



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
2017**

DQS is member of:



*Formando líderes para la construcción de un  
nuevo país en paz*



## HERRAMIENTA EDUCATIVA EN EL ÁREA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

**AUTOR:**

**HAIVERTH STEWARTH SUAREZ HERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
PAMPLONA, COLOMBIA  
2017**

DQS is member of:



*Formando líderes para la construcción de un  
nuevo país en paz*



## HERRAMIENTA EDUCATIVA EN EL ÁREA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

**AUTOR:**

**HAIVERTH STEWARTH SUAREZ HERNANDEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**DIRECTOR:**

**M.Sc. (c) ING. EDISON ANDRÉS CAICEDO PEÑARANDA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
PAMPLONA, COLOMBIA  
2017**

DQS is member of:



*Formando líderes para la construcción de un  
nuevo país en paz*



## HERRAMIENTA EDUCATIVA EN EL ÁREA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

### TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

#### NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR:

**AUTOR:** HAIVERTH STEWARTH SUAREZ HERNANDEZ \_\_\_\_\_

**DIRECTOR:** EDISON ANDRÉS CAICEDO PEÑARANDA \_\_\_\_\_

**DIRECTOR DE PROGRAMA:** YESID SANTAFE RAMON \_\_\_\_\_

#### JURADO CALIFICADOR:

**PRESIDENTE:** M.Sc PABLO ALEXANDER SANTAFE \_\_\_\_\_

**OPONENTE:** PhD. ANTONIO GAN ACOSTA \_\_\_\_\_

**SECRETARIO:** ING.EDISON ANDRÉS CAICEDO PEÑARANDA \_\_\_\_\_

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
PAMPLONA, COLOMBIA  
2017**



## PENSAMIENTOS

*“La paciencia es un elemento clave del éxito.”*

**BILL GATES**

*“La calidad es más importante que la cantidad. Un “home run” es mejor que dos dobles.”*

**STEVE JOBS**

*“No tengo talentos especiales, pero sí soy profundamente curioso.”*

**ALBERT EINSTEIN**

*“El fracaso es simplemente la oportunidad para comenzar de nuevo, en esta ocasión con más inteligencia.”*

**HENRY FORD**

*“La naturaleza nunca hace nada superfluo, nada inútil, y sabe sacar múltiples efectos de una sola causa.”*

**NICOLAS COPÉRNICO**

*“El desarrollo del hombre depende fundamentalmente de la invención. Es el producto más importante de su cerebro creativo”.*

**NIKOLA TESLA**



## DEDICATORIA

*A Dios*

*A mi madre Elvira Hernández Sánchez.*

*A mi abuelo Ovidio Otálora.*

*A mis hermanos Stefany, Miguel y Maily.*

*A mis tíos Cristián y Gerson.*

*A mis tías Raquel y Nohemí.*

*A mis demás familiares y amigos.*

*A los docentes y compañeros de estudio que aportaron a la realización de esta meta cumplida.*

DQS is member of:



## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecerle a nuestro Dios omnipresente por haberme regalado el don de la vida y la inteligencia para poder haber llevado acabo mi pregrado de manera satisfactoria.*

*A mi madre Elvira Hernández Sánchez, quien fue papá y mamá al mismo tiempo, por haberme enseñado múltiples valores que puse en práctica, a ella mil gracias por creer en mí.*

*A mi hermana Zummy Stefany Suarez Hernández, quien ha compartido toda su vida conmigo, estando en los buenos y malos momentos juntos.*

*A mi abuelo Ovidio Otálora, quien es dueño de una sabiduría prodigiosa, el cual supo aportar a mi vida experiencias y anécdotas de él, queriendo siempre lo mejor para mí mostrándome que todo tiene su tiempo y solo Dios guía el camino de un hombre.*

*A la señora Antonia Suarez (q.e.p.d), quien me abrió las puertas de su casa durante la mayor parte de mi estancia en la Universidad, fue una persona muy amable y querida de la cual guardo los mejores recuerdos, a ella y su familia mis más sinceros agradecimientos.*

*A mi tío Cristián Durán, por siempre darme la mano desde mi época escolar, por siempre enseñarme la importancia que tiene Jesucristo en nuestras vidas y por ese amor que siempre ha tenido hacia la familia mostrándonos que la bondad y el cariño son valores que están presentes en este gran hombre.*

*A mis tíos Gerson, Nohemí y Raquel por tenerme paciencia y amor desde mis inicios de vida ellos han sido inspiración de que no interesa la adversidad, pues nunca nos encontramos solos, ellos van a estar ahí siempre.*

*A mis compañeros de toda la vida Carlos Eduardo Hernández Fuentes, Jorge Enrique Villegas quienes han compartido conmigo situaciones difíciles pero siempre hemos juntos, a ellos muchas gracias por ser mis hermanos.*

*A mis amigos Jhonatan Buitrago, Raúl Antonio Leal, Sebastián Reuto, Cristian Lascarro, Herson Fuentes, David Fernando Doncel, Jorge Gerena, Eduardo Berrio, Fabián nuño, Brayan Cuellar por haber compartido conmigo muy buenas etapas de mi vida, a ellos mil gracias por haberme brindado su amistad*



## RESUMEN

Este trabajo presenta el proceso de elaboración de una herramienta educativa en MOODLE para el área de líneas de transmisión del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad De Pamplona, donde se desarrollaron las estructuras de las unidades en la plataforma, la síntesis de los contenidos académicos previamente seleccionados y avalados por el comité curricular del programa, en conjunto con el diseño e implantación de material didáctico enfocado en los conceptos abstractos y concretos en 2D y 3D para líneas de transmisión. La plataforma MOODLE permite un fácil acceso y edición de los contenidos sintetizados y del material didáctico, a través de un usuario y contraseña establecidos para cada uno de los estudiantes del curso.

## ABSTRACT

This degree work consists in the elaboration of an educational tool in MOODLE for the transmission lines area of the Electrical Engineering program of the Universidad de Pamplona, where the structures of the units in the platform were developed, the synthesis of the academic contents previously selected and endorsed by the curricular committee of the program, in conjunction with the design and implementation of didactic material focused on the abstract and concrete concepts in 2D and 3D for transmission lines. The MOODLE platform allows easy access and editing of the synthesized contents and teaching material, through a user and password established for each of the students of the course.



## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	9
TABLA DE CONTENIDO .....	10
LISTA DE FIGURAS .....	13
LISTA DE TABLAS .....	17
LISTA DE ECUACIONES.....	17
INTRODUCCIÓN .....	18
PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
JUSTIFICACIÓN .....	20
DELIMITACIÓN.....	21
OBJETIVO GENERAL.....	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
ACOTACIONES.....	21
CAPÍTULO I .....	22
1. MARCO TEÓRICO.....	22
1.1 Herramientas educativas .....	22
1.1.1 Modelo pedagógico .....	22
1.1.2 Integración de las TIC en la educación.....	25
1.2 Moodle .....	27
1.2.1 Antecedentes .....	27
1.2.2 Modelo de filosofía Moodle.....	29
1.2.3 Características de Moodle.....	31
1.2.4 Beneficios de Moodle .....	34



1.3	Plan de estudios .....	35
1.3.1	Aspecto legal del plan de estudios de la Universidad De Pamplona .....	35
CAPÍTULO II .....		36
2.	CONTENIDO PROGRAMÁTICO.....	36
2.1	Contenido programático de líneas de transmisión eléctricas de algunas universidades del país. ....	36
2.1.1	Universidad Distrital Francisco José De Caldas .....	37
2.1.2	Universidad Del Norte.....	39
2.1.3	Universidad Industrial De Santander .....	45
2.1.4	Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito .....	46
2.1.5	Universidad De La Salle .....	47
2.1.6	Universidad Nacional De Colombia .....	48
2.1.7	Contenido Programático de la asignatura líneas de transmisión de la Universidad De Pamplona .....	49
CAPÍTULO III .....		53
3.	CONTENIDOS.....	53
3.1	Módulo – introducción.....	54
3.2	Módulo – generalidades de la línea de transmisión.....	54
3.3	Módulo – modelos distribuidos .....	54
3.4	Módulo – resistencia en líneas de transmisión .....	55
3.5	Módulo – inductancia y reactancia inductiva.....	55
3.6	Módulo - capacitancia y reactancia capacitiva.....	56
3.7	Módulo – modelos eléctricos de la línea de transmisión.....	57
3.8	Módulo – cálculo mecánico de la catenaria y flecha.....	57
3.9	Módulo – hipótesis de cálculo de ecuación de estado .....	58



CAPÍTULO IV.....	58
4. RECURSOS DE LOS MÓDULOS .....	58
4.1 Módulo – introducción.....	59
4.2 Módulo – generalidades de la línea de transmisión .....	64
4.3 Módulo – modelos distribuidos .....	67
4.4 Módulo – resistencia eléctrica en líneas de transmisión .....	68
4.5 Módulo – inductancia y reactancia inductiva.....	70
4.6 Módulo – capacitancia y reactancia capacitiva .....	72
4.7 Módulo – modelos eléctricos de la línea de transmisión.....	76
4.8 Módulo – Cálculo mecánico de la catenaria y flecha .....	81
4.9 Módulo – Hipótesis de cálculo de ecuación de estado .....	91
CAPÍTULO V .....	93
5. EJEMPLOS DE CÁLCULO.....	93
CAPITULO VI.....	104
6. IMPLEMENTACIÓN .....	104
CONCLUSIONES .....	116
BIBLIOGRAFÍA .....	117

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Modelo de aprendizaje utilizado por Moodle [8].	29
<b>Figura 2.</b> Contenido programático sintetizado de Transporte De Energía de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas [15].	37
<b>Figura 3.</b> Contenido programático sintetizado de Transporte de Energía de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas [15].	38
<b>Figura 4.</b> Contenido programático de la asignatura Líneas y Redes de Transmisión de la Universidad Del Norte [16].	44
<b>Figura 5.</b> Contenido programático de la asignatura Líneas de Transmisión de la Universidad Industrial De Santander [17].	45
<b>Figura 6.</b> Contenido programático de la asignatura Transmisión y distribución de la Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito [18].	46
<b>Figura 7.</b> Plan de estudio del programa de ingeniería eléctrica de la Universidad De La Salle [19].	47
<b>Figura 8.</b> Plan de estudio de la asignatura de la Universidad Nacional De Colombia [20].	48
<b>Figura 9.</b> Contenido programático de la asignatura líneas de transmisión de la Universidad De Pamplona.	52
<b>Figura 10.</b> Contenidos seleccionados para la plataforma Moodle de la asignatura líneas de transmisión.	53
<b>Figura 11.</b> Diagrama (original) utilizado en primer módulo de la plataforma [21].	60
<b>Figura 12.</b> Diagrama (modificado) utilizado en el primer módulo de la plataforma [21].	60
<b>Figura 13.</b> Esquema (original) de un sistema de potencia de redes de distribución primaria y secundaria, utilizado en el módulo [21].	61
<b>Figura 14.</b> Esquema modificado en el software ETAP 12.6.0 para ser utilizado en el módulo – introducción [21].	61
<b>Figura 15.</b> Esquema (original) de un diagrama unifilar en un sistema de potencia, iniciando desde la generación hasta sub-transmisión [21].	62
<b>Figura 16.</b> Esquema modificado en el software ETAP 12.6.0 utilizado en el primer módulo [21].	62
<b>Figura 17.</b> Esquema (original) de un sistema de potencia alimentando cuatro ciudades [21].	63



<b>Figura 18.</b> Esquema modificado en el software ETAP 12.6.0 utilizado en el módulo [21].	63
<b>Figura 19.</b> Campo de trabajo en la plataforma Moodle, en donde el cuadro en rojo muestra la ubicación del enlace de descarga para la respectiva presentación en Power Point de este parámetro general en una línea de transmisión [22].	65
<b>Figura 20.</b> Enlace de descarga para la presentación del elemento conductor del módulo-generalidades de la línea de transmisión [22].	66
<b>Figura 21.</b> Enlace de descarga para la presentación del elemento estructuras del módulo-generalidades de la línea de transmisión [22].	66
<b>Figura 22.</b> Enlace de descarga para la presentación del elemento cable de guarda del módulo-generalidades de la línea de transmisión [22].	67
<b>Figura 23.</b> Comportamiento de la resistencia en diferentes puntos de temperatura, mostrada en el módulo-resistencia eléctrica en líneas de transmisión [24].	69
<b>Figura 24.</b> Campo magnético generado por un conductor [25].	70
<b>Figura 25.</b> Flujos en un conductor para el cálculo del flujo magnético [25].	71
<b>Figura 26.</b> Flujo interno en un conductor [25].	72
<b>Figura 27.</b> Campo eléctrico alrededor de un conductor [25].	73
<b>Figura 28.</b> Campo eléctrico y líneas de potencial constantes alrededor de un conductor cargado [25].	73
<b>Figura 29.</b> Descarga de corona sobre un conductor húmedo [25].	74
<b>Figura 30.</b> Disposición de la línea de transmisión para el cálculo del campo eléctrico [25].	75
<b>Figura 31.</b> Representación de una línea de transmisión común, con sus parámetros de resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia [26].	77
<b>Figura 32.</b> Modelo de línea corta, donde la resistencia está en serie con una inductancia [26].	77
<b>Figura 33.</b> Línea corta conectada a una carga con FP en atraso [26].	78
<b>Figura 34.</b> Análisis fasorial de una línea corta conectada a una carga con un FP en atraso, unitario y adelanto [26].	78
<b>Figura 35.</b> Modelo equivalente en T para una línea media de transmisión [26].	79
<b>Figura 36.</b> Modelo equivalente en $\pi$ para una línea media de transmisión [26].	79
<b>Figura 37.</b> Diagrama fasorial para una línea media en modelo $\pi$ [26].	80
<b>Figura 38.</b> Aproximación de una línea larga de transmisión con parámetros distribuidos [26].	80
<b>Figura 39.</b> Representación de la catenaria entre dos estructuras [28].	81

<b>Figura 40.</b> Diferentes tipos de catenaria que se pueden presentar de forma longitudinal en líneas de transmisión [28].	82
<b>Figura 41.</b> Parámetros que inciden en formación de la catenaria de forma analítica [28].	82
<b>Figura 42.</b> Representación del tiro en un conductor [28].	83
<b>Figura 43.</b> Longitud en el conductor a nivel [28].	83
<b>Figura 44.</b> Flecha en un conductor a nivel [28].	84
<b>Figura 45.</b> Representación del tiro, en cualquier punto de la abscisa x, para el conductor a nivel [28].	84
<b>Figura 46.</b> Representación vectorial del tiro vertical en el conductor a nivel [28].	85
<b>Figura 47.</b> Representación del esfuerzo en un conductor [28].	85
<b>Figura 48.</b> Percepción de los tiros de esfuerzo que normalmente se presentan en los extremos de las estructuras de líneas de transmisión [28].	86
<b>Figura 49.</b> Catenaria presente en dos estructuras con conductores desnivel [28].	86
<b>Figura 50.</b> Representación de los parámetros necesarios para determinar la longitud del conductor [28].	87
<b>Figura 51.</b> Visualización del desnivel de los conductores presentes en las estructuras, $h > 0$ [28].	87
<b>Figura 52.</b> Visualización del desnivel de los conductores presentes en las estructuras, $h < 0$ [28].	88
<b>Figura 53.</b> Parámetros a utilizar para el cálculo de la longitud del conductor a desnivel [28].	89
<b>Figura 54.</b> Representación de la flecha en un conductor con desnivel [28].	89
<b>Figura 55.</b> Ilustración de la saeta en un conductor a desnivel [28].	90
<b>Figura 56.</b> Representación de la ubicación cartesiana de los extremos, en un conductor con desnivel [28].	90
<b>Figura 57.</b> Representación del parámetro de la catenaria en función de un conductor con desnivel [28].	91
<b>Figura 58.</b> Esquema de varias estructuras con los parámetros que participan en el cálculo de ECE [28].	92
<b>Figura 59.</b> Estructura con 3 conductores por fase.	94
<b>Figura 60.</b> Estructuras con conductor a desnivel.	98



<b>Figura 61.</b> Datos topográficos del levantamiento para una línea de alimentación 13,2 Kv desde la subestación CENS (Pamplona) hasta la Universidad de Pamplona. ....	100
<b>Figura 62.</b> Parámetros y cálculo de la curva de la catenaria para la línea 13,2 Kv. ....	101
<b>Figura 63.</b> Catenaria diseñada para la línea 13,2 Kv. ....	102
<b>Figura 64.</b> Ubicación de la catenaria entre dos estructuras. ....	103
<b>Figura 65.</b> Página principal Universidad de Pamplona. ....	104
<b>Figura 66.</b> Enlace a la plataforma Moodle de la página principal de la Universidad de Pamplona. ....	104
<b>Figura 67.</b> Enlace a la plataforma Moodle de la página principal de la Universidad de Pamplona. ....	105
<b>Figura 68.</b> Enlace a la plataforma Moodle de la página principal de la Universidad de Pamplona. ....	105
<b>Figura 69.</b> Enlace a la plataforma Moodle de la página principal de la Universidad de Pamplona. ....	106
<b>Figura 70.</b> Ventana principal – parte inferior. ....	106
<b>Figura 71.</b> Módulos desarrollados en la plataforma. ....	107
<b>Figura 72.</b> Módulo introducción. ....	107
<b>Figura 73.</b> Módulo generalidades de la línea de transmisión – parte superior. ....	108
<b>Figura 74.</b> Módulo generalidades de la línea de transmisión – parte inferior. ....	108
<b>Figura 75.</b> Módulo modelos distribuidos. ....	109
<b>Figura 76.</b> Módulo resistencia eléctrica – parte superior. ....	109
<b>Figura 77.</b> Módulo resistencia eléctrica – parte inferior. ....	110
<b>Figura 78.</b> Módulo inductancia y reactancia inductiva – parte superior. ....	110
<b>Figura 79.</b> Módulo inductancia y reactancia inductiva – parte inferior. ....	111
<b>Figura 80.</b> Módulo capacitancia y reactancia capacitiva – parte superior. ....	111
<b>Figura 81.</b> Módulo capacitancia y reactancia capacitiva – parte inferior. ....	112
<b>Figura 82.</b> Módulo modelos eléctricos de la línea de transmisión – parte superior. ....	112
<b>Figura 83.</b> Módulo modelos eléctricos de la línea de transmisión – parte inferior. ....	113
<b>Figura 84.</b> Módulo cálculo mecánico de la catenaria y flecha – parte superior. ....	113
<b>Figura 85.</b> Módulo cálculo mecánico de la catenaria y flecha – parte inferior. ....	114
<b>Figura 86.</b> Módulo cálculo de ecuación de estado – parte superior. ....	114
<b>Figura 87.</b> Módulo cálculo de ecuación de estado – parte inferior. ....	115



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resistividad eléctrica de los materiales, ilustrada en el módulo-resistencia eléctrica en líneas de transmisión [1].	68
<b>Tabla 2.</b> Campos eléctricos ambientales con exposición al cuerpo entero. IEEE Std. C95.6-2002 [2].	76
<b>Tabla 3.</b> Presión de viento para los principales componentes de una línea de transmisión [1].	92

## LISTA DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Relación de resistencias, despejando una en función de las $T^\circ$ [2].	69
<b>Ecuación 2.</b> Flujo magnético [2].	71
<b>Ecuación 3.</b> Valor de la longitud del conductor teniendo en cuenta el diferencial de altura $h$ [1].	88



## INTRODUCCIÓN

Cronológicamente la educación se ha visto envuelta en múltiples cambios, donde las tecnologías de comunicación han jugado un rol importante, pues se ha pasado de dictar clases presenciales a dictarlas a distancia, ya es muy poco usado el pizarrón y la tiza, que dio paso al tablero acrílico y marcador donde ya existen centros educativos que utilizan tablero inteligentes que con el uso de los dedos plasma las diferentes actividades. Todo esto en concordancia con el ingreso de las TIC'S a un mundo en crecimiento y globalizado.

*“Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC’S) han tenido un desarrollo explosivo en la última parte del siglo XX y el comienzo del siglo XXI, al punto de que han dado forma a lo que se denomina “Sociedad del Conocimiento” o “de la Información”. Prácticamente no hay un solo ámbito de la vida humana que no se haya visto impactada por este desarrollo: la salud, las finanzas, los mercados laborales, las comunicaciones, el gobierno, la productividad industrial, etc. El conocimiento se multiplica más rápido que nunca antes y se distribuye de manera prácticamente instantánea. El mundo se ha vuelto un lugar más pequeño e interconectado. Para bien y para mal, las buenas y las malas noticias llegan antes: los hallazgos de la ciencia, nuevos remedios y soluciones, descubrimientos e innovaciones, pero también las crisis económicas, las infecciones, nuevas armas y formas de control [1].*

En el presente trabajo de grado, se mostrara la creación de un espacio de trabajo para la asignatura Líneas de Transmisión, del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pamplona, a través de la plataforma Moodle ubicada en la página web principal de la universidad. Además de los diferentes contenidos seleccionados y recursos visuales que se utilizaron en síntesis del contenido programático de la asignatura.



## PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

Las tecnologías de la información y comunicación han cambiado drásticamente el comportamiento de la sociedad en el planeta tierra, donde los mecanismos de educación son tradicionales y limitados, el potencial presente en la tecnología puede catapultar a nuevas estrategias y modelos de formación académica hacia el estudiantado, donde ya es visible que a temprana edad el ser humano empieza a tener contacto con un entorno tecnológico que cambia la forma de transmitir y recibir el conocimiento, este escenario cuenta con el potencial de mejorar en el ámbito universitario las cualidades de las asignaturas, en términos de la presentación de los conocimientos, ejercicios, material docente, imágenes, videos entre otros aspectos, en donde la asignatura de líneas de trasmisión puede utilizar la tecnología para facilitar la comprensión de conocimientos con explicaciones físicas abstractas.

No es común encontrar elementos o herramientas de apoyo para las diferentes asignaturas que se imparte en la Universidad de Pamplona, los recursos bibliográficos a los que se acude no se encuentran en una cantidad que alcance hacer entregado a todo el estudiantado que lo requiera y la información que se necesita consultar normalmente está distribuida entre distintos autores.



## JUSTIFICACIÓN

Actualmente la asignatura de líneas de transmisión presenta en su plan de estudios los diferentes contenidos a desarrollar en el transcurso del semestre, pero no cuenta con algún tipo de herramienta que reasente los temas vistos en clase, de tal modo que en caso de alguna duda y el docente no se encuentre disponible, el estudiante no tiene un sitio donde acudir específicamente, ya que no se cuenta con un recurso bibliográfico puntual al cual el estudiante pueda recurrir, donde los libros utilizados son un poco antiguos y se proyectan en un formato PDF de muy baja calidad. Y si a esto le agregamos el cambio transicional de docentes que se venía presentando en el programa, pues se acrecentaba aún más la falta de información precisa del curso, recordando que el docente es libre de dictar el curso.

El uso de herramientas educativas en la asignatura líneas de transmisión enriquecería el plan de mejoramiento del programa, realizar la inclusión de este portal de manera paralela al desarrollo del curso, les daría una opción de búsqueda y repaso al estudiante en caso de alguna duda o actividad que el docente considere pertinente y sea publicada en este sitio.

No es fácil el desarrollo de este tipo de elementos (portal web), y mucho menos su implementación, pero no se puede ser ajeno a la continua evolución y globalización del entorno en el que avanza esta generación; Ahora todo tipo de información está escrita, publicada, mostrada, proyectada en internet. Es cuestión de focalizar y orientar ciertos medios de comunicación con un tipo de información relevante hacia el área de líneas de transmisión y encaminarla hacia los estudiantes que de manera directa estén relacionados con el desarrollo de las competencias del curso



## DELIMITACIÓN

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar una herramienta educativa para la asignatura líneas de transmisión del programa de ingeniería eléctricas de la universidad de Pamplona.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar los recursos visuales básicos para la herramienta educativa.
- Diseñar un conjunto de ejemplos de cálculo enmarcado en las competencias del curso.
- Implementar los módulos seleccionados en un portal web institucional.

### ACOTACIONES

La herramienta educativa se implementara en la plataforma Moodle de la Universidad de Pamplona, ubicada de tal manera que los estudiantes de la asignatura puedan acceder a ella mediante su correspondiente clave y usuario, en donde se pueda tener control de los recursos.

La herramienta educativa estará acoplada y arropara temas consignados que se encuentran en el contenido programático de la asignatura, fundamentalmente los fenómenos de capacitancia e inductancia en las líneas de transmisión, modelos eléctricos y conductores para las líneas de transmisión, así como parámetros y generalidades que componen la línea de transmisión. Destacando que el alcance de este trabajo de grado se verá limitado por el tiempo con el que se cuenta, el cual tendrá un desarrollo en la medida de lo posible por 4 meses.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Herramientas educativas

Son diseñadas con el propósito de apoyar la labor de los diferentes docentes, en infinidad de áreas del conocimiento en el proceso de enseñanza – aprendizaje, están destinadas a la enseñanza y aprendizaje autónomo que permite el desarrollo de habilidades cognitivas, pero estas herramientas basan su funcionamiento en modelos pedagógicos que demarcan la finalidad de estas en las etapas de enseñanza [2].

##### 1.1.1 Modelo pedagógico

*“Una primera aproximación a este concepto puede abordarse a partir de la definición de dos términos considerados como sinónimos del que nos ocupa. La primera es la de arquetipo, definido por el RAE como proveniente del latín archetȳpus, y este del gr. ἀρχέτυπος, un modelo original y primario en un arte u otra cosa. También como punto de partida de una tradición textual, o representación que se considera modelo de cualquier manifestación de la realidad, o imagen o esquema congénito con valor 35 simbólico que forma parte del inconsciente colectivo, o finalmente, tipo soberano y eterno que sirve de ejemplar y modelo al entendimiento y a la voluntad humanos” [3].*

Los modelos pedagógicos son visiones sintéticas de teorías o enfoques pedagógicos que orientan a los especialistas y a los profesores en la elaboración y análisis de los programas de estudios, en la sistematización del proceso de enseñanza-aprendizaje, o bien en la comprensión de alguna parte de un programa de estudios. Se podría decir que son patrones conceptuales que permiten esquematizar de forma clara y sintética las partes y los elementos de una práctica pedagógica, o bien sus componentes. También son, como señala Gago (2002), una representación arquetípica o ejemplar del proceso de enseñanza-aprendizaje, en la que se exhibe la distribución de

funciones y la secuencia de operaciones en la forma ideal, que resulta de las experiencias recogidas al ejecutar una teoría del aprendizaje [3].

*“Un modelo es una imagen o representación del conjunto de relaciones que difieren un fenómeno con miras de su mejor entendimiento. De igual forma se puede definir modelo pedagógico como la representación de las relaciones que predominan en el acto de enseñar, lo cual afina la concepción de hombre y de sociedad a partir de sus diferentes dimensiones (psicológicos, sociológicos y antropológicos) que ayudan a direccionar y dar respuestas a: ¿para qué? el ¿cuándo? y el ¿con que?” [4].*

Estos modelos varían según el periodo histórico en que aparecen y tienen vigencia, en su grado de complejidad, tipo y número de partes que presentan, así como en el énfasis que ponen sus autores en algunos de los componentes o en las relaciones de sus elementos. El estudio de los modelos pedagógicos permite a los docentes tener un panorama de cómo se elaboran los programas, de cómo operan y cuáles son los elementos que desempeñan un papel determinante en un programa o en una planeación didáctica. En algunos de ellos los profesores pueden ver claramente los elementos más generales que intervienen en una planeación didáctica, así como las relaciones de antecedente y consecuente que guardan entre sí [3].

Según Astolfi (1997), hay tres modelos predominantes en la enseñanza (transmitivo, de condicionamiento y constructivista) que sirven -explícita o implícitamente-, como base para las prácticas y estilos de los maestros. Cada uno dispone de una lógica y de una coherencia que habrá de caracterizarlo, pero sobre todo, cada uno responde a diferentes situaciones de eficiencia [3].

**El modelo transmitivo o tradicional:** Se refiere principalmente a la elaboración de un programa de estudios. Los elementos que presentan son mínimos, ya que no se hacen explícitas las necesidades sociales, la intervención de especialistas, las características del educando, ni tampoco se observan las instancias de evaluación del programa de estudios. El modelo tradicional muestra la escasa influencia de los avances científicos tecnológicos en la educación y, en consecuencia, refleja un momento histórico de desarrollo

social. No obstante sus limitaciones, este modelo se tomó como base pedagógica para formar diversas generaciones de profesores y de alumnos. Este Modelo concibe la enseñanza como una actividad artesanal y al profesor como un artesano cuya función es explicar claramente y exponer el conocimiento a los estudiantes de manera progresiva. Si se presentan errores, son atribuibles al alumno por no adoptar la actitud esperada [3].

**Condicionamiento:** Siguiendo a Astolfi (1997), el Modelo de Condicionamiento o pedagogía behaviorista (conductista), está basado en los estudios de Skinner y Pavlov sobre aprendizaje; se enfatiza en los medios necesarios para llegar a un comportamiento esperado y verificar su obtención. El problema radica en que nada garantiza que el comportamiento externo corresponda con el mental; para autores como Pérez (1995) este modelo es una perspectiva técnica, la cual concibe la enseñanza como una ciencia aplicada, y al docente como técnico [3]. En el enfoque conductista, educación equivale a instrucción y aprendizaje de ciertos conocimientos y conductas previamente seleccionados y organizados. La educación se orienta, sobre todo, a alcanzar mayor rentabilidad y eficacia en el trabajo pedagógico. Pero esto no quiere decir que tanto la rentabilidad como la eficacia tengan un carácter totalmente positivo en la marcha del aprendizaje [4].

