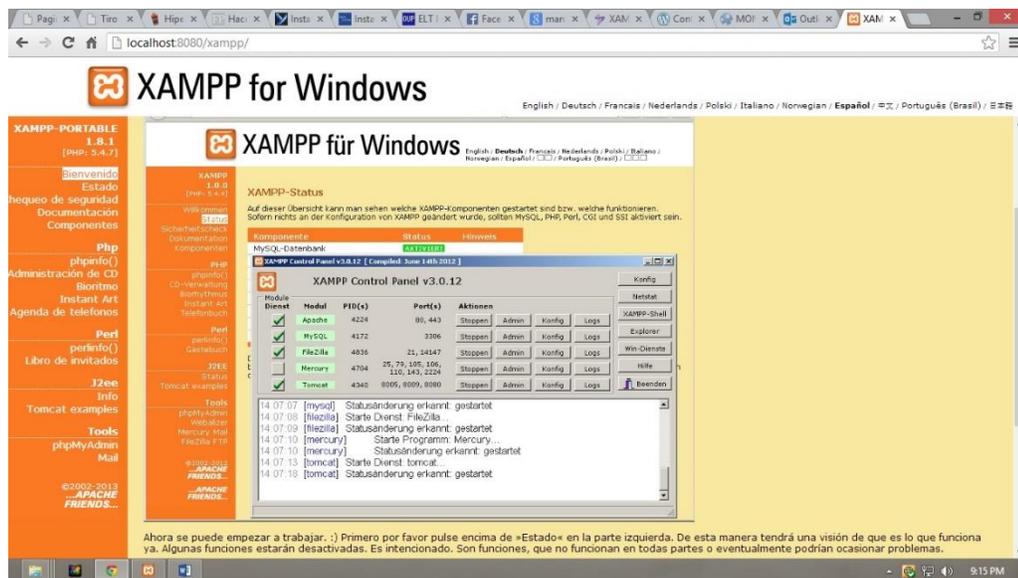


Figura 77. Página principal del servidor XAMPP para Windows.

Para probar la funcionalidad de XAMPP se puede utilizar las demostraciones a las que se puede acceder a través de la página de bienvenida.

Para la creación y prueba de páginas web hechas por el usuario, ahora sólo hay que guardar los archivos del sitio creado dentro de la carpeta `c:\xampp\htdocs\` para que puedan ser vistos desde `http://localhost/` en cualquier navegador instalado en el sistema.

La carpeta xampp contiene todo lo necesario para poner en marcha un servidor de páginas dinámicas instalado en modo local, así que tiene un servidor Apache que trabaja con el lenguaje PHP y un gestor de base de datos MySQL. Además tiene otras cosas, algunas tan interesantes como phpMyAdmin, una aplicación que nos permite gestionar nuestras bases de datos en modo gráfico, de la cual se tienen más detalles posteriormente.

También se pueden crear más páginas web y guardarlas en más carpetas dentro de ésta, y la forma de visualizar por ejemplo si se tiene el archivo `c:\xampp\htdocs\public_html\index.php`, se puede visualizar desde Internet Explorer o Firefox sin problemas escribiendo `http://localhost/public_html/index.php`.

5. Seguridad del servidor web

XAMPP no es un producto para utilizarse en entornos de producción sino por desarrolladores en un entorno de desarrollo. Por esta razón, la configuración por defecto tiene como objetivo la facilidad de instalación y uso.

Como contrapartida, XAMPP presenta algunas carencias de seguridad, como que la cuenta de administrador de MySQL no tiene clave, o que phpMyAdmin es accesible desde la red. Así pues, antes de usar XAMPP para publicar en la red, es necesario reforzar la seguridad de los servidores (Apache y MySQL). Para esto, conviene seguir las indicaciones dadas en <http://www.apachefriends.org/en/xampp-windows.html#1221>

C. CREACIÓN DE BASES DE DATOS Y PROCEDIMIENTO DE EJECUCION DEL PROGRAMA DE FORMA LOCAL.

1. phpMyAdmin

phpMyAdmin es una herramienta escrita en PHP con la intención de manejar la administración de MySQL a través de páginas web, utilizando Internet. Actualmente puede crear y eliminar Bases de Datos, crear, eliminar y alterar tablas, borrar, editar y añadir campos, ejecutar cualquier sentencia SQL, administrar claves en campos, administrar privilegios, exportar datos en varios formatos y está disponible en 62 idiomas. Se encuentra disponible bajo la licencia GPL.

Es una gran alternativa en el uso de MySQL, ya que anteriormente las bases de datos se construían y manipulaban desde consola (o línea de comandos), por lo cual la manipulación de bases de datos con múltiples campos tenía un grado de dificultad considerable.

Pero, por cuestión de productividad y eficiencia, no suele ser práctico trabajar de esa manera, siendo así, phpMyAdmin es una gran herramienta en la creación y manipulación de bases de datos de MySQL. phpMyAdmin se instala junto con XAMPP, por lo que lo único que se debe hacer es empezar a usarlo, phpMyAdmin no es exactamente un programa, ya que éste se muestra como un conjunto de páginas web, pero funciona como tal, y desde ahí podemos hacer todo tipo de operaciones en la base de datos.

Antes de continuar hay que mencionar aspectos importantes de la instalación y configuración de phpMyAdmin (los cuales se generan por defecto con la instalación estándar de XAMPP), como los son los datos de servidor, usuario y contraseña; necesarios para el acceso y manipulación de bases de datos.

- **Servidor:** Es el nombre de la máquina en la que está el programa MySQL. Si trabajamos en local, es decir en nuestro ordenador con XAMPP el nombre es localhost

- Usuario: Dentro de MySQL puede haber uno o varios usuarios, Cada uno de ellos tiene un nombre diferente. Si trabajamos en local, el usuario por defecto es root.
- Contraseña: Cada usuario tiene una contraseña, trabajando en local, el usuario por defecto "root" no tiene contraseña, sin embargo siempre hay que ponerla por lo que pondremos un valor vacío: "".

Para abrir phpMyAdmin, basta con hacer “click” en la opción phpMyAdmin del menú de XAMPP Server, o acceder desde un navegador web a la dirección **<http://localhost/phpmyadmin/>**. Una característica destacable en phpMyAdmin es su función de importación. Con esto, se pueden importar base de datos MySQL de copia de seguridad de forma fácil y se puede importar un volcado SQL o CSV. También, se pueden exportar las bases de datos en formato CSV, SQL, XML, Excel y otros.

2. Creación de base de datos de conductores.

Para crear una nueva base de datos en phpMyAdmin basta con escribir el nombre de la nueva base de datos en el cuadro de texto que aparece bajo “Crear base de datos” en la página principal y pulsar el botón Crear.

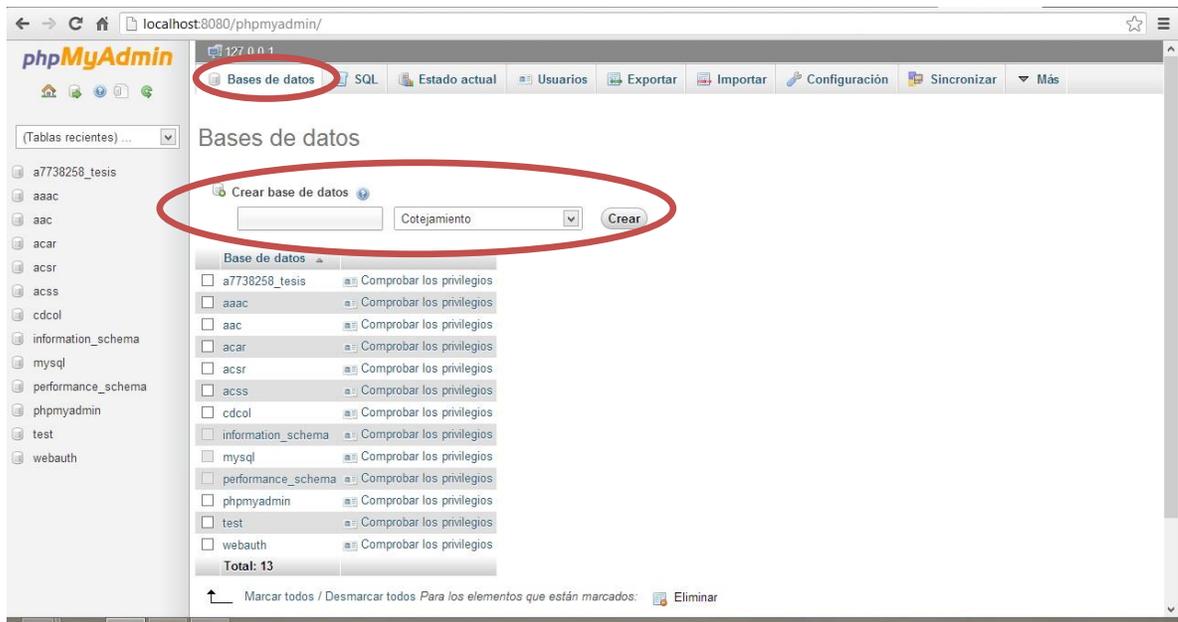


Figura 78. Selección de opciones necesarias para la creación de una nueva base de datos en phpmyAdmin.

Con la selección de las opciones mostradas la nueva base de datos se creará automáticamente. Una vez se ha creado la base de datos, para el caso de este trabajo de graduación, el archivo definitivo de la base de datos que se está utilizando es llamado a3344146_tesis, los datos fueron importados desde tablas obtenidas de importar archivos en formato .csv los cuales contienen toda la información de los conductores utilizados comúnmente para aplicaciones de transmisión y distribución de energía eléctrica. A continuación se detalla el proceso previo:

Como primer paso se consultó catálogos de conductores, para el caso, la sección de catálogo Aluminum Bare Transmission and Distribution Cable (Cables de Aluminio Desnudo para Transmisión y Distribución) de la compañía estadounidense Southwire (<http://www.southwire.com/products/ProductCatalog.htm>). Dentro de esa sección se consultó y se descargó los catálogos de los cables de tipo AAAC, AAC, ACSR, ACSS y ACAR.

Como segundo paso, la información contenida en los catálogos (en formato .pdf) se transfirió separadamente según cada tipo de cable a archivos en Microsoft Excel para luego ser manipulados y guardados en formato .csv. Desde phpMyAdmin se importó los archivos .csv para crear las tablas de datos previas, obteniendo un total de seis tablas de datos (aaac6201.frm, aac.frm, aac_tw.frm, acsr.frm, acss.frm y acar.frm).

Tabla	Acción	Filas	Tipo	Cotejamiento	Tamaño	Residuo a depurar
aaac6201	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	14	InnoDB	latin1_swedish_ci	1.6 KB	-
aac	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	56	InnoDB	latin1_swedish_ci	1.6 KB	-
aac_tw	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	37	InnoDB	latin1_swedish_ci	1.6 KB	-
acar	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	29	InnoDB	latin1_swedish_ci	1.6 KB	-
acsr	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	76	InnoDB	latin1_swedish_ci	1.6 KB	-
acss	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	62	InnoDB	latin1_swedish_ci	1.6 KB	-
6 tablas	Número de filas	274	InnoDB	latin1_swedish_ci	9.6 KB	0 B

Figura 79. Tablas necesarias para la creación de la base de datos de conductores.

Finalmente se creó una base de datos, conteniendo las tablas mencionadas anteriormente en un solo archivo, al cual llamamos a3344146_tesis, y una vez ha sido finalizada su edición, es guardada como a3344146_tesis.sql, lo cual facilita que pueda ser insertada en otro servidor, simplemente importando ese archivo en formato .sql

3. Importar base de datos

Al tener construida la base de datos para el Software Uso Didáctico para Calculo Mecánico de Conductores y tener la necesidad de utilizarla en otro servidor para realizar más pruebas de las páginas web creadas, es necesario importarla, el proceso es sumamente sencillo gracias a la aplicación phpMyAdmin.

Hay que importar un archivo que se ha generado previamente, se deberá tener la copia de la base de datos en un archivo con extensión .sql, .zip, .tar.gz o .tgz en su disco duro.

Una vez dentro del phpmyadmin, se debe seleccionar la base de datos creada, seleccionada la base de datos, se debe hacer clic en el enlace "Importar":

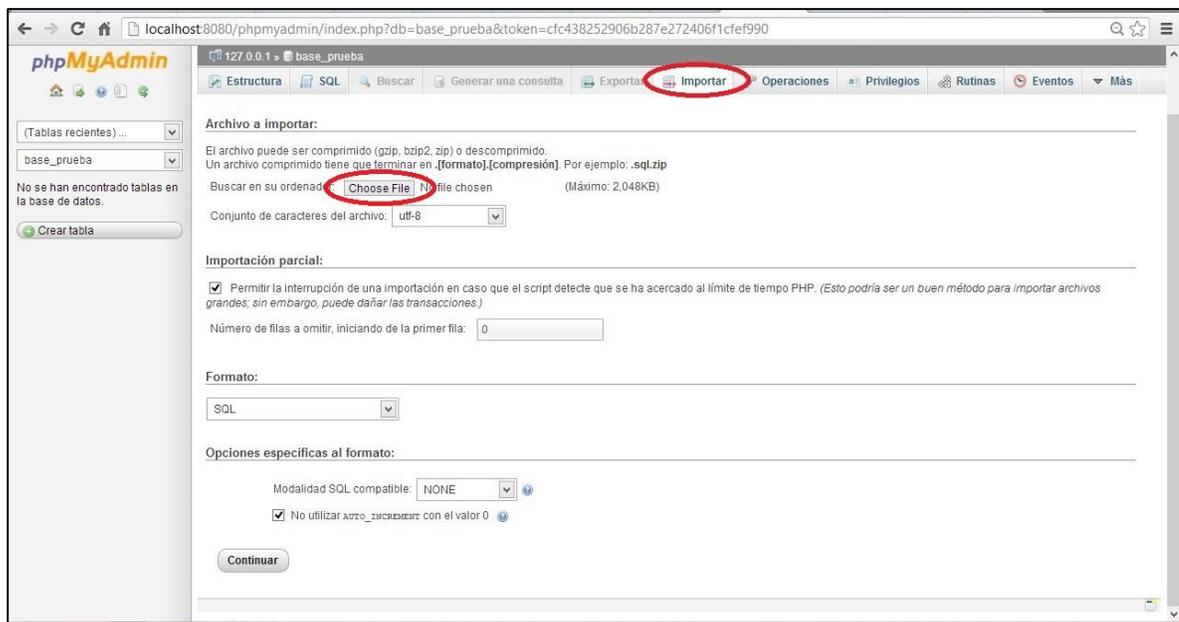


Figura 80. Selección de la opción de importación de base de datos en phpMyAdmin.

Mostrará la ventana donde permite examinar en el disco duro la ubicación del archivo de la base de datos a importar. Hacer click en “Choose File” (“Examinar”), seleccionar el archivo y aceptar haciendo click en Open (Abrir) sobre el archivo deseado.

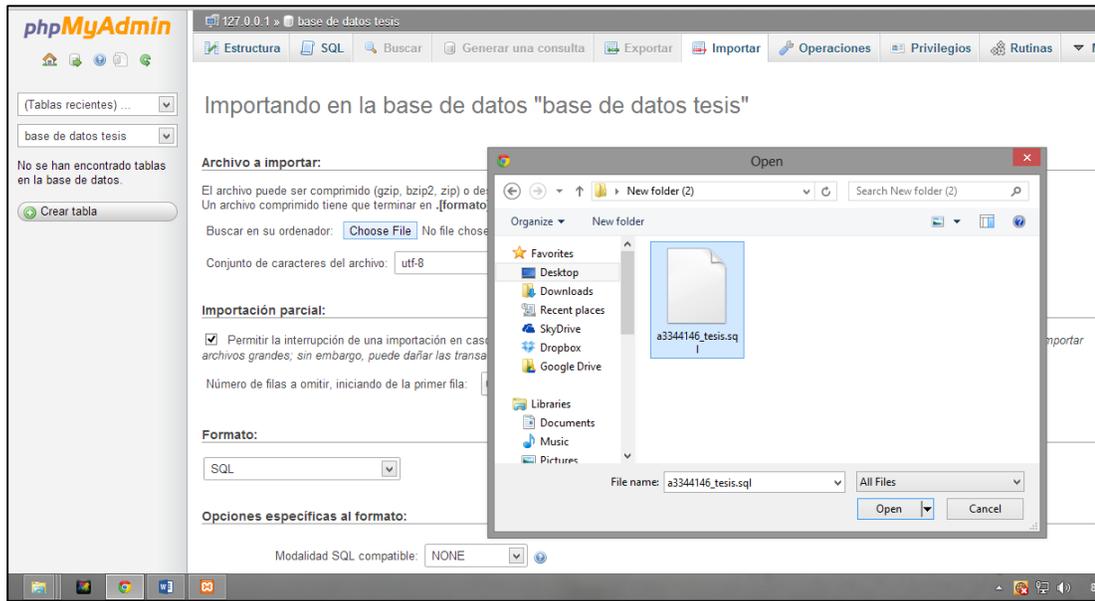


Figura 81. Selección de archivo .sql para importar base de datos.

Hecho esto sólo queda hacer clic en "Continuar" y esperar que se cargue el archivo. Tardará unos cuantos segundos, dependiendo del tamaño del archivo.

Si el proceso se realiza de manera exitosa, nos mostrara la siguiente confirmación:

✓ La importación se ejecutó exitosamente, se ejecutaron 25 consultas. (a3344146_tesis.sql)

Podremos observar las bases de datos cargadas en el servidor:

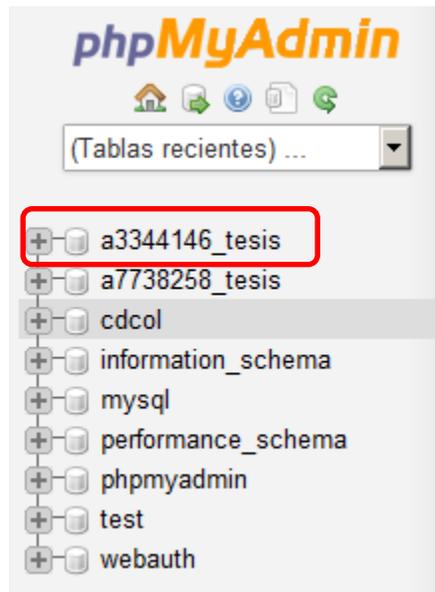


Figura 82. Lista de bases de datos instaladas en phpMyAdmin.

Como podemos observar, ya aparece la base de datos cargada. Si queremos verificar la información de dicha base de datos, damos un click, y observaremos lo siguiente:

Tabla	Acción
<input type="checkbox"/> aaac6201	Examinar Estructura Buscar
<input type="checkbox"/> aac	Examinar Estructura Buscar
<input type="checkbox"/> aac_tw	Examinar Estructura Buscar
<input type="checkbox"/> acar	Examinar Estructura Buscar
<input type="checkbox"/> acsr	Examinar Estructura Buscar
<input type="checkbox"/> acss	Examinar Estructura Buscar
<input type="checkbox"/> usuarios	Examinar Estructura Buscar
7 tablas	Número de filas

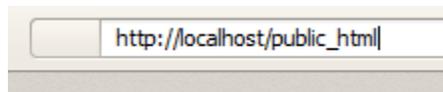
Figura 83. Tablas existentes dentro de la base de datos a3344146_tesis.

4. Ejecución del programa

Después de haber cargado la base de datos de manera exitosa, copiamos la carpeta “public_html”, en la siguiente ubicación:

C:\xampp\htdocs

Después de haber realizado lo anterior, nos dirigimos al navegador, y digitamos lo siguiente:



El resultado será el siguiente:



Figura 84. Pantalla inicial del Software de Cálculo Mecánico de Líneas de Transmisión y Distribución (Inicio de Sesión).

Para poder ingresar, los datos de acceso serán los siguientes:

Usuario: admin

Password: 123456

Finalmente, podremos usar la aplicación:



Figura 85. Pantalla principal del Software de Cálculo Mecánico de Líneas de Transmisión y Distribución.

D. ESTRUCTURA BASICA DE ARCHIVOS DEL PROGRAMA DE CÁLCULO MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y ARCHIVOS.

Como se mencionó anteriormente, las definiciones a evaluar abarcan temas de cálculo mecánico para vanos a nivel, vanos a desnivel, sobrecarga de conductores, ecuaciones de cambio de estado y además hipótesis de cálculo mecánico. Cada una de las cuales se explicó detalladamente en el Capítulo 2 de este trabajo de graduación, dentro de este apartado se explicará la metodología utilizada para incorporar cada una de esas definiciones al software de cálculo mecánico de conductores construido.

1. Carpeta principal del programa.

En primer lugar cabe mencionar que se creó una carpeta principal para todo el programa, llamada tesis y que está situada en la dirección `c:\xampp\htdocs\tesis\` dentro de la cual estarán contenidas otras carpetas, la mayoría de ellas corresponde a una definición o parámetro mecánico contenido en el software de cálculo mecánico de conductores, y otras tantas contienen archivos necesarios para el correcto funcionamiento del programa y control de información y administración de usuarios. La distribución de las carpetas según su nombre y contenido de la definición del parámetro mecánico a ésta, es la siguiente:

Nombre de la carpeta	Parámetro mecánico asociado
Vanos a Nivel	
n1a	Catenaria en conductor
n2b	Tiro en el conductor
n3c	Longitud del conductor
n4d	Flecha en el conductor
n5e	Tiro en cualquier punto de la abscisa “x”
n6f	Tiro vertical en el conductor
n7g	Esfuerzo en el conductor
n8h	Tiro y esfuerzo en el extremo del conductor
n9i	Catenaria en función del tiro máximo
Vanos a Desnivel	
d1a	Ecuación de Catenaria en conductor
d2b	Ecuación de longitud en el conductor
d3c	Ecuación de desnivel
d4d	Longitud del conductor en función del desnivel
d5e	Flecha y saeta en función del desnivel
d6f	Catenaria en función de la longitud del conductor
d7g	Ubicación Cartesiana en los extremos
d8h	Catenaria en función del tiro máximo
Sobrecargas en Conductores	
s1a	Peso unitario resultante
s2b	Presión de viento
s3c	Velocidad de viento
s4d	Presión unitaria de viento
s5e	Peso unitario de hielo
Ecuación de Cambio de Estado (ECE)	
ecen	ECE para vanos a nivel
eced	ECE para vanos a desnivel
Hipótesis de Cálculo Mecánico (Vano Ideal de Regulación)	
hcma	VIR para vanos a nivel
	VIR para vanos a desnivel
Archivos complementarios para el funcionamiento del programa.	
fpdf	Módulo para la creación de presentación de resultados en formato .pdf

class	Contiene los archivos necesarios para la creación de cuenta de acceso del programa
Conexión	Contiene los archivos necesarios para permitir el acceso de usuarios registrados
IMAGENES	Contiene las imágenes de presentación que son cargadas en pantalla para cada definición
INDEX	Contiene los archivos de enlace, posterior a la identificación y verificación de un usuario con acceso permitido

Tabla 20. Carpetas de archivos contenidas para el funcionamiento de todo el software de cálculo mecánico de conductores.

2. Estructura básica de carpetas secundarias.

A continuación se proporciona la estructura básica del contenido de cada carpeta “secundaria”, como ejemplo se tomará la carpeta llamada *n1a*, la cual posee los archivos necesarios para desarrollar el cálculo de la catenaria en conductores en vanos a nivel (tanto para desplegar la información general en pantalla, recolectar información, procesar datos y finalmente presentar los resultados obtenidos). El contenido exacto de archivos es el siguiente:

- portada.html
- tabla.html
- presentación.html
- index.php
- tabla.php
- fig_n_1.png
- ec_1.png
- carpeta llamada “conductores”, la cual contiene los archivos que directamente recopilan datos y realizan los cálculos:
 - aaac.php
 - aac.php
 - acar.php
 - acsr.php
 - acss.php
 - conexion.php
 - consulta.php
 - consultab.php
 - resultado.php
 - resultadob.php

La función y contenido de cada uno de estos archivos es el siguiente:

presentacion.html: Este archivo es el encargado de dividir la pantalla principal en dos ventanas principales.

```
<!DOCTYPE html
PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Frameset//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-frameset.dtd">
<html>
<head>
<title> Parametro de la Catenaria </title>
</head>
<frameset cols="50%, 50%">
<frame src="portada.html" name="principal">
<frame src="tabla.html" name="menu">
</frameset>
<noframes>
</noframes>
</html>
```

portada.html: Este archivo se encargada de la presentación de imágenes (fig_n_1.png y ec_1.png) en el lado izquierdo de la pantalla que ayudan a visualizar gráficamente el concepto o definición a evaluar y la ecuación que le define matemáticamente.

```
<html>
<head>
<title> Parametro de la Catenaria en Vanos a Nivel </title>
</head>
<body>
<br/>
<h2><div align="center"> Parametro de la Catenaria en Vanos a Nivel </div></h2>
<br/>
<div align="center"><IMG SRC="fig_n_1.png">
<br/>
<div align="center"><IMG SRC="ec_n_1.png">
</body>
</html>
```

index.php: Utiliza la función: header la cual permite redireccionar la página que se esté mostrando hacia la página indicada (presentación.html).

```
<?php
header('Location: presentacion.html');
?>
```

tabla.html: Este archivo es el encargado de proporcionar al usuario la opción de realizar un cálculo utilizando la información de la base de datos de conductores creada o realizar cálculos sin utilizarla e ingresar los datos según crea necesario

```
<html >
<head>
  <script type="text/javascript" src="../validar.js"></script>
  <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8" />
  <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=ISO-8859-1" />
  <title> Parametro de la Catenaria en Vanos a Nivel </title>
</head>
<body >
  <form id='form1' name='form1' method='post' action='tabla.php' onsubmit="return
validar(this)">
    </br>
    <h2><div align="center">Parametro de la Catenaria en Vanos a
Nivel</div></h2>
    </br>
    <h4><div align="left">Utilizando la base de datos:</div></h4>
    <div align='center'><table border='0'>
    <tr>
      <td>
        <div align='center'> Seleccione el Tipo de Conductor </div>
      </td>
      <td>
        <label><div align='center'> <select name='eleccion'>
        <option value="0"> Tipo de Conductor </option>
          <option>AAAC </option>
          <option>AAC </option>
          <option>ACAR </option>
          <option>ACSR </option>
          <option>ACSS </option>
        </select>
      </td>
    </tr>
  </div>
  </div>
```

```

                </div></label>
            </td>
        </tr>
        <tr>
            <td colspan='2'>&nbsp;  </td>
        </tr>
        <tr>
            <td colspan='2'>
                <div align='center'>
                    <input type='submit' name='Procesar' id='Procesar'
value='Aceptar' />
                </div>
            </td>
        </tr>
    </table></div>
</br></br>
</form>
<form id='form2' name='form2' method='post' action='tabla.php'>
<h4><div align="left">Sin utilizar la base de datos:</div></h4>
<div align='center'>
    <input type='submit' name='Procesar2' id='Procesar2' value='Aceptar'
</form>
</body>
</html>

```

tabla.php: Este archivo se encarga de procesar la opción seleccionada, redirigir al usuario hacia la carpeta conductores y luego realizar la consulta a la base de datos si el usuario así lo requiere según la opción seleccionada, o hacia el formulario de captura de información si el usuario decide no utilizar la base de datos.

```

<?php
$eleccion = $_POST['eleccion'];
$a      = $_POST['Procesar'];
$b      = $_POST['Procesar2'];
while (ob_get_level()){
    ob_end_clean();
    header("Content-Encoding: None", true);
}

```

```

if ($a!=""){

    if ($seleccion === 'AAAC') {
        header ('Location:conductores/aaac.php');
    }
    else
    if ($seleccion === 'AAC') {
        header ('Location:conductores/aac.php');
    }
    else
    if ($seleccion === 'ACAR') {
        header ('Location:conductores/acar.php');
    }
    else
    if ($seleccion === 'ACSR') {
        header ('Location:conductores/acsr.php');
    }
    else
    if ($seleccion === 'ACSS') {
        header ('Location:conductores/acss.php');
    }
}

if ($b!=""){
    header ('Location:conductores/consultab.php');
}
?>

```

aaac.php, aac.php, acar.php, acsr.php y acss.php: Poseen similar función, la cual es conectar con los campos de la respectiva tabla dentro de la base de datos según el tipo de conductor:

```

<html>
<head>
    <title> Ecuacion de la Catenaria para Vanos a Nivel </title>
</head>

<body>

```

```

</br>
<h2><div align="center">Parametro de la Catenaria en Vanos a Nivel</div></h2>
</br>
<h2><div align="left">Datos Generales: </div></h2>
<form name='id' method='post' action='<?php echo $_SERVER['PHP_SELF']; ?>'>
    <table align="center" border="0">
        <tr>
            <th>Nombre del conductor:</th>
            <th><select name='id'><?php include("consulta.php");echo
tabla(aaac6201); ?></select></th>
            <th><input type='submit' name='enviar' value='Importar Dato' /></th>
        </tr>
    </table>
</form>

</br>
<div align="center">
    <a href=" ../presentacion.html" target="_parent"><input type="button"
value="Inicio"></a>
</div>
</br>

<?php
extract($_POST);
if (isset($id)){
    $campo='wepemil , cowo';
    $tabla='aaac6201';
    $clase='AAAC';
    buscar($campo,$tabla,$id,$clase);
}
?>
</body>
</html>

```

conexion.php: Establece la conexión con la base de datos además verifica si la conexión es exitosa, en caso contrario envía una advertencia del aparecimiento de algún error en la conexión.

```
<?php
```

```

class Conexion
{
    private $_servidor;
    private $_usuario;
    private $_password;
    private $_baseDeDatos;
    private $_conectar;

    public function __construct($servidor,$usuario,$password,$baseDeDatos)
    {
        $this->_servidor=$servidor;
        $this->_usuario=$usuario;
        $this->_password=$password;
        $this->_baseDeDatos=$baseDeDatos;

        $this->_conectar=mysql_connect($this->_servidor,$this->_usuario,$this->_password)
            or die ('Error no se ha podido establecer la conexion');

        mysql_select_db($this->_baseDeDatos,$this->_conectar)
            or die ('Error no se puede seleccionar la base de datos');

        return $this->_conectar;
    }

    public function __destruct()
    {
        mysql_close($this->_conectar)
            or die ('Error no se puede finalizar conexion');
    }
}

?>

<?php
    $conexion=new Conexion('localhost','root','','a7738258_tesis');
?>

```

consulta.php: Extrae datos solicitados por el programa según el campo en el cual están localizados, además realiza algunos cálculos intermedios, sobre todo referentes a equivalencias entre sistemas de medición, según sea necesario para cada definición o variable, para el posterior procesamiento junto con la información adicional introducida por el usuario. Cabe mencionar que el archivo llamado “consultab.php” realiza una función similar, es el encargado de consultar los datos pero sin utilizar información proveniente de la base de datos de conductores, es decir, el usuario ingresa todos los datos necesarios para los cálculos respectivos.

```
<head>
    <script type="text/javascript" src="../../validar.js"></script>
</head>

<?php
include("conexion.php");

function tabla($tabla){

    $sql = "select * from $tabla";
    $resultado = mysql_query($sql) or die ("Error al cargar los calibres ".mysql_error());
    echo'<option value=0>Nombre del Conductor</option>';
    while ($campo = mysql_fetch_array($resultado)){
        echo "<option value='$campo[id]'$>$campo[cowo]</option>";
    }
}

?>

<?php

function buscar($campo,$tabla,$id,$clase){

    $sql = "select $campo from $tabla where id=$id ";
    $resultado = mysql_query($sql)or die ("Error de Busqueda ".mysql_error());
    while ($campo = mysql_fetch_array($resultado)){

?>
```

```

<form id="formulario1" name="formulario1" method="post" action="resultado.php"
enctype="multipart/form-data" onsubmit="return validar1(this)"/>
    <br>
    <table align="center" border="0">
        <tr>
            <th align="left"><label for="clase">Tipo de conductor:
</label></th><th><input id="clase" name="clase" type="text" value="<?php echo $clase
?>"/></th>
        </tr>
        <tr>
            <th align="left"><label for="cowo">Conductor seleccionado:
</label></th><th><input id="cowo" name="cowo" type="text" value="<?php echo
$campo["cowo"] ?>"/></th>
        </tr>
        <tr>
            <th align="left"><label for="wepemil">Peso Unitario del conductor,
<i>Wo</i>: </label></th><th><input id="peso" name="peso" type="text" value="<?php echo
$campo["wepemil"] * (1 / 672.084); ?>"/></th><th><sup>kg</sup>&frasl;<sub>m</sub></th>
        </tr>
        <tr>
            <th align="left"><label for="tipo"> Tiro en el Vertice, <i>To</i>:
</label></th><th><input id="tiro" name="tiro" type="text" maxlength="255"
value=""/></th><th><sup>kg</sup></th>
        </tr>
    </table>

<br><br>

<table align="center" border="0">
    <tr>
        <th ><input id="enviar" type="submit" name="submit" value="Calcular"
/></th>
        <th>&nbsp; &nbsp; &nbsp; &nbsp; &nbsp; </th>
        <th ><input id="doc" type="submit" name="doc" value="Generar PDF"
/> </th>
    </tr>
</table>

<?php

```

```

    }
}

?>

<?php

function buscar2($campo,$tabla,$id,$clase){

    $sql = "select $campo from $tabla where id=$id ";
    $resultado = mysql_query($sql)or die ("Error de Busqueda ".mysql_error());
    while ($campo = mysql_fetch_array($resultado)){

?>
    <form id="formulario1" name="formulario1" method="post" action="resultado.php"
    enctype="multipart/form-data" onsubmit="return validar1(this)"/>

        <br><br>

        <table align="center" border="0">
        <tr>
            <th align="left"><label for="clase">Tipo de conductor:
        </label></th><th><input id="clase" name="clase" type="text" value="<?php echo $clase
        ?>"/></th>
        </tr>
        <tr>
            <th align="left"><label for="cowo">Conductor seleccionado:
        </label></th><th><input id="cowo" name="cowo" type="text" value="<?php echo
        $campo["cowo"] ?>"/></th>
        </tr>
        <tr>
            <th align="left"><label for="wepemil">Peso Unitario del conductor,
        <i>Wo</i>: </label></th><th><input id="peso" name="peso" type="text" value="<?php echo
        $campo["wepemilto"] * (1 / 672.084); ?>"/></th><th><sup>kg</sup>&frasl;<sub>m</sub></th>
        </tr>
        <tr>
            <th align="left"><label for="tiro"> Tiro en el Vertice, <i>To</i>:
        </label></th><th><input id="tiro" name="tiro" type="text" maxlength="255"
        value=""></th><th><sup>kg</sup></th>
        </tr>

```

```

        </table>
        <br> </br>

        <table align="center" border="0">
        <tr>
            <th><input id="enviar" type="submit" name="submit" value="Calcular"
/></th>
            <th>&nbsp; &nbsp; &nbsp; &nbsp; </th>
            <th><input id="doc" type="submit" name="doc" value="Generar PDF"
/> </th>
        </tr>
        </table>

<?php
    }
}

?>

```

resultado.php: En este archivo es donde se realizan los cálculos, y además ejecuta la forma de presentarlos según el usuario ha seleccionado previamente durante la fase de inserción de datos. El archivo resultadob.php realiza una función similar pero los datos que utiliza provienen totalmente del usuario.

```

<html>
<head>
    <title> Ecuacion de la Catenaria para Vanos a Nivel </title>
</head>
<body>
<?php

$a = $_POST['submit'];
$b = $_POST['doc'];

while (ob_get_level()){
    ob_end_clean();
    header("Content-Encoding: None", true);
}

```

```

if(isset($a) OR isset($b)){
    $peso = htmlentities($_POST['peso']);
    $tiro = htmlentities($_POST['tiro']);
    $cowo = htmlentities($_POST['cowo']);
    $clase = htmlentities($_POST['clase']);
    $c = $tiro / $peso;
}

if ($a!=""){
?>

</br>
<h4> Parametro de la catenaria: </h4>
    <!-- Campo operacion -->
    <table border="0" cellpadding="6" align="center">
        <tr>
            <th align="left"> <label for="operacion">Parametro de la
Catenaria C': </label></th><th><input id="operacion" name="operacion" type="text"
maxlength="255" value="<?php echo ($tiro / $peso) ?>" /></th><th><sup>m</sup></th>
        </tr>
    </table>
    <!-- Boton para inicio-->
    <br></br>

    <div align="center">
        <a href=" ../index.php" target="_parent"><input type="button"
value="Inicio"></a>
    </div>
    <?php
}

if ($b!=""){
require('../fpdf/fpdf.php');
$pdf = new FPDF();
$pdf->AddPage();
$pdf->SetFont('Arial','B',12);
$pdf->Cell(55,5,'Ecuacion de la catenaria ',1,1,'C');
$pdf->Ln('7');
$pdf->Write(10,"- Tipo de Conductor: $clase");
$pdf->Ln('7');

```

```
$pdf->Write(10,"- Conductor Utilizado: $cowo");
$pdf->Ln('7');
$pdf->Write(10,"- Peso unitario en el conductor, (Wo): $peso kg/m");
$pdf->Ln('7');
$pdf->Write(10,"- Tiro en el vertice, (To): $tiro kg");
$pdf->Ln('7');
$pdf->Write(10,"- Parametro de la Catenaria, (C'): $c m");
$pdf->Ln('7');
$pdf->Write(10," ");
$pdf->Ln('7');
$pdf->Write(10," Autores: ");
$pdf->Ln('7');
$pdf->Write(10," Raul Alvarenga");
$pdf->Write(10," , Joel Flores ");
$pdf->Ln('7');
$pdf->Write(10," Escuela de Ingenieria Electrica");
$pdf->Ln('7');
$pdf->Write(10," Universidad de El Salvador");
$pdf->Output();
}
?>
```

```
</body>
</html>
```

E. EJEMPLOS DE APLICACIÓN.

Ejemplo 1.

El peso unitario de 1.25 kg/m, tiro en el vértice de 2500 kg, tendido en un vano 600 m. Determinar la longitud y flecha del mismo.

SOLUCION:

En primer lugar calculamos la catenaria del conductor de la siguiente manera:

$$C = \frac{T_o}{w_0} = \frac{2500}{1.25} = 2000 \text{ m}$$

Utilizando la ecuación aproximada, la ecuación para calcular la longitud del conductor es la siguiente:

$$L' = a + \frac{a^3}{24C^2}$$

$$L' = 600 + \frac{600^3}{24\left(\frac{2500}{1.25}\right)^2} = 602.25 \text{ m}$$

Si utilizamos la fórmula aproximada:

$$f' = \frac{a^2}{8C}$$

Tenemos:

$$f' = \frac{600^2}{8(2000)} = 22.5 \text{ m}$$

Longitud del Conductor en Vanos a Nivel

Inicio Autores Ayuda Demo en MATLAB Administrador Cerrar Sesión

LONGITUD DEL CONDUCTOR EN VANOS A NIVEL

REPRESENTACION GRAFICA:

LONGITUD DEL CONDUCTOR EN VANOS A NIVEL

Peso Unitario del conductor, W_0 : 1.25 kg/m

Tiro en el Vertice, W_0 : 2500 kg

Longitud del vano, a : 600 m

Calcular Generar PDF

Longitud del Conductor en Vanos a Nivel

Inicio Autores Ayuda Demo en MATLAB Administrador Cerrar Sesión

LONGITUD DEL CONDUCTOR EN VANOS A NIVEL

REPRESENTACION GRAFICA:

LONGITUD DEL CONDUCTOR

- Peso unitario en el conductor, W_0 : 1.25 kg/m
- Tiro en el vertice, T_0 (kg): 2500 kg
- Parametro de la Catenaria, C : 2000 m
- Longitud del Vano, a : 600 m
- Longitud del Conductor a Nivel, L : 602.25 m

Autores:
Raul Alvarenga, Joel Flores
Escuela de Ingenieria Electrica
Universidad de El Salvador

Ejemplo 2.

Determinar el valor de la flecha de un cable tendido en un vano de 900 m con desnivel 180 m, si la longitud del mismo es 930 m con peso unitario de 0.329 kg/m.

SOLUCION.

Con la expresión:

$$q = \frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{a} = \frac{\sqrt{930^2 - 180^2}}{900} = 1.01379$$

Determinamos el valor de z :

$$z = 3.162278 \sqrt{\sqrt{1.2(1.01379) - 0.2} - 1} = 0.28709$$

Por lo tanto el parámetro de la catenaria será:

$$C = \frac{a}{2z} = \frac{900}{2(0.28709)} = 1567.4319 \text{ m}$$

The screenshot shows a web browser window with a URL 'tesis2013eie.site88.net/d7g/presentacion.html'. The page has a blue header with navigation buttons: Inicio, Autores, Ayuda, Demo en MATLAB, Administrador, and Cerrar Sesión. The main content area is titled 'PARAMETRO EN FUNCION DEL DESNIVEL' and contains the following text:

DEFICION TEORICA:
Parámetro de catenaria en función de la longitud.
Para el caso de los siguientes parámetros:

$$q = \frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{a}$$
$$z = 3.162278 \sqrt{\sqrt{1.2q - 0.2} - 1}$$

Se obtiene:

$$C = \frac{a}{2z}$$

Dónde:

On the right side of the page, there is a sidebar with the following information:

Parametro en funcion de la Longitud
- Longitud del Conductor (L): 930 m
- Altura de Desnivel (h): 180 m
- Longitud de Vano (a): 900 m
- Parametro 1 (q): 1.01379375505
- Parametro 2 (z): 0.287093837744
- Parametro de la Catenaria (C): 1567.43176216 m

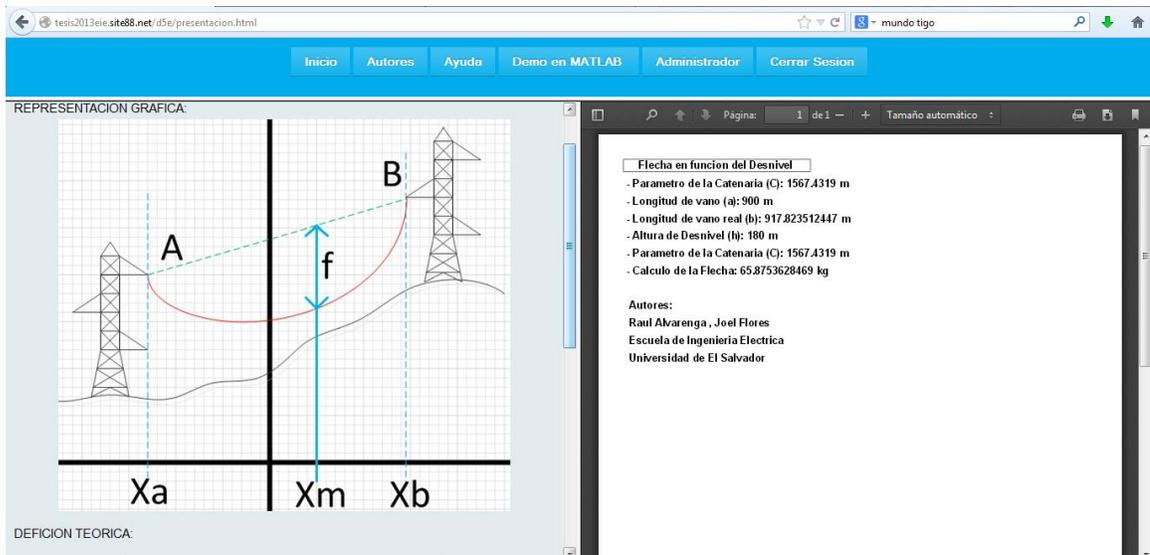
Autores:
Raul Alvarenga , Joel Flores
Escuela de Ingenieria Electrica
Universidad de El Salvador

El vano real, b , será:

$$b = \sqrt{a^2 + h^2} = \sqrt{900^2 + 180^2} = 917.8235 \text{ m}$$

Finalmente, la flecha (aproximada para instalaciones a desnivel) es:

$$f = \frac{ab}{8C} = \frac{900(917.8235)}{8(1567.4319)} = 65.8754 \text{ m}$$



Ejemplo 3.

El conductor Penguin (ACSR, 14.09 mm d_o , 0.43 kg/m), está suspendido en un vano de 1400 m, si a la temperatura de 0 °C, tiene una costra de hielo de 6.35 mm, y un tiro en el vértice de 5291.67 kg, determinar el peso resultante en el conductor.

SOLUCION:

$$w_o = 291 \text{ lbs/ 1000 pie} \equiv 0.43 \text{ kg/m}$$

$$d_o = 0.563 \text{ pulg.} \equiv 14.30 \text{ mm}$$

$$w_h = 0.0028 (e^2 + ed_o) = 0.0028 (6.35^2 + 6.35(14.30)) = 0.3671 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$w_r = \sqrt{(w_o + w_h)^2 + w_v^2} = \sqrt{(0.43 + 0.3671)^2} = 0.797157 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

PESO UNITARIO DE HIELO

REPRESENTACION GRAFICA:

DEFINICION TEORICA:

Presión unitaria de hielo:

$$w_h = 0.0028 (e^2 + ed_o)$$

Peso Unitario de Hielo:

- Tipo de Conductor: ACSR
- Conductor Utilizado: Penguin
- Peso unitario en el conductor, W_o : 0.432981591587 kg/m
- Diametro del conductor, d_o : 14.3002 mm
- Espesor de la costra de hielo, e : 6.35 mm
- Peso unitario de hielo, W_h : 0.367160556 kg/m

Autores:
Raul Alvarenga , Joel Flores
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Universidad de El Salvador