

HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS DE
TRANSMISIÓN ELÉCTRICA
HELITE 1.0

MISAEAL ACOSTA CORTÉS

ROLAND CANTILLO ESCORCIA

Libro de trabajo de grado para optar al

Título de Ingenieros Electricistas

Director de Proyecto

CIRO JURADO JEREZ

Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2006

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A Ciro Jurado Jerez, Ing. Electricista y director del proyecto.

A Arnulfo Galán, profesor de la facultad de la escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones.

DEDICATORIA

Este es el verdadero principio de una carrera, dejar atrás los amargos momentos y recordar los mejores como una lección de vida para el futuro; los cuales comparto con las personas que a lo largo de este proceso me acompañaron, apoyaron y alegraron, a ellos dedico este trabajo.

A mi nona Fanny, que siempre estuvo y estará acompañándome.

Mis padres Misael y Yolanda, que con su sacrificio, esfuerzo y esperanzas siempre estuvieron conmigo.

A mis hermanos Oscar y Fabián, cuya carisma me han alegrado en todo momento.

A mi hermano y mi novia, Juan Manuel y Luisa Fernanda que siempre me apoyan y mantienen mi vida alegre y libre.

A mi tía Yolanda, que desde un comienzo me apoyo.

A mi nona Chela, mi tía Alba y mi Prima Laura, que nunca me han dejado solo.

A mi hermanita y mi sobrina, ANSI y Luisa F. que son las que me inspiran a seguir siempre adelante.

Y a mi socio Roland, que siempre cumpla sus metas como la que hemos alcanzado ahora.

Misael.

DEDICATORIA

Con este trabajo se cierra una etapa de mi vida y se abre una totalmente nueva, que deseo compartir con las personas que desde que entraron en mi vida nunca más me dejaron solo:

Mis padres Emell y Elisa, prácticamente mis Ángeles de la guarda hechos realidad.

Mis cuates Andrés, Beto, Alejo, Vaca, Cris y el gañan, lejos y cerca los mejores amigos siempre.

A los nuevos E3T que me acogieron como uno de ellos, Alvin, Diofer, Carlos, Malagón, Fabianny, Tania y los que se me escapan.

Mi socio y compañero MAC (Misael), por la victoria de Fusilex.

Roland.

TÍTULO: HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, HELITE 1.0*

AUTORES: MISAEAL ACOSTA CORTÉS Y ROLAND CANTILLO ESCORCIA**

PALABRAS CLAVES: Líneas, transmisión, software, eléctricas, plantillado.

El programa desarrollado genera un modelo adecuado para el diseño de líneas de transmisión, de bajo costo, fácil de manejar y acorde a la normatividad colombiana.

HELITE 1.0 es una herramienta software que permite elaborar los cálculos eléctricos, mecánicos y dibujos de plantilla y perfiles topográficos de una línea de transmisión aérea de corriente alterna, guiando al usuario mediante diferentes ayudas a la solución de un problema específico del que se poseen datos eléctricos (Tales como la potencia a transmitir, factor de potencia, etc.) y las hipótesis climáticas del corredor que atravesará la línea; permitiendo al usuario la total manipulación de los resultados en archivos MICROSOFT OFFICE que son de dominio público.

HELITE 1.0 nace para llenar el vacío que deja el distanciamiento que existe entre las empresas creadoras de software de muy alto nivel en el campo de la ingeniería eléctrica y la universidad pública, que por su carácter de estatal no cuenta con los recursos para adquirir esta clase de activos, que en últimas tampoco serían de gran utilidad, debido a que su enfoque no es académico.

HELITE 1.0 es una herramienta que permite apoyar tanto a estudiantes como a profesionales del área en el aprendizaje, comprensión, cálculo e interpretación de sus propios diseños.

* Trabajo de investigación

** FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS, INGENIERÍA ELÉCTRICA, CIRO JURADO JERÉZ

TITLE: HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, HELITE 1.0*

AUTHORS: MISAEEL ACOSTA CORTÉS Y ROLAND CANTILLO ESCORCIA**

KEY WORDS: Lines, transmission, software, electric, plantillado.

The developed program generates an appropriate model for the design of transmission lines, low cost, easy to manage and chord to the Colombian codes.

HELITE 1.0 are a tool software that allows to elaborate the electric calculations, mechanics and insole drawings and topographical profiles of a overhead transmission line of alternating current, guiding the user by means of different helps to the solution of a problem specify of the one that electric data are possessed (Such as the power to transmit, factor of power, etc.) and the climatic hypotheses of the corridor that will cross the line; allowing the user the total manipulation of the results in MICROSOFT OFFICE files that are of public domain.

HELITE 1.0 are born to fill the hole that leaves the distancing that exists among the creative companies of software of very high level in the field of the electric engineering and the public university that for their character of public doesn't count with the resources to acquire this class of active that in last neither would be of great utility, because their focus is not academic.

HELITE 1.0 are a tool that allows to support as much to students as to professionals of the area in the learning, understanding, calculation and interpretation of their own designs.

* Trabajo de investigación

** FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS, INGENIERÍA ELÉCTRICA, CIRO JURADO JERÉZ

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	15
1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	17
1.1 TÍTULO	17
1.2 OBJETIVO GENERAL	17
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4 JUSTIFICACIÓN	18
1.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
1.4.2 JUSTIFICACIÓN	19
1.4.3 IMPACTO	19
1.4.4 VIABILIDAD	20
2 MARCO TEÓRICO	22
2.1 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD	22
2.2 METALES CONDUCTORES	23
2.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE CONDUCTOR	26
2.4 SELECCIÓN CON CRITERIO ELÉCTRICO	28
2.4.1 TENSIÓN DE TRANSMISIÓN	30
2.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS	31
2.5.1 PARÁMETROS	31
2.5.1 IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA	33
2.5.2 CONSTANTES GENERALIZADAS A, B, C, D	33
2.6 PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA	34
2.7 HERRAJERÍA DE LÍNEAS ELÉCTRICAS	34
2.7.1 CLASIFICACIÓN	35
2.8 AISLADORES DE LÍNEAS ELÉCTRICAS	36
2.8.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	38
2.8.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	39

2.9	CONDUCTORES SIMPLES Y MÚLTIPLES	40
2.9.1	DISPOSICIÓN DE CONDUCTORES	41
2.10	CADENAS DE AISLADORES	43
2.11	FUNCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	44
2.11.1	MATERIALES PARA ESTRUCTURAS	46
2.12	BLINDAJE CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	48
3	INGENIERÍA DEL SOFTWARE	51
3.1	EL PARADIGMA DEL CICLO DE VIDA CLÁSICO EN HELITE 1.0.....	54
3.1.1	INGENIERÍA DE ANÁLISIS Y SISTEMA.....	54
3.1.2	ANÁLISIS DE LOS REQUISITOS DEL SOFTWARE	55
3.1.3	DISEÑO.....	55
3.1.4	IMPLEMENTACIÓN	56
3.1.5	PRUEBA.....	56
3.1.6	MANTENIMIENTO	63
3.2	MODALIDADES Y TENDENCIAS	64
3.2.1	UNA NUEVA ALTERNATIVA: LOS MÉTODOS ÁGILES (MAs)	65
3.3	PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS	70
3.3.1	CLASES Y OBJETOS	74
3.3.2	ATRIBUTOS	76
3.3.3	MÉTODOS	76
3.4	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA ESPECÍFICA.....	77
3.4.1	VISUAL BASIC 6.0.....	77
3.4.2	AUTOCAD.....	81
3.5	DESARROLLO DEL PROYECTO	82
3.5.1	ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	82
3.5.2	DISEÑO.....	83
3.5.3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	86
3.5.4	ALCANCES, LIMITACIONES Y REQUERIMIENTOS	87
4	PRESENTACIÓN Y EJECUCIÓN DEL SOFTWARE	90

4.1	PRESENTACIÓN DE LA INTERFASE DE ENTRADA.....	90
4.1.1	OPCIÓN NUEVO PROYECTO.....	91
4.2	CÁLCULOS ELÉCTRICOS	116
4.3	CÁLCULOS MECÁNICOS.....	121
4.4	AISLADORES.....	125
4.5	DISEÑO DEL CABLE DE GUARDA.....	125
4.6	TORRES TIPO	126
4.7	PLANTILLADO	126
4.8	BOTÓN AYUDA	127
4.9	BOTÓN ACERCA DE HELITE 1.0	127
4.10	SALIDA.....	127
4.11	ATAJOS EN LA INTERFASE PRINCIPAL	128
5	CONCLUSIONES	129
6	RECOMENDACIONES.....	131
	BIBLIOGRAFÍA.....	132
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	134
	ANEXO A.....	136
	ANEXO B.....	196
	ANEXO C.....	199

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Temperatura límite para cortocircuito.....	29
Tabla 2.	Número de fallas por año para distintas tensiones nominales.....	49
Tabla 3.	Requerimientos hardware y software del sistema	89
Tabla 4.	Atajos en la interfase principal de HELITE 1.0.....	128
Tabla A.1	Criterios de selección de voltaje	136
Tabla A.2	Coeficientes de seguridad para tensión corona	150
Tabla A.3	Coeficientes de estado del conductor	151
Tabla A.4	Coeficientes de geometría del conductor	151
Tabla A.5	Coeficientes de clima.....	152
Tabla A.6	Tensión máxima según la IEEE.....	153
Tabla A.7	Grados de aislamiento de acuerdo a la cona.....	153
Tabla A.8	Características de los materiales de los conductores.....	185
Tabla A.9	Factor de reducción de la rigidez dieléctrica.....	187
Tabla A.10	Distancias mínimas de seguridad según el RETIE.....	189
Tabla A.11	Distancias de seguridad entre circuitos que se cruzan.....	192
Tabla C.1	Datos del conductor ACSR GULL.....	199
Tabla C.2	Resultados Mecánicos.....	216

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composición de un cable ACSR con 30 hilos de aluminio y 7 de acero.....	24
Figura 2. Transposición y rotación de fases.....	32
Figura 3. Circuito equivalente de una línea por parámetros uniformemente distribuidos.....	33
Figura 4. Torres tipo para las diferentes configuraciones	41
Figura 5. Disposición de los aisladores en una cadena.....	43
Figura 6. Paradigma del Ciclo de Vida Clásico.....	54
Figura 7. Resultados de prueba de diseño y presentación en pantalla.....	58
Figura 8. Resultados de prueba de diseño e implementación de ayudas.....	59
Figura 9. Resultados de prueba de calidad y eficiencia de datos obtenidos....	59
Figura 10. Interfase de entrada de HELITE 1.0.....	91
Figura 11. Formulario de ingreso de datos para nuevo proyecto.....	92
Figura 12. Formato de ingreso de distancias entre fases para nuevo proyecto..	95
Figura 13. Pantalla de resultados de cálculos eléctricos para nuevo proyecto...	98
Figura 14. Formato de resultados de cálculos mecánicos nuevo proyecto.....	100
Figura 15. Formato de cálculos de la cadena de aisladores nuevo proyecto.....	103
Figura 16. Formulario de entrada de datos para los cálculos mecánicos y ubicación del cable de guarda nuevo proyecto.....	105
Figura 17. Formato de resultados de cálculos mecánicos del cable de guarda	

nuevo proyecto.....	106
Figura 18. Display de ubicación del cable de guarda nuevo proyecto	108
Figura 19. Presentación de las distancias de diseño de la torre.....	111
Figura 20. Módulo de plantillado nuevo proyecto	112
Figura 21. Pantalla de construcción de perfil topográfico nuevo proyecto.....	114
Figura 22. Ejemplo de perfil topográfico construido en HELITE 1.0 y exportado a AUTOCAD.....	116
Figura 23. Formulario de entrada de datos para cálculos eléctricos.....	117
Figura 24. Formulario entrada de datos cálculos mecánicos.....	122
Figura A1. Equivalente π	144
Figura A2. Cable tendido entre dos puntos al mismo nivel.....	161
Figura A3. Catenaria y flecha de un cable tendido entre dos puntos.....	167
Figura A4. Desviación transversal de la cadena de aisladores.....	193
Figura B1. Esquema de un plano de perfil topográfico.....	194
Figura B2. Esquema de un plano de perfil topográfico y plantilla.....	195
Figura B3. Plantilla.....	195
Figura B4. Proceso de plantillado.....	196
Figura C.1 Disposición horizontal con cuatro conductores por haz.....	200
Figura C.2 Datos de Entrada del ejemplo en HELITE 1.0.....	208
Figura C.3 Resultados Eléctricos del ejemplo en HELITE 1.0.....	209

Figura C.4	Resultados Mecánicos del ejemplo en HELITE 1.0.....	219
Figura C.5	Resultados de los cálculos de aisladores para el ejemplo en HELITE1.0.....	220

INTRODUCCIÓN

La tendencia globalista de nuestra época genera nuevas necesidades en los sectores representativos de la población, estas modernas exigencias se tornan más evidentes en los países en vía de desarrollo, tal es el caso de Colombia, una nación llena de conflictos sociales, pero con un potencial de crecimiento económico enorme, los núcleos urbanos aumentan día a día su capacidad para albergar residentes, el sector industrial, pese a las políticas estatales, continua fortaleciéndose y las expectativas del sector agropecuario hacen vislumbrar una agroindustria que pueda competir en igualdad de condiciones con sus similares extranjeras, estas son algunas de las razones en las que se fundamenta la predicción de un incremento significativo en la demanda de energía eléctrica.

Con la ya mencionada intensificación en la solicitud de energía eléctrica va asociada una expansión en la red actual y por consiguiente un aumento en la cantidad de proyectos que involucran planeación de sistemas de transmisión.

A pesar de lo optimista de las anteriores especulaciones, no hay que perder de vista el contexto actual, el país está sumido en la pobreza y la inversión gubernamental es casi nula, por lo que se esperaría que los proyectos antes nombrados estén cargados de austeridad y se trate de economizar al máximo en todos los aspectos, conservando los requerimientos de optimización respecto a los costos de construcción, desempeño, eficiencia operativa y futuras expansiones del sistema.

Como bien se sabe, el planeamiento de sistemas de transmisión ha utilizado desde hace varios años la ayuda del computador para elaborar los tediosos cálculos necesarios para el diseño y análisis del sistema, lo que ha contribuido al

desarrollo de programas especializados muy completos pero a la vez muy costosos, gracias a esto, nace la idea de crear un programa para el diseño de líneas de transmisión que sea económico, de fácil manejo y que se pueda adaptar sencillamente a otros módulos (Ya sea para recibir datos de entrada o para suministrarlos), para crear un paquete de planeación de sistemas de transmisión en el que se tengan en cuenta los criterios exigidos por las normas colombianas.

1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 TÍTULO

*HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS DE
TRANSMISIÓN ELÉCTRICA
HELITE 1.0*

1.2 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un software que permita el trazado de líneas de transmisión para un proyecto de energía eléctrica, que apoye el proceso de aprendizaje, fortaleciendo y corroborando los criterios de diseño; generando un modelo adecuado, que sea de bajo costo, útil, fácil de adquirir y acorde a la normatividad colombiana.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Adecuar una herramienta software para el manejo de los cálculos eléctricos y mecánicos de una línea de transmisión.
2. Soportar mediante diferentes tipos de ayudas los conceptos teórico – prácticos del diseño de líneas de transmisión basados en la normatividad colombiana actual.
3. Generar archivos de dibujo de las curvas de catenaria y perfil topográfico para facilitar el plantillado.

4. Generar documentos en Word y Excel tanto con datos de entrada como de salida, con el fin de una posterior manipulación por parte del usuario.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En muchas actividades del diario vivir, el uso de la tecnología ha demostrado ser de gran ayuda en la ejecución de tareas en las que se invertía una gran cantidad de tiempo y se debían repetir hasta poder hallar la solución más conveniente, haciéndolas ineficientes.

Con el uso de programas de computador las tareas realizadas por el hombre pasaron de ser un proceso puramente mecánico a un proceso de interpretación y mejoramiento de resultados, en donde se pueden proponer varias alternativas para un mismo problema y entre ellas determinar la más conveniente y factible.

El área de las líneas de transmisión de energía eléctrica no es ajena a esta realidad. El diseño de líneas requiere de un gran volumen de cálculos y del análisis de varias alternativas, para esto es necesario invertir tiempo valioso. Es allí donde surge la necesidad de aplicar un programa que facilite y reduzca el tiempo en la ejecución de los cálculos numéricos, para poder centrarse en factores más valiosos para la selección de una línea como son la conveniencia, la calidad y los costos entre otros. Estos serán algunos de los parámetros para escoger la mejor configuración.

1.4.2 JUSTIFICACIÓN

Aunque en la actualidad los programas de diseño de líneas de transmisión eléctrica existentes en el mercado realizan diseños muy ventajosos, los costos de adquisición de estos paquetes computacionales son muy elevados, razón por la que actualmente el curso de sistemas de transmisión y distribución de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander no posee el apoyo de una herramienta tipo software de fácil acceso a los estudiantes y egresados por medio de la cual éstos puedan plantear y calcular sus diseños.

Debido a esta necesidad y a las razones técnicas, económicas y académicas antes mencionadas, nace la idea de desarrollar un programa para el diseño de líneas de transmisión eléctrica a bajo costo, de fácil manejo y en el que se tenga en cuenta los criterios de diseño de líneas eléctricas del Reglamento Técnico de instalaciones eléctricas (RETIE).

1.4.3 IMPACTO

Las metodologías laborales actuales requieren el uso de nuevas tecnologías como medios para hacer del trabajo un proceso mas agradable y fácil en los que se reduzca el tiempo invertido en la realización de cálculos y ofrezcan la posibilidad de analizar diferentes alternativas en la solución de un mismo problema.

Con este proyecto se busca crear un software para ser utilizado por los estudiantes y egresados de ingeniería eléctrica como herramienta de apoyo en la práctica, así como ayuda en el ejercicio profesional, encargada de realizar el diseño de una línea de transmisión eléctrica teniendo presente para ello los

parámetros y normas existentes en el país para el diseño de la transmisión de la energía eléctrica.

Al ser un software creado por estudiantes para uso académico (y posiblemente comercial), éste busca ser un programa desarrollado con herramientas de bajo costo, lo que lo hace económico representando una ventaja frente a los programas existentes de uso comercial, que por sus precios elevados no pueden ser asequibles a los estudiantes impidiendo la manipulación y familiarización con este tipo de ayudas.

Así, el proyecto también plantea la posibilidad de implementar el uso del programa que sea utilizado por los estudiantes como herramienta funcional en la que para su manejo se deben tener los conocimientos fundamentales para poder hacer un uso correcto de ella.

1.4.4 VIABILIDAD

Muchos problemas de ingeniería tienen solución con integración interdisciplinaria donde cada una de las partes aporta su conocimiento en la búsqueda de la solución más óptima.

Debido a que el desarrollo del presente proyecto involucra tener un claro conocimiento del diseño de líneas de transmisión eléctrica y del manejo de lenguajes de programación, éste será llevado a cabo con la participación de dos personas, dos estudiantes de Ingeniería Eléctrica, donde cada uno complementará y trabajará en conjunto para la elaboración del proyecto, garantizando un adecuado manejo del tema con personal capacitado y con los conocimientos necesarios para la realización del mismo.

El proyecto pretende implementar una herramienta software para el diseño de líneas de transmisión eléctrica para ser usado como herramienta por todos los estudiantes de ingeniería eléctrica que hayan cursado la materia sistemas de transmisión y distribución, para ello, se elaborará un programa de fácil manejo, donde se puedan aplicar los criterios y parámetros que gobiernan el diseño de líneas eléctricas y el usuario pueda realizar en la herramienta la misma secuencia de diseño vista en el curso.

El lenguaje de programación que se utilizará nos permite interactuar con los resultados numéricos y la parte gráfica, para ello se propone el lenguaje de programación Visual Basic 6.0, que permite desarrollar el objetivo que se busca con el proyecto y también realiza la interfaz gráfica con otro programa como el Autocad que es una herramienta de apoyo gráfico muy empleada en el medio de la Ingeniería Eléctrica.

2 MARCO TEÓRICO*

Un proyecto de transmisión de energía eléctrica comienza en el momento en que se identifica el problema o necesidad por solucionar y termina en el momento en que se logra solucionar o satisfacer dicha necesidad alcanzando así los objetivos esperados por el proyecto.

2.1 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD

El proyecto de planeación de una línea incluye todas las etapas y trabajos, desde cuando se concibe la idea de la necesidad de la misma, hasta cuando la línea está terminada y lista para ser usada.

Este proceso obedece al desarrollo ordenado de una serie de estudios cuya finalidad es establecer en primera instancia los factores de conveniencia económica, social y político de la obra y posteriormente considera las características de diseño de acuerdo a las expectativas que se piensan cubrir con el proyecto.

La magnitud de los proyectos de diseño de líneas de transmisión es considerable debido a que se trata de tramos de varios kilómetros de distancia, por esta razón su costo es bastante elevado. Como se manejan montos de inversión elevados, los estudios deben ser muy exactos y debe definirse muy bien los puntos entre los cuales se requiere y desea realizar la línea; en resumen el diseño, trazado y localización de una línea lo que hace es determinar la mejor ruta que sirva para unir los extremos de la misma, los principios de la ingeniería exigen que dicha ruta

* [UNL, 01]

sea escogida de tal forma que se pueda construir y explotar con la máxima economía y utilidad.

Se llama línea aérea la instalación cuya finalidad es la transmisión aérea de energía eléctrica. Esto se realiza con elementos de conducción y elementos de soporte. Los soportes están formados por estructuras, fundaciones, puesta a tierra. La conducción la conforman conductores, aisladores, accesorios (herrajes).

Todos los elementos constructivos de una línea aérea deben ser elegidos, conformados y construidos de manera que tengan un comportamiento seguro en condiciones de servicio, bajo las condiciones climáticas que normalmente es dado esperar, bajo tensiones de régimen, bajo corriente de régimen y bajo las situaciones de cortocircuito previstas. Se inicia el análisis por los conductores y se continúa con otros elementos.

2.2 METALES CONDUCTORES

En la construcción de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica, se utilizan casi exclusivamente conductores metálicos desnudos, que se obtienen mediante cableado de hilos metálicos (alambres) alrededor de un hilo central.

Los metales utilizados en la construcción de líneas aéreas deben poseer tres características principales:

1. Presentar una baja resistencia eléctrica y en consecuencia bajas pérdidas Joule.
2. Presentar elevada resistencia mecánica, de manera que ofrezca una elevada resistencia a los esfuerzos permanentes o accidentales.

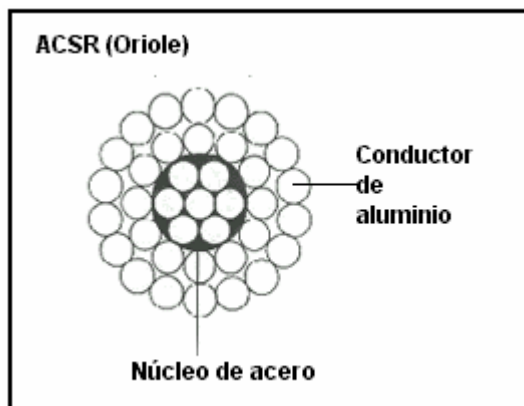
3. Costo limitado.

Los metales que satisfacen estas condiciones son relativamente escasos:

- Cobre
- Aluminio
- Aleación de aluminio
- Combinación de metales (aluminio-acero)

En la figura 1 se puede observar la composición de un cable ACSR* cuyo núcleo de acero está formado por 7 hilos y recubierto por 30 hilos conductores de aluminio.

Figura 1. Composición de un cable ACSR con 30 hilos de aluminio y 7 de acero



El aluminio es el material que se ha impuesto como conductor de líneas aéreas ya que las técnicas de producción eliminaron sus desventajas respecto al cobre,

* ACSR: Aluminum Conductor Steel Reinforced

además es ayudado por un precio sensiblemente menor y por la ventaja del menor peso para igual capacidad de transporte.

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

- Cables homogéneos de aluminio puro (AAC)
- Cables homogéneos de aleación de aluminio (AAAC)
- Cables mixtos aluminio acero (ACSR)
- Cables mixtos aleación de aluminio acero
- Cables aislados con neutros portantes (cables preensamblados)

Independientemente de las características eléctricas y mecánicas que conducen a la elección de un tipo de conductor u otro, cuyas ventajas o desventajas se comentarán más adelante, no se deben perder nunca de vista los principios básicos de uso de este tipo de material, a saber:

1. Los conductores de aluminio se utilizan siempre en forma de hilos cableados, debido a que poseen mejor resistencia a las vibraciones que los conductores de un único alambre.
2. La dureza superficial de los conductores de aluminio es sensiblemente menor que para los de cobre, por esta razón se les debe manipular con mucho más cuidado, para que especialmente en las operaciones de tendido no se arriesguen daños graves.
3. Expuestos a la intemperie se recubren rápidamente de una capa protectora de óxido insoluble y que protege al conductor contra la acción de los agentes exteriores.

4. Ciertos suelos naturales atacan al aluminio en distintas formas, por lo que no es aconsejable utilizarlo para la puesta a tierra de las torres.
5. El aluminio es electronegativo en relación a la mayoría de los metales que se utilizan en las construcciones de líneas y por esto se debe tener especial cuidado en las uniones.
6. La temperatura de fusión del aluminio es 660 grados C (mientras el cobre funde a 1083 grados C) por lo tanto los conductores de aluminio son más sensibles a los arcos eléctricos.

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

2.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE CONDUCTOR

Los conductores homogéneos de aluminio por sus bajas características mecánicas tienen el campo de aplicación fuertemente limitado, ya que vanos relativamente grandes llevarían a flechas importantes que obligarían a aumentar la altura de los soportes, como también fijar distancias notables entre las fases originando crucetas de grandes dimensiones, este tipo de conductor se utiliza entonces para los vanos de las estaciones eléctricas o en las líneas con vanos relativamente cortos.

Los conductores de aleación de aluminio o de aluminio acero, con características mecánicas elevadas, permiten cuando las trazas son rectilíneas hacer trabajar a los conductores con los máximos esfuerzos que le son permitidos.

Esto da como resultado grandes vanos, con el consiguiente ahorro de torres, aisladores, herrajes y fundaciones.

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

- Mayor dureza superficial, lo que explica la más baja probabilidad de daños superficiales durante las operaciones de tendido, particularidad muy apreciada en las líneas de muy alta tensión, ya que como consecuencia se tendrán menos pérdidas corona y menor perturbación radio eléctrica.
- Menor peso, el ser más liviano, para flecha y vanos iguales, da como consecuencia a igual altura de torres menor peso en las torres terminales y angulares, por la menor sollicitación mecánica, esto influye en la economía especialmente cuando el trazado es quebrado.

Para el caso de trazas rectilíneas, a igualdad de tensión mecánica de tendido, se tiene menor flecha para igual vano y en consecuencia menor altura de las torres de suspensión.

Una desventaja que debe señalarse para la aleación de aluminio es que por sus características mecánicas como consecuencia de los tratamientos térmicos a los que son sometidos los metales, el cable es sensible a las altas temperaturas (no debe superarse el límite de 120 grados C) por lo que debe prestarse especial atención al verificar la sección y capacidad de corriente luego del estudio de fallas.

2.4 SELECCIÓN CON CRITERIO ELÉCTRICO

El conductor es el componente que justifica la existencia de la línea, en rigor toda la obra se hace para sostenerlo, haciendo válida la afirmación de que su elección acertada es la decisión más importante en la fase de proyecto de una línea.

La razón de la elección es variable con los parámetros de la línea (La tensión, la energía a transportar, etc.), teniendo presente que el costo incremental de la energía que la línea transmite depende de la correcta elección.

Como el conductor por sus características eléctricas y mecánicas, influye en el diseño de las torres y su ubicación en el terreno, puede deducirse que existe una familia de conductores que satisfacen técnicamente la relación existente entre torre y conductor, pero sólo uno es el más apto para satisfacer las reglas de las cuales no debe apartarse ni esta ni otras obras de ingeniería, tanto eléctrica como de otra especialidad.

Se trata de lograr un diseño con mínimos costos de la obra teniendo en cuenta su construcción y funcionamiento durante un periodo dado. El objetivo es minimizar:

- Pérdidas de transporte de energía.
- Costo de las instalaciones de transporte de energía.

Las pérdidas de energía son debidas al efecto Joule y al efecto Corona, ligadas respectivamente a la corriente y a la tensión aplicada. Ambas pérdidas se reducen aumentando el diámetro del conductor, lo que implica un aumento de la sección

transversal e incrementos en los costos de las instalaciones. No es posible reducir pérdidas y simultáneamente reducir el costo de la obra.

Por otra parte como en toda obra, las líneas tienen una vida económicamente útil, en la cual se espera amortizar el capital invertido. Las pérdidas de transmisión representan la energía producida o adquirida (por quien explota la línea) y no vendida, las inversiones realizadas en las instalaciones deben amortizarse en el plazo de vida útil establecido y esto tiene un costo financiero. Por lo tanto el costo de transporte depende de la suma del costo de pérdidas y costos financieros, que cuando alcanzan el mínimo, minimizan el costo de transporte.

Además se deben respetar los límites de temperatura con la corriente de régimen y con la máxima sollicitación de cortocircuito. No se debe alcanzar una temperatura tal que provoque una disminución no admisible de la resistencia mecánica del conductor.

Tabla 1. Temperatura límite para cortocircuito

Material	Temperatura [°C]
Cobre	170
Aluminio	130
Aleación de aluminio	160
Acero	200
Aluminio-acero	160

2.4.1 TENSIÓN DE TRANSMISIÓN¹

Para esta elección se busca la tensión que represente el menor costo anual ligado a las inversiones en función de la tensión y las correspondientes pérdidas.

En la práctica, la gama de tensiones y los valores normalizados limitan la elección en forma drástica, siempre conviene seleccionar la tensión mayor, salvo que las adopciones previas del entorno sugieran otra solución.

Hay criterios y fórmulas empíricas que ayudan a esta determinación, como son las fórmulas de Still, Hefner y Lalander*.

Siempre se debe adoptar una tensión normalizada, eventualmente el valor habitual en la zona y estas fórmulas dan resultados acertados para longitudes que superan los 20 km.

Es deseable que en una red eléctrica, el número de diferentes tensiones sea el mínimo posible. Y como regla general debe pensarse que la introducción de un nivel de tensión superior se justifica cuando éste es más del doble que el actual.

¹ [SDT, 02]

* Criterios utilizados en Estados Unidos, Alemania y Francia respectivamente, ver tabla A.1

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS ¹

2.5.1 PARÁMETROS

Una línea de transmisión eléctrica tiene cuatro parámetros que afectan su funcionamiento, estos son:

- Resistencia
- Inductancia
- Capacitancia
- Conductancia

2.5.1.1 Resistencia

Los conductores eléctricos presentan una oposición al paso de la corriente eléctrica llamada resistencia eléctrica que provoca la conversión de una parte de la energía que circula por el conductor, en calor, para los conductores utilizados en las líneas aéreas los valores de resistencia se extraen de las tablas del fabricante(Ver A.1.1.1).

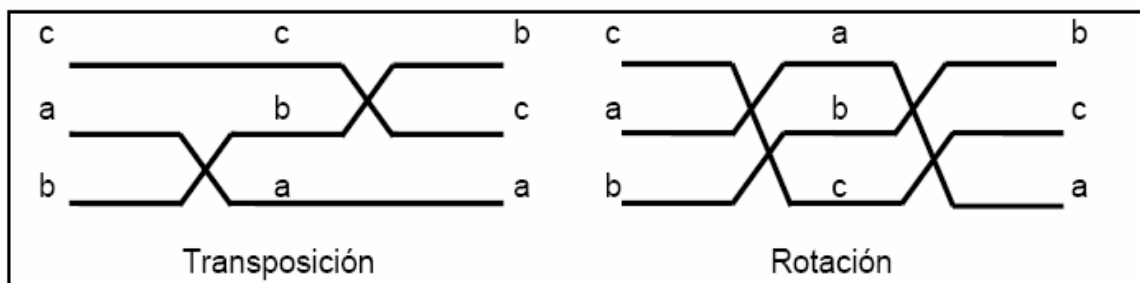
2.5.1.2 Inductancia

La inductancia de un circuito se define como la primera derivada del flujo que se enlaza en el circuito respecto a la corriente que circula por el mismo (Ver A.1.1.6).

¹ [SCL, 03]

Para reducir o eliminar el desbalance de los voltajes inducidos se puede trasponer o rotar las fases como se observa en la figura 2.

Figura 2. Transposición y rotación de fases



2.5.1.3 Capacitancia

Cuando se aplica una diferencia de potencial entre los extremos de dos conductores separados por un dieléctrico, estos adquieren una carga eléctrica proporcional al voltaje aplicado y a una constante de proporcionalidad llamada capacitancia, que depende de la naturaleza del dieléctrico, de las dimensiones de los conductores y de su separación (Ver A.1.1.8).

2.5.1.4 Impedancia serie

Es una cantidad compleja, cuyas componentes real e imaginaria, son respectivamente, la resistencia y la reactancia inductiva. (Ver A.1.1.12).

2.5.1 IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA

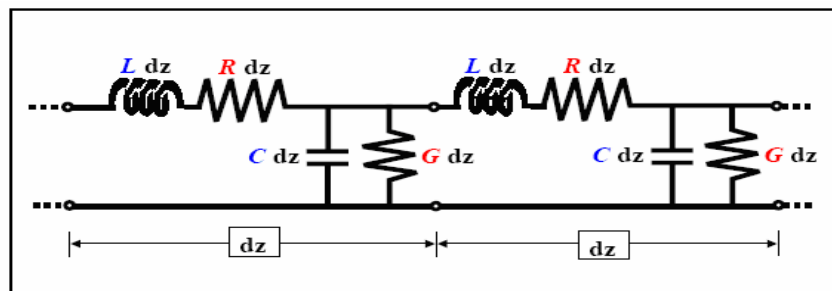
Impedancia característica es la relación entre la tensión y la intensidad en todos los puntos de una línea de longitud infinita y que tiene un valor constante a lo largo de la línea de transmisión (Ver A.1.1.16).

2.5.2 CONSTANTES GENERALIZADAS A, B, C, D

Cualquier red que no contenga fuentes de energía intermedias y que sus impedancias sean independientes de la corriente y su sentido (red pasiva, lineal y bilateral), se puede representar por un circuito equivalente (Ver figura A.1). Para líneas largas se deben considerar la impedancia y la admitancia uniformemente distribuidas a lo largo de la línea como se observa en la figura 3.

Al describir matemáticamente el voltaje y la corriente en la fuente en función del voltaje en el receptor y la corriente en el receptor y utilizando el modelo de red de cuatro puertos se obtienen los parámetros A, B, C, y D descritos en A.1.1.21

Figura 3. Circuito equivalente de una línea por parámetros uniformemente distribuidos



2.6 PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA¹

Estas dependen principalmente de la diferencia de potencial entre los conductores y tierra, más exactamente del gradiente de potencial en la superficie de los conductores y de las condiciones climáticas a lo largo de la línea.

Las pérdidas pueden ser nulas con tiempo bueno y alcanzar valores elevados con lluvias intensas, es evidente que una buena evaluación de estas pérdidas requiere conocimiento de las condiciones meteorológicas de las regiones que la línea atraviesa, registros climáticos de muchos años, de los cuales con procedimientos estadísticos se extrae el número de horas de lluvia que finalmente permite efectuar la evaluación de las pérdidas anuales. Estudios realizados con antelación[†] han fijado una metodología de cálculo del efecto corona que aún se considera válida.

2.7 HERRAJERÍA DE LÍNEAS ELÉCTRICAS²

Con el nombre de herrajería se designa el conjunto de dispositivos y accesorios que cumplen los siguientes propósitos principales:

1. La fijación en suspensión o amarre, de los conductores e hilos de guarda a las estructuras.
2. La unión mecánica y/o eléctrica de los conductores, hilos de guarda y puestas a tierra.

¹ [EPT, 04]

² [STD, 02]

[†] Los estudios se elaboraron en Estados Unidos, en el año de 1912, [LTE, 05].

3. La protección mecánica de los conductores, aisladores e hilos de guarda.

2.7.1 CLASIFICACIÓN

De acuerdo a la función específica que cumplen en una línea, podemos clasificar la herrajería de la siguiente manera:

- *HERRAJERÍA DE SUSPENSIÓN:*

Permite fijar el conductor o el haz de conductores al aislamiento de una línea, soportando los conductores de vanos adyacentes, análogamente para el hilo de guarda.

No debe transmitir a la estructura otra carga que no sea el peso del conductor. Por esta razón se le diseña y construye de modo que pueda moverse libremente, que sea liviana y tenga bajo momento de inercia. Dado que en el punto de suspensión el conductor queda flexionado, y sometido a compresión radial, la forma del herraje debe ser tal que no pueda causar daño a los alambres externos y permita una entrada y salida gradual del conductor.

- *HERRAJERÍA DE RETENCIÓN:*

Permite fijar el conductor o haz de conductores al aislamiento de la línea, soportando todo el tiro de los mismos, en estructuras terminales o de retención.

Como esta herrajería debe conducir corriente, se imponen condiciones en cuanto al calentamiento y caída de tensión que pueden aparecer, las normas especifican valores y detallan los métodos de ensayo para comprobarlos.

- *EMPALME:*

Dispositivo apto para asegurar la continuidad eléctrica y mecánica del conductor o hilo de guarda, su aplicación típica se da en la unión de conductores de distintas bobinas en las operaciones de tendido.

Aunque se trata de un componente de extraordinaria simplicidad (forma de cilindro hueco donde penetran las puntas de los conductores a empalmar, o tramo a reparar) la función, especialmente para el manguito de empalme es tan esencial que este elemento ha sido objeto de profundos estudios y serios ensayos.

Además, desde el punto de vista eléctrico debe asegurarse un buen contacto independientemente de las variaciones en el tiro del conductor.

2.8 AISLADORES DE LÍNEAS ELÉCTRICAS ¹

Los aisladores cumplen la función de sujetar mecánicamente el conductor manteniéndolo aislado de tierra y de otros conductores.

Deben soportar la carga mecánica que el conductor transmite a la torre a través de ellos.

¹ [EPT, 04]

Deben aislar eléctricamente el conductor de la torre, soportando la tensión en condiciones normales, anormales y sobretensiones, hasta las máximas previstas (que los estudios de coordinación del aislamiento definen con cierta probabilidad de ocurrencia).

La tensión debe ser soportada tanto por el material aislante propiamente dicho, como por su superficie y el aire que rodea al aislador.

La falla eléctrica del aire se llama contorneo y el aislador se proyecta para que esta falla sea mucho más probable que la perforación del aislante sólido.

Históricamente se han utilizado distintos materiales en su fabricación, tal como, porcelana, vidrio y actualmente materiales compuestos, esta evolución ha ocurrido en la búsqueda de mejores características y reducción de costos.

- *PORCELANA:*

Es una pasta de arcilla, caolín, cuarzo o alúmina se le da forma y por horneado se obtiene una cerámica de uso eléctrico.

El material es particularmente resistente a compresión por lo que se han desarrollado especialmente diseños que tienden a solicitarlo de esa manera.

- *VIDRIO:*

Cristal templado que cumple la misma función de la porcelana, se trabaja por moldeado colándolo, debiendo ser en general de menos costo.

Se puede afirmar que en general la calidad de la porcelana puede ser más controlada que la del vidrio, esta situación es evidenciada por una menor dispersión de los resultados de los ensayos de rotura.

- *MATERIALES COMPUESTOS:*

Fibras de vidrio, resina en el núcleo y distintas "gomas" en la parte externa, con formas adecuadas, han introducido en los años más recientes la tecnología del aislador compuesto.

Estas modernas soluciones con ciertas formas y usos ponen en evidencia sus ventajas sobre la porcelana y el vidrio.

2.8.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Los aisladores de cadena pueden soportar una tracción de 7000, 16000 o más kg. Los aisladores rígidos deben soportar cierta compresión y/o cierta flexión.

Los ensayos de características mecánicas se hacen con sollicitación eléctrica simultánea. Al estar sometidos a las inclemencias del tiempo una característica muy importante es la resistencia al choque térmico (que simula el pasar del pleno sol a la lluvia).

También por los sitios donde se instalan, los aisladores son sometidos a actos vandálicos (tiros con armas, proyectiles pétreos o metálicos arrojados), es entonces importante cierta resistencia al impacto.

Frente a estas solicitaciones el comportamiento de los tres tipos de materiales es totalmente distinto, el vidrio puede estallar, siendo característica importante, que la cadena no se corte por este motivo.

La porcelana se rompe perdiendo algún trozo pero generalmente mantiene la integridad de su cuerpo, mecánicamente no pierde características, sólo son afectadas sus características eléctricas.

Con los aisladores compuestos por su menor tamaño es menos probable que la agresión acierte el blanco, los materiales flexibles no se rompen por los impactos y las características del aislador no son afectadas.

2.8.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Los aisladores deben soportar tensión de frecuencia industrial e impulso (de maniobra y/o atmosféricos), tanto en seco como bajo lluvia.

Una característica importante es la radiointerferencia, ligada a la forma del aislador, a su terminación superficial y a los electrodos (herraje).

En las cadenas de aisladores, especialmente cuando el número de elementos es elevado la repartición de la tensión debe ser controlada con electrodos adecuados o al menos cuidadosamente estudiada, a fin de verificar que en el extremo crítico las solicitaciones que se presentan sean correctamente soportadas.

La geometría del perfil de los aisladores tiene mucha importancia en su buen comportamiento en condiciones normales, bajo lluvia y en condiciones de

contaminación salina que se presentan en las aplicaciones reales cerca del mar, desiertos o de zonas industriales.

La contaminación puede ser lavada por la lluvia, pero en ciertos lugares no llueve suficiente para que se produzca este efecto beneficioso o la contaminación es muy elevada, no hay duda de que la terminación superficial del aislante es muy importante para que la adherencia del contaminante sea menor.

Una característica interesante de los materiales compuestos siliconados es un cierto rechazo a la adherencia de los contaminantes y/o al agua.

La resistencia a la contaminación exige aumentar la línea de fuga superficial del aislador, esta se mide en mm/kV (fase tierra) y se recomiendan valores que pasan de 20, 30 a 60, 70 mm/kV según la clasificación de la posible contaminación del ambiente.

2.9 CONDUCTORES SIMPLES Y MÚLTIPLES

La sección de los conductores debe ser suficiente para transportar la potencia con cierta densidad de corriente, de manera que el calor por pérdidas Joule sea disipado alcanzándose en el conductor temperaturas moderadas; para aumentar la superficie de disipación son utilizados conductores en haz.

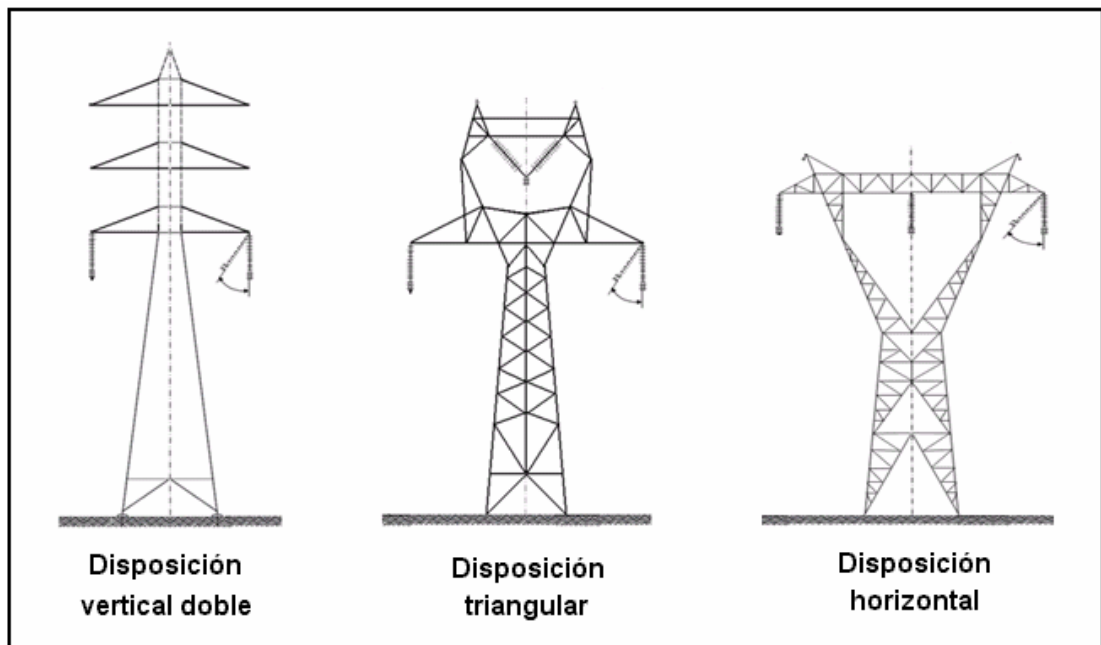
El haz de conductores equivale para el campo eléctrico a un sólo conductor de diámetro relativamente grande y para la conducción de corriente se observa una superficie de disipación mayor que con un sólo conductor de igual sección total.

El número de conductores por fase afecta directamente todos los parámetros de la línea, variando dicha cantidad se pueden alterar los resultados concernientes al efecto corona y a la radiointerferencia. Lo ideal en este punto es hallar el equilibrio entre pérdidas y peso total de la configuración.

2.9.1 DISPOSICIÓN DE CONDUCTORES

Normalmente los sistemas son trifásicos, las líneas muestran diferentes disposiciones de los conductores, en la figura 4 se pueden observar tres torres tipo para igual número de configuraciones en la disposición de los conductores, cada una tiene ventajas y desventajas, de las cuales se hace mención a continuación.

Figura 4. Torres tipo para diferentes configuraciones



- *COPLANAR HORIZONTAL:*

Minimiza la altura, pero aumenta el ancho y en consecuencia tiene una mayor franja de servidumbre, se utiliza en altas tensiones y grandes vanos (las torres bajas son solicitadas por menor momento y resultan de tamaños y pesos menores que con otras disposiciones).

- *COPLANAR VERTICAL:*

Da mayor altura, se utiliza para corredores estrechos y da por resultado torres más altas, presenta entonces alto impacto visual.

Como ventaja permite circuitos dobles en una única torre, doble terna, debiendo considerarse atentamente que esto en rigor no es equivalente a dos líneas, ya que la probabilidad de que ambas ternas fallen es mayor que cuando se tienen estructuras independientes.

- *TRIANGULAR:*

Da alturas intermedias, los corredores son un poco más anchos, las alturas algo menores que para el caso anterior.

En tensiones más bajas (medias) con aisladores rígidos, la disposición es triángulo con base horizontal, en tensiones mayores también se observan disposiciones con base vertical.

- *HEXAGONAL:*

Su altura es muy similar a la disposición vertical, es utilizada para llevar dos circuitos en una misma torre, por su simetría es conveniente para bajar el efecto capacitivo de la línea.

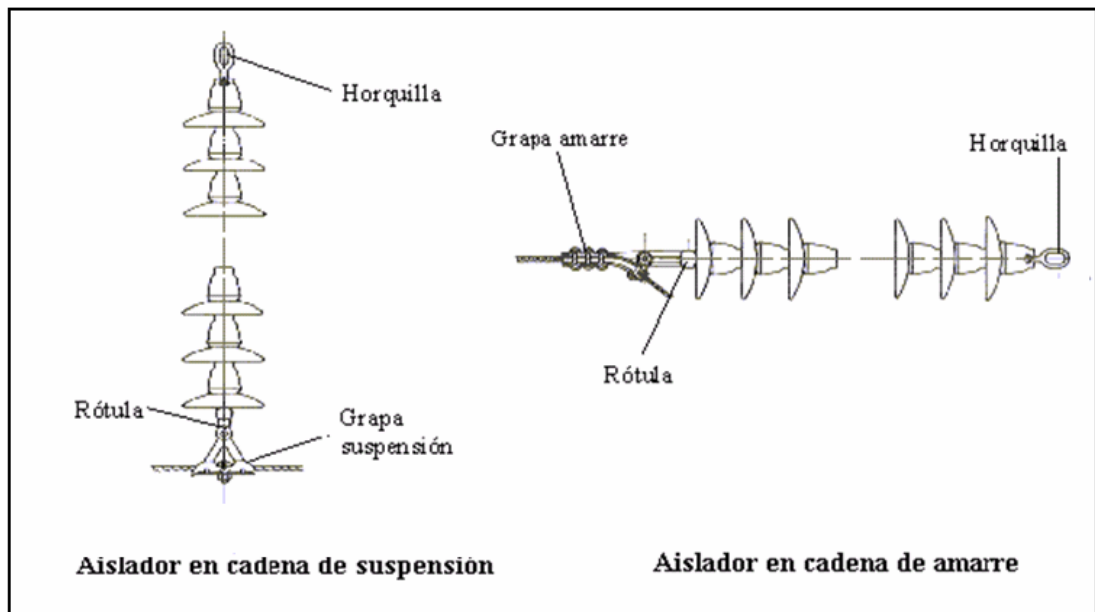
2.10 CADENAS DE AISLADORES

La posición de los conductores respecto de la torre depende de los tipos de aisladores adoptados. El punto de sujeción del conductor puede ser fijo (aislador rígido) o presentar algún grado de libertad (cadena de aisladores).

Las cadenas de aisladores se utilizan para grandes vanos y grandes esfuerzos, en la figura 5 se puede observar la disposición de la cadena en sus dos funciones posibles (Suspensión y retención).

Las cadenas de retención están dispuestas según el eje del conductor y su momento es insignificante.

Figura 5. Disposición de los aisladores en una cadena



Las cadenas simples de suspensión tienen un grado de libertad transversal al conductor y giran libremente alrededor del punto de ataque a la torre.

Cuando es de interés impedir este movimiento se utilizan cadenas de suspensión en V, es importante notar que siempre ambas cadenas deben trabajar a tracción, por lo que la abertura de las cadenas (ángulo entre ellas) debe ser verificado (será mayor a mayor vano).

Las cadenas de suspensión en V permiten reducir la faja de servidumbre en la disposición coplanar vertical, en cambio en la disposición coplanar horizontal (o triangular) la fase central con cadena en V permite reducir la ventana de la torre, para las fases laterales la cadena en V incide en la menor servidumbre.

2.11 FUNCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

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

Por su función las estructuras se clasifican en:

- Estructuras de suspensión
- Estructuras de retención

- *ESTRUCTURAS DE SUSPENSIÓN:*
Los conductores están suspendidos mediante cadenas de aisladores, que cuelgan de las ménsulas de las torres.

Resisten las cargas verticales de todos los conductores (también los cables de guarda) y la acción del viento transversal a la línea, tanto sobre conductores como sobre la misma torre. No están diseñadas para soportar esfuerzos laterales debidos al tiro de los conductores, por eso se las llama también de alineamiento.

- *ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN:*

Básicamente se distinguen tres tipos:

- **RETENCIÓN TERMINAL**

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

- **RETENCIÓN EN ÁNGULO**

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

- **ROMPETRAMOS**

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

2.11.1 MATERIALES PARA ESTRUCTURAS

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

- *MADERA:*

Lamentablemente poco empleada en nuestro país, debe cumplir las siguientes condiciones para ser utilizada:

- Resistencia mecánica a flexión.
- Resistencia a la intemperie.
- Resistencia al ataque de hongos y microorganismos.

A la madera convenientemente tratada se le puede asignar una vida útil de 20 años o más.

La línea con postes de madera es muy económica, de fácil montaje y en consecuencia se puede hacer más obra con un capital dado, extendiendo más los beneficios de la electrificación.

La fragilidad de la línea esta ampliamente compensada por la facilidad de montaje que frente a accidentes se traduce en facilidad de reposición o reparación.

- *HORMIGÓN ARMADO:*

De amplio uso en nuestro país, se lo fabrica con técnicas de vibrado, centrifugado y pretensado.

Se lo utiliza en baja tensión, aunque no correspondería (a veces la mala economía no destaca la ventaja de la madera), desde media tensión hasta 132 kV es su campo natural de aplicación, cuando las cargas (secciones) son importantes, también se lo ha utilizado en forma de pórticos en líneas de 220 y 500 kV.

Como los componentes son muy pesados, el costo de transporte incide notablemente cuando las distancias desde la fábrica son importantes y aun más cuando hay dificultades de acceso a los piquetes.

En el montaje se debe cuidar no cargarlo en forma anormal, se requieren grúas para su manipulación.

En la fabricación es muy importante el control de calidad tanto de los materiales, como del proceso, bien fabricado garantiza larga vida útil sin ningún mantenimiento.

- *ACERO:*

Al carbono St 37 o St 52* en forma de perfiles normalizados permiten la fabricación seriada de piezas relativamente pequeñas, que son fácilmente transportables a cualquier punto para su montaje en el sitio en que se levanta la torre.

La forma constructiva permite un elevado grado de normalización en el proyecto, lográndose con muy pocos diseños satisfacer prácticamente todos los requerimientos de la traza de la línea (en particular se resuelve en modo

* Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre, [STD, 02].

excelente el problema que se presenta cuando hay estructuras de diferentes alturas).

La protección contra la oxidación se hace normalmente por cincado en caliente, que garantiza 20 o más años libres de mantenimiento.

2.12 BLINDAJE CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS^{1 2}

Hasta el momento hemos considerado la influencia que la cadena de aisladores y el espacio en aire que rodea al conductor tienen en la forma del cabezal de la torre, falta analizar la ubicación de los cables de guarda y el comportamiento de la construcción frente a descargas atmosféricas cuyo valor en principio es independiente de los parámetros de la línea.

El proyecto de una línea de transmisión desde el punto de vista de las descargas atmosféricas involucra la determinación de los siguientes elementos:

1. Distancias eléctricas
2. Cantidad de aisladores
3. Ángulo de blindaje
4. Puesta a tierra

Los cuales son ajustados de modo de determinar una tasa de salidas de servicio preestablecido en los criterios básicos de proyecto.

¹ [EPT, 04]

² [SCL, 03]

A medida que aumenta la tensión, las solicitaciones de origen atmosférico disminuyen su importancia para la determinación de las distancias, siendo la tasa de fallas inferior, debido al aumento del nivel de aislamiento de las líneas de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2. Número de fallas por año para distintas tensiones nominales.

V nominal kV	fallas / 100 km año
11 a 66	3 a 7
132	0.6
132 y más	0 a 0.3

El efecto de una descarga atmosférica, cuando esta supera cierta magnitud, es iniciar un arco entre fases o más comúnmente entre fase y tierra o a partes de la estructura a tierra. En la mayoría de los casos la tensión de línea es suficiente para mantener el arco iniciado y este debe ser eliminado por la apertura del interruptor.

La incidencia de las descargas atmosféricas en los sistemas eléctricos se debe analizar en sus tres aspectos principales:

- **Falla de blindaje:**
Se analiza la incidencia de la descarga directamente sobre el conductor. La ocurrencia de una falla de aislamiento depende principalmente de la intensidad de la descarga de la corriente del rayo, de la impedancia de onda de los

conductores, aislamiento del sistema y del valor de la tensión de fase en el instante de la descarga.

- Contorneo inverso:

La descarga incide en la torre o el cable de guardia, pero se propaga a los conductores. Este estudio involucra una gran cantidad de parámetros de origen aleatorio (corriente del rayo, aislamiento del sistema, puesta a tierra de las torres, etc.) y por esta razón se lo trata generalmente con métodos estadísticos.

- Acoplamiento capacitivo:

La descarga incide en las proximidades de la línea y la sobretensión inducida es causa de una descarga. Para líneas de más de 69 kV la posibilidad de que ocurran fallas por esta razón se considera despreciable.

3 INGENIERÍA DEL SOFTWARE

Para poder comprender lo que es el software (y consecuentemente la ingeniería del software), es importante examinar las características del software que lo diferencian de otras cosas que los hombres pueden construir. Cuando se construye hardware, el proceso creativo humano (análisis, diseño, construcción, prueba) se traduce finalmente en una forma física¹.

El software es un elemento del sistema que es lógico, en lugar de físico. Por tanto, el software tiene unas características considerablemente distintas a las del hardware:

- El software se desarrolla, no se fabrica en un sentido clásico, aunque existe alguna similitud entre el desarrollo del software y la construcción del hardware, ambas actividades son fundamentalmente diferentes. En ambas actividades la buena calidad se adquiere mediante un buen diseño, pero la fase de construcción del hardware puede introducir problemas de calidad que no existen (o son fácilmente corregibles) en el software.
- El software no se “estropea”, el software no es susceptible a los males del entorno que hacen que el hardware se estropee.
- La mayoría del software se construye a medida, en vez de ensamblar componentes existentes, el software de computadora es información que existe en dos formas básicas: componentes no ejecutables en la máquina y componentes ejecutables en la máquina.

¹ [AYD, 09]

Los componentes de software se crean mediante una serie de traducciones que hacen corresponder los requisitos del cliente con un código ejecutable en la máquina. Se traduce un modelo (prototipo) de requisitos a un diseño. Se traduce el diseño del software a una forma en un lenguaje que especifica las estructuras de datos, los atributos procedimentales y los requisitos que atañen al software. La forma en lenguaje es procesada por un traductor que la convierte en instrucciones ejecutables en la máquina.

La reusabilidad es una característica importante para un componente de software de alta calidad. Es decir, el componente debe diseñarse e implementarse para que pueda volver a usarse en muchos programas diferentes.

Los lenguajes máquina son una representación simbólica del conjunto de instrucciones de la CPU. Si un buen programador produce programas mantenibles y bien documentados, puede utilizar el lenguaje máquina para hacer un uso extremadamente eficiente de la memoria y para “optimizar” la velocidad de ejecución del programa. Si el programa está mal diseñado y tiene poca documentación, el lenguaje máquina puede convertirse en una pesadilla.

Los lenguajes de alto nivel permiten al programador y al programa independizarse de la máquina. Cuando se utiliza un traductor sofisticado, el vocabulario, la gramática, la sintaxis y la semántica de un lenguaje de alto nivel pueden ser mucho más sofisticados que los lenguajes máquina. De hecho, los compiladores e intérpretes de los lenguajes de alto nivel producen lenguaje máquina como salida.

Aunque hoy se utilizan cientos de lenguajes de programación, poco más de una decena son lenguajes de programación de alto nivel con una gran aceptación en la industria. Después de casi treinta años desde su aparición, lenguajes como COBOL y FORTRAN siguen utilizándose mucho en la actualidad. Los lenguajes

de programación modernos (lenguajes que soportan directamente las prácticas modernas para el diseño procedimental y de datos) tales como Pascal. C y Ada se utilizan ampliamente. Los lenguajes orientados a los objetos como C++, Object Pascal, Eiffel y otros, están ganando cada vez más seguidores entusiastas.

La ingeniería del software esta compuesta por tres elementos claves: los métodos, las herramientas y los procedimientos, que facilitan controlar el proceso de desarrollo del software, permitiendo construir software de alta calidad de una forma productiva. Estos tres elementos claves son definidos a continuación.

Los métodos de ingeniería del software indican como construir técnicamente el software. Los métodos abarcan las siguientes tareas: planificación y estimación de proyectos, análisis y requisitos del sistema, diseño de la estructura de datos, arquitectura de programas, codificación prueba y mantenimiento.

Las herramientas de ingeniería del software suministran un soporte automático o semiautomático para los métodos. Existen herramientas para soportar cada uno de los métodos, estas herramientas son conocidas generalmente como herramientas CASE.

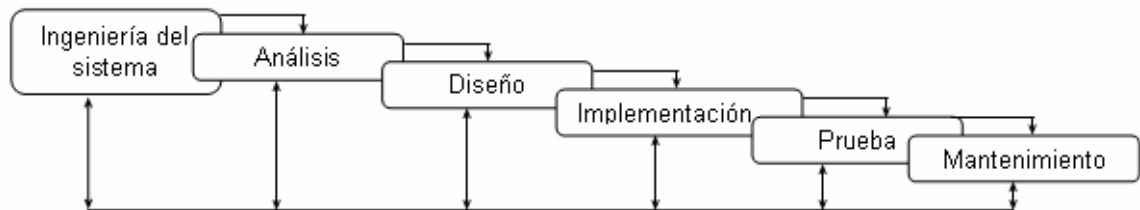
Los procedimientos son integradores de los métodos y las herramientas, y facilitan un desarrollo eficaz y oportuno del software.

La ingeniería del software esta compuesta por una serie de pasos que se denominan frecuentemente paradigmas de la ingeniería del software, el paradigma se escoge según el proyecto, las herramientas y los métodos a aplicar durante este desarrollo.

3.1 EL PARADIGMA DEL CICLO DE VIDA CLÁSICO EN HELITE 1.0

El paradigma del ciclo de vida clásico exige un enfoque sistemático y secuencial del desarrollo del software que comienza en el nivel del sistema y progresa a través del análisis, diseño, implementación, prueba y mantenimiento (Ver figura 6).

FIGURA 6. Paradigma del Ciclo de Vida Clásico



3.1.1 INGENIERÍA DE ANÁLISIS Y SISTEMA

Debido a que el software siempre hace parte de un sistema mayor, el trabajo comienza estableciendo los requisitos de todos los elementos del sistema y luego asignando algún subconjunto de estos requisitos al software. Este planteamiento del sistema es esencial cuando el software debe interrelacionarse con otros elementos tales como hardware, personas y bases de datos.

En el caso de HELITE 1.0 la interacción debe hacerse con bases de datos (conductores, estructuras normalizadas, aislamiento, etc.), otros programas (MS OFFICE, AUTOCAD, ACROBAT READER) y con el usuario, partiendo de esta premisa se estableció el concepto inicial del software a diseñar, el lenguaje a utilizar y el estilo de programación más adecuado.

A partir de estos requisitos se decidió utilizar el programa VISUAL BASIC 6.0 que utiliza un lenguaje orientado a objetos.

3.1.2 ANÁLISIS DE LOS REQUISITOS DEL SOFTWARE

El proceso de recopilación de los requisitos, se centra e intensifica especialmente para el software.

Para comprender la naturaleza del programa, el ingeniero del software o el analista de sistemas, debe comprender el ámbito de la información del software, así como la función, el rendimiento y las interfases requeridas. Los requisitos tanto del sistema como el software, se documentan y se revisan con el cliente.

En esta fase del desarrollo en HELITE 1.0 los requisitos tanto del sistema como del software son prácticamente los objetivos planteados durante la etapa de planificación del proyecto.

3.1.3 DISEÑO

El diseño del software es realmente un proceso multipaso que se enfoca sobre cuatro atributos distintos del programa: la estructura de los datos, la arquitectura del software, el detalle procedimental y el diseño de la interfaz. El proceso de diseño traduce los requisitos en una representación del software, que puede ser establecida de forma que obtenga la calidad requerida antes de que empiece a ser implementado.

Para diseñar HELITE 1.0 se dividieron los requisitos preestablecidos en varios

subconjuntos (Cálculos eléctricos, mecánicos, aisladores, etc.), de esta manera cada subconjunto tiene una estructura de datos más sencilla que el proyecto global; de este modo la arquitectura del software se diseñó de tal manera que cada módulo es independiente y a la vez se relaciona con los demás módulos haciéndolo funcional para el conjunto total.

3.1.4 IMPLEMENTACIÓN

El diseño debe traducirse en forma legible para la máquina, esta es la tarea que se realiza en el proceso de implementación. Si el diseño se realiza de una manera detallada el paso de implementación se hará de una manera más mecánica.

Como se mencionó anteriormente, el software se implementó en VISUAL BASIC 6.0 que ofrece un entorno adecuado para la arquitectura de software utilizada y además brinda muchas ayudas al programador facilitando su trabajo.

3.1.5 PRUEBA

Una vez implementado el sistema se pone a prueba de tal forma que las sentencias sean aprobadas y que las funciones externas se realicen de la forma esperada.

Se realizaron pruebas a grupos diferentes de alumnos que ya cursaron la asignatura Sistemas de transmisión y distribución debido a que éstos ya han realizado dentro de su materia el aprendizaje teórico-práctico de todas las secciones que fueron diseñadas en HELITE 1.0. Las pruebas se efectuaron con

el fin de conocer la opinión de los futuros usuarios acerca del diseño y funcionamiento del programa, aplicando la siguiente encuesta:

**PRUEBA Y EVALUACIÓN DE HELITE 1.0
HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA**

NOMBRE: _____ **CÓDIGO:** _____

Califique dentro del rango de valores especificado la apreciación personal que le genere cada uno de los siguientes aspectos del diseño, la presentación y funcionamiento que ofrece la herramienta HELITE 1.0

1) DISEÑO Y PRESENTACIÓN EN PANTALLA

	MB	B	R	M
1.1. Distribución de los botones en la pantalla	___	___	___	___
1.2. Diseño del fondo (colores, dibujo, ubicación, etc.)	___	___	___	___
1.3. Ubicación de las casillas para el ingreso de datos	___	___	___	___
1.4. Presentación de resultados