**Constructivista:** concibe la enseñanza como una actividad crítica, y al docente como a un profesional autónomo que investiga reflexionando sobre su práctica. Este modelo difiere de los anteriores en la forma como se maneja el concepto de error: es un indicador que permite hacer análisis de los procesos intelectuales que ocurren al interior de quien aprende. Para el constructivismo, aprender es arriesgarse a errar (ir de un lado a otro), y muchos de 45 los errores cometidos en situaciones didácticas deben considerarse como momentos creativos. Para el constructivismo la enseñanza no es una simple transmisión de conocimientos; es una tarea de organización de métodos de apoyo y situaciones de aprendizaje que permiten a los alumnos construir su propio saber. No se aprende sólo registrando en el cerebro. Se aprende construyendo la propia estructura cognitiva. Esta teoría se fundamenta primordialmente en los estudios de Vigotsky, Piaget y Ausubel,

quienes realizaron investigaciones en el campo de la adquisición de conocimientos por parte del niño [3].

### 1.1.2 Integración de las TIC en la educación

Son múltiples y muy variados los impactos de las TIC en la vida del hombre del siglo XXI. La inmersión social en asuntos de la tecnología es evidente hasta el punto en que la vida cotidiana hoy se desarrolla gracias a la mediación transparente e inadvertida de las TIC. Manejar adecuadamente las tecnologías y saber adaptarse a los cambios que éstas introducen, incrementa las oportunidades sociales, económicas, culturales y por ende el bienestar individual y el de la comunidad [2].

La integración de lenguajes, propia de las TIC, permite la presentación del contenido por más de un canal de comunicación. Es comúnmente admitida la superioridad de la combinación de lenguajes y medios sobre otras formas de presentación de la información (Taylor 1990). Por otra parte, la existencia de múltiples estilos de aprendizaje hace deseable la posibilidad de combinar una variedad de métodos, de modo que cada estilo encuentre una alternativa más eficaz, en lugar de enfrentar una metodología única e igual para todo el grupo, como en la clase presencial. Otro aspecto que consideramos de la mayor importancia es el que señala Jacquinet (1981, citado por Gutiérrez): *"a diferencia del lenguaje escrito, que desarrolla fundamentalmente el espíritu de análisis, de rigor y de abstracción, el lenguaje audiovisual ejercita actitudes perceptivas múltiples, provoca constantemente la imaginación y confiere a la afectividad un papel de mediación primordial en el mundo... la práctica del lenguaje audiovisual determina una manera de comprender y de aprender en la que la afectividad y la imaginación ya no pueden estar ausentes"*. Los nuevos estudios sobre la denominada inteligencia emocional están haciendo evidente la unidad del individuo que aprende, como ser que piensa y aprende atribuyendo sentidos y valores a los contenidos de su pensar [5].

Al analizar las consecuencias de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como las «nuevas cosas» introducidas en la época actual,

observamos que la amplia gama de «cosas» asociadas, han generado impactos en los modos de interacción social con un significativo incremento de las «velocidades» de transmisión de la información y la disminución de las «energías» clásicas asociadas [6].

La analogía con las consecuencias de la introducción del caballo en su momento, o del ferrocarril, que influyeron modificaron y cambiaron los sistemas de comunicación y cohesión (cultura) de las sociedades, induce a considerar que la influencia de las nuevas cosas, las TIC, hayan generado cambios similares, e influido en que la sociedad transmutara a otra estadio de su desarrollo [6].

La afirmación de que con el uso de TIC le resulte más fácil al alumno hacerse protagonista de su propio aprendizaje se conecta generalmente con la interactividad que provee la telemática. Aunque algunos autores (Gutiérrez 1997) aclaran que muchos usos de estas tecnologías mantienen un nivel de interactividad muy superficial, permitiendo únicamente al alumno escoger entre alternativas de actividades de aprendizaje o secuencias de contenidos. Se reconoce como más potente el control que puede ejercer el estudiante sobre el proceso de aprendizaje (hacerse una idea propia del tema) y también el control sobre las propias tecnologías y el dominio de sus lenguajes. La voz de Seymour Papert sigue insistiendo con énfasis en este tema, fiel a su idea, formulada ya hace casi 20 años, de que las nuevas tecnologías deben crear nuevas formas de aprender, más autónomas, y nuevas condiciones de aprendizaje [5].

La Transferencia de Conocimiento y Tecnología (TCT) se ha convertido en un eje esencial en los procesos de innovación; comprende acciones conjuntas entre diversos actores y en distintos niveles para el desarrollo, aprovechamiento, uso, modificación y difusión de nuevas tecnologías. La mayoría de las innovaciones del país provienen de proyectos de investigación y desarrollo, que se generan desde la academia, por esto, la importancia que tiene para la entidad contar instrumentos para la articulación Universidad-Empresa [7].

## 1.2 Moodle

Es una aplicación que pertenece al grupo de los gestores de contenidos educativos (LMS, *Learning Management Systems*), también conocidos como entornos de aprendizaje virtuales (VLE, *Virtual Learning Managements*), un subgrupo de los gestores de contenidos (CMS, *Content Management Systems*) [8]. La cual va hacer nuestro campo de trabajo y apoyo en el desarrollo de este trabajo de grado.

La plataforma Moodle, les permite a los tutores “virtualizar” las características del aula presencial y les ofrece a los estudiantes la posibilidad de tener acceso a todos los contenidos necesarios para su aprendizaje las 24 horas del día [9]. Todo esto ya que Moodle es un paquete de software para la creación de cursos y sitios Web basados en Internet, o sea, una aplicación para crear y gestionar plataformas educativas, es decir, espacios donde un centro educativo, institución o empresa, gestiona recursos educativos proporcionados por unos docentes y organiza el acceso a esos recursos por los estudiantes, y además permite la comunicación entre todos los implicados (alumnado y profesorado) [8].

### 1.2.1 Antecedentes

Existen muchas plataformas similares a Moodle, pero la importancia de esta frente a las demás es que es open souce, lo cual significa que su instalación es gratuita y de libre acceso, además de que la programación es abierta y permite que usuarios de todo el mundo trabajen para desarrollarla [9].

Moodle fue diseñado por Martin Dougiamas de Perth, Australia Occidental, quien basó su diseño en las ideas del constructivismo en pedagogía, que afirman que el conocimiento se construye en la mente del estudiante en lugar de ser transmitido sin cambios a partir de libros o enseñanzas y en el aprendizaje colaborativo. Un profesor que opera desde este punto de vista crea un ambiente centrado en el estudiante que le ayuda a construir ese conocimiento con base en sus habilidades y conocimientos propios en lugar

de simplemente publicar y transmitir la información que se considera que los estudiantes deben conocer [8].

La palabra Moodle era al principio un acrónimo de Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment (Entorno de Aprendizaje Dinámico Orientado a Objetos y Modular), lo que resulta fundamentalmente útil para programadores y teóricos de la educación. También es un verbo que describe el proceso de deambular perezosamente a través de algo, y hacer las cosas cuando se te ocurre hacerlas, una placentera chapuza que a menudo te lleva a la visión y la creatividad. Las dos acepciones se aplican a la manera en que se desarrolló Moodle y a la manera en que un estudiante o profesor podría aproximarse al estudio o enseñanza de un curso en línea. Todo el que usa Moodle es un Moodler [8].

Un importante número de prototipos fueron creados y descartados antes del lanzamiento, hacia un mundo desconocido, de la versión 1.0 el 20 de agosto de 2002. Esta versión se orientó a las clases más pequeñas, más íntimas a nivel de Universidad, y fue objeto de estudios de investigación de casos concretos que analizaron con detalle la naturaleza de la colaboración y la reflexión que ocurría entre estos pequeños grupos de participantes adultos. Desde entonces, han salido nuevas versiones que añaden nuevas características, mayor compatibilidad y mejoras de rendimiento [8]. En 2010 apareció una reestructuración a pedido de los usuarios, que necesitaban una plataforma más segura, estable y con mejores herramientas orientadas a la educación virtual. Tal característica hace que esta unidad de aprendizaje sea valiosa tanto para los docentes que ya han tenido experiencia con otras versiones de Moodle, como para aquellos que apenas inician su aprendizaje [9].

La implementación de recursos y herramientas tecnológicas para el desarrollo y fortalecimiento de los procesos de docencia, enseñanza y aprendizaje, requieren de instrumentos que permitan a los participantes (docentes, estudiantes, administradores y personal del apoyo) apropiarse de las mismas, buscando así el mejor y más productivo uso de estas. A partir del año 2015 la Universidad de Pamplona, como parte de la Política para el Uso y Apropiación

de las TIC en la Educación, ha iniciado la implementación de cursos bajo la modalidad e-learning, soportados en el aula Moodle (versión 3.1.2) que es con la que se está trabajando actualmente [10].

### 1.2.2 Modelo de filosofía Moodle

La plataforma Moodle ha levantado el modelo del pensamiento social construccionista para explicar su forma de abordar el proceso de enseñanza aprendizaje, el cual se fundamenta en 4 pilares [11].



Figura 1. Modelo de aprendizaje utilizado por Moodle [8].

**Constructivismo:** La teoría constructivista, atribuida al filósofo Jean Piage, sostiene que las personas construyen nuevos conocimientos de manera activa al tiempo que interactúan con su entorno siguiendo un proceso de asimilación y acomodación. Una persona asimilará un concepto cuando las experiencias sean alineadas con respecto al conocimiento previo de la persona. Por otra parte el proceso de acomodación, es el proceso en el cual la persona debe acomodar los conocimientos previos a los nuevos conocimientos que ha adquirido [11]. Este punto de vista mantiene que la gente construye activamente nuevos conocimientos a medida que interactúa con su entorno. Todo lo que usted lee, ve, oye, siente y toca se contrasta con su conocimiento

anterior y si encaja dentro del mundo que hay en su mente, puede formar nuevo conocimiento que se llevará consigo mismo [8].

**Construccionismo:** El construccionismo afirma que el aprendizaje es más efectivo cuando se construyen cosas. Por ejemplo, durante la lectura de este informe, el lector puede tomar notas, aun cuando no vaya a utilizarlas posteriormente, la construcción de estas notas permitirá una mejor asimilación de los conceptos con sus propios conocimientos [11]. Por esto la gente toma apuntes durante las lecciones, aunque nunca vayan a leerlos de nuevo [8].

**Construccionismo social:** Este concepto extiende las ideas anteriormente descritas a un grupo social. Los individuos de este grupo social construyen artefactos para los otros individuos del grupo, creando de manera colaborativa una pequeña cultura de artefactos compartidos con significados compartidos [11].

Cuando alguien está inmerso en una cultura como ésta, está aprendiendo continuamente acerca de cómo formar parte de esa cultura en muchos niveles. Un ejemplo muy simple es un objeto como una copa. El objeto puede ser usado para muchas cosas distintas, pero su forma sugiere un "conocimiento" acerca de cómo almacenar y transportar líquidos. Un ejemplo más complejo es un curso en línea: no sólo las "formas" de las herramientas de software indican ciertas cosas acerca de cómo deberían funcionar los cursos en 5 línea, sino que las actividades y textos producidos dentro del grupo como un todo ayudarán a definir a cada persona su forma de participar en el grupo [8].

**Aprendizaje separado/conectado:** Esta idea profundiza en las motivaciones de los individuos dentro de una discusión. Una persona aplica el comportamiento separado cuando intenta mantenerse "objetivo" y tiende a defender sus propias ideas utilizando la lógica y encontrando puntos débiles en las ideas del oponente. Una persona utiliza un comportamiento conectado cuando aplica aproximación más empática que acepta subjetivamente, intentado escuchar y realizar preguntas, en un esfuerzo de comprender el otro punto de vista. El comportamiento construido está basado en que una persona

es susceptible a ambas aproximaciones descritas y es capaz de elegir cuál de ellas es la apropiada en la situación actual [11].

La plataforma se caracteriza por ser hoy en día el entorno más popular de formación virtual, siendo una plataforma que es gratuita y libre y que tiene una comunidad gigantesca de desarrollares alrededor del mundo lo que la ha catapultado a ser la plataforma más extendida para la formación virtual y también como acompañamiento a la formación presencial [11].

Moodle está construido por el proyecto Moodle, que está dirigido y coordinado por el Cuartel General Moodle, que está soportada financieramente por una red mundial de cerca de 80 compañías de servicio Moodle Partners, impulsando a decenas de miles de ambientes de aprendizaje globalmente, Moodle tiene la confianza de instituciones y organizaciones grandes y pequeñas, incluyendo a Shell, La Escuela Londinense de Economía (*London School of Economics*), La Universidad Estatal de Nueva York, Microsoft y la Universidad Abierta del Reino Unido (*Open University*). El número de usuarios de Moodle a nivel mundial, de más de 79 millones de usuarios, entre usuarios académicos y empresariales, lo convierten en la plataforma de aprendizaje más ampliamente utilizada del mundo [12].

### 1.2.3 Características de Moodle

A continuación se detallara las principales características que presenta Moodle:

#### A nivel General:

- **Interoperabilidad:** Debido a que el sistema Moodle se distribuye bajo la licencia GNU, propicia el intercambio de información gracias a la utilización de los “estándares abiertos de la industria para implementaciones web” (SOAP, XML...) Al usar un lenguaje web popular como PHP y MySQL como base de datos, es posible ejecutarlo en los diversos entornos para los cuales están disponibles estas herramientas tales como Windows, Linux, Mac, etc [8].



- **Permite realizar exámenes en línea:** Es decir publicar una lista de preguntas dentro de un horario establecido y recibir las respuestas de los alumnos. En el caso 7 de las preguntas con alternativas o simples, es posible obtener las notas de manera inmediata ya que el sistema se encarga de calificar los exámenes. Las preguntas se almacenan en una base de datos, permitiendo crear bancos de preguntas a lo largo del tiempo y cambiar de forma aleatoria durante el examen con la intención de evitar que dos o más alumnos reciban la misma pregunta [8].
- **Permite la presentación de cualquier contenido digital:** Se puede publicar todo tipo de contenido multimedia como texto, imagen, audio y video para su uso dentro de Moodle como material didáctico [8].
- **Permite la gestión de tareas:** Los profesores pueden asignar tareas o trabajo prácticos de todo tipo, gestionar el horario y fecha su recepción, evaluarlo y transmitir al alumno la retroalimentación respectiva. Los alumnos pueden verificar en línea su calificación y las notas o comentarios sobre su trabajo [8].
- **Permite la implementación de foros de debate o consulta:** Esta característica se puede usar para promover la participación del alumnado en colectivo hacia el debate y reflexión. Así como colaboración alumno a alumno hacia la resolución de interrogantes. El profesor podría evaluar la dinámica grupal y calificar el desarrollo de cada alumno [8].
- **Permite la importación de contenidos de diversos formatos:** Se puede insertar dentro de Moodle, contenido educativo proveniente de otras plataformas bajo el uso del estándar SCORM, IMS, etc [8].
- **Permite la inclusión de nuevas funcionalidades:** La arquitectura del sistema permite incluir de forma posterior funcionalidades o características nuevas, permitiendo su actualización a nuevas necesidades o requerimientos [8].

### 1.2.4 Beneficios de Moodle

Son múltiples los beneficios que se obtienen al utilizar Moodle, pero en esencia los más relevantes son los siguientes:

- **Libertad:** Moodle no se encuentra atado a ninguna plataforma (Windows, Linux, Mac) específica, brindando total libertad para escoger la que se ajuste a sus necesidades tanto en el presente como en el futuro. El no estar atado a un proveedor de hardware, software o servicios le permitirá contar siempre con un abanico de opciones. La libertad que brinda Moodle también se aplica al hecho de tener de contar con los archivos fuente y poder modificarlo a su discreción, sin que ello implique un costo o una negociación con empresa alguna [8].
- **Reducción de costos:** Siempre que se compra o adquiere un sistema, sea de cualquier tipo, es necesario desembolsar una cantidad de dinero en el pago por las licencias de usuario. Esto no sucede con Moodle, porque es gratuito y no se requiere pagar ninguna licencia para su uso o implementación dentro de una institución. De esta forma estamos ahorrando una cantidad inicial de la inversión de cualquier sistema. Los costos posteriores de mantenimiento se ven reducidos gracias a la estabilidad del sistema, que permite mantener la operatividad tanto para una cantidad reducida como para una gran cantidad usuarios sin tener realizar modificaciones dentro del sistema [8].
- **Gestión del Conocimiento:** Permite el almacenamiento y recuperación de conocimiento producto de las actividades e interrelaciones alumno - profesor, alumno - alumno. Este beneficio es claramente visible durante su aplicación en la capacitación de personal dentro de instituciones o empresas [8].
- **Arquitectura Modular:** Moodle agrupa sus funciones o características de a nivel de módulos. Estos módulos son independientes, configurables, además de poder ser habilitados o deshabilitados según sea conveniente. Como habíamos mencionado Moodle permite añadir

nuevas funcionalidades, para ello solo necesitamos instalar y activar el módulo que satisfaga nuestras necesidades [8].

### 1.3 Plan de estudios

Como todos los centros educativos de educación superior, la Universidad De Pamplona no es ajena a la implementación de un plan de estudios que se encuentran legalmente constituido en su reglamento estudiantil, a continuación se muestran aspectos legales relevantes que acobijan las diferentes actividades a realizar en este trabajo.

#### 1.3.1 Aspecto legal del plan de estudios de la Universidad De Pamplona

EL reglamento académico de la universidad de Pamplona establece que un plan de estudios es:

##### ARTÍCULO 6.- Plan de Estudios.

Es el conjunto de cursos obligatorios y electivos, estructurados por niveles, con su correspondiente asignación de créditos y requisitos [13].

Donde los contenidos programáticos:

##### ARTÍCULO 7.- Contenidos Programáticos.

Al iniciar cada curso el profesor deberá dar a conocer y publicar a los estudiantes el programa, los objetivos, los contenidos, la metodología, los recursos, la bibliografía y las indicaciones sobre la forma y el sistema de evaluación. Dichos programas deberán estar acordes con los aprobados por el Consejo Académico, evaluados y aprobados por el respectivo Consejo de Facultad [13].

La asignatura es de tipo teórico práctica que implica.

## ARTÍCULO 8.- Tipos de Cursos.

Por su naturaleza se clasifican en:

Cursos Teórico - prácticos:

Son aquellos que propician la articulación de la teoría y la práctica en un campo del conocimiento [13].

## CAPÍTULO II

### 2. CONTENIDO PROGRAMÁTICO

Para todo centro educativo de educación superior es de primordial importancia la creación de herramientas que faciliten la interacción entre los diferentes niveles jerárquicos de su organización, *“en el momento en que se enfatiza el conocimiento, adquieren gran relevancia los contenidos programáticos: el qué se enseña y aprende en la educación”* [14].

*“Con el concepto de educación como desarrollo humano se hace imprescindible el desarrollo de las potencialidades del educando, lo cual significa la búsqueda de formación integral, con acciones para el desarrollo físico, mental, emocional, social y cultural. Mediante el currículo se manifiesta el concepto de ser humano que conlleva toda acción educativa, en el proceso de enseñanza y aprendizaje, de acuerdo con el enfoque curricular elegido”* [14].

#### 2.1 Contenido programático de líneas de transmisión eléctricas de algunas universidades del país.

En los siguientes subíndices se mostrarán los diferentes contenidos o plan de estudio de algunas universidades nacionales, teniendo como principal objetivo la asignatura de Líneas De Transmisión, resaltando que no en todos los centros de educación superior está acotada con ese nombre, puesto que en algunos casos se encuentra como Redes de transmisión, Transporte de energía, Transmisión y distribución de energía eléctrica, Líneas y redes.

## 2.1.1 Universidad Distrital Francisco José De Caldas

La siguiente figura evidencia las características generales de la asignatura de líneas de transmisión con sus respectivos objetivos e intensidad horaria:

		<b>UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>SYLLABUS</b> <b>PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>					
<b>Nombre del Docente</b>							
<b>ESPACIO ACADÉMICO (Asignatura):</b> TRANSPORTE DE ENERGÍA						<b>Código:</b>  231	
Obligatorio	<input checked="" type="checkbox"/>	Básico	<input checked="" type="checkbox"/>	Complementario	<input type="checkbox"/>		
Electivo	<input type="checkbox"/>	Intrínseco	<input type="checkbox"/>	Extrínseco	<input type="checkbox"/>		
<b>Número de Estudiantes</b>				<b>Grupo</b>			
<b>Número de Créditos</b>				3			
<b>TIPO DE CURSO:</b>		Teórico		<input checked="" type="checkbox"/>	Práctico		<input type="checkbox"/>
		Teórico - Práctico		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
<b>Alternativas Metodológicas:</b>							
Clase Magistral	<input checked="" type="checkbox"/>	Seminario	<input type="checkbox"/>	Seminario-Taller	<input type="checkbox"/>	Taller	<input checked="" type="checkbox"/>
Proyectos Tutoriados	<input type="checkbox"/>	Otros	<input checked="" type="checkbox"/>				
<b>II. PROGRAMACIÓN DEL CONTENIDO</b>							
<b>OBJETIVO GENERAL</b>							
Proporcionar los elementos básicos que permitan el modelamiento, diseño, dimensionamiento y el comportamiento de los Sistemas de Transmisión y Distribución de un Sistema Eléctrico de Potencia.							
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientar al estudiante sobre la importancia de la energía eléctrica, especialmente con el transporte y la distribución de la misma en condiciones de calidad, confiabilidad, seguridad y eficiencia.</li> <li>• Conocer la estructura de un sistema eléctrico de potencia, distinguiendo los elementos que lo conforman.</li> <li>• Identificar los elementos y equipos necesarios para el diseño y las características de construcción de los sistemas de transmisión y distribución y las condiciones para la operación de los mismos.</li> <li>• Estudiar el comportamiento eléctrico de las líneas conociendo los fenómenos físicos que caracterizan su comportamiento estacionario y transitorio.</li> <li>• Establecer los elementos estructurales que afectan al comportamiento de la línea de acuerdo a los esfuerzos mecánicos</li> </ul>							

**Figura 2.** Contenido programático sintetizado de Transporte De Energía de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas [15].

<b>Competencias Laborales:</b> Dibujar, calcular, diseñar, construir, operar, supervisar y controlar sistemas de transmisión y de distribución de energía eléctrica							
<b>PROGRAMA SINTÉTICO:</b>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características Generales de las Líneas y Redes Eléctricas</li> <li>• Elementos y Unidades Constructivas de las Líneas y Redes Eléctricas</li> <li>• Modelos de Elementos y Criterios de Diseño Eléctrico</li> <li>• Cálculo Mecánico de Líneas de Transmisión</li> </ul>							
<b>III. ESTRATEGIAS</b>							
<b>Metodología pedagógica y didáctica</b> La asignatura estará basada en el Modelo Construcccionista, bajo diferentes modalidades de enseñanza para el trabajo directo, se utilizarán las clases teóricas o magistrales, para el trabajo colaborativo se aplicarán los talleres, las tutorías, el estudio y trabajo en grupo y en el aula virtual del curso se tendrán actividades para el estudio y trabajo autónomo del alumno. La metodología para adelantar el curso es presencial e incluye varios componentes como son:							
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clases magistrales dictadas por el docente, durante los horarios programados por la Coordinación del Proyecto, en el que se transmitan conocimientos y se activen los procesos cognitivos del estudiante. El material se entregará previamente para la participación activa por parte de los estudiantes.</li> <li>• Estudios de casos, los cuales serán investigados, discutidos y reflexionados por los estudiantes</li> <li>• Resolución de ejercicios y problemas, donde el estudiante ejercite, ensaye y ponga en práctica los conocimientos previos.</li> </ul>							
Aprendizaje orientado a proyectos, ya que permite a los estudiantes interactuar en situaciones concretas y significativas que estimulan el saber, el saber hacer y el saber ser, aplicando las habilidades y conocimientos adquiridos							
	Horas			Horas profesor/semana	Horas Estudiante/semana	Horas Estudiante/ semestre	Créditos
<b>Tipo de Curso</b>	TD	TC	TA	(TD + TC)	(TD + TC+TA)	X 16 semanas	3
<b>Teórico -Practico</b>	4	2	3	6	9	144	

**Figura 3.** Contenido programático sintetizado de Transporte de Energía de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas [15].

El plan de trabajo propuesto por esta universidad, demarca un modelo constructorista, en donde se realiza un trabajo de cálculos, análisis, estudios e identificaciones de parámetros técnicos que corresponden a la composición general de un sistema de transmisión de energía, contemplando las diferentes etapas de diseño y corroboración de la norma que rige cada uno de estos procesos. Seguido a lo ya mencionado, este contenido cuenta con 14 módulos, los cuales garantizan una acertada selección de los componentes académicos para el desarrollo del curso, pero a su vez queda la incertidumbre si realmente se van a dictar todos estos módulos, debido a que ellos presupuestan 16 semanas de clase y no se cuenta con inconvenientes no previstos.



## 2.1.2 Universidad Del Norte

La siguiente figura pertenece a la Universidad del Norte y hace referencia a las características generales de la asignatura Líneas y Redes de Transmisión y la metodología a tener en cuenta.

UNIVERSIDAD DEL NORTE
Información detallada del curso
<b>1. IDENTIFICACION DEL CURSO</b>
<b>Código y Nombre de la Asignatura:</b> IEL 7250 - LINEAS Y REDES DE TRANSMISION
<b>División Académica:</b> División de Ingenierías
<b>Departamento Académico:</b> Dpto. Ing. Eléctrica-Electrónica <a href="#">IEL</a> <a href="#">7070</a> Calificación Mínima de 3.0
<b>Número de créditos:</b>
<b>Intensidad horaria (semanal para nivel pregrado y total para nivel postgrado):</b>
3.000 Horas de Teoría 0.000 Horas de Laboratorio Niveles: Educación Superior Pregrado Tipos de Horario: Teoría
<b>FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DEL NORTE</b> División de Ingenierías Departamento de Ingenierías Eléctrica y Electrónica
<b>1. Identificación</b> Nombre de Asignatura: NRC de la asignatura: Líneas de Transmisión Pre-requisitos: Ninguno Co-requisitos: Ninguno Número de créditos: 3

<p>Tipo de crédito: 3 créditos teóricos obligatorios Intensidad horaria por semana: Horas teóricas asistidas: 3 Horas prácticas asistidas: 0 Horas trabajo independiente (teoría): 6 Horas trabajo independiente (práctico): 0 Nivel del curso: Pregrado Nombre del profesor: Ubicación del profesor: Horario de clase: Según lo indicado en Registro</p>
<p><b>2. Descripción amplia de la asignatura:</b></p> <p>La asignatura se dividirá en cuatro módulos:</p> <p><b>-Primer módulo:</b> Corresponderá a la introducción a la asignatura que incluye los conceptos básicos del negocio de la transmisión de la energía, las reglamentación vigente referente a los aspectos de seguridad y el reglamento técnico de instalaciones eléctricas en la transmisión (Capítulo IV).</p> <p><b>-Segundo modulo:</b> Describe la normatividad del negocio de la transmisión de la energía eléctrica en Colombia con énfasis a los aspectos de regulación, operación, mantenimiento y operación.</p> <p><b>-Tercer Módulo:</b> Corresponde a la teoría y cálculo de líneas de transmisión y se analizarán los parámetros y ecuaciones de las mismas y su importancia en líneas cortas, medias y largas. Se definirán los métodos para calcular los parámetros y el uso de las tablas de conductores. Adicionalmente se estudiará el efecto corona y la tensión crítica disruptiva. Se analizarán los fenómenos como radio interferencia y el ruido audible, el gradiente de potencial crítico y las normas internacionales que regulan estos fenómenos.</p>

Hará parte de este módulo el cálculo eléctrico de las líneas según su longitud utilizando los circuitos equivalentes en T y en PI, las pérdidas totales y la regulación de tensión para cada caso. Se determinará la ecuación general de un hilo tendido entre dos puntos y su correspondiente flecha. El estudio de tensión de cada día y tensión en horas frías y los efectos por causados por el viento.

También se estudiarán los aisladores definiendo los tipos de cadena, el cálculo de los mismos y se reforzará con un ejemplo de esfuerzos en cadenas de suspensión. Para las torres de transmisión se mostraran los diferentes tipos de torres, su despiece en general y su reconocimiento. Finalmente, se estudiaran los efectos de la contaminación sobre estructuras y sobre el aislamiento, las técnicas de lavado, corrosión y mantenimiento de las servidumbres.

**Cuarto Modulo:** Se trataran los aspectos legales que rigen el negocio de la transmisión y el impacto de la legalización y administración de las servidumbres.

### **3. Justificación:**

Los sistemas de transmisión también sirven para interconectar plantas de generación, permitiendo el intercambio de energía incluso cuando las plantas generadoras están fuera de servicio por haber sufrido un daño o por reparaciones de rutina. Es importante que el ingeniero electricista conozca tanto la normatividad vigente que enmarca este renglón así como la teoría necesaria para el diseño y cálculo de las líneas, las técnicas actuales de mantenimiento y la administración de sus servidumbres.

### **4. Objetivo general:**

Instruir a los futuros ingenieros electricistas sobre los sistemas de Transmisión de la energía eléctrica, tanto con el conocimiento de la teoría para el cálculo y diseño de líneas de transmisión como el manejo e interés general de la normatividad que rige esta actividad en Colombia.

### **5. Objetivos específicos:**

OE

Descripción del objetivo específico

OE1

Dotar al ingeniero electricista de los conocimientos necesarios para diseñar y calcular líneas de transmisión.

#### OE2

Despertar en el ingeniero electricista el interés por el manejo de la normatividad vigente en el negocio de la transmisión, operación, mantenimiento y administración.

#### OE3

Mostrar las técnicas de administración y manejo de líneas de transmisión.

#### OE4

Conocer los requisitos específicos para el proceso de transmisión descritos en el reglamento de instalaciones eléctricas.

#### OE5

Conocer los aspectos jurídicos que aplican a la transmisión así como la administración de la servidumbre en las líneas.

### 6. Metodología:

La asignatura será impartida por 4 especialistas en cada temática los cuales expondrán en clases a los alumnos quienes tendrán que participar en cada una de ellas y tendrán que previamente leer los temas a tratar. Además participaran con preguntas y discusiones de los temas. Tendrán que realizar consultas bibliográficas y en el internet de los temas expuestos. En algunos módulos existirán visitas técnicas a líneas y empresas del sector de la transmisión con el fin de que el estudiante conozca los conceptos impartidos en clases.

### 7. Medios:

El profesor utilizará como soporte del proceso de enseñanza medios audiovisuales y visitas técnicas. Se colocarán lecturas en el aula virtual y ejercicios modelos en la WEB.

### 8. Contenido

Tópico

Tema

HT1

#### Módulo I: INTRODUCCION A LA ASIGNATURA

- Conceptos Generales
- RETIE Capítulo IV: Reglamentó Técnico de Instalaciones Eléctricas en la Transmisión (Capítulo IV).
- Transmisión en AC y DC (FACTS y HVDC).

#### MODULO II: LA TRANSMISION DE ENERGIA

##### 1. Generalidades.

- El Sector Eléctrico en Colombia - Historia.
- El Sector Eléctrico en Colombia – Conceptos.

- Transporte de energía eléctrica en Colombia - Conceptos.
- Transporte de energía eléctrica en Colombia – Organización y actores.
- 2. Regulación.
  - Conceptos.
  - Metodología de remuneración.
  - Calidad del servicio en el STN.
- 3. Operación.
  - Conceptos.
  - Planeación.
  - Tiempo real.
  - Evaluación.
  - Tecnología (Centro de Control) – Visita a CCT de TRANSELCA.
- 4. Mantenimiento y Administración.
  - Planeación.
  - Ejecución.
  - Evaluación.
  - Negocio de Transmisión.

### **MODULO III: TEORIA Y CALCULO DE LINEAS DE TRANSMISION (Docente: Armando de la Cruz)**

1. Parámetros de Líneas de Transmisión.
  - Conceptos Básicos: Definiciones y características.
  - Constantes características fundamentales por kilómetro y totales de las líneas.
  - Tipos de conductores y valores de uso frecuente en los cálculos.
  - Ejemplos de cálculos de parámetros por kilómetros y totales.
  - Cálculos de la regulación de tensión.
  - Calculo de pérdidas totales y eficiencia de la transmisión.
  - Calculo de límite Térmico.
2. Conductores y cables en líneas de transmisión.
  - Ecuación general de un hilo tendido entre dos puntos
  - Cálculo de tensiones y flechas. Distancia de seguridad.
  - Calculo mecánico de cables
  - Vano ideal de regulación
  - Tensión de cada día y tensión en horas frías.

- Calculo Mecánico de un conductor.
  - Vano crítico. Tablas de cálculo mecánico y tablas de tendido.
3. Aisladores de transmisión.
- Tipo de cadenas de aisladores: Suspensión-Retención
  - Materiales de Aisladores: Vidrio, Porcelana y Polimérico.
  - Nivel de aislamiento.
  - Calculo de cadenas de aisladores de una línea.
  - Gravivano y eolovano.
  - Ejemplo de esfuerzos en cadenas de suspensión.
4. Torres de transmisión.
- Generalidades. Tipos de Torres.
  - Arboles de carga.
5. Mantenimiento.
- Efectos de la contaminación sobre estructuras y sobre el aislamiento.
  - Lavado y corrosión.
  - Servidumbres.

**MODULO IV: ASPECTOS LEGALES DE LA TRANSMISION Y ADMINISTRACION DE SERVIDUMBRES**

**Figura 4.** Contenido programático de la asignatura Líneas y Redes de Transmisión de la Universidad Del Norte [16].

De acuerdo a este contenido programático visualizado en la figura 4, se puede resaltar que es una asignatura netamente teórica con 6 horas de teorías y 0 de práctica, lo cual es algo normal de encontrar en los diferentes centros de educación superior. Los temas consignados en sus módulos abarcan los requisitos mínimos para la enseñanza de un curso de Líneas de Transmisión.

### 2.1.3 Universidad Industrial De Santander

La figura 5 pertenece a la Universidad Industrial De Santander y hace referencia a las características generales de la asignatura Líneas de Transmisión y sus respectivos módulos a tener en cuenta.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - Google Chrome

Es seguro | <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/asignaturas/contenidoAsig.jsp?codigo=23352>

Propósitos y Competencias | Contenido | Estrategias Pedagógicas | Bibliografía

1.Sistema Eléctrico (1 semana) Generalidades Aspecto histórico, social e industrial. Componentes del sistema. Niveles de tensión. Frecuencia. Clases de líneas eléctricas 2.Materiales para Líneas (cables) (1 semana) Conductores. Resistividad. Coeficiente de temperatura. Galgas Deformación. Módulo de elasticidad. Calor específico. Eficiencia mecánica. Características eléctricas del cobre, aluminio, acero, aleaciones, cables, huecos, etc. 3.Aisladores y Soportes (1 semana) Aisladores corrientes en dieléctricos. Rigidez dieléctrica. Constante dieléctrica. Porcelana, vidrio, esteatita, características. Clasificación de los aisladores. Condiciones técnicas para licitación. Carga de rotura. Línea de fuga. Tensión corona. Tensión disruptiva. Carga de rotura y electromecánica. Apoyos, materiales para apoyos. Torres en celocias. Configuración de líneas de transmisión. 4.Líneas Cortas (1 Semana) Resistencia de la línea. Inductancia Reactancia. Regulación en líneas cortas. Corrientes. Cálculo de tensiones. Fórmulas selección de conductores. Momentos de corriente. Potencia. Regulación porcentual. Pérdidas de potencia. Sistemas trifásicos. Regulación pérdidas de potencia. Diagrama fasorial. 5.Líneas Medias (1 Semana) Generalidades. Transposición. Distancia media geométrica Capacitancia. Efectos del Terreno en la capacitancia. 6.Conductancia en Líneas (1 Semana) Corriente de fuga. Efecto corona. Tensión crítica Corona. Pérdidas por corona. Efecto de la humedad y la altura sobre el nivel del mar. Efluvios en las líneas. Fórmulas de Peek. 7.Circuitos Equivalentes de la Línea de Media (1 Semana) Representación circuital de la línea, equivalente en T, equivalente en p, equivalente en L. Parámetros en líneas de transmisión. Relación de las constantes generalizadas. Constantes para redes combinadas. Conexas. Cascadas. Conexión en paralelo de líneas. Medida de las constantes generalizadas, aplicaciones. 8.Líneas Largas de Transmisión. (2 semanas) Generalidades. Línea física. Parámetros distribuidos. Ecuaciones características de la línea larga. Constante de propagación de la línea. Impedancia característica. Análisis de las ecuaciones de las líneas largas. Forma hiperbólica de las ecuaciones de las líneas de transmisión. Regulación en la línea de larga. Circuito equivalente de una línea a larga. Análisis de error en las aproximaciones, aplicaciones. Flujo de potencia en la línea. Parte II CÁLCULOS MECÁNICOS. 9.Ecuación de la Catenaria (1 Semana). Generalidades. Ecuaciones generales del cable. Longitud del conductor. Forma hiperbólica. Flecha. Ecuación cúbica. Ecuación de cambio de estado. Peso del cable. Sobrecarga en los cables. Sobrecarga de viento. Sobrecarga de hielo. Coeficiente de sobrecarga, ejemplos. 10.Vanos en la Línea (1 Semana) Generalidades. Vano real. Vano Promedio. Vano viento. Vano expuesto al viento. Tipos de vientos. Vano peso. Vano regulador. 11.Condiciones de Tendido. (1 Semana) Tensión de cada día. Flechas máximas. Distancia de seguridad: entre conductores al terreno, distancia de seguridad vertical, vibraciones eólicas, curvas de tendido, tablas de tendido, hipótesis de tendido, vano crítico. 12.Distribución de Apoyos (1 Semana). Curvas de máximas flechas de la línea, trazada en las curvas de máximas flechas verticales según la categoría, según la parábola. Elaboración de la plantilla. Flechas mínimas. Plantillado y distribución de apoyos. Medias laderas. 13.Aislamiento en la Línea (1 semana) Tensión nominal. Tensión más elevada. Grados de aislamiento. Nivel básico de aislamiento. Desviaciones transversales en las cadenas de aislamiento. Desviaciones por cambios de dirección de las líneas. Tipos de aisladores para líneas, contrapesos. 14.Protección de Líneas Eléctricas (1 Semana). Sobretensiones de origen interno. Sobretensiones de origen externo. Cable de guarda. Apantallamiento eléctrico de la línea. Zona de atracción del rayo. Protección perfecta. Protección parcial. Salidas de la línea. 15.Radio Interferencia. (1 Semana). Introducción. Cálculo del nivel de la RI. Ajustes. Metodología. Servicio de radiodifusión. Relaciones señal/ruido. 16.Transmisión D.C. (1 Semana). Introducción. Ventajas. Desventajas. Consideraciones de costos. El sistema D.C. Cables coaxiales sólidos. Cargabilidad del conducto. 17.Consideraciones Económicas (1 Semana) Sistemas de interconexión. Herrajes. Selección económica del conductor Selección económica de apoyos. Normalización de estructuras y licitaciones. 18.Realización de una Licitación

**Figura 5.** Contenido programático de la asignatura Líneas de Transmisión de la Universidad Industrial De Santander [17].

Este plan de estudio para líneas de transmisión esta engrosado por 18 módulos de estudio, algo que garantiza una enseñanza a profundidad de los diferentes análisis, etapas de estudio y diseño que conforman los sistemas de transmisión de energía, pero que a su vez cuenta con rival en contra como lo son los imprevistos con los que cuentan las universidades públicas, en donde no es posible con exactitud saber si se van a dar todos los módulos.

## 2.1.4 Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito

En esta universidad privada del país se dicta la asignatura que lleva por nombre transmisión y distribución y se visualiza en la figura 6.



### ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

#### CONTENIDO PROGRAMATICO

Asignatura:	Vigente desde:	Hasta:	Ult.Modificación	Penúltima:
Transmisión y distribución	2014-2	2050-2	2014-2	2008-2

#### OBJETIVOS

Presentar, estudiar, analizar y diseñar los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

#### JUSTIFICACION

El ingeniero electricista debe analizar, diseñar, construir y operar los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, además de conocer todas las estructuras y materiales utilizados en estas redes.

#### INTENSIDAD (HORAS/SEMANA)

12.00

#### CONTENIDO RESUMIDO

? Sistemas de distribución: análisis, diseño, operación  
 ? Sistemas de transmisión: análisis, diseño, operación

#### CONTENIDO DETALLADO

**1. DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA**  
 Trabajos preliminares. Norma de construcción de redes utilizadas en Colombia. Parámetros de diseño. Parámetros eléctricos. Conductores, aisladores y herrajes. Estructuras. Circuitos primarios. Redes de distribución secundaria. Redes subterráneas. Esquemas de alimentación, redundancia. Interruptores, reconectores, seccionlizadores, cortacircuitos. Problemas. Normatividad. Levantamiento de circuitos de media tensión. Presupuesto y cronograma de obra.

**2. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN**  
 Topología de circuitos existentes en Colombia. Selección de ruta, levantamiento. Meteorología. Diseño y coordinación del aislamiento. Sobrevoltajes de baja frecuencia. Contaminación. Sobrevoltajes por accionamientos. Descargas atmosféricas. Resistencia de puesta a tierra. Cálculo mecánico de conductores y cables de guardia. Radio interferencia. Condiciones limitantes. Descripción y evaluación de cargas. Árboles de carga. Factores de seguridad y sobrecarga. Utilización de la estructura. Selección de los cables de guardia. Selección del conductor. Ecuación de estado, estudio económico. Capacidad de las líneas. El efecto corona. Plantillado y optimización de estructuras. Diseño electromecánico final. Replanteo, presupuesto, programa de obra.

#### METODOLOGIA

? Clase magistral.  
 ? Exposición por parte de los alumnos.  
 ? 3 Visitas técnicas

**Figura 6.** Contenido programático de la asignatura Transmisión y distribución de la Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito [18].

Este contenido no es tan detallado, pero muestra a grosso modo algunos aspectos importantes que son tenidos en cuenta en el desarrollo del curso que se dicta en esa universidad, que oferta esta materia en el 8 semestre del programa de ingeniería eléctrica, el cual cuenta con registro SNIES 1982 y registro de Alta Calidad renovado con Res. No. 1254 del 31 de Enero de 2014.

### 2.1.5 Universidad De La Salle

En la figura 7, se puede observar el plan de estudios de la Universidad De La Salle, en donde en el semestre 7 se dicta la asignatura de Transmisión de Energía Eléctrica.

PERFIL EXPRESADO EN COMPETENCIAS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concibe, diseña, implementa y opera sistemas de energía eléctrica basados en el aprovechamiento de los recursos energéticos de forma eficiente y comprometida con el desarrollo.</li> <li>• Lidera creativamente apoyado en su sólida fundamentación y capacidad instrumental, grupos de trabajo para el modelamiento de problemas inherentes a la ingeniería eléctrica, a través de la utilización óptima de los recursos, apoyando así el Desarrollo sustentable de las comunidades.</li> <li>• Modela situaciones físicas aplicando conceptos físicos y matemáticos para el desarrollo e implementación de sistemas eléctricos que apoyen el desarrollo socio-económico con equidad de una sociedad incluyente y justa.</li> <li>• Conoce y maneja situaciones físicas, relacionadas con los fenómenos electromagnéticos y que están orientados a la solución de la generación, transporte, distribución y uso de la energía eléctrica; con el fin de minimizar el impacto ambiental negativo.</li> <li>• Identifica, analiza y resuelve situaciones que se pueden modelar a través de circuitos eléctricos, para optimizar los sistemas eléctricos, garantizar la innovación, y lograr la dinamización de la actividad socio-económica a través de la gestión y el planeamiento energético empresarial.</li> </ul>																	
PERÍODOS ACADÉMICOS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X								
FUNDAMENTADORA (26%)	Cálculo I	Cálculo II		Cálculo III		Cálculo IV		Cálculo V											
	10	2	4	4	5	3	4	5	3	4	5	3							
		Física I		Física II		Física III													
		6	6	4	6	6	4	6	6	4									
	Biología general	Álgebra lineal																	
	4	5	3	4	5	3													
	Química general					Mecánica de fluidos		Termodinámica aplicada											
	6	6	4			4	5	3	4	5	3								
	Ingeniería en contexto	Expresión gráfica						Mecánica analítica											
	2	4	2	4	5	3	4		5	3									
PROFESIONAL (33%)			Circuitos eléctricos I		Circuitos eléctricos II		Circuitos eléctricos III		Análisis de señales		Instalaciones e iluminación								
			6	3	3	6	3	3	4	2	2	4	2	2					
							Electrónica analógica		Electrónica digital		Teoría de control		Electrónica de potencia						
							4	5	3	4	5	3	6	3	3	4	5	3	
			Teoría electromagnética I		Teoría electromagnética II		Transformadores												
			4	2	2	4	2	2	4	2	2								
							Máquinas rotativas		Distribución de energía eléctrica		Generación de energía eléctrica		Centrales y subestaciones						
							4	2	2	4	2	2	4	2	2	4	2	2	
									Transmisión de energía eléctrica		Protecciones eléctricas		Análisis de sistemas de potencia		Calidad de potencia				
									4	2	2	4	2	2	4	2	2	4	5

Figura 7. Plan de estudio del programa de ingeniería eléctrica de la Universidad De La Salle [19].

Pese a que no se tuvo acceso al contenido programático de la asignatura de esta universidad, se evidencia que la mayoría de centro educativos de educación superior dictan este curso en un intervalo de semestre que va desde el 7 al 9, y en este caso particular en el mismo semestre que se dicta Transmisión de energía eléctrica paralelamente el estudiante recibe distribución de energía eléctrica. El programa cuenta con registro calificado 1141 código SNIES 1448 y acreditación de Alta Calidad No.19848, 20/11/2014.

## 2.1.6 Universidad Nacional De Colombia

La Universidad Nacional es el punto de referencia para las diferentes instituciones de educación superior, y obviamente tiene ofertado el programa de ingeniería eléctrica, que a su vez tiene ofertada la asignatura que lleva por nombre Transmisión y distribución.

Contexto profesional, innovación e investigación			Créditos Mínimos: 3c		
Asilamiento eléctrico	Regulación de energía	Calidad de energía			
3c 2016850	3c 2024048	3c 2024295			
Sistemas de Potencia obligatorios (SB)			Créditos Mínimos: 9c		
Transmisión y Distribución	Introducción a los sistemas de energía eléctrica	Análisis de Sistemas de Potencia			
3c 2016865	3c 2016861	3c 2016851			
Sistemas de Potencia			Créditos Mínimos: 3c		
Protección de sistemas de potencia	Protecciones en media y baja tensión	Subestaciones eléctricas	Tópicos de sistemas de potencia	Estabilidad de sistemas de potencia	Subestaciones eléctricas
3c 2016859	3c 2016860	3c 2024049	3c 2024050	3c 2016854	3c 2001636

Figura 8. Plan de estudio de la asignatura de la Universidad Nacional De Colombia [20].



## 2.1.7 Contenido Programático de la asignatura líneas de transmisión de la Universidad De Pamplona

Actualmente el curso de líneas de transmisión en el programa de Ingeniería Eléctrica ha tenido ajustes a través del tiempo, y hoy por hoy el curso está dividido en 7 temas donde se trata de abarcar a grandes rasgos todo lo relacionado con líneas de transmisión. El contenido programático de forma sintética es el siguiente:

	<b>Contenidos Programáticos Programas de Pregrado</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.02
		<b>Página</b>	49 de 4

FACULTAD: INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

POGRAMA: INGENIERIA ELÉCTRICA

DEPARTAMENTO DE: INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES.

CURSO :	Líneas de Transmisión	CÓDIGO:	167241
ÁREA:	Profesional		
REQUISITOS:	167204	CORREQUISITO:	
CRÉDITOS:	2	TIPO DE CURSO:	Teórica-práctica

### JUSTIFICACIÓN

El proyecto de una línea eléctrica de transmisión es una tarea multidisciplinaria, donde el ingeniero eléctrico es frecuentemente un coordinador de distintas especialidades, para lograr la culminación exitosa con las soluciones constructivas ingenieriles. Por ello el ingeniero eléctrico debe trabajar principalmente como especialista en su área que corresponde al análisis eléctrico y dimensionamiento de la línea de transmisión planteada que predispone el funcionamiento del sistema de potencia, sin olvidar los conocimientos básicos en los otros campos que necesitan ser coordinados.

### OBJETIVO GENERAL

Presentar los principios ingenieriles fundaméntales para el cálculo eléctrico en las líneas aéreas de transmisión de energía.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Calcular los parámetros de los modelos de las líneas de transmisión aéreas.
- Determinar la disposición de los conductores que favorezca el funcionamiento del sistema de potencia.
- Calcular las características de los conductores de líneas aéreas de transmisión.

### COMPETENCIAS

- Calcular la disposición de conductores y tipos de estructuras.
- Realizar el dimensionamiento geométrico de la torre.
- Calcular y analizar líneas de transmisión de alta tensión.
- Conocer los conductores para líneas aéreas y sus parámetros eléctricos.

	<b>Contenidos Programáticos Programas de Pregrado</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.02
		<b>Página</b>	2 de 4

### UNIDAD 1 MODELOS ELÉCTRICOS DE LA LÍNEA DE TRASMISIÓN

TEMA	HORAS DE CONTACTO DIRECTO	HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE
<b>TEMA 1: GENERALIDADES, PARAMETROS ELÉCTRICOS DE LA LÍNEA DE TRASMISIÓN.</b> Generalidades tecnológicas componentes- Las ecuaciones de Maxwell	2	12
<b>TEMA 2: INDUCTANCIA Y RESISTENCIA</b> Resistencia - Inductancia de una línea - Inductancia de una línea de dos conductores - Enlaces de flujo de los conductores en un grupo - Inductancia de la línea con conductores compuestos	12	24
<b>TEMA 3: CAPACITANCIA</b> Diferencia de potencial de dos puntos - Capacitancia de una línea de dos conductores- Capacitancia de conductores con espaciamento simétrico- Método de transposición - Capacitancia de conductores con espaciamento asimétrico - Capacitancia de conductores con espaciamento asimétrico con respecto a la tierra	14	28
<b>TEMA 4: MODELOS ELÉCTRICOS DE LA LÍNEA DE TRASMISIÓN</b> Análisis de los modelos pi y T eléctricos de la línea de transmisión	6	12

UNIDAD 2 CONDUCTORES EN LÍNEAS AÉREAS

TEMA	HORAS DE CONTACTO DIRECTO	HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE
TEMA 5 CONDUCTORES PARA LÍNEAS AÉREAS Metales conductores - el aluminio - tipos de conductores - características mecánicas - selección del tiro de conductor - selección con criterio eléctrico - la tensión de transmisión - pérdidas por efecto corona - pérdidas corona con buen tiempo - pérdidas de potencia bajo lluvia - pérdidas por efecto Joule	2	4
TEMA 6: EL CALCULO MECANICO DE LOS CONDUCTORES Esfuerzos en los conductores - Cálculo de la tensión y flecha	7	8
TEMA 7: HIPOTESIS DE CALCULO	7	8

	<b>Contenidos Programáticos Programas de Pregrado</b>	<b>Código</b>	FGA-23 v.02
		<b>Página</b>	3 de 4

<p>Tipos de cargas - Hipótesis de cálculo - Determinación de cargas que afectan la línea - cargas climáticas debidas al viento - Hipótesis de viento máximo - Hipótesis de temperatura mínima con viento reducido - Acción del viento sobre elementos componentes - cargas de limitación de fallas (efecto cascada) - Esquemas resumen - distribución estadística de las cargas de viento - velocidad de referencia meteorológica del viento - eventos excepcionales tornados.</p> <p><b>Introducción al cálculo mecánico de líneas.</b> Comentarios de normas y reglamentos - Clasificación de cargas - Hipótesis de cargas</p> <p><b>Las fundaciones.</b> Las fundaciones, tipos y aplicaciones. Problemas ligados al suelo y a las formas constructivas.</p> <p><b>La traza de la línea.</b> La traza, criterios de selección, el ambiente, la influencia de todas las variables de diseño. Situaciones particulares, singularidades, problemas de desniveles, grandes vanos.</p>		
--	--	--

#### METODOLOGÍA

#### SISTEMA DE EVALUACIÓN

Según Reglamento Académico Estudiantil y las fechas programadas en el calendario académico.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Grainger, J. J., Stevenson, W. D., "Análisis De Sistemas Eléctricos De Potencia". MC Graw Hill, Mexico 1996.  
Checa, L. M. "Líneas de Transporte de Energía". Marcombo

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

**Figura 9.** Contenido programático de la asignatura líneas de transmisión de la Universidad De Pamplona.

El contenido de la asignatura de marca una intensidad horaria de 4 horas a la semana, con una cantidad total de 2 créditos, impartida de manera teórica-práctica, en un periodo de 16 semanas calendario.

Los temas en comparación con los planes de estudio de otras universidades no varían mucho, se imparten en la gran mayoría la misma catedra académica, las únicas diferencias visibles se dan en la intensidad horaria dada por los otros centro de educación superior, así como la cantidad de créditos que se le da. Otro aspecto visible es que en varias universidades del país, el nombre de la asignatura cambia, pero en esencia son los mismos temas a visualizar, y si queremos ir más a fondo, en la gran mayoría de universidades privadas la asignatura se encuentra impartida por programas que están acreditados con registro de Alta Calidad, a comparación de universidades públicas que son pocas las que cuentan con este registro de calidad.

## CAPÍTULO III

### 3. CONTENIDOS

Para la inclusión en Moodle de los contenidos seleccionados del plan de estudios se generara un escenario para la asignatura de líneas de transmisión, la cual está constituida por 9 temas representados en la figura 10, que abarcan los módulos expuestos en el contenido programático del programa de ingeniería eléctrica de la Universidad de Pamplona.



**Figura 10.** Contenidos seleccionados para la plataforma Moodle de la asignatura líneas de transmisión.

### 3.1 Módulo – introducción

El módulo debe presentar una reseña acerca de la utilización de los dispositivos eléctricos, y de la dependencia que tienen estos elementos con la energía eléctrica, resaltando que para el funcionamiento y rendimiento adecuado, necesita de un sistema de potencia equilibrado donde forman parte la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

### 3.2 Módulo – generalidades de la línea de transmisión

Este módulo, presentara las características principales que componen una línea de transmisión, enunciando los diferentes componentes tecnológicos que la conforman, mencionando varios tipos de conductores que se encuentran en un sistema de transmisión.

Se menciona las diferentes características mecánicas de los aisladores, sus principales causas de fallo y los distintos materiales con los que son fabricados. El componente de estructuras o torres es abarcado de tal forma que se mencionan los diferentes tipos que se encuentran en un sistema eléctrico convencional.

Finaliza el módulo presentando el tema de cable de guarda, en donde se realiza una definición puntual con sus distintas funciones en un sistema de transmisión. Al final de cada elemento mencionado en el módulo de generalidades de la línea de transmisión (conductores, aisladores, torre y cable de guarda) se anexa una presentación en Power Point que el estudiante puede descargar y tener acceso a la información recopilada en ese documento, además presenta un recurso audiovisual enlazado de la plataforma de YouTube, para cada elemento presente en el módulo.

### 3.3 Módulo – modelos distribuidos

Este módulo presentara una justificación que avale las características de los modelos eléctricos utilizados para parametrizar las líneas de transmisión y utilizar con un porcentaje de error aceptable.

### 3.4 Módulo – resistencia en líneas de transmisión

Este módulo define la resistencia eléctrica como parámetro fundamental en una línea de transmisión, hace una distinción de los 2 tipos de resistencia ( $R_{dc}$  y  $R_{ac}$ ) que se presentan debido a diversos fenómenos que viven presentes en la conducción eléctrica de la distribución no uniforme de la corriente en el conductor tales como el efecto corona, efecto piel, etc.

Muestra la ecuación para determinar la resistencia en DC, por medio de una tabla presentan los diferentes valores de resistencia de los conductores a 20 °C que son utilizados comúnmente en líneas de transmisión. Además, se muestra el comportamiento de la resistencia en diferentes puntos de temperatura por medio de una figura, de la cual se relaciona una ecuación de resistencia en función de la temperatura.

De la resistencia en AC, menciona la diferencia que tiene con la resistencia en DC en donde esta considera la distribución no uniforme de la corriente a lo largo de la sección transversal de conductor, como consecuencia de los fenómenos que se hacen presente al trabajar con corriente alterna. Al final del módulo presenta un recurso audiovisual enlazado de la plataforma de YouTube que complementa lo mostrado en el módulo de resistencia eléctrica.

### 3.5 Módulo – inductancia y reactancia inductiva

Este módulo describe la inductancia como parámetro fundamental en una línea de transmisión, menciona los diferentes fenómenos en los cuales este elemento participa, principalmente en los campos magnéticos de la línea, en donde para campos cuasi estacionarios como es el caso de bajas frecuencias utilizadas en la transmisión de potencia eléctrica, 50-60 (Hz), se utiliza la definición del parámetro inductivo en campos estacionarios. Es decir no se toma en cuenta la corriente de desplazamiento para efectos de cálculo.

Muestra las diferentes ecuaciones para expresar las intensidades de campo magnético, densidad de campo magnético, diferenciales de flujo de campo externo, corriente de una sección circular, flujo interno, energía magnética, etc.

Para una mejor observación de los diferentes fenómenos electromagnéticos pertenecientes a la inductancia, el módulo cuenta con varias figuras de apoyo, las cuales fueron consultadas y proyectadas en la mejor calidad posible, al final del módulo presenta un recurso audiovisual enlazado de la plataforma de YouTube que complementa lo mostrado en el módulo de inductancia y reactancia inductiva.

### 3.6 Módulo - capacitancia y reactancia capacitiva

Este módulo define el fenómeno de capacitancia en función de los campos eléctricos generados alrededor de los conductores de una línea de transmisión, quienes generan una diferencia de potencial entre ellos y originan capacitancia, donde para fenómenos de estado cuasi estacionarios el concepto de capacitancia puede ser manejado en la misma forma que se hace en campos electrostáticos. Recordando que para líneas con más de dos conductores se debe trabajar con los coeficientes potenciales definidos por Maxwell.

Presenta diferentes ecuaciones que permiten entender por medio de la ley de Gauss la creación de campo eléctrico generado por cargas que se fundamentan por las densidades de flujo eléctrico, en donde la intensidad del campo eléctrico generada por una carga se puede calcular en el aire dividiendo la densidad de flujo por la permitividad del espacio libre, dándole origen al campo eléctrico.

Se tocan diversos temas como la descarga corona, el campo eléctrico en el nivel del suelo, el cálculo de la carga eléctrica, la disposición de la línea de transmisión para el cálculo del campo eléctrico teniendo en cuenta el efecto del suelo.

Diferentes figuras se muestran en este módulo, con lo cual se busca complementar la información recopilada de los diferentes elementos relacionados con la capacitancia, al final del módulo presenta un recurso audiovisual enlazado de la plataforma de YouTube que complementa lo mostrado en el módulo de capacitancia y reactancia capacitiva.

### 3.7 Módulo – modelos eléctricos de la línea de transmisión

Este módulo clasifica los diferentes modelos de representación de un sistema de líneas de transmisión, mencionando línea corta, línea media y línea larga. Se representan mediante circuitos eléctricos, los cuales se proyectaron en la mejor calidad de presentación posible.

Muestran diagramas fasoriales para el modelado de las diferentes líneas (corta y media), en donde se visualizan con un factor de potencia unitario, capacitivo e inductivo. Las ecuaciones presentadas son el análisis circuital de cada modelo de línea mostrado, las cuales sirven como soporte técnico al desarrollo del módulo.

Los modelos tipo  $\pi$  y tipo  $T$ , se muestran con sus respectivas figuras y ecuaciones, que son desarrolladas a lo largo del módulo, al final presenta un recurso audiovisual enlazado de la plataforma de YouTube que complementa lo mostrado en el módulo de modelos eléctricos de la línea de transmisión.

### 3.8 Módulo – cálculo mecánico de la catenaria y flecha

Este módulo define los parámetros de catenaria, flecha, tiro, esfuerzo, saeta, longitud del conductor, etc. que son de vital importancia a la hora de diseñar líneas de transmisión, se calculan los diferentes valores para conductores a nivel y desnivel, así como catenarias en función del tiro máximo y esfuerzos en los extremos con tiros en cualquier posición de la abscisa  $X$ .

Cuenta con varias figuras que visualizan los diferentes parámetros analizados en el módulo, que van de la mano con las ecuaciones utilizadas para el cálculo

mecánico correspondiente, al finalizar el módulo muestran diversos recursos audiovisuales enlazados de la plataforma de YouTube que nos indica cómo realizar una medición de la catenaria, como crear perfiles topográficos y como se realiza el tendido de un conductor a 500 KV.

### 3.9 Módulo – hipótesis de cálculo de ecuación de estado

Este módulo indica las condiciones normales de trabajo a las cuales se ve sometido un conductor, donde se toman factores en cuenta como la temperatura, el viento, el hielo, el peso del conductor, la nieve.

Establece ecuaciones que reflejan el valor del peso resultante, coeficiente de sobrecarga, presión del viento, peso del hielo, diferenciales de longitud, longitudes del conductor a nivel y desnivel, valor del esfuerzo.

El módulo muestra los procedimientos matemáticos para obtener las ecuaciones para el cálculo de la ecuación de estado para un conductor a nivel y desnivel, proyecta una figura en donde se tienen en cuenta todos los parámetros necesarios que se utilizan para obtener las ecuaciones de estado correspondientes. Al final del módulo presenta un recurso audiovisual enlazado de la plataforma de YouTube que complementa lo mostrado en el desarrollo del contenido, donde se visualiza las diferentes etapas y cálculos para realizar un diseño de líneas de transmisión detallado.

## CAPÍTULO IV

### 4. RECURSOS DE LOS MÓDULOS

La plataforma creada para la asignatura líneas de transmisión, cuenta con diferentes recursos visuales, en donde se sintetizó el contenido programático en diversos módulos, los cuales cuentan con elaboración de:

- Cuadros
- Diagramas

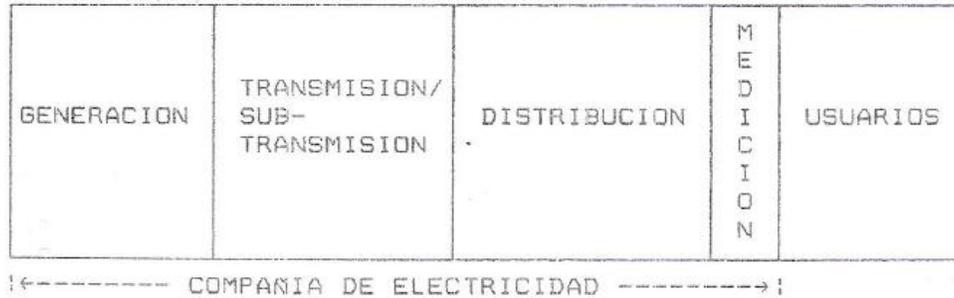
- Transcripción de fórmulas
- Monografías demostrativas
- Presentaciones (Power Point)
- Imágenes
- Videos enlazados
- Planos en auto-cad
- Practica en campo de trayectoria de líneas y perfiles de altura

Para reasentar los contenidos mostrados en la plataforma Moodle, se utilizaron aportes bibliográficos los cuales fueron consultados en fuentes verídicas de información técnica de los fenómenos electromagnéticos de las líneas de transmisión, principalmente en libros que cuentan con el sello de la editorial IEEE.

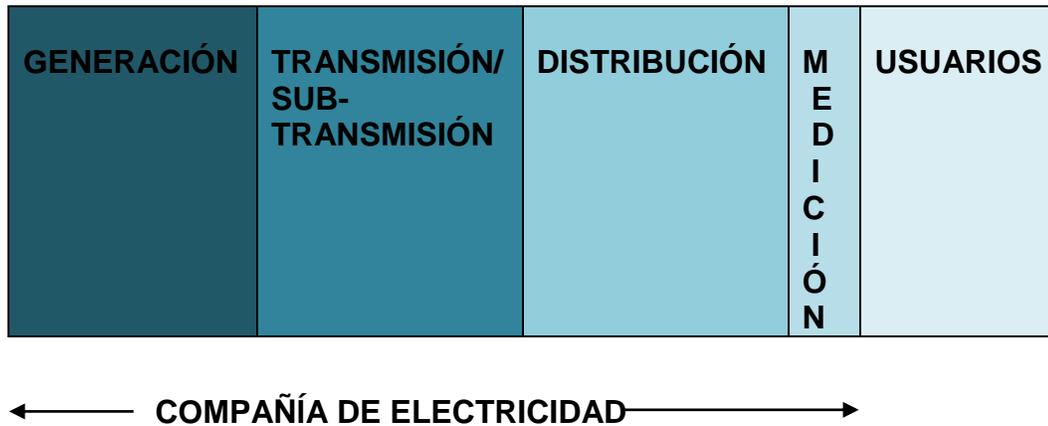
#### 4.1 Módulo – introducción

Para el desarrollo de este módulo, se proyectaron diversas imágenes que validaran los conceptos desarrollados, y que facilitaran la comprensión del comportamiento energético desde su etapa inicial hasta su posterior entrega final al usuario. La base bibliográfica para este módulo fue tomada del libro **“TEORÍA DE LÍNEAS AÉREAS TRANSMISORAS DE POTENCIA ELÉCTRICA”** del profesor Hidelmaro Briceño de la Universidad de los Andes de la ciudad de Mérida (Venezuela), en donde se toman diferentes diagramas y figuras, de las cuales se hace una mejora estética con la tecnología actual y síntesis del capítulo referenciados en la plataforma.

Se utilizó el software ETAP 12.6.0 para la modificación de estos diagrama, que muestran sistemas de potencia con sus respectivos componentes, donde anteriormente eran visibles solo en libros y ahora se cuenta con una simulación, donde a la hora de parame trizar con diferentes datos, se cuenta con un sistema real.

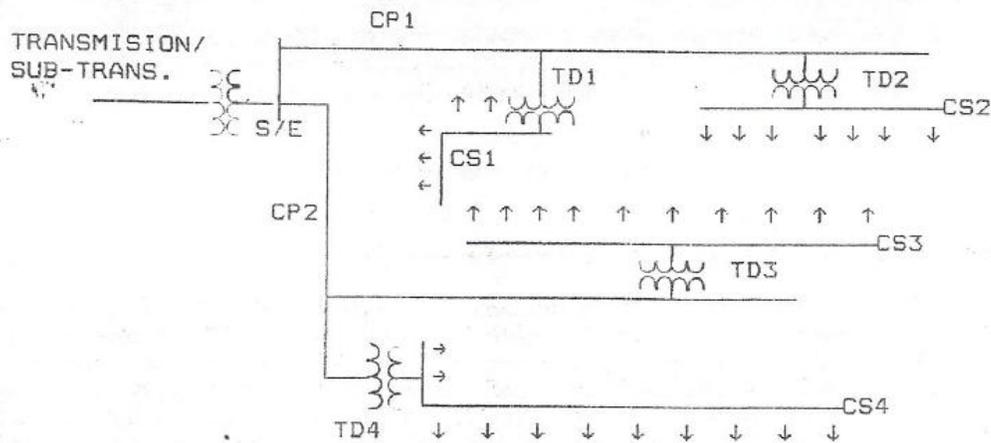


**Figura 11.** Diagrama (original) utilizado en primer módulo de la plataforma [21].

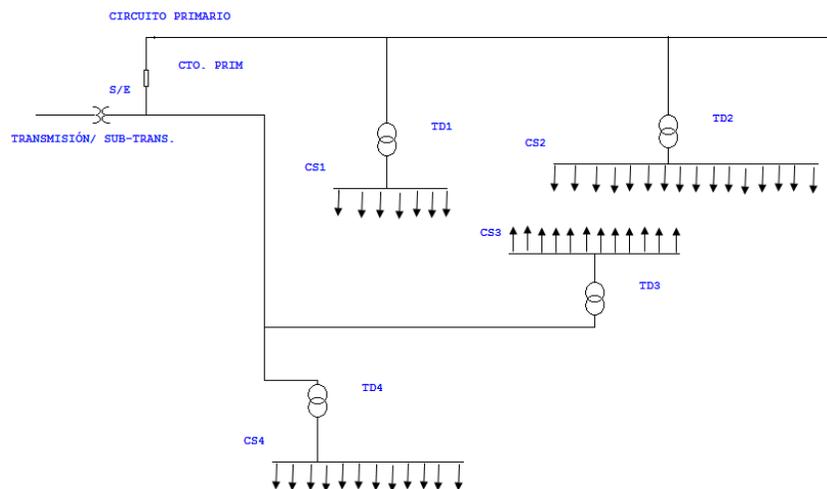


**Figura 12.** Diagrama (modificado) utilizado en el primer módulo de la plataforma [21].

La figura 11 y 12 ilustran las diferentes etapas de transformación y transporte de la energía eléctrica, acentuando que para llevar desde la etapa de generación hasta distribución necesitamos líneas de transmisión, por ende estudiar todos los fenómenos electromagnéticos que esta presenta es de vital importancia en pro de salvaguardar la vida útil de los diferentes elementos y aumentar la fiabilidad del sistema de potencia.



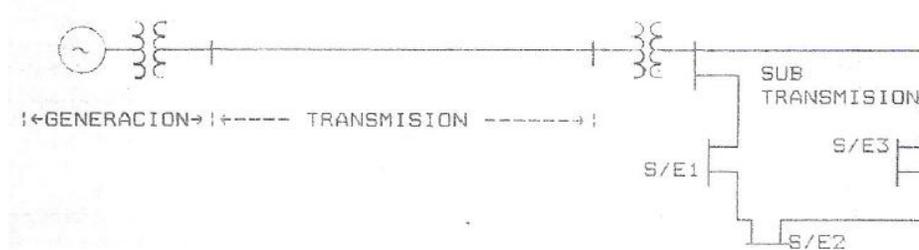
**Figura 13.** Esquema (original) de un sistema de potencia de redes de distribución primaria y secundaria, utilizado en el módulo [21].



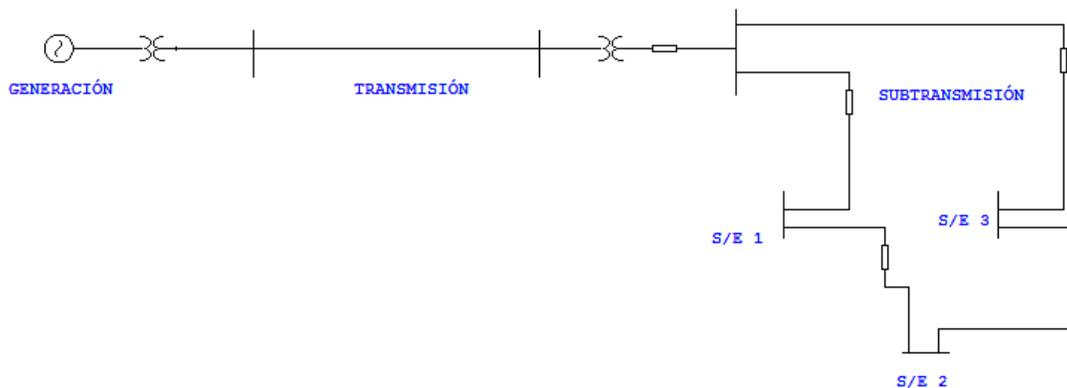
**Figura 14.** Esquema modificado en el software ETAP 12.6.0 para ser utilizado en el módulo – introducción [21].

La figura 13 y 14 representan la alimentación a las cargas por medio de circuitos primarios y secundarios donde los circuitos de distribución primaria (CP), están conectados a la subestación (S/E), y se prolongan a través de la

geografía donde se encuentran los usuarios (periferia). Para dar servicio a los usuarios, se reduce el voltaje mediante los transformadores de distribución (TD) al valor requerido, distribuyendo la energía con los circuitos de distribución secundarios (CS), que serían los que se derivan de los transformadores a través de las distintas acometidas.

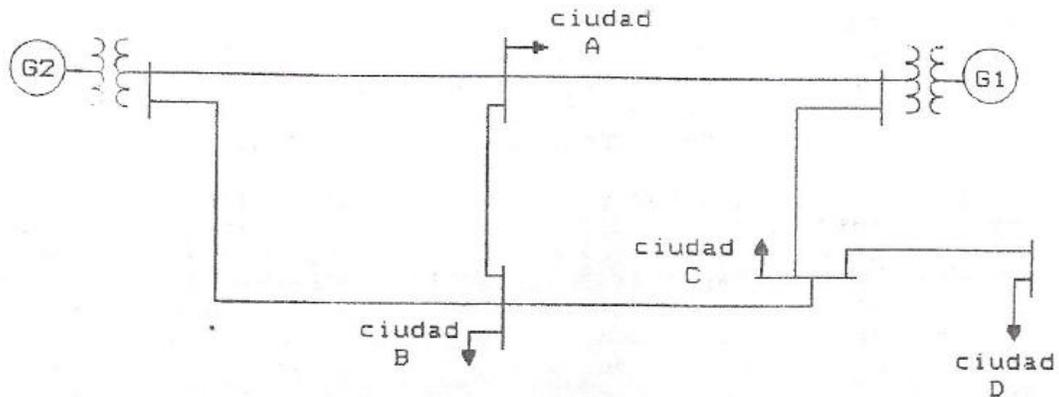


**Figura 15.** Esquema (original) de un diagrama unifilar en un sistema de potencia, iniciando desde la generación hasta sub-transmisión [21].

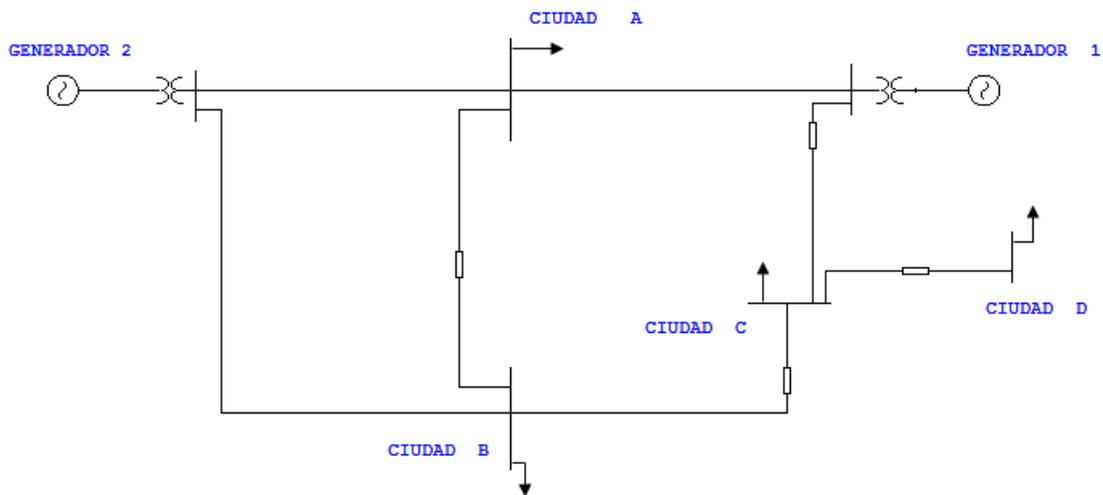


**Figura 16.** Esquema modificado en el software ETAP 12.6.0 utilizado en el primer módulo [21].

En la figura 15 y 16 se muestra un circuito de alimentación proveniente desde la etapa de generación hasta llegar a 3 subestaciones, donde se puede ver la diferencia entre transmisión y sub transmisión, para a partir de ahí derivar en líneas de distribución que son las que llevan el suministro de energías a las diferentes cargas residenciales, comerciales.



**Figura 17.** Esquema (original) de un sistema de potencia alimentando cuatro ciudades [21].



**Figura 18.** Esquema modificado en el software ETAP 12.6.0 utilizado en el módulo [21].

La figura 17 y 18 representan un sistema de potencia que alimenta cuatro ciudades, donde cada una de estas se conecta a un nodo del sistema (vendrían siendo una subestación), donde la ciudad D está alimentada “radialmente”, es decir, existe un solo circuito que sale del sistema de potencia para conectarla al sistema.

En contraste las ciudades A, B y C están conectada a nodos interconectados por más de un circuito al sistema de potencia, lo que se traduce en un servicio con mejor confiabilidad que el de la ciudad D.

Sí por alguna circunstancia el circuito que alimenta la ciudad D queda fuera de servicio, toda la ciudad queda sin energía eléctrica. Las ciudades A, B, C tienen dos o más lazos de interconexión con los generadores, si uno de estos lazos queda fuera de servicio estas pueden ser suplidas total o parcialmente por los lazos o circuitos restantes.

#### 4.2 Módulo – generalidades de la línea de transmisión

En este módulo se presentan varios componentes fundamentales en un sistema de líneas de transmisión, donde cada uno de ello cuenta con una presentación en Power Point, la cual se puede descargar haciendo clic en el enlace predispuesto en el espacio de trabajo inferior de cada elemento. Adicional a esto, se cuenta con un recurso audiovisual enlazado de la plataforma de YouTube para este módulo, donde se visualizan fenómenos como el efecto corona, el cambio de aisladores en una línea de 500 KV, el montaje de estructuras con ayuda de un helicóptero y la colocación de un cable de guarda.

<b>Lineas de Transmisión - 2017 - 2</b>	<b>AISLADORES</b>
Participantes	Los aisladores son parte fundamental en las líneas de transmisión, mantienen separados los diferentes conductores de fase, los cuales se ven sometidos a diversos esfuerzos mecánicos, además cuentan con diversas características tales como [2]:
Insignias	-Resistividad eléctrica elevada -Rigidez dieléctrica elevada (superior al vacío) -Resistencia mecánica elevada -Fiabilidad alta (reducida tasa de fallos) -Posibilidad de detección de fallos -Peso reducido [2]
Competencias	Donde sus principales causas de fallo son [2]:
Calificaciones	-Envejecimiento -Condiciones ambientales (humedad) efectos negativos en la calidad del servicio (interrupción de suministro por apertura de las protecciones) [2]
Área personal	Son fabricados en [2]:
Inicio del sitio	-Porcelana -Vidrio -Composite [2]
Calendario	Donde están sometidos a constantes esfuerzos rígidos y suspendidos [2].
Ficheros privados	<a href="#">Presentación aisladores</a>
Mis cursos	
<b>Lineas de Transmisión - 2017 - 2</b>	

**Figura 19.** Campo de trabajo en la plataforma Moodle, en donde el cuadro en rojo muestra la ubicación del enlace de descarga para la respectiva presentación en Power Point de este parámetro general en una línea de transmisión [22].

Tal como lo muestra la figura 19, el elemento aislador cuenta con su respectiva presentación, de igual forma los otros elementos también cuentan con este recurso al cual pueden acceder dándole clic al enlace.

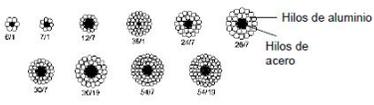
<b>Lineas de Transmisión - 2017 - 2</b>
Participantes
Insignias
Competencias
Calificaciones
<b>Área personal</b>
Inicio del sitio
Calendario
Ficheros privados
Mis cursos
<b>Lineas de Transmisión - 2017 - 2</b>

- Resistente a la corrosión
- Mayor resistencia mecánica [2]



**Figura 2. Cable AAAC [2].**

- Cables de aluminio con refuerzo de acero (ACSR –Aluminium Conductor Steel Reinforced (Norma ASTM); Tipo LA (Norma UNE)) [2]
- Los más usados (media y alta tensión)
- Rango entre 100 y 1500 A
- Gran variedad para adaptarse a las necesidades de carga y resistencia mecánica [2]

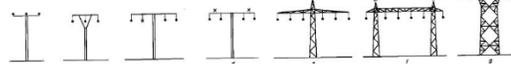


**Figura 3. Cables ACSR [2].**

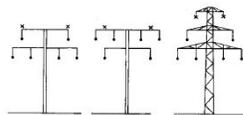
Presentación\_conductores

**Figura 20.** Enlace de descarga para la presentación del elemento conductor del módulo-generalidades de la línea de transmisión [22].

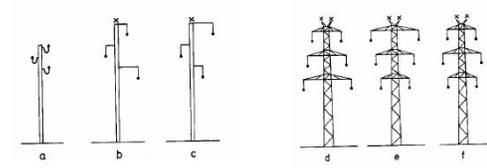
<b>Lineas de Transmisión - 2017 - 2</b>
Participantes
Insignias
Competencias
Calificaciones
<b>Área personal</b>
Inicio del sitio
Calendario
Ficheros privados
Mis cursos
<b>Lineas de Transmisión - 2017 - 2</b>



**Figura 4. Estructuras de un nivel [2].**



**Figura 5. Estructuras de dos niveles [2].**



**Figura 6. Estructuras de tres niveles [2].**

Presentación\_estructuras

**Figura 21.** Enlace de descarga para la presentación del elemento estructuras del módulo-generalidades de la línea de transmisión [22].

Lineas de Transmisión - 2017 - 2	
Participantes	
Insignias	
Competencias	
Calificaciones	
Área personal	
Inicio del sitio	
Calendario	
Ficheros privados	
Mis cursos	
Lineas de Transmisión - 2017 - 2	

[Presentación\\_cable\\_de\\_guarda](#)

**Figura 22.** Enlace de descarga para la presentación del elemento cable de guarda del módulo-generalidades de la línea de transmisión [22].

Las figuras 20, 21 y 22 muestran los diferentes enlaces de descarga que contienen las presentaciones en Power Point de los diferentes elementos generales que componen una línea de transmisión, donde se muestran generalidades, materiales constructivos, características principales, pruebas de laboratorios, aplicaciones, funciones, normatividad, métodos de ubicación, avances tecnológicos.

### 4.3 Módulo – modelos distribuidos

Este módulo presenta una síntesis introductoria que describe la utilización de los modelos distribuidos y sus características generales fundamentada en el texto de Análisis de sistemas eléctricos de potencia, en conjunto con una clase

magistral del profesor Guillermo Ospina de la Universidad de Antioquia, con la explicación detallada del modelo en parámetros distribuidos.

#### 4.4 Módulo – resistencia eléctrica en líneas de transmisión

Para el desarrollo de este módulo se utilizaron varios recursos que sirvieron como apoyo a la teoría ilustrada, donde cabe resaltar el uso de una figura de curva rectilínea que ilustra el comportamiento de la resistencia en diferentes puntos de temperatura, así como una tabla que muestra los valores de resistividad eléctrica en diversos materiales y la ilustración de ecuaciones sencillas que expresan el valor de la resistencia en una línea de transmisión. Además se cuenta con un recurso audiovisual enlazado de la plataforma de YouTube para este módulo.

Resistividad eléctrica de conductores a 20 °C		
Conductor	Conductividad	Resistividad ohm*mm <sup>2</sup> / m
Cobre blando	100%	0.0172413
Cobre duro	97.5%	0.17683
Aluminio	61%	0.028264
ACSR 7 hilos	51%	0.03372
ACSR 37 hilos	47%	0.03619

**Tabla 1.** Resistividad eléctrica de los materiales, ilustrada en el módulo-resistencia eléctrica en líneas de transmisión [23].

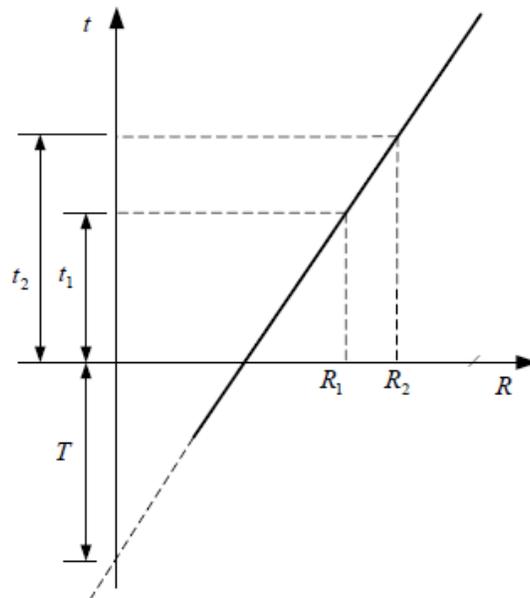
La tabla 1 muestra los diferentes valores de resistividad eléctrica que poseen los materiales que comúnmente son utilizados en los sistemas de transmisión, resaltando una vez más que el cobre es el material más recomendado para la conductividad de energía, pero en contraste el aluminio es más económico y

también presenta una resistivas baja, con la cual se pueden realizar sistemas de transmisión fiables.

La figura 23 representa el comportamiento variable de la resistencia en diferentes instantes de temperatura, de donde se obtiene la ecuación 1, de donde se despeja el valor de una resistencia.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{(T + t_2)}{(T + t_1)}$$

**Ecuación 1.** Relación de resistencias, despejando una en función de las T° [24].



**Figura 23.** Comportamiento de la resistencia en diferentes puntos de temperatura, mostrada en el módulo-resistencia eléctrica en líneas de transmisión [24].

#### 4.5 Módulo – inductancia y reactancia inductiva

Para el desarrollo de este módulo, se proyectaron diversas imágenes que validaron los conceptos desarrollados, y que facilitaron la comprensión del campo magnético generado en los conductores por donde circula una corriente variable en diversos instantes de tiempo. La base bibliográfica para este módulo fue tomada del libro “**Electrical Energy Conversion and Transport**” del profesor Holbert George G. Karady, quien cuenta con la aprobación y respaldo de la IEEE - POWER ENGINEERING - WILEY. En donde se toman diferentes figuras, las cuales hacen una representación visual que complementa la teoría descrita del fenómeno electromagnético de la inductancia. Además se incluyen ecuaciones demostrativas que dan una veracidad técnica y científica de los diferentes parámetros inductivos que normalmente se encuentran presentes en un conductor.

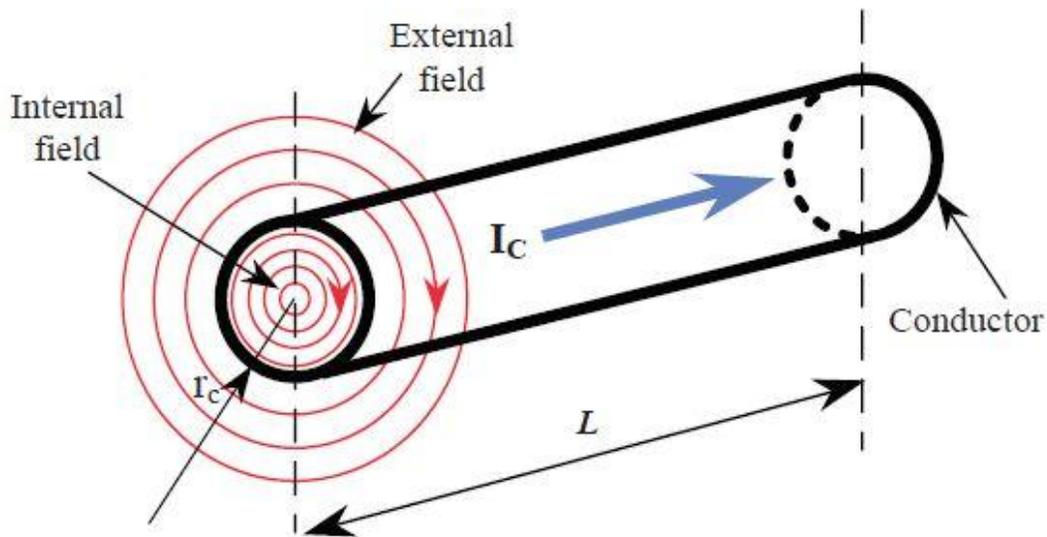
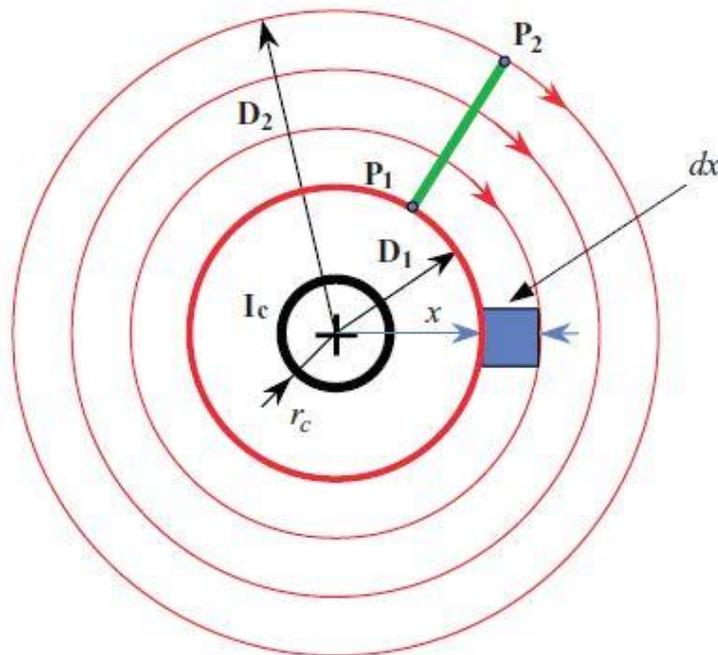


Figura 24. Campo magnético generado por un conductor [25].

La figura 24 ilustra como una corriente alterna presente en un conductor, produce un campo magnético dentro y fuera de él; Las líneas de flujo son círculos concéntricos, en donde la determinación de la inductancia de la línea requiere el cálculo del flujo magnético tanto dentro como fuera del conductor [25].

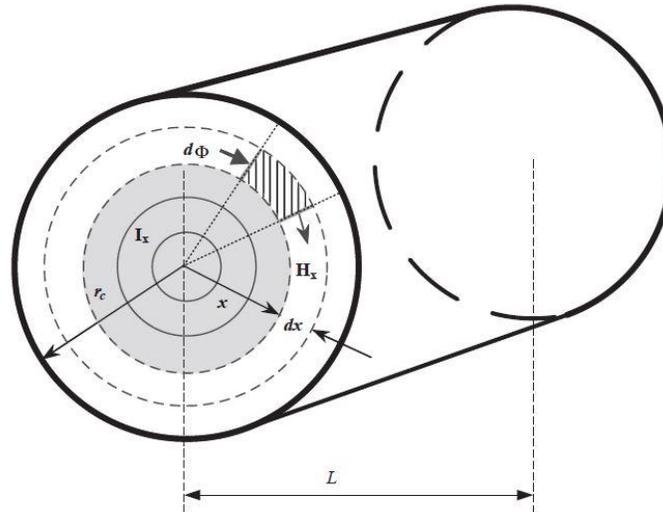


**Figura 25.** Flujos en un conductor para el cálculo del flujo magnético [25].

La figura 25 muestra un flujo que pasa a través de un plano entre \$P\_1\$ y \$P\_2\$, el cual se debe calcular integrando la densidad de flujo entre \$D\_1\$ y \$D\_2\$ para obtener el flujo magnético.

$$\Phi_{12} = \int_{D_1}^{D_2} \mu_0 \frac{I_c L}{2\pi x} dx = \mu_0 \frac{I_c L}{2\pi} \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)$$

**Ecuación 2.** Flujo magnético [25].

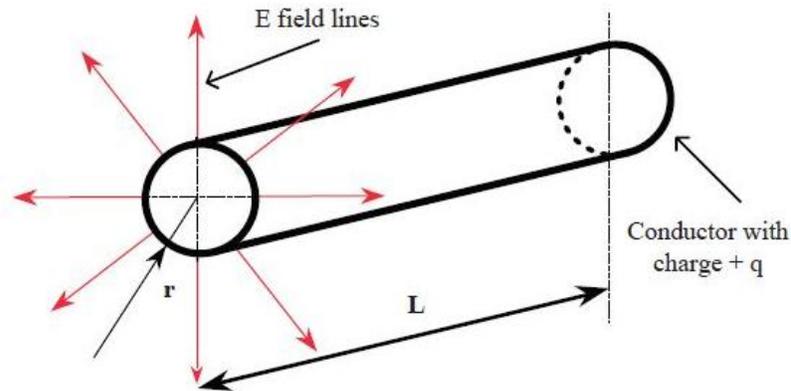


**Figura 26.** Flujo interno en un conductor [25].

La figura 26 muestra diferentes diferenciales de flujo magnético e intensidades de campo magnético con los cuales se determina la corriente de una sección circular.

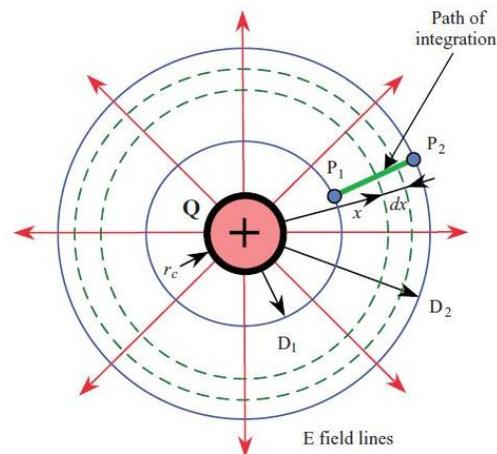
#### 4.6 Módulo – capacitancia y reactancia capacitiva

En este módulo se ilustraron varias figuras que validaron los conceptos mencionados, que facilitaron la comprensión del concepto de capacitancia, de la importancia de las cargas y su creación de campo eléctrico. La base bibliográfica para este módulo fue tomada del libro “**Electrical Energy Conversion and Transport**” del profesor Holbert George G. Karady, quien cuenta con la aprobación y respaldo de la IEEE - POWER ENGINEERING - WILEY. Se toman diferentes figuras, las cuales hacen una representación visual que complementan la teoría descrita del fenómeno electromagnético de la capacitancia. Además se incluyen ecuaciones demostrativas que dan una veracidad técnica y científica de los diferentes parámetros capacitivos que se encuentran presentes en un conductor.

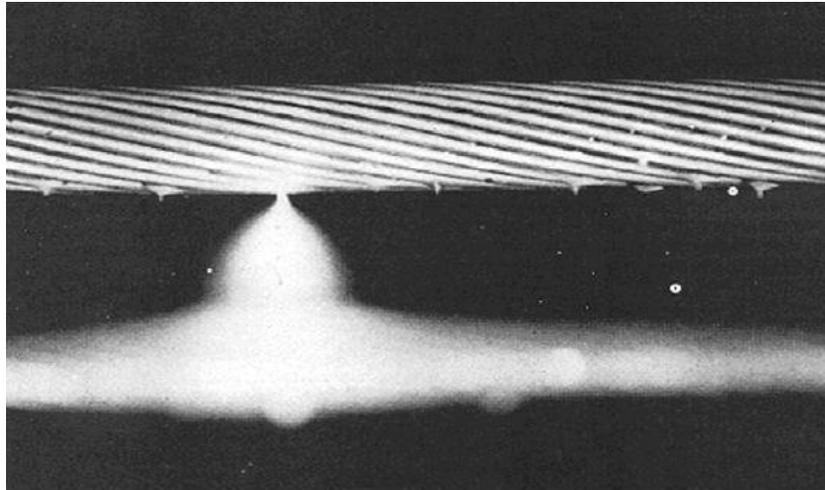


**Figura 27.** Campo eléctrico alrededor de un conductor [25].

La figura 27 presenta un conductor energizado y las líneas de campo eléctrico radial que emanan del conductor. El campo dentro del conductor es cero, las líneas de campo eléctrico (potencial) constantes son círculos concéntricos (no mostrados). Para el cálculo de la densidad de flujo eléctrico ( $D$ ), se selecciona una línea de potencial constante en un radio de  $x$ , como se ilustra en la figura 28 [25].



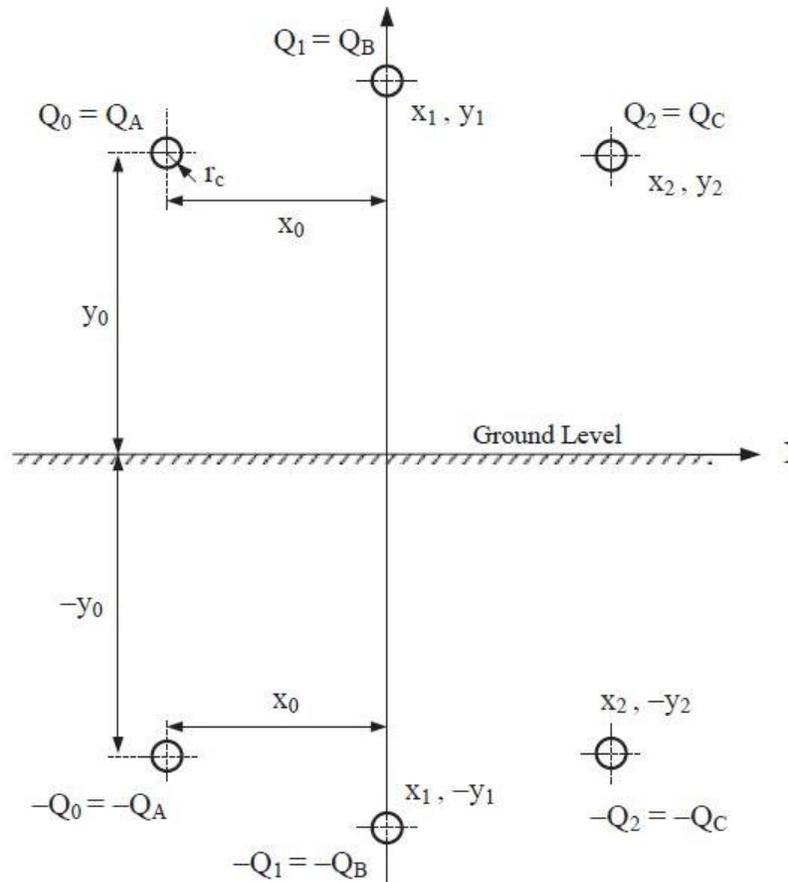
**Figura 28.** Campo eléctrico y líneas de potencial constantes alrededor de un conductor cargado [25].



**Figura 29.** Descarga de corona sobre un conductor húmedo [25].

La Figura 29 muestra una descarga corona típica. En este caso, una gota de agua en el conductor origina la descarga. Generalmente, las gotas de agua, la suciedad y las protuberancias de metal en la superficie del conductor aumentan el campo eléctrico local e inician la corona. La alta humedad disminuye la resistencia a la rotura del aire que rodea a los conductores, lo que aumenta la intensidad de la descarga. La fuerte descarga de corona en un conductor es visible por la noche. La intensidad de descarga corona aumenta con la lluvia y el tiempo húmedo [25].

Otras fuentes de descarga incluyen aislantes contaminados en clima de niebla, durante los cuales pueden ocurrir arcos de banda seca. La descarga de corona también ocurre durante condiciones de buen tiempo. Esto ocurre principalmente donde el hardware que sostiene los conductores tiene bordes afilados y protuberancias superficiales, lo que aumenta el campo eléctrico e inicia la descarga. El efecto eléctrico de la corona es pulsos de corriente de alta frecuencia, que generan perturbaciones de radio y TV [25].



**Figura 30.** Disposición de la línea de transmisión para el cálculo del campo eléctrico [25].

La activación de los conductores genera cargas tanto en los conductores como en el suelo bajo los conductores. El efecto de tierra se simula mediante la colocación de conductores de imagen (espejo), tal como se muestra en la Figura 30. Los conductores de imagen llevan cargas negativas equivalentes y están situados a una equidistancia por debajo del nivel del suelo [25].

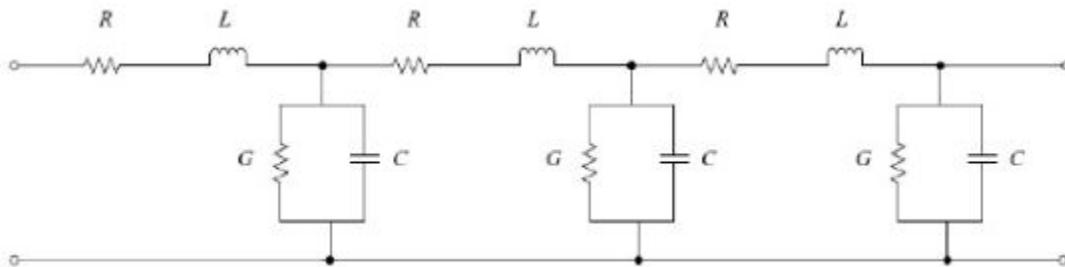
Público general		Entorno controlado	
Rango de frecuencia	E – RMS (V/m)	Rango de frecuencia	E – RMS (V/m)
1 – 368	5000	1 – 272	20000
368 – 3000	$1,84 * 10^6 / f$	272 - 3000	$5,44 * 10^6 / f$
3000	614	3000	1813

**Tabla 2.** Campos eléctricos ambientales con exposición al cuerpo entero. IEEE Std. C95.6-2002 [25].

La IEEE Standard (C95.6-2002) define niveles de seguridad con respecto a la exposición humana a campos electromagnéticos, 0-3 kHz define el campo eléctrico ambiental MPE para la exposición de todo el cuerpo. La tabla 2 da dos valores: uno para el público en general y otro para un entorno controlado, que se aplica al personal que mantiene la línea eléctrica (es decir, una exposición ocupacional). De acuerdo con la norma IEEE C95.6, el campo eléctrico bajo la línea de transmisión en el derecho de vía debe ser inferior a 5 kV / m para las frecuencias de transmisión de potencia de interés. Sin embargo, una nota en la norma permite 10 kV / m para los miembros del público en general caminar en el derecho de paso [25].

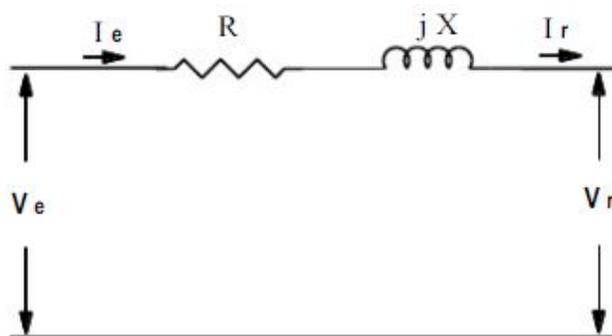
#### 4.7 Módulo – modelos eléctricos de la línea de transmisión

Este módulo cuenta con distintos esquemas representados en circuitos eléctricos, los cuales modelan los principios de una línea corta, media y larga. Ilustrando los diferentes elementos que hacen parte de cada modelo eléctrico, además se cuentan con diversas ecuaciones demostrativas que enseñan a profundidad el comportamiento de estos modelos a distintos factores de potencia, se muestra el modelado de una línea corta por medio de un recurso audiovisual enlazado de la plataforma de YouTube.



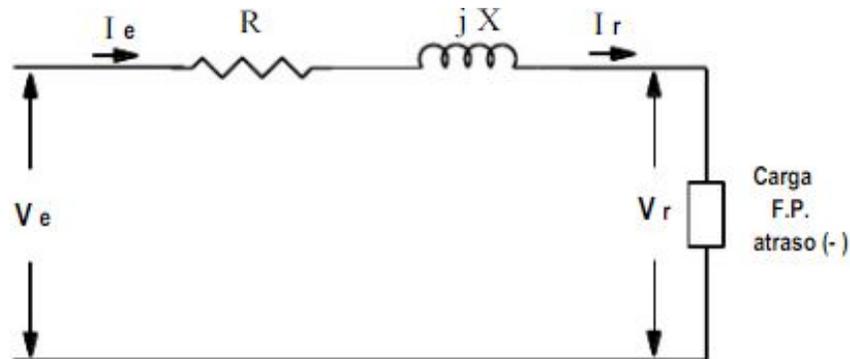
**Figura 31.** Representación de una línea de transmisión común, con sus parámetros de resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia [26].

Las líneas funcionan normalmente con cargas trifásicas equilibradas sin importar que los conductores tengan una disposición simétrica o tengan transposición; Estas son representadas mediante circuitos con constantes distribuidas, la figura 31 evidencia los diferentes elementos que hacen parte de una línea de transmisión.



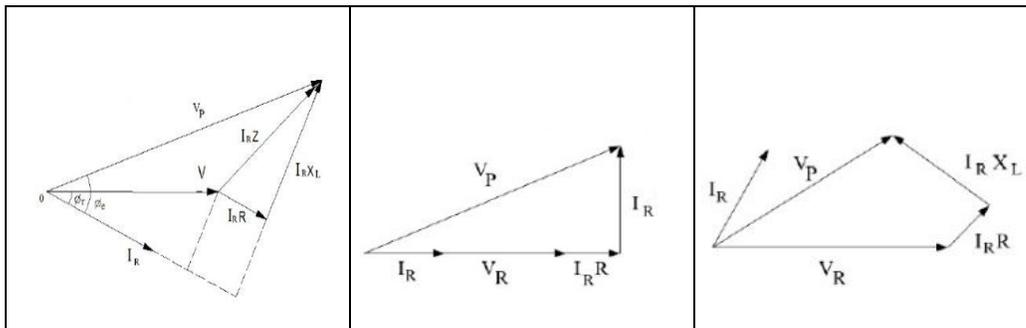
**Figura 32.** Modelo de línea corta, donde la resistencia está en serie con una inductancia [26].

La figura 32 muestra un modelo de línea corta, la cual tiene una longitud inferior a 80 km, cuando la línea es clasificada como corta, la capacitancia en derivación es tan pequeña que se puede omitir por completo, con una pérdida pequeña y solo se requiere considerar la resistencia "R" y la inductancia "L" en serie para la longitud total de la línea [26].



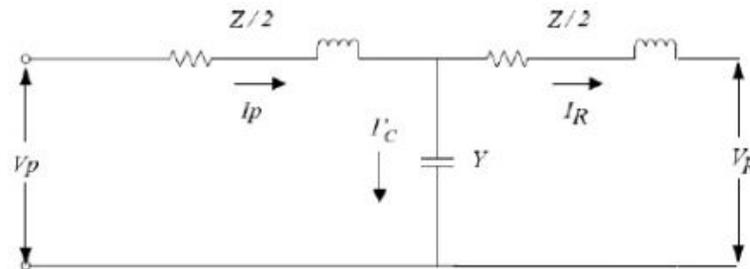
**Figura 33.** Línea corta conectada a una carga con FP en atraso [26].

La figura 33 muestra una carga conectada al final de la línea, la cual determinará el módulo y el ángulo de intensidad por donde fluirá una corriente.



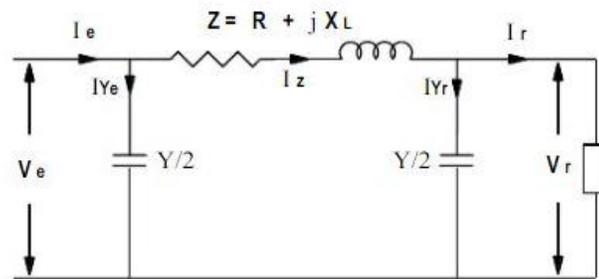
**Figura 34.** Análisis fasorial de una línea corta conectada a una carga con un FP en atraso, unitario y adelanto [26].

En la figura 34 se proyectan los análisis fasoriales con los diferentes parámetros eléctricos que componen la línea de transmisión, con el fin de visualizar las diferencia que hay cuando se conectan a la línea cargas con un factor de potencia en atraso, unitario y en adelanto.



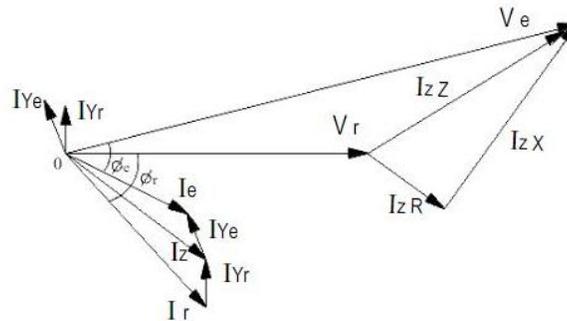
**Figura 35.** Modelo equivalente en T para una línea media de transmisión [26].

La figura 35 ilustra el modelo de línea media con una disposición en T, donde este modelo coloca el parámetro transversal (capacitancia) en la parte central de la línea, dejándose los parámetros longitudinales (resistencia e inductancia) divididos en dos grupos iguales, mitad de los totales, colocados en los extremos de la línea [2].



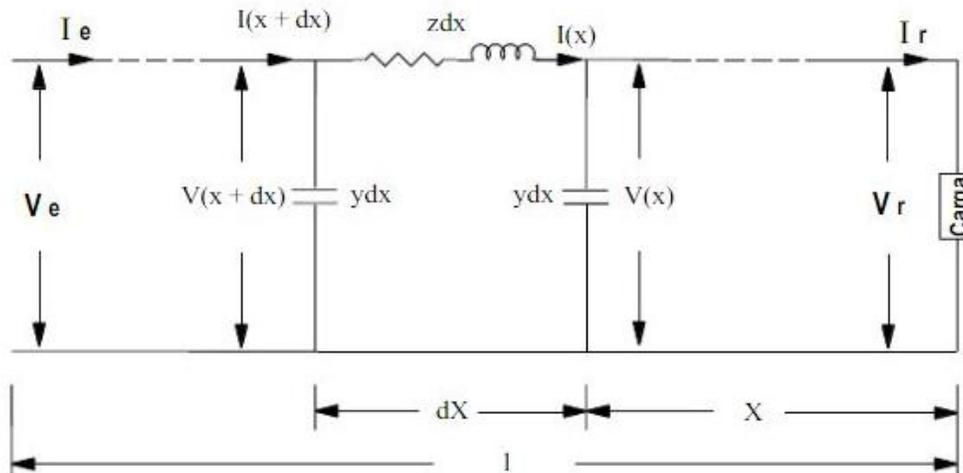
**Figura 36.** Modelo equivalente en  $\pi$  para una línea media de transmisión [26].

La figura 36 muestra el modelo de línea media con una disposición en  $\pi$ , donde este modelo a diferencia del modelo anterior, divide a la línea por sus parámetros transversales, manteniendo unidos los parámetros longitudinales, es decir, en el tramo central se situarán la resistencia y la reactancia inductiva en forma concentrada, mientras que la admitancia (conductancia y la susceptancia) ocupará la posición de los extremos estando sus valores divididos por la mitad  $Y/2 = (G/2 \text{ y } B/2)$  [27].



**Figura 37.** Diagrama fasorial para una línea media en modelo  $\pi$  [26].

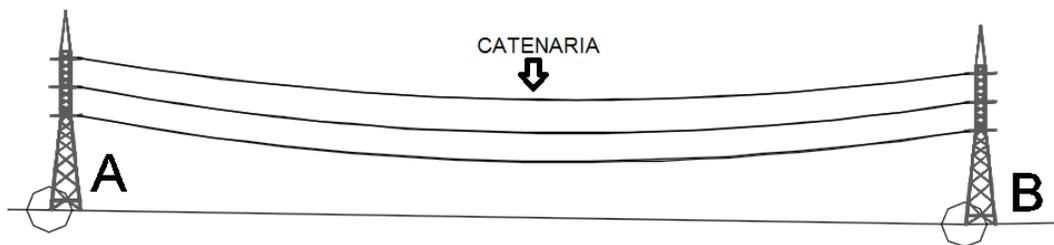
La figura 37 muestra el análisis fasorial para una línea media en disposición  $\pi$  donde la corriente  $I_{yr}$  adelanta al voltaje de recepción  $V_r$  en  $90^\circ$  y la corriente  $I_{ye}$  adelanta al voltaje de emisión  $V_e$  en  $90^\circ$ . La corriente  $I_z$  es el vector suma de las corrientes  $I_r$  e  $I_{yr}$ , mientras la corriente  $I_e$  es el vector suma de las corrientes  $I_z$  e  $I_{ye}$  [26].



**Figura 38.** Aproximación de una línea larga de transmisión con parámetros distribuidos [26].

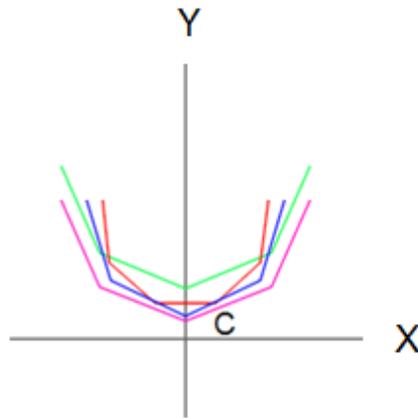
#### 4.8 Módulo – Cálculo mecánico de la catenaria y flecha

En este módulo se muestra las diferentes definiciones implícitas en el cálculo de la catenaria y flecha de una línea de transmisión, los cuales son evidenciados por diferentes figuras y diagramas para conductores que se encuentran a nivel y desnivel, además se ilustran para cada caso ecuaciones demostrativas que desarrollan el análisis técnico para determinar las expresiones matemáticas que se van a utilizar en el cálculo de la catenaria y la flecha en un sistema de líneas de transmisión.



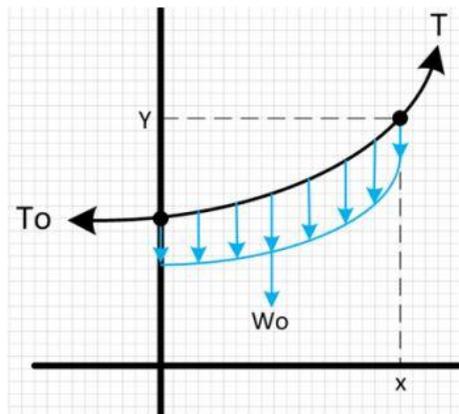
**Figura 39.** Representación de la catenaria entre dos estructuras [28].

En la figura 39 se visualiza el parámetro de la catenaria presente en un conductor, el cual se presenta 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 que es denominada catenaria [28].



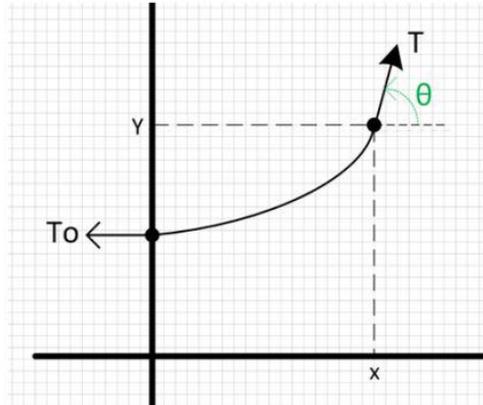
**Figura 40.** Diferentes tipos de catenaria que se pueden presentar de forma longitudinal en líneas de transmisión [28].

El parámetro de la catenaria( $C$ ), es una constante, que regula la apertura de dicha curva en función de la distancia y el peso de los conductores presentes en el sistema de transmisión tal como lo evidencia la figura 40 donde se pueden visualizar diferentes catenarias que se pueden presentar en una línea.



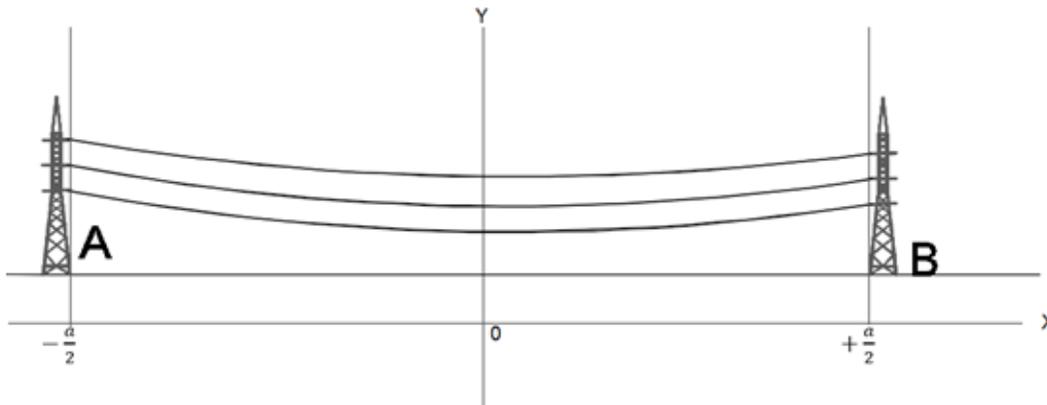
**Figura 41.** Parámetros que inciden en formación de la catenaria de forma analítica [28].

En la figura 41 La componente horizontal del tiro del conductor ( $T_0$ ) es igual para todos los puntos de la curva, y su valor es el de la tensión en el punto más bajo de la catenaria [28].



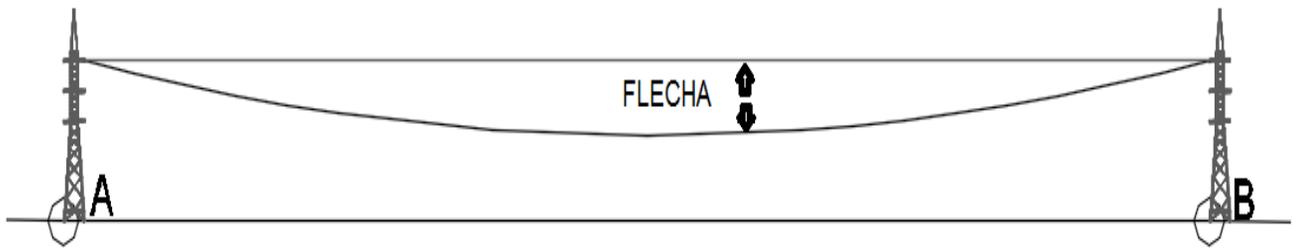
**Figura 42.** Representación del tiro en un conductor [28].

La figura 42 permite evidenciar de formas más clara el tiro en un conductor el cual se define como la fuerza en el punto del conductor de abscisa “x”, formando un ángulo de  $\theta$  grados con la horizontal [28].



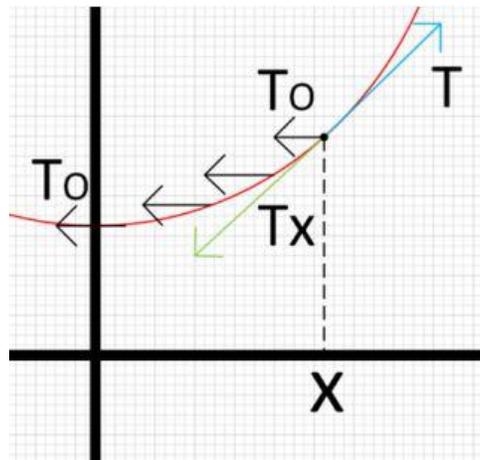
**Figura 43.** Longitud en el conductor a nivel [28].

La longitud del conductor es la distancia del conductor, sujetado entre dos puntos, situados a la misma altura. En la figura 43, 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 [28].

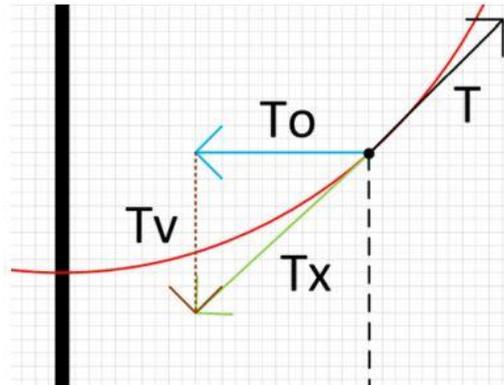


**Figura 44.** Flecha en un conductor a nivel [28].

La flecha es 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. La figura 44 muestra que para el caso de conductores a nivel a flecha se ubica a medio vano y sobre el eje de las ordenadas [28].

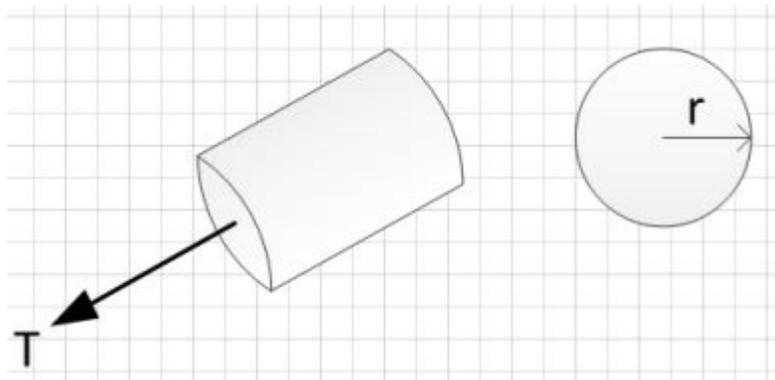


**Figura 45.** Representación del tiro, en cualquier punto de la abscisa x, para el conductor a nivel [28].



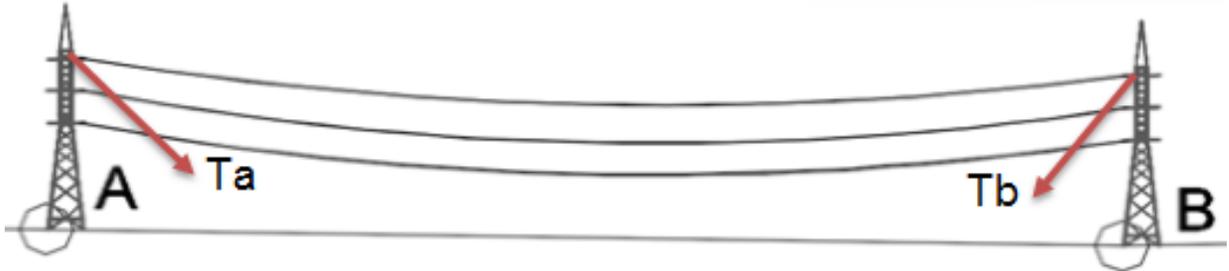
**Figura 46.** Representación vectorial del tiro vertical en el conductor a nivel [28].

El tiro vertical mostrado en la figura 46 es la resultante del tiro en el vértice (componente horizontal constante), y el tiro, para cualquier punto de la abscisa “x” [28].



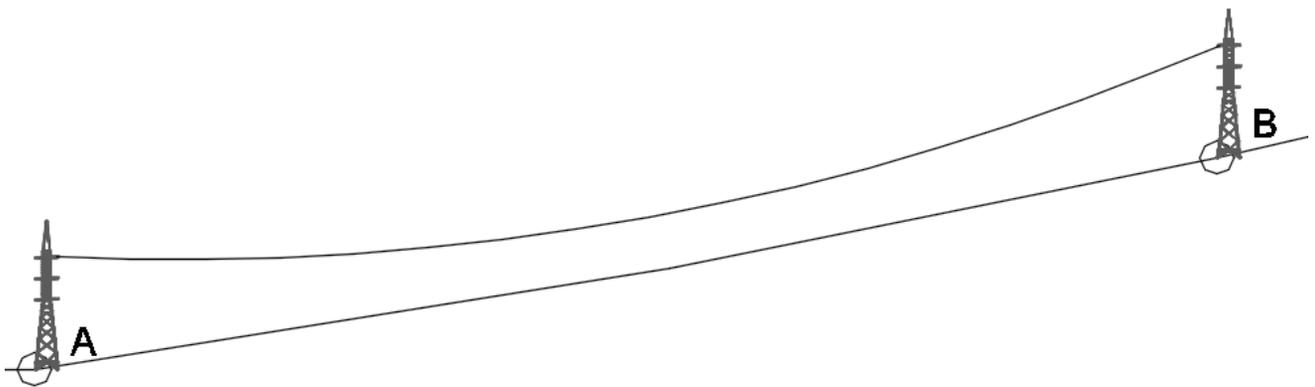
**Figura 47.** Representación del esfuerzo en un conductor [28].

La figura 47 muestra el esfuerzo presente en un conductor el cual se define como el cociente de dividir el tiro (T), y la sección transversal del conductor [28].



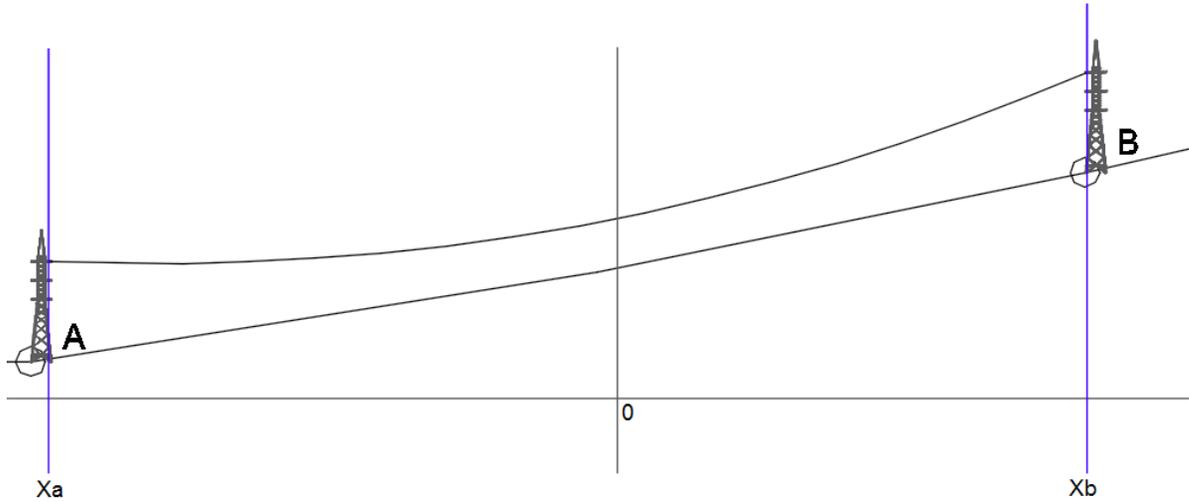
**Figura 48.** Percepción de los tiros de esfuerzo que normalmente se presentan en los extremos de las estructuras de líneas de transmisión [28].

La figura 48 muestra los esfuerzos presentes en los tiros de una estructura, y a pesar de que estos no sean visibles, son de gran importancia a la hora de realizar un diseño detallado en líneas de transmisión.



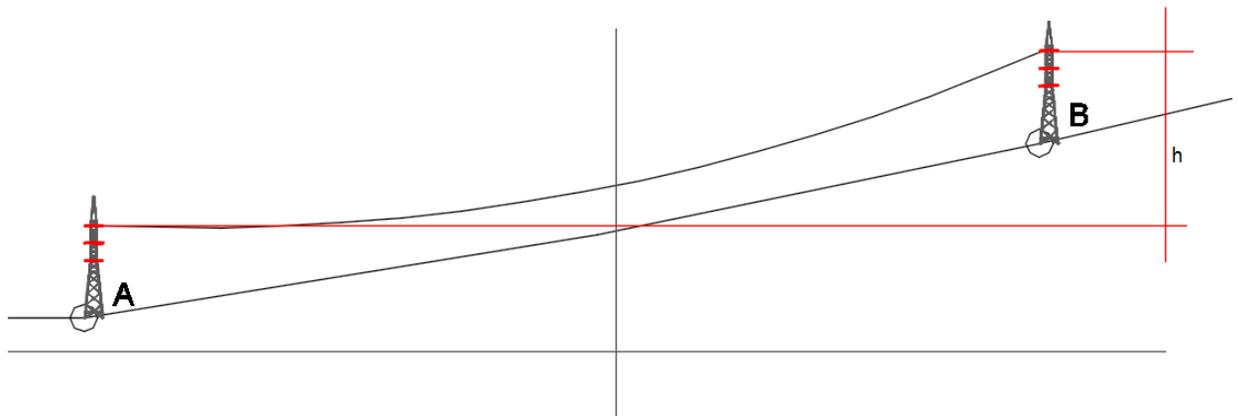
**Figura 49.** Catenaria presente en dos estructuras con conductores desnivel [28].

El parámetro de la catenaria también se utiliza en conductores a desnivel, la figura 49 muestra dos estructuras separadas con su respectiva catenaria ilustrada.



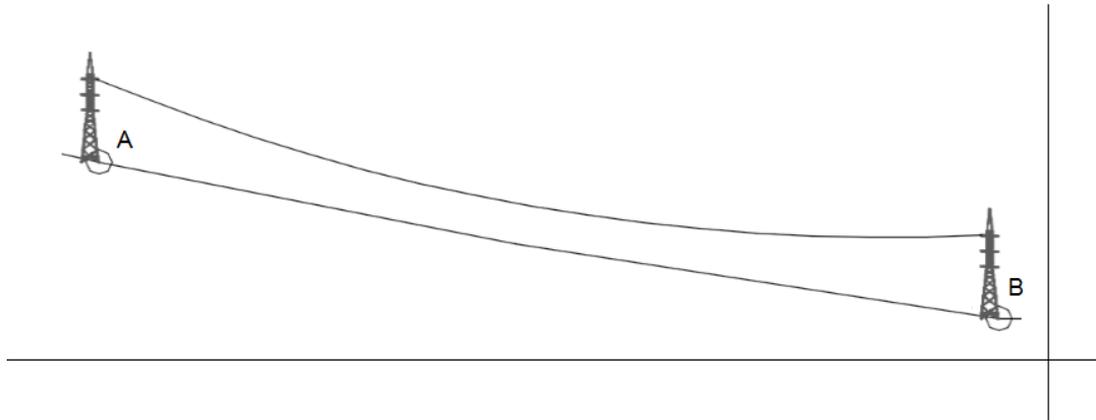
**Figura 50.** Representación de los parámetros necesarios para determinar la longitud del conductor [28].

Los puntos  $X_a$  y  $X_b$  son los puntos ubicados en los extremos de las estructuras por donde están sujetos los conductores, que es lo que muestra la figura 50.



**Figura 51.** Visualización del desnivel de los conductores presentes en las estructuras,  $h > 0$  [28].

Para un completo análisis es necesario contemplar la distancia entre los diferentes extremos de las estructuras a la cual está sujeto el conductor en un plano a desnivel, que es lo que está representando la figura 51, en donde el parámetro  $h$  es mayor que 0.



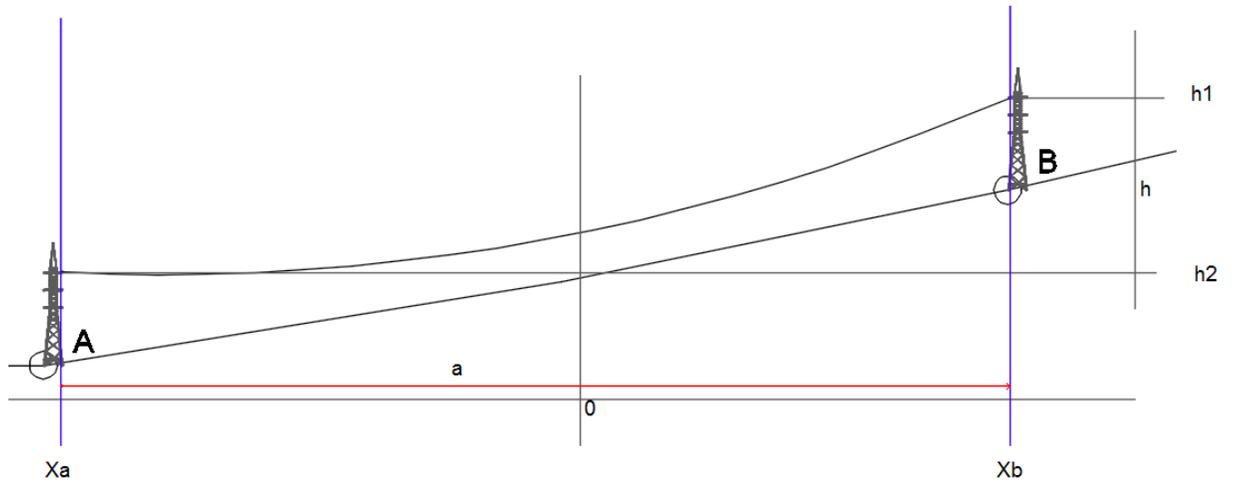
**Figura 52.** Visualización del desnivel de los conductores presentes en las estructuras,  $h < 0$  [28].

En este caso la figura 52 representa un plano a desnivel pero con parámetro de catenaria que está en dependencia de una posición de los extremos cambiante, es decir cuando  $h$  es menor que 0.

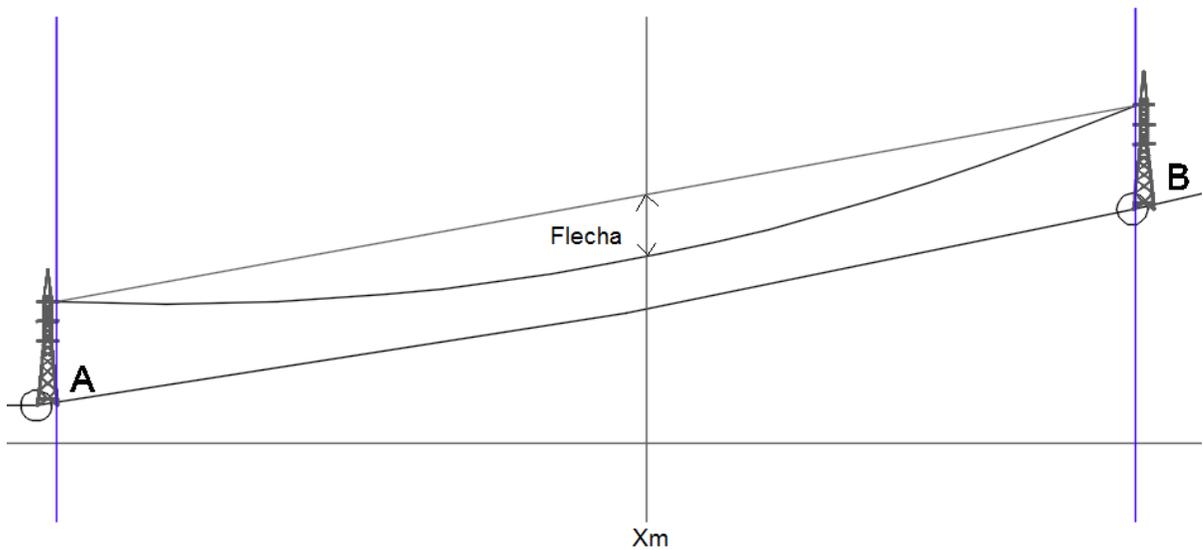
La figura 53 ilustra los parámetros que están incluidos en el análisis de un conductor en un plano a desnivel, de tal manera que la longitud del conductor sintetizando las longitudes de altura entre los extremos de las estructuras es:

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

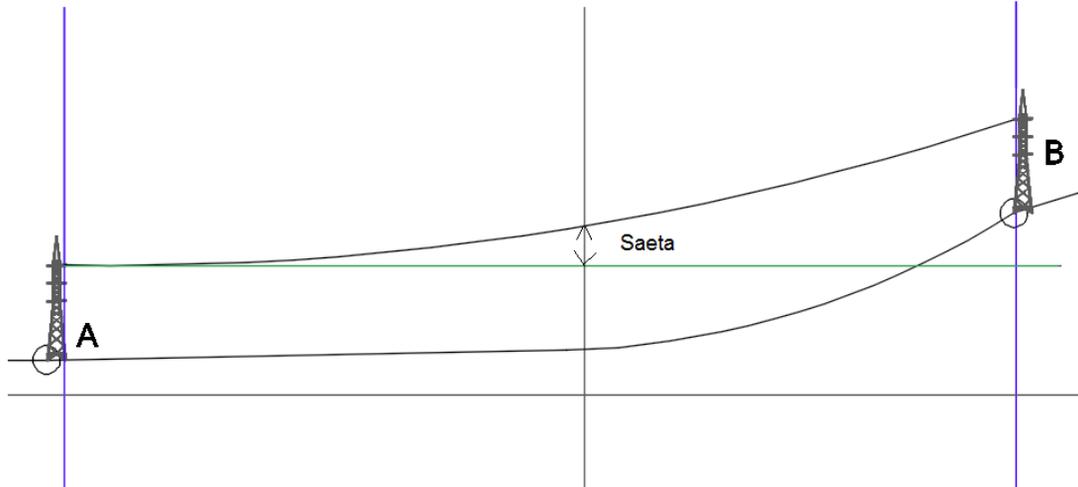
**Ecuación 3.** Valor de la longitud del conductor teniendo en cuenta el diferencial de altura  $h$  [28].



**Figura 53.** Parámetros a utilizar para el cálculo de la longitud del conductor a desnivel [28].

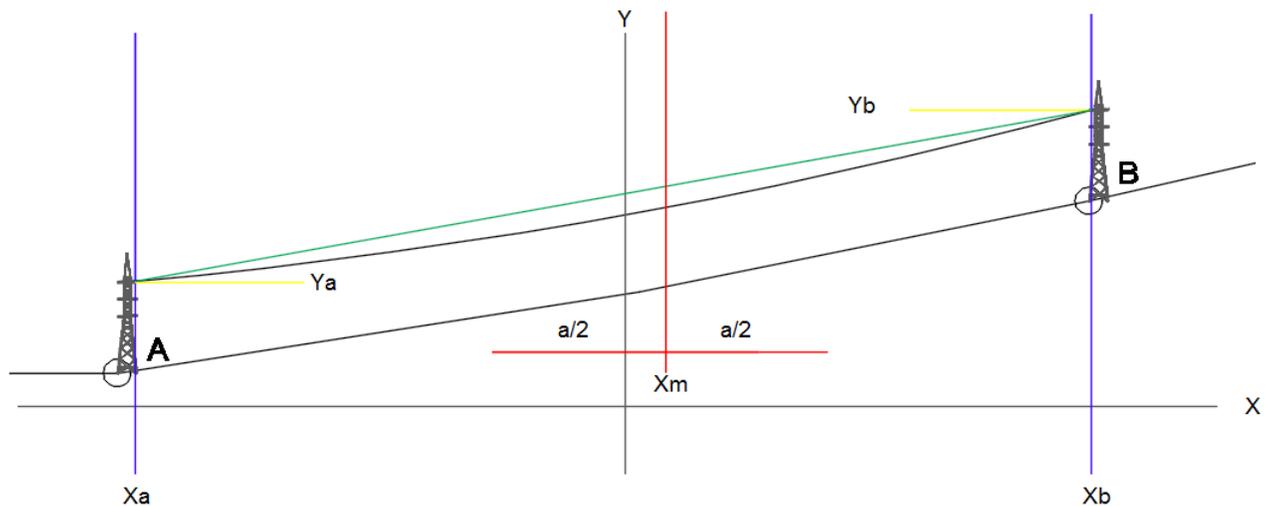


**Figura 54.** Representación de la flecha en un conductor con desnivel [28].

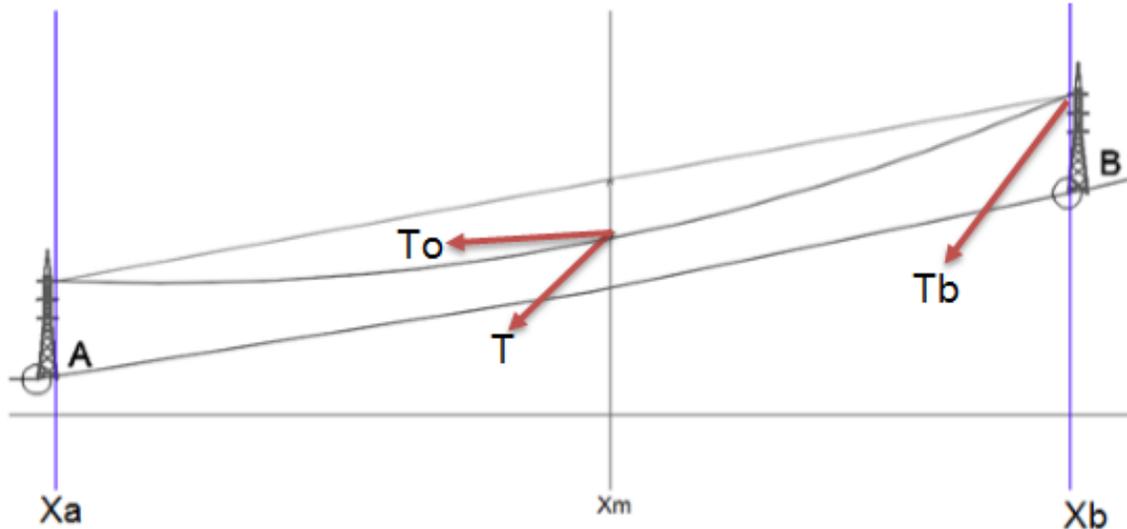


**Figura 55.** Ilustración de la saeta en un conductor a desnivel [28].

La figura 55 representa la saeta presente en una línea de transmisión, la cual se define como la distancia vertical entre el punto de suspensión más bajo del cable y su vértice [28].



**Figura 56.** Representación de la ubicación cartesiana de los extremos, en un conductor con desnivel [28].



**Figura 57.** Representación del parámetro de la catenaria en función de un conductor con desnivel [28].

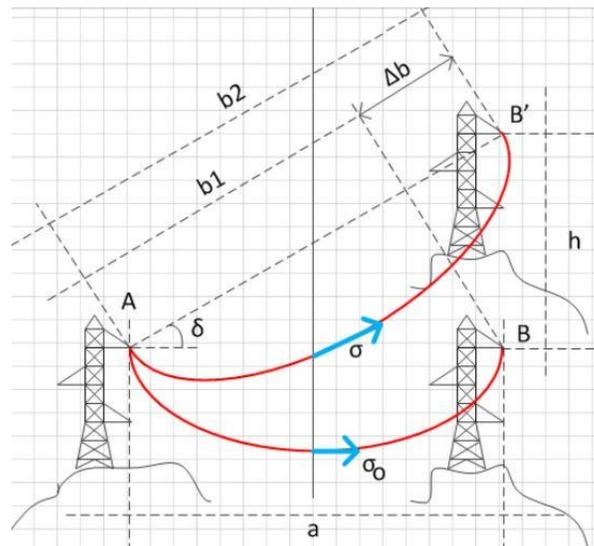
Las figuras 56 y 57 ilustran en un plano real, los diferentes parámetros eléctricos que están presentes en un sistema de transmisión, donde varían estos valores en dependencia del plano geográfico, es decir si el conductor se encuentra a nivel o desnivel.

#### 4.9 Módulo – Hipótesis de cálculo de ecuación de estado

Para el desarrollo de este módulo se muestran diversas ecuaciones matemáticas, que ejecutan la demostración técnica de las diferentes ecuaciones de estado utilizadas en un escenario para un conductor a nivel y a desnivel, donde se muestran los diferentes parámetros que inciden en la expresión final a utilizar para el cálculo respectivo, además del acompañamiento de una figura que ilustra una línea de transmisión y todos los parámetros se resaltan en esta figura.

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 3.** Presión de viento para los principales componentes de una línea de transmisión [28].



**Figura 58.** Esquema de varias estructuras con los parámetros que participan en el cálculo de ECE [28].

La tabla 3 muestra diferentes valores de velocidad del viento en función de la presión ejercida sobre conductores, estructuras y aisladores, con lo cual se utiliza a la hora de saber el peso unitario del viento.

La figura 58 ilustra de manera resumida todos los parámetros que se incluyen en la fórmula general de la ecuación de cambio de estado, ya sea a nivel o desnivel.

## CAPÍTULO V

### 5. EJEMPLOS DE CÁLCULO

Se realizaron 4 ejemplos para reasentar los conceptos proyectados en los diferentes módulos de la plataforma, se hicieron a modo de ejemplo donde tiene su respectivo enunciado y solución del mismo, de tal manera que se pueda contrastar la respuesta del estudiante con la proyectada.

- Un conductor AAC se compone de 37 hilos, cada uno con un diámetro de 0.3333 cm. Calcule la resistencia en DC en ohm\*km a 75°C. Suponga que el incremento en la resistencia debido al trenzado es de 2%. Sabiendo que  $\rho$  del aluminio es  $2.83 * 10^{-8} \Omega \cdot m$

$$\text{Area: } \pi * \frac{(0.333 * 10^2)^2}{2 * 2} : 8.7092 * 10^{-6}$$

Luego de obtener el área, multiplico por la cantidad de hilos para obtener el área total del conductor:

$$\text{Area – conductor: } (8.7092 * 10^{-6}) * 37 : 3.222 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Aplico la fórmula de resistencia eléctrica:

$$\text{Rcd: } \frac{2.83 * 10^{-8} * 1000}{3.222 * 10^{-4}} : 0.0878 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\text{Rcd: } 0.0878 * 1.02 : 0.08955 \text{ } \Omega/\text{km}$$

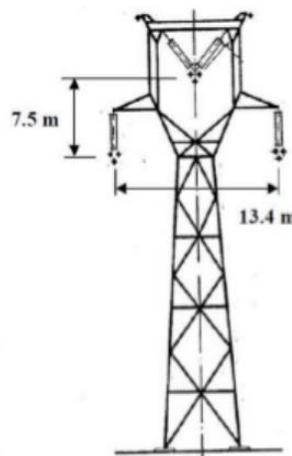
Realizo la corrección a una temperatura de 75°C:

$$\text{Rcd: } \frac{R1}{R2} = \frac{T + t1}{T + t2}$$

$$\text{Rcd: } R2 = R1 * \left( \frac{T + t2}{T + t1} \right) : 0.08955 \left( \frac{228 + 75}{228 + 20} \right)$$

**Rcd: 0.1094 Ω/km**

- Una línea trifásica de 3 conductores por fase, de 60 Hz, está compuesto de un conductor ACSR tipo STARLING, con una disposición como lo muestra la figura 59, el espaciamiento entre conductores de la misma fase es de 45 cm, si la longitud de la línea es de 120 km determine:
  - El valor de la resistencia a 50°C.
  - Inductancia de la línea.
  - Capacitancia de la línea.



**Figura 59.** Estructura con 3 conductores por fase.

Para determinar la resistencia tenemos:

F: 60 Hz

T°: 50

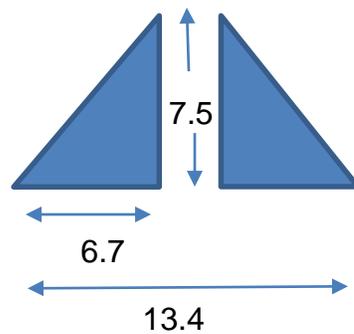
R: 0.145  $\Omega$ /milla (En la base de datos en formato Excel que está en el enlace de descarga)

$$R: 0.145 \frac{\text{ohm}}{\text{milla}} * \frac{1 \text{ mill}}{1.609 \text{ km}} * 380 \text{ km} : 34.056 \Omega$$

$$R: \frac{34.056 \Omega}{\text{Número de cables}} = \frac{34.056 \Omega}{3} = 11.352 \Omega$$

Para determinar la inductancia:

$$L: 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{Deq}{Dsl} \right) \text{ H/m}$$



$$h = \sqrt{6.7^2 + 7.5^2} = 10.056 \text{ m}$$

$$Deq : \sqrt[3]{D12 * D23 * D31}$$

$$Deq : \sqrt[3]{(10.056) * (13.4) * (10.056)} = 11.065 \text{ m}$$

$$Dsl : \sqrt[3]{r * d^2}$$

Dg (GMR) starting: 0.0355 ft.

$$Dg: 0.0355 \text{ ft} * \frac{0.3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 0.0108 \text{ m}$$

$$Dsl: \sqrt[3]{0.0108 * 0.45^2} = 0.1298 \text{ m}$$

$$L : 2 * 10^{-7} \ln\left(\frac{11.065}{0.1298}\right) = 8.891 * 10^{-7} \text{ H/m}$$

Multiplico por la longitud de la línea:

$$L : 8.891 * 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} * 380000 \text{ m}$$

$$L : 0.338 \text{ H}$$

Para determinar la capacitancia:

Ø Starling: 1.051 in

$\epsilon : 8.854 * 10^{-12} \text{ F/m}$

$$r : \frac{\emptyset}{2} * 0.0254 \text{ m}$$

$$r : \frac{1.051 \text{ in}}{2} * \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ in}} = 0.013$$

Deq: 11.065 m

$$Dsl : \sqrt[3]{r * d^2}$$

$$Dsl: \sqrt[3]{0.013 * 0.45^2} = 0.138 \text{ m}$$

$$C : \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{Deq}{Dsl}\right)}$$

$$C : \frac{2\pi(8.854 * 10^{-12})}{\ln\left(\frac{11.065}{0.138}\right)} = 1.27 * 10^{-11} \frac{F}{m} * 380000 m$$

$$C : 4.83 * 10^{-6}$$

- Determinar la ecuación del conductor. Siendo su peso unitario de 2.8 Kg/m, el tiro en el extremo tiene un valor de 3200 Kg y un vano de 820 m.

El valor de la catenaria lo determinamos con la siguiente fórmula:

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

Donde:

T<sub>B</sub>= 3200

W<sub>0</sub>= 2.8

A= 820

C = 1063,851

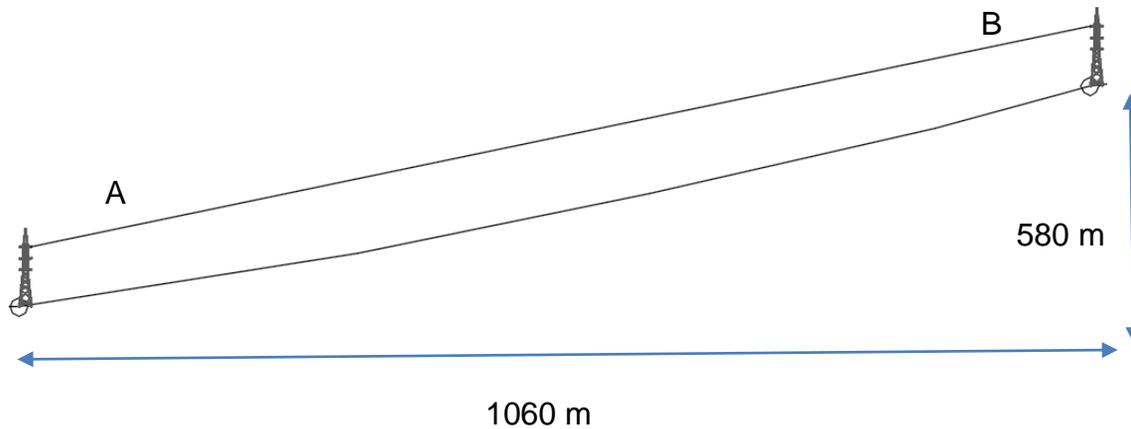
La ecuación que me va describir la curva de la catenaria es la siguiente:

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

$$y = 1063,851 * \left( \cosh\left(\frac{X}{1063,851}\right) \right)$$

Donde el valor de x, van hacer las diferentes distancia a las cuales se quiera visualizar la curva.

- Un cable de 1225 m, se encuentra tendido en un vano de 1060 m con desnivel de 580 m. Determinar el valor de la flecha, tenga en cuenta que es un conductor a desnivel y el tiro en el punto A es de 28,584 KgF.



**Figura 60.** Estructuras con conductor a desnivel.

Primero determinamos la magnitud del vano real, aplicando la fórmula:

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

$$L' = \sqrt{1225^2 - 580^2} = 1078,992 \text{ m}$$

Para determinar la catenaria nos remitimos a la ecuación:

$$L' = 2C \operatorname{senh}\left(\frac{a}{2C}\right) \approx a + \frac{a^3 w_0^2}{24T_0^2}$$

Recordando que:

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

Entonces:

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

Despejamos C:

$$C^2 = \frac{a^3}{24(L' - a)}$$

$$C = \sqrt{\frac{a^3}{24(L' - a)}} = \sqrt{\frac{1060^3}{24(1078,992 - 1060)}} = 1616,55$$

Ahora calculamos la flecha para un conductor a nivel inicialmente:

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

$$f' = 1616,55 \left[ \cosh\left(\frac{1060}{2 * 1616,55}\right) - 1 \right] = 87,66 \text{ m}$$

Determinamos el valor del vano medio:

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

$$X_m = 1616,55 * \operatorname{senh}^{-1}\left(\frac{580}{1078,992}\right) = 831,768 \text{ m}$$

Para finalmente determinar la flecha para un conductor a desnivel:

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

$$f = 87,66 \cosh\left(\frac{831,768}{1616,55}\right) = 99,52 \text{ m}$$

- Para realizar el trazado de la catenaria en dos puntos, se hizo el levantamiento topográfico del recorrido que hay entre la subestación CENS en el casco urbano hasta la Universidad de Pamplona para una línea de 13,2 Kv, en donde se tuvo las siguientes coordenadas:

PUNTOS	COORDENADAS	ALTURA	COORDENADA EN X	COORDENADA EN Y	DISTANCIA AL PUNTO DE PARTIDA	PUNTOS A GRAFICAR
1	18 N 759814 815748	2288	759814	815748	0	0,2288
2	18 N 759794 815757	2289	759794	815757	22	22,2289
3	18 N 759803 815775	2290	759803	815775	30	30,2290
4	18 N 759844 815865	2289	759844	815865	121	121,2289
5	18 N 759896 815969	2289	759896	815969	236	236,2289
6	18 N 759944 816047	2288	759944	816047	327	327,2288
7	18 N 759977 816100	2287	759977	816100	388	388,2287
8	18 N 760008 816151	2288	760008	816151	448	448,2288
9	18 N 759974 816187	2289	759974	816187	468	468,2289
10	18 N 759925 816216	2289	759925	816216	481	481,2289
11	18 N 759856 816252	2291	759856	816252	506	506,2291
12	18 N 759822 816271	2293	759822	816271	524	524,2293
13	18 N 759763 816304	2297	759763	816304	559	559,2297
14	18 N 759691 816344	2301	759691	816344	609	609,2301
15	18 N 759658 816359	2302	759658	816359	631	631,2302
16	18 N 759606 816392	2306	759606	816392	677	677,2306
17	18 N 759607 816393	2306	759607	816393	678	678,2306
18	18 N 759628 816447	2304	759628	816447	724	724,2304
19	18 N 759662 816502	2304	759662	816502	770	770,2304
20	18 N 759698 816566	2313	759698	816566	827	827,2313
21	18 N 759731 816620	2323	759731	816620	876	876,2323
22	18 N 759757 816670	2334	759757	816670	924	924,2334
23	18 N 759764 816696	2341	759764	816696	950	950,2341
24	18 N 759767 816729	2345	759767	816729	983	983,2345
25	18 N 759759 816783	2354	759759	816783	1037	1037,2354
26	18 N 759734 816859	2363	759734	816859	1114	1114,2363
27	18 N 759705 816910	2365	759705	816910	1168	1168,2365
28	18 N 759659 817017	2368	759659	817017	1279	1279,2368
29	18 N 759632 817088	2372	759632	817088	1353	1353,2372
30	18 N 759608 817151	2377	759608	817151	1419	1419,2377
31	18 N 759599 817179	2380	759599	817179	1448	1448,2380
32	18 N 759575 817240	2383	759575	817240	1512	1512,2383
33	18 N 759536 817312	2389	759536	817312	1589	1589,2389
34	18 N 759451 817360	2395	759451	817360	1653	1653,2395
35	18 N 759391 817389	2399	759391	817389	1695	1695,2399

**Figura 61.** Datos topográficos del levantamiento para una línea de alimentación 13,2 Kv desde la subestación CENS (Pamplona) hasta la Universidad de Pamplona.

En la figura 61 se muestran los diferentes puntos tomados por el GPS, en donde aplicamos la función extraer de Excel, para tomar por separados las coordenadas en X y en Y, en donde también utilizamos la ecuación para determinar la distancia entre un punto y otro, pudiendo saber el valor de separación entre los diferentes puntos tomados con respecto al punto de origen que en este ejercicio se trata de CENS Pamplona.

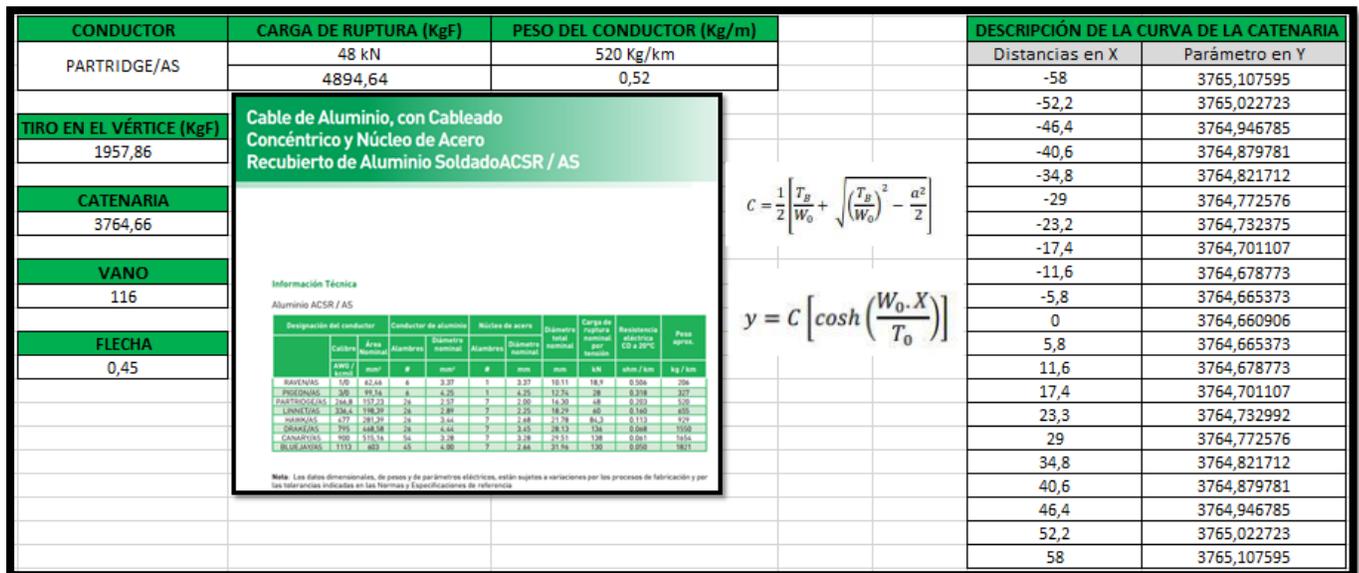
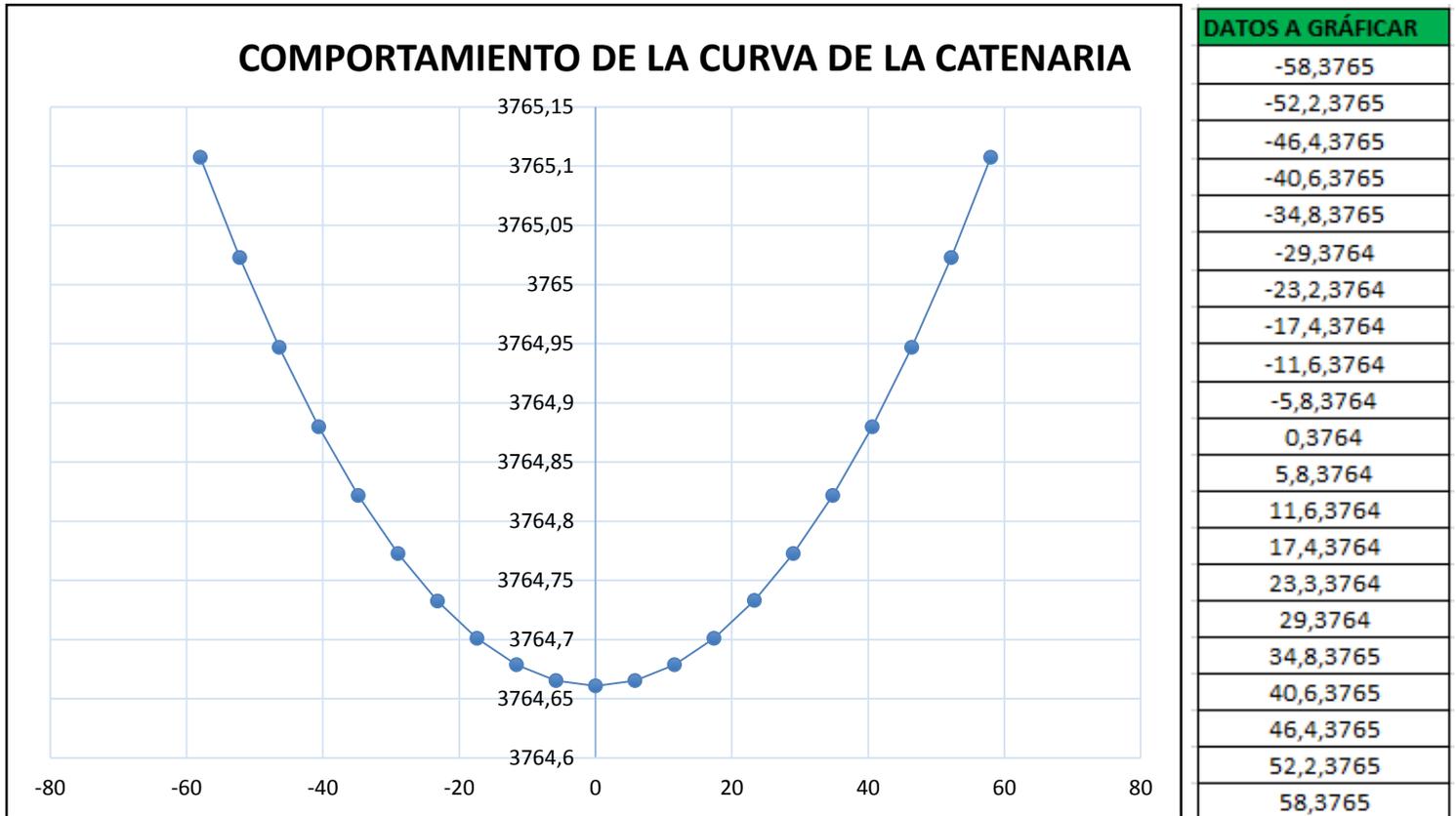


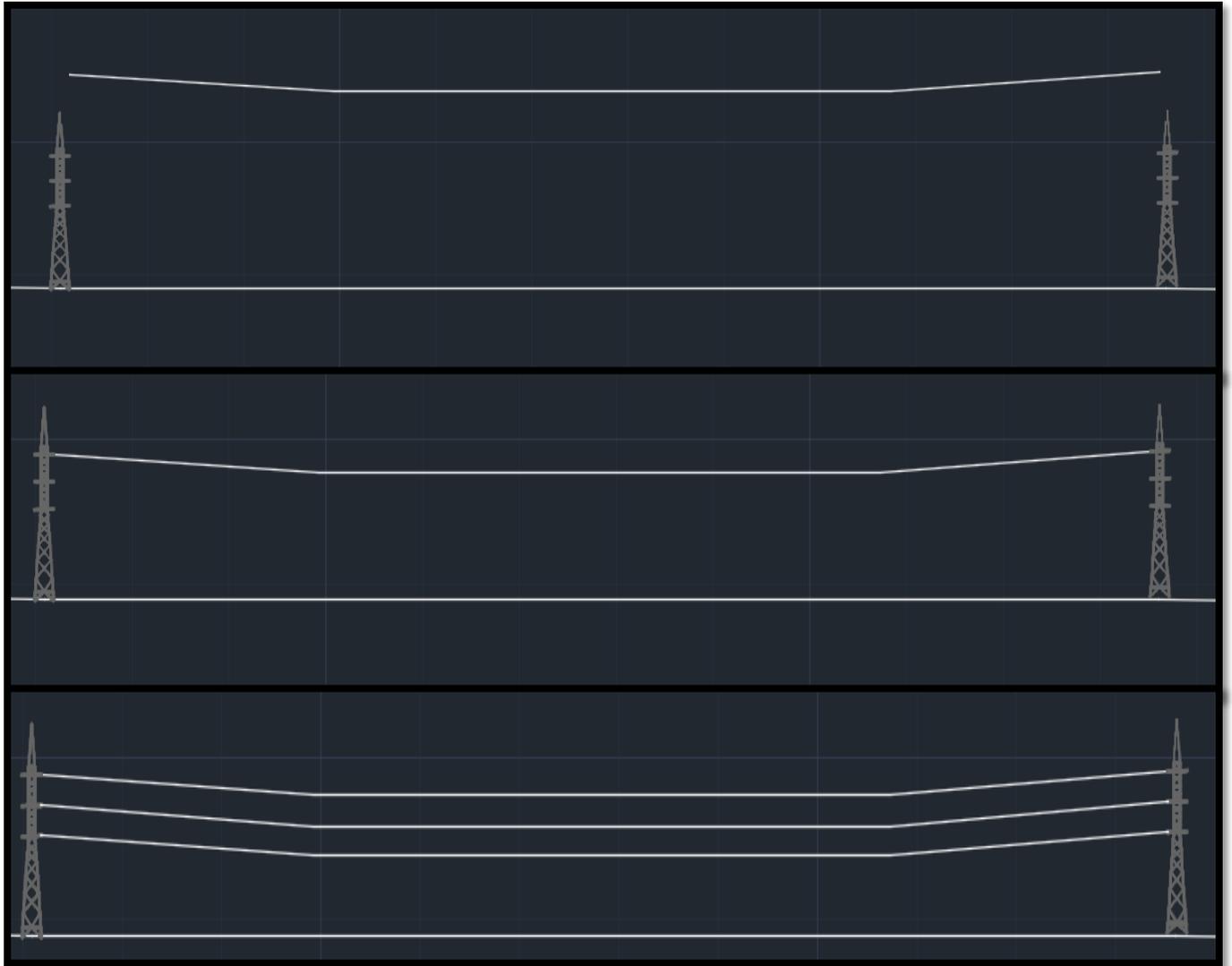
Figura 62. Parámetros y cálculo de la curva de la catenaria para la línea 13,2 Kv.

La figura 62 ilustra los diferentes parámetros técnicos que aporta el fabricante en función del conductor elegido, que para este caso es el PARTRIDGE/AS de donde obtenemos la carga de ruptura y su peso. Luego se obtiene el valor de la catenaria, flecha y esfuerzo en el vértice para obtener el comportamiento de la catenaria a través de la ecuación de “y” que se proyecta en función de las distancias en “x” que se ingresan a la ecuación.



**Figura 63.** Catenaria diseñada para la línea 13,2 Kv.

La figura 63 muestra la catenaria obtenida a través de los parámetros introducidos, Excel permite visualizar la curva de la catenaria ya que grafica los datos en una escala logarítmica. Es evidente que los datos de “x” son muy pequeños en comparación con los datos en “y”, y que si se graficaran en una escala real, obtendríamos prácticamente una línea recta.



**Figura 64.** Ubicación de la catenaria entre dos estructuras.

La figura 64 muestra la consecución con la que se colocó la catenaria diseñada y calculada en medio de dos estructuras, en donde al cuadrar con la cadena de aisladores se replicó para completar el circuito de media tensión de 13,2 Kv.

## CAPITULO VI

### 6. IMPLEMENTACIÓN

La implementación de la herramienta educativa para la asignatura de líneas de transmisión, se realizó teniendo en cuenta la planimetría propuesta en el cronograma de actividades sustentado en la etapa de anteproyecto de grado.

A continuación se mostrara a detalle como quedo la herramienta plasmada en la plataforma Moodle.



Figura 65. Página principal Universidad de Pamplona.

La figura 65 y 66 muestran la plataforma principal de la Universidad de Pamplona, en donde el estudiante pulsando el icono de Moodle, tendrá acceso a un enlace nuevo.



Figura 66. Enlace a la plataforma Moodle de la página principal de la Universidad de Pamplona.



**Figura 67.** Enlace a la plataforma Moodle de la página principal de la Universidad de Pamplona.

La figura 67 ilustra una interfaz donde el estudiante selecciona el tipo de asignatura a la cual va ingresar. En la figura 68 se ingresa el usuario y contraseña que se le da al alumno, de tal forma que pueda ingresar a la plataforma.

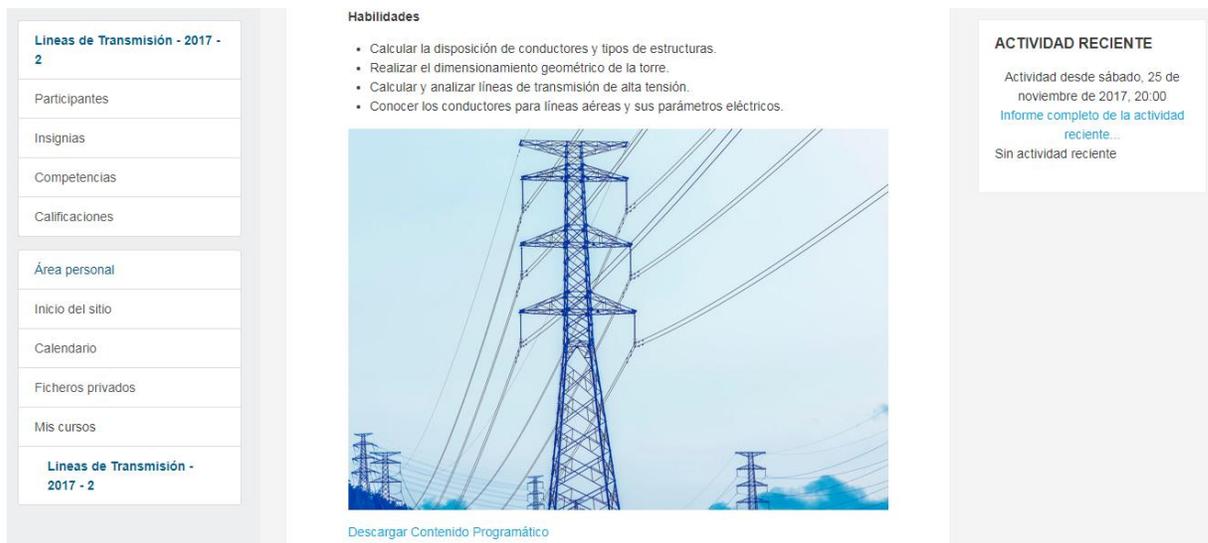


**Figura 68.** Enlace a la plataforma Moodle de la página principal de la Universidad de Pamplona.



**Figura 69.** Enlace a la plataforma Moodle de la página principal de la Universidad de Pamplona.

Las figuras 69 y 70 muestran la ventana principal que se van a encontrar los usuarios una vez que hayan colocado el usuario y contraseña correctamente.



**Figura 70.** Ventana principal – parte inferior.

<b>Lineas de Transmisión - 2017 - 2</b>	1	▶ 1 Introducción - Cambiar	Tema 1
Participantes	2	▶ 2 Generalidades de la línea de transmisión - Cambiar	Tema 2
Insignias	3	▶ 3 Modelos distribuidos - Cambiar	Tema 3
Competencias	4	▶ 4 Resistencia eléctrica en líneas de transmisión - Cambiar	Tema 4
Calificaciones	5	▶ 5 Inductancia y reactancia inductiva - Cambiar	Tema 5
Área personal	6	▶ 6 Capacitancia y reactancia capacitiva - Cambiar	Tema 6
Inicio del sitio	7	▶ 7 Modelos eléctricos de la línea de transmisión - Cambiar	Tema 7
Calendario	8	▶ 8 Cálculo mecánico de la catenaria y flecha - Cambiar	Tema 8
Ficheros privados	9	▶ 9 Hipótesis de cálculo de ecuación de estado - Cambiar	Tema 9
Mis cursos			
<b>Lineas de Transmisión - 2017 - 2</b>			

**Figura 71.** Módulos desarrollados en la plataforma.

La figura 71 muestra los diferentes módulos que fueron desarrollados en la plataforma, mientras que la figura 71 ya nos ilustra el primer módulo.

1 ▼
**1 Introducción - Cambiar**
Tema 1

Quando se utiliza un dispositivo eléctrico o electrónico: bombillos, licuadoras, televisor, entre otros. Se consume energía que requiere de un sistema eléctrico complejo presentado de forma general en la figura 1, dicho sistemas permiten el transporte y adecuación de la energía desde el lugar de generación hasta el sitio de utilización de cualquier índole: comercial, industrial, residencial entre otros [1].

GENERACIÓN	TRANSMISIÓN/ SUB-TRANSMISIÓN	DISTRIBUCIÓN	M E D I C I O N	USUARIOS
<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;"> <span>←</span> <span>COMPañÍA DE ELECTRICIDAD</span> <span>→</span> </div>				

Figura 1. El camino de la energía eléctrica desde su generación hasta el usuario [1].

La figura 1 evidencia que el proceso de transporte de energía eléctrica se expresa con los terminos transmisión, sub transmisión y distribución, para aclarar la connotación de los tres terminos es recomendable continuar con la lectura del texto adjunto en el siguiente enlace [Transmisión De Energía Eléctrica](#) [1].

**Figura 72.** Módulo introducción.

2

## 2 Generalidades de la línea de transmisión - Cambiar

Tema 2

Las líneas de transmisión poseen particularidades descritas de forma paramétrica por modelos eléctricos y mecánicos, cuya aplicación conectan las subestaciones de los sistemas de potencia, los elementos que comúnmente se encuentran en una línea de transmisión se describen de forma general a continuación.

### 2.1 Conductores

Las líneas de transmisión confinan la energía electromagnética a una región del espacio limitada por el medio físico que constituye la propia línea, a diferencia de las ondas que se propagan en el aire, sin otra barrera que los obstáculos que encuentran en su camino. La línea está formada por conductores eléctricos con una disposición geométrica determinada que condiciona las características de las ondas electromagnéticas en ella [1].

Existen diferentes tipos de conductores, los cuales difieren en los materiales constructivos y otros aspectos como la ductibilidad y la maleabilidad con la que se fabrica cada uno de estos. Donde es posible enumerar algunos [2]:

- Cables de aluminio (AAC -AlAluminumconductor) [2]

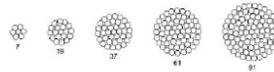


Figura 1. Cables AAC [2].

-Cables de aleación de aluminio (AAAC -AlAluminumAlloyConductor) [2]

- \*Mayor resistencia mecánica que el cable de aluminio
- \*Menor conductividad eléctrica [2].

-Cables a base de hilos de acero recubierto de aluminio (Alumoweld) [2]

- \*Resistente a la corrosión
- \*Mayor resistencia mecánica [2].

**Figura 73.** Módulo generalidades de la línea de transmisión – parte superior.

Las figuras 73 y 74 muestran el contenido del segundo módulo de la plataforma.



Vídeo 6. Montaje de OPGW inmerso en el cable de guarda [10].

La información puede ser ampliada en la siguiente presentación [cable\\_de\\_guarda](#).

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Vega, C. P. (2007). *SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN*. Santander - España: Universidad De Cantabria.
- [2] Cruz, P. (2005). *LÍNEAS DE TRANSMISIÓN*. Sevilla, España: Escuela de Ingenieros Superiores de Sevilla.
- [3] *Efecto Corona* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados UIS, Laboratorio de Alta Tensión: Efecto Corona - (Publicado el 7 julio 2012).
- [4] *Cambio de aisladores de suspensión en línea 500 KV* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados CITTES - (Publicado el 24 junio 2015).
- [5] *Detallamiento de torres de transmisión* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados B Bosch Industrial - (Publicado el 23 mayo 2012).
- [6] *Montando torre de energía con helicópteros* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Élcio Kurlapski - (Publicado el 1 agosto 2014).
- [7] Ingeniería, D. (. (05 de Septiembre de 2017). *RAING*. Obtenido de [www.raing.es/es/](http://www.raing.es/es/): (<http://www.raing.es/es/search/node/guarda>)
- [8] Montes, A. R. (10 de Marzo de 2010). *CABLES DE GUARDA EN TORRES DE ALTA TENSIÓN Y RAYOS*. Obtenido de [www.ea1uro.com/ea1gw/CABLES-DE-GUARDA-EN-TORRES-DE-ALTA-TENSION-Y-RAYOS.pdf](http://www.ea1uro.com/ea1gw/CABLES-DE-GUARDA-EN-TORRES-DE-ALTA-TENSION-Y-RAYOS.pdf)
- [9] *Colocación de cable de guarda* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Élcio Kurlapski - (Publicado el 2 octubre 2008).
- [10] *OPGW* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Pawel Luczak - (Publicado el 6 octubre 2015).

**Figura 74.** Módulo generalidades de la línea de transmisión – parte inferior.

3 **3 Modelos distribuidos - Cambiar** Tema 3

La línea de transmisión como circuito eléctrico distribuido, es un método físico para analizar la resistencia eléctrica, la inductancia, la capacitancia y la conductancia en términos de la longitud con un margen de error relativamente bajo [1], el método permite analizar la línea de transmisión por secciones como se presenta en la figura 1 [2].

Figura 1. Representación de una línea de transmisión común, con sus parámetros de resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia [2].

Como ejemplo se puede analizar el efecto resistivo, el cual por el modelo convencional es una resistencia de extremo a extremo del conductor, en cambio el método distribuido es un conjunto de resistencias donde la resistencia total es la sumatoria de las resistencias distribuidas (por unidad de longitud) en serie [1].

El método proporciona la capacidad de modificar las magnitudes eléctricas en términos de las condiciones ambientales que pueden ser diferentes en los segmentos de la línea de transmisión lo que agrega hace más complejo el análisis del circuito [1].

Por ello el método es utilizado en un principio para determinar un equivalente de la línea de transmisión en un segmento del sistema simplificando el análisis de los fenómenos electromagnéticos, las propiedades del modelo distribuido permite que este sea corregido en términos de la longitud de los conductores para obtener valores concentrados con errores aceptables para los modelos de líneas corta y media de un sistema de transmisión. Pero para los modelos de la línea de transmisión larga o un análisis con un error inferior se hace necesario el análisis de los valores distribuidos [1].

Video 1. Modelo distribuido de una línea de transmisión [3].

**Figura 75. Módulo modelos distribuidos.**

La figura 75 muestra el contenido del tercer módulo de la plataforma.

4 **4 Resistencia eléctrica en líneas de transmisión - Cambiar** Tema 4

En el campo de la ingeniería eléctrica modelar sistemas de potencia, transmisión y distribución consiste en dar una representación de la forma más exacta el comportamiento de los parámetros eléctricos, que se ven involucrados en dichos sistemas [1].

La resistencia es un parámetro eléctrico distribuido a lo largo que se encuentra presente en las líneas de transmisión, en donde "La circulación de corriente a través de un conductor, es decir el movimiento dirigido de carga eléctrica en el conductor, implica choques de electrones con otras partículas atómicas. Es en estos choques que se pierde energía, que es entregada al medio en forma de calor y que a la vez involucra una caída de tensión en el conductor. La cantidad de energía que se convierte en calor, depende de las propiedades físicas del material del conductor." [1].

Para tratar de disminuir las pérdidas por efecto Joule en la resistencia de los conductores, se han elevado los niveles de tensión de transmisión, con el objetivo de reducir apreciablemente la corriente que circula por la línea para un mismo valor de potencia a transmitir. Hasta el futuro cercano, con el advenimiento de los superconductores, la resistencia eléctrica es un factor preponderante a tomar en cuenta en la transmisión eléctrica [2].

Debido a diversos fenómenos que viven presentes en la conducción eléctrica de la distribución no uniforme de la corriente en el conductor tales como el efecto corona, efecto piel, etc. Se suelen distinguir 2 tipos de resistencia eléctricas [2].

- Resistencia de Corriente Continua (R<sub>cc</sub>)
- Resistencia de Corriente Alterna (R<sub>ca</sub>) [2]

4.1 Resistencia Eléctrica de Corriente Continua (R<sub>cc</sub>)

La resistencia eléctrica es una propiedad de los cuerpos que depende de los materiales además de la geometría del mismo. En el caso de la corriente continua se logra una distribución uniforme de la corriente en la sección transversal de conductor, lo que permite la máxima conducción a través del material. La resistencia en corriente continua (R<sub>cc</sub>) de un cuerpo puede ser estimada por la ecuación [2]:

$$R_{dc} = \rho \frac{L}{A}$$

Ecuación 1. Ecuación de la resistencia en DC [2].

**Figura 76. Módulo resistencia eléctrica – parte superior.**

#### 4.3 Resistencia Eléctrica de Corriente Alterna (Rac)

La resistencia de corriente alterna (Rac) se diferencia de su homóloga la de corriente continua (Rdc), en el hecho que la primera considera la distribución no uniforme de la corriente a lo largo de la sección transversal de conductor, como consecuencia de los fenómenos que se hacen presente al trabajar con corriente alterna [2].

Los valores de resistencia de corriente alterna, se apoyan en considerar la acción del fenómeno piel (Skin Effect) el cual indica que en los conductores con sección transversal circular, aumenta la densidad de corriente del interior al exterior, sin embargo en conductores de radio suficientemente grande, se pueden presentar densidades de corriente oscilante a lo largo del radio. Los estudios de la resistencia de corriente alterna en conductores, pueden ser un trabajo profundo, los fabricantes suelen realizar pruebas a sus productos, suministrando esta información en forma tabulada. Los incrementos en la resistencia debidos al efecto piel se puede calcular para alambres circulares y tubos de conductores sólidos con las curvas R/R0 disponibles para los distintos tipos de conductores [2].



Video. 1 Resistividad eléctrica en líneas de transmisión [3].

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Caldas, U. D.-F. (07 de Septiembre de 2017). Obtenido de Universidad Distrital : <http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/redeselectricas/site/cap4/c4lineas.php>
- [2] Gonzalez-Longatt, F. (MAYO 2007). *Impedancia Serie de Sistemas de Transmisión*. Leicestershire: Universidad en Loughborough, Inglaterra.
- [3] *Resistividad eléctrica, resistencia eléctrica* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Academia Internet - (Publicado el 6 de junio del 2015).

### Figura 77. Módulo resistencia eléctrica – parte inferior.

Las figuras 76 y 77 muestran el contenido del cuarto módulo de la plataforma.

5 Inductancia y reactancia inductiva - Cambiar
Tema 5

La inductancia es un parámetro de la línea de transmisión, el cual esta asociado directamente al hecho de que por todo conductor circula una corriente variable, el cual tiene asociado diferentes campos magnéticos dentro de él. Para campos cuasi estacionarios como es el caso de bajas frecuencias utilizadas en la transmisión de potencia eléctrica, 50-60 (Hz), se utiliza la definición del parámetro inductivo en campos estacionarios. Es decir no se toma en cuenta la corriente de desplazamiento para efectos de cálculo, en donde la determinación de la impedancia serie supondrá lo siguiente [1]:

- La distancia entre los conductores incluida la distancia al terreno es mucho mayor que el radio de los conductores, por lo tanto el efecto de proximidad se considera despreciable
- La longitud de los conductores se considerará infinita para efectos de cálculo
- Se supone que la corriente se distribuye uniformemente en la sección transversal del conductor, sea este sólido o cableado
- Todos los conductores son longitudinalmente paralelos entre sí y paralelos al plano de la tierra
- Los conductores están en un medio dieléctrico homogéneo, semi-infinito, de conductividad nula y permeabilidad magnética igual a la del espacio libre  $4\pi \times 10^{-7}$  (H/m)
- El terreno se va considerar como un medio conductor homogéneo, semi-infinito, de resistividad e permeabilidad magnética igual a la del espacio libre
- Todos los conductores son cilíndricos. En el caso de los conductores cableados estos se aproximan a un cilindro de radio igual al de la circunferencia que los circunscribe
- La permeabilidad magnética dentro de los conductores se asume igual a la del espacio libre. En el caso de los conductores con núcleo de acero esto no es cierto, pero debido a que la corriente circula en su mayor parte por la sección conductora se puede asumir, sin errores considerables, que el núcleo de acero no interviene en el transporte de la corriente, por lo tanto su efecto magnético en el parámetro inductivo se considera mínimo [1].

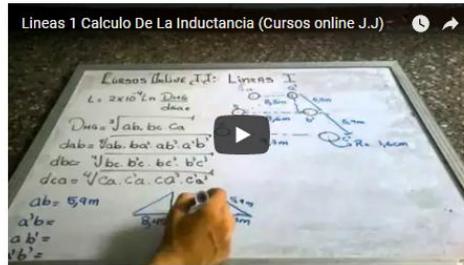
Una corriente alterna presente en un conductor, produce un campo magnético dentro y fuera de él; Las líneas de flujo son círculos concéntricos, en donde la determinación de la inductancia de la línea requiere el cálculo del flujo magnético tanto dentro como fuera del conductor [2].

### Figura 78. Módulo inductancia y reactancia inductiva – parte superior.

$$\Phi_{int} = \mu_0 \frac{I_c L}{2\pi \cdot 4}$$

Ecuación 14. Flujo interno de un conductor [2].

La conclusión interesante es que el flujo interno en un conductor que lleva una corriente es independiente del radio [2].



Video 1. Cálculo de la inductancia en líneas de transmisión [4].

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] BRICEÑO, H. (1995). *TEORÍA DE LÍNEAS AÉREAS TRANSMISORAS DE POTENCIA ELÉCTRICA*. Mérida, Venezuela: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - ULA (VENEZUELA).
- [2] Holbert, G. G.-K. (2013). *Electrical Energy Conversion and Transport*. Piscataway, Piscataway (Nueva Jersey).: IEEE - POWER ENGINEERING - WILEY.
- [3] Matick, R. E. (1995). *TRANSMISSION LINES FOR DIGITAL*. New York, NY: IEEE - PRESS Editorial Board.
- [4] *Lineas 1. Cálculo de la inductancia (Curso online J.J)* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Cursos online J.J - (Publicado el 28 de abril del 2016).

**Figura 79.** Módulo inductancia y reactancia inductiva – parte inferior.

Las figuras 78 y 79 muestran el contenido del quinto módulo de la plataforma.

6
6 Capacitancia y reactancia capacitiva - Cambiar
Tema 6

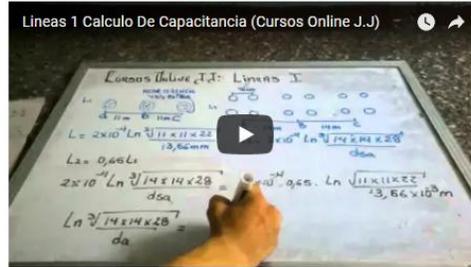
Los conductores de una línea de transmisión energizada tienen cargas. Estas cargas producen un campo eléctrico alrededor de los conductores, generando una diferencia de potencial entre ellos. Asumiendo fenómenos cuasi estacionarios el concepto de capacitancia puede ser manejado en la misma forma que se hace en campos electrostáticos. Recordando que para líneas con más de dos conductores se debe trabajar con los coeficientes potenciales definidos por Maxwell. Para los cálculos requeridos se va a partir de los siguientes supuestos [1]:

- La distancia entre los conductores, incluida la distancia al terreno debajo de la línea, es mucho mayor que el radio de los conductores
- En base al supuesto anterior se puede asumir que la carga se distribuye uniformemente sobre la superficie de los conductores, se desprecia el efecto de proximidad eléctrico
- El efecto de la irregularidad de la superficie en conductores cableados es despreciable. Para estos conductores se asumirá una superficie cilíndrica de radio igual al de la circunferencia circunscrita alrededor de los hilos de la capa exterior
- La longitud de los conductores es mucho mayor que la distancia que los separa
- Todos los conductores son paralelos entre si y al plano del terreno
- Para los cálculos se asumirán conductores de longitud infinita
- Los conductores están en un medio dieléctrico homogéneo, semi infinito, de conductividad nula y constante dieléctrica igual a la del espacio libre
- El terreno se va considerar como un conductor perfecto semi infinito, homogéneo con permeabilidad magnética y constante dieléctrica iguales a la del espacio libre [1].

**6.1 Generación del campo eléctrico**

El campo eléctrico se genera por la carga eléctrica. Típicamente, una partícula cargada de forma esférica genera vectores de campo eléctrico radial, como se muestra en la Figura 1. La dirección de los vectores de campo depende de la polaridad de la carga, como se ve en el diagrama. Específicamente, para una carga positiva, el campo eléctrico irradia hacia fuera, mientras que para una carga negativa, el campo se dirige hacia la carga. Las superficies equipotenciales son esferas concéntricas [2].

**Figura 80.** Módulo capacitancia y reactancia capacitiva – parte superior.



Video 1. Cálculo de la capacitancia en líneas de transmisión [3].

[Descargue base de datos de conductores](#)

[Descargue ejemplos de cálculo](#)

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] BRICEÑO, H. (1995). *TEORÍA DE LÍNEAS AÉREAS TRANSMISORAS DE POTENCIA ELÉCTRICA*. Mérida, Venezuela: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - ULA (VENEZUELA).
- [2] Holbert, G. G.-K. (2013). *Electrical Energy Conversion and Transport*. Piscataway, Piscataway (Nueva Jersey): IEEE - POWER ENGINEERING - WILEY.
- [3] *Líneas 1. Cálculo de la capacitancia (Curso online J.J)* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Cursos online J.J. - (Publicado el 28 de abril del 2016).

**Figura 81.** Módulo capacitancia y reactancia capacitiva – parte inferior.

Las figuras 80 y 81 muestran el contenido del sexto módulo de la plataforma.

**7 Modelos eléctricos de la línea de transmisión - Cambiar**

Los fenómenos capacitivos e inductivos presentes en la línea de transmisión, son parámetros eléctricos que se utilizan para modelar sistemas de transmisión de energía en diferentes longitudes, los cuales en términos de distancia presenta un análisis diferente [1].

- Línea corta:** Longitudes menor a 80 km, contiene parámetros concentrados y su capacitancia puede ser despreciable
- Línea media:** Longitudes mayores a 80 km y menores a 240 km, posee parámetros concentrados y su capacitancia no se puede despreciar
- Línea larga:** Longitudes mayores a 240 km, donde tiene parámetros concentrados en casos especiales con distancias menores a a 320 km, ya que generalmente posee parámetros distribuidos
- Línea muy larga:** Longitudes mayores a 320 km [1].

Las líneas funcionan normalmente con cargas trifásicas equilibradas sin importar que los conductores tengan una disposición simétrica o tengan transposición; Estas son representadas mediante circuitos con constantes distribuidas tales como las ya vistas en esta plataforma (Resistencia, capacitancia, inductancia) [1].

**7.1 Línea corta**

Se entiende como una línea de menos de 80 km. En estos casos se puede transmitir hasta 1,5 veces la potencia nominal. Cuando la línea es clasificada como corta, la capacitancia en derivación es tan pequeña que se puede omitir por completo, con una pérdida pequeña y solo se requiere considerar la resistencia "R" y la inductancia "L" en serie para la longitud total de la línea [1].

La impedancia total de la línea, se da multiplicando la impedancia serie por la longitud de la línea [1]:

$$Z L = (R + jX)$$

Figura 1. Modelo de línea corta en una línea de transmisión, donde la resistencia esta en serie con una inductancia [1].

**Figura 82.** Módulo modelos eléctricos de la línea de trasmisión – parte superior.

[Descargar método de las funciones hiperbólicas y circulares](#)



Video 1. Modelado de una línea corta con sus respectivos parámetros eléctricos [3].

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Baylon, J. (09 de Septiembre de 2017). *academia.edu*. Obtenido de [https://www.academia.edu/26203823/MODELOS\\_DE\\_L%C3%8DNEAS\\_DE\\_TRANSMISI%C3%93N](https://www.academia.edu/26203823/MODELOS_DE_L%C3%8DNEAS_DE_TRANSMISI%C3%93N)
- [2] Mujal, R. M. (2002). *Cálculo de líneas y redes eléctricas*. Barcelona, Catalunya (España): Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- [3] *Modelado de una línea corta* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Conssap - (Publicado el 17 de marzo del 2017).

**Figura 83.** Módulo modelos eléctricos de la línea de trasmisión – parte inferior.

Las figuras 82 y 83 muestran el contenido del séptimo módulo de la plataforma.

8 **8 Cálculo mecánico de la catenaria y flecha - Cambiar** Tema 8

8.1 Catenaria

Se presenta 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 que es denominada catenaria [1].

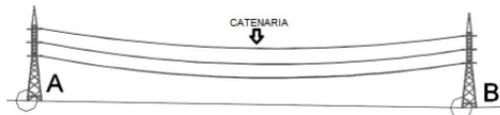


Figura 1. Representación de la catenaria entre dos estructuras [1].

El parámetro de la catenaria(C), es una constante, que regula la apertura de dicha curva en función de la distancia y el peso de los conductores presentes en el sistema de transmisión [1].

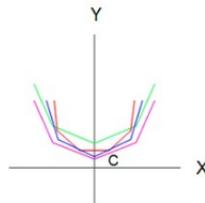


Figura 2. Diferentes tipos de catenaria que se pueden presentar de forma longitudinal en líneas de transmisión [1].

**Figura 84.** Módulo cálculo mecánico de la catenaria y flecha – parte superior.



Video 4. Ejecución y puesta en marcha del tendido eléctrico de conductores en un nivel de Extra alta tensión [5].

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] RUBIO, R. F.-J. (s.f.). *SOFTWARE DE USO DIDÁCTICO PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN*. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv>.
- [2] *Medición de catenaria* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Luis Jara - (Publicado el 9 de octubre del 2015).
- [3] *Como crear perfiles topográficos para líneas de transmisión desde Google Earth, GPS o estación total* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados esolutions - (Publicado el 12 de febrero del 2015).
- [4] *Catenaria VBA* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Washington Araujo Melo - (Publicado el 13 de octubre del 2016).
- [5] *Copemi SAC - TENDIDO DE CONDUCTOR 500 KV* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados CopemiSAC2013 - (Publicado el 5 de julio del 2013).

**Figura 85.** Módulo cálculo mecánico de la catenaria y flecha – parte inferior.  
 Las figuras 84 y 85 muestran el contenido del octavo módulo de la plataforma.

9 **9 Hipótesis de cálculo de ecuación de estado - Cambiar** Tema 9

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 [1]:

- Temperatura
- Viento
- Hielo
- Nieve
- Acción simultanea de temperatura-viento, temperatura-hielo, temperatura-viento-hielo o temperatura-viento-nieve [1].

En Colombia, y debido a las características del clima, se considera 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, y donde lo hay no existe un sistema de transmisión de energía. Haciendo mención a lo ya escrito tenemos lo siguiente [1]:

$w_0$ : 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) [1].

Para el caso, el peso unitario resultante sería:

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

Ecuación 1. Peso resultante, entre el peso del conductor, hielo y viento [1].

El coeficiente de sobrecarga sería:

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

Ecuación 2. Coeficiente de sobre carga [1].

**Figura 86.** Módulo cálculo de ecuación de estado – parte superior.



Video 3. Diseño de líneas de transmisión detallado [4].

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] RUBIO, R. F.-J. (s.f.). *SOFTWARE DE USO DIDÁCTICO PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN*. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv>.
- [2] *Ecuación de cambio de estado V1* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Conssap - (Publicado el 27 de junio del 2011).
- [3] *Ecuación de cambio de estado V2* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados Conssap - (Publicado el 12 de junio del 2017).
- [4] *Diseño de líneas de transmisión distribución: Cálculo mecánicos, metrados, planos* [Video de Youtube]. © Derechos Reservados esolutions - (Publicado el 1 de abril del 2015).

### Figura 87. Módulo cálculo de ecuación de estado – parte inferior.

Las figuras 86 y 87 muestran el contenido del noveno módulo de la plataforma.

La implementación de los módulos contó con la supervisión y aprobación del docente, de tal forma que se trabajara en paralelo al desarrollo del curso.

## CONCLUSIONES

- El contraste realizado con los diferentes centros de educación superior del país, en cuanto al plan de estudios de la asignatura de líneas de transmisión, demarca que no se varía en la estructura de los contenidos impartidos en las aulas, todos manejan una línea temática y técnica similar impartiendo las mismas bases en las diferentes universidades, garantizando que al culminar los estudios los egresados hayan recibido los conocimientos mínimos en el área de líneas de transmisión.
- Para el trazado de la catenaria entre dos estructuras mediante Auto-cad, se utilizaron valores numéricos enteros, ya que este software no permite una gráfica en escala logarítmica, mientras que Excel si lo hace; Se aproximaron los datos a un valor numérico entero de modo que Auto-cad lo reconociera y permitiera trazar la catenaria, la cual ya por diseño sabíamos que iba hacer prácticamente una línea recta.
- En el levantamiento del perfil de alturas del recorrido realizado desde la subestación de CENS del casco urbano de Pamplona, hacia la Universidad de Pamplona, se proyectó una línea de 13,2 Kv con una disposición de postería en concreto de una altura a 14 m, los puntos tomados tienen un margen de error de 1 metro, dando un recorrido total de 1696 metros, para el trazado de altura los datos a graficar fueron los valores de altura de cada punto y las distancias recorridas entre el punto de origen y cada punto tomado, los cuales fueron en total 35.
- La implementación de estos espacios tecnológicos conciben lugares de aprendizaje y enriquecimiento mutuo: por una parte, el docente interviene, modula y colabora en el aprendizaje con su estudiantado, incluso puede hacer uso de ellas para extraer la variedad de estilos de aprendizaje que conviven en su aula y también la evaluación del comportamiento individual y colectivo del alumnado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] EUGENIO SEVERIN. (2013). *ENFOQUES ESTRATÉGICOS SOBRE LAS TICS EN EDUCACIÓN EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*. Santiago de Chile: © UNESCO 2013. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Santiago/images/ticsesp.pdf>
- [2] Laverde, A. C. (2011). *FUNDACIÓN UNIVERSITARIA CATÓLICA DEL NORTE*. Obtenido de [revistavirtual.ucn.edu.co/](http://revistavirtual.ucn.edu.co/):  
<http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/viewFile/362/677>
- [3] GONZÁLEZ, M. G.-N. (2008). *UNIVERSIDAD DE LA SALLE*. Obtenido de ESTILOS DE ENSEÑANZA Y MODELOS PEDAGÓGICOS: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/1667/T85.08%20G586e.pdf>
- [4] TORRES, G. M. (2017). *gingermariatorres.wordpress.com*. Obtenido de MODELOS PEDAGÓGICOS: <https://gingermariatorres.wordpress.com/modelos-pedagogicos/>
- [5] CASTAÑÓN., M. Á. (2017). *Modelos pedagógicos para un ambiente de aprendizaje con NTIC*. Obtenido de [www.colombiaaprende.edu.co](http://www.colombiaaprende.edu.co/html/sitios/1610/articles-131558_pdf1.pdf):  
[http://www.colombiaaprende.edu.co/html/sitios/1610/articles-131558\\_pdf1.pdf](http://www.colombiaaprende.edu.co/html/sitios/1610/articles-131558_pdf1.pdf)
- [6] ACOSTA, A. G. (2015). *DEPARTAMENTO DE TEORÍA E HISTORIA DE LA EDUCACIÓN*. SALAMANCA, ESPAÑA: UNIVERSIDAD DE SALAMANCA.
- [7] COLCIENCIAS. (2016). Obtenido de [www.colciencias.gov.co](http://www.colciencias.gov.co/sala_de_prensa/transferencia-conocimiento-una-estrategia-para-potencializar-la-investigacion):  
[http://www.colciencias.gov.co/sala\\_de\\_prensa/transferencia-conocimiento-una-estrategia-para-potencializar-la-investigacion](http://www.colciencias.gov.co/sala_de_prensa/transferencia-conocimiento-una-estrategia-para-potencializar-la-investigacion)
- [8] Universidad Luterana Salvadoreña (2017). Obtenido de [www.uls.edu.sv/sitioweb/](http://www.uls.edu.sv/sitioweb/):  
[http://www.uls.edu.sv/pdf/manuales\\_moodle/queesmoodle.pdf](http://www.uls.edu.sv/pdf/manuales_moodle/queesmoodle.pdf)
- [9] ANTIOQUIA, Universidad (2017). <http://ingenieria2.udea.edu.co>. Obtenido de [http://ingenieria2.udea.edu.co/multimedia-static/aemtic/unidad\\_4/descargas/moodle.pdf](http://ingenieria2.udea.edu.co/multimedia-static/aemtic/unidad_4/descargas/moodle.pdf)

- [10] PAMPLONA, U. D. (2017). [www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co). Obtenido de Manual\_Profesor\_Moodle:  
[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_94/recursos/01general/manuales/16022016/manual\\_profesor\\_moodle\\_2\\_6.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_94/recursos/01general/manuales/16022016/manual_profesor_moodle_2_6.pdf)
- [11] E-historia.cl. (2017). Obtenido de [www.e-historia.cl](http://www.e-historia.cl): <http://www.e-historia.cl/e-historia/%C2%BFque-es-moodle/>
- [12] Moodledocs. (2017). Obtenido de docs.moodle.org:  
[https://docs.moodle.org/all/es/Acerca\\_de\\_Moodle](https://docs.moodle.org/all/es/Acerca_de_Moodle)
- [13] Universidad de Pamplona. (2017). Obtenido de [www.unipamplona.edu.co](http://www.unipamplona.edu.co):  
[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_171/recursos/general/18042017/reglamento\\_estudiantil.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_171/recursos/general/18042017/reglamento_estudiantil.pdf)
- [14] Elisa Delgado M. (2008).  
Los Contenidos Programáticos y la Formación Integral en el Diseño Curricular .  
*Revista Posgrado y Sociedad - Universidad Estatal a Distancia (UNED)*, Pág - 90.
- [15] Universidad Francisco Jose de Caldas (2017). [Ingenieria1.udistrital.edu.co](http://ingenieria1.udistrital.edu.co). Obtenido:  
<http://ingenieria1.udistrital.edu.co/ingelectricacontenidos/Plan%20de%20estudios%20en%20creditos/231%20-%20Transporte%20de%20energ%EDa.pdf>
- [16] Universidad del Norte (2017). [www.uninorte.edu.co](http://www.uninorte.edu.co). Obtenido de  
[https://pomelo.uninorte.edu.co/pls/prod/bwckctlg.p\\_disp\\_course\\_detail?cat\\_term\\_in=201710&subj\\_code\\_in=IEL&crse\\_numb\\_in=7250](https://pomelo.uninorte.edu.co/pls/prod/bwckctlg.p_disp_course_detail?cat_term_in=201710&subj_code_in=IEL&crse_numb_in=7250)
- [17] Universidad Industrial de Santander (2017). [www.uis.edu.co](http://www.uis.edu.co). Obtenido de  
<https://www.uis.edu.co/webUIS/es/asignaturas/contenidoAsig.jsp?codigo=23352>
- [18] Escuela de Ingenieros Julio Garavito (s.f.). <http://www.escuelaing.edu.co>. Obtenido:  
<http://estudiantes.escuelaing.edu.co/estudiantes/jsp/contenidos.jsp?idasig=9929>

- [19] Universidad de La Salle (2017). *www.lasalle.edu.co/ingenieria-electrica*. Obtenido de [https://www.lasalle.edu.co/wcm/connect/cee0ff2b-5dc1-4ffd-b89a-cb4d18636fe2/Malla\\_Curricular\\_Ing\\_Electrica.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-cee0ff2b-5dc1-4ffd-b89a-cb4d18636fe2-IVDTwwF](https://www.lasalle.edu.co/wcm/connect/cee0ff2b-5dc1-4ffd-b89a-cb4d18636fe2/Malla_Curricular_Ing_Electrica.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-cee0ff2b-5dc1-4ffd-b89a-cb4d18636fe2-IVDTwwF)
- [20] Universidad Nacional de Colombia (2017). *programasacademicos.unal.edu.co*. Obtenido de [http://www.pregrado.unal.edu.co/docs/pep/pep\\_4\\_15.pdf](http://www.pregrado.unal.edu.co/docs/pep/pep_4_15.pdf)
- [21] BRICEÑO, H. (1995). *TEORÍA DE LÍNEAS AÉREAS TRANSMISORAS DE POTENCIA ELÉCTRICA*. Mérida, Venezuela: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - ULA (VENEZUELA).
- [22] Cruz, P. (2005). *LÍNEAS DE TRANSMISIÓN*. Sevilla, España: Escuela de Ingenieros Superiores de Sevilla.
- [23] Caldas, U. D.-F. (07 de Septiembre de 2017). Obtenido de [gemini.udistrital.edu.co:/http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/redeselectricas/site/cap4/c4lineas.php](http://gemini.udistrital.edu.co:/http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/redeselectricas/site/cap4/c4lineas.php)
- [24] Gonzalez-Longatt, F. (MAYO 2007). *Impedancia Serie de Sistemas de Transmisión*. Leicestershire: Universidad en Loughborough, Inglaterra.
- [25] Holbert, G. G.-K. (2013). *Electrical Energy Conversion and Transport*. Piscataway, Piscataway (Nueva Jersey): IEEE - POWER ENGINEERING - WILEY.
- [26] Baylon, J. (09 de Septiembre de 2017). *academia.edu*. Obtenido de [https://www.academia.edu/26203823/MODELOS\\_DE\\_L%C3%8DNEAS\\_DE\\_TRANSMISI%C3%93N](https://www.academia.edu/26203823/MODELOS_DE_L%C3%8DNEAS_DE_TRANSMISI%C3%93N)
- [27] Mujal, R. M. (2002). *Cálculo de líneas y redes eléctricas*. Barcelona, Catalunya (España): Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- [28] ALVARENGA AQUINO, R. F., & FLORES RUBIO, J. E. (2013). *SOFTWARE DE USO DIDÁCTICO PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN*. *Tesis pregrado UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*, 1-197. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/5038/1/Software%20de%20uso%20did%C3%A1ctico%20para%20el%20c%C3%A1lculo%20mec%C3%A1nico%20de%20lineas%20de%20transmisi%C3%B3n%20y%20distribuci%C3%B3n.pdf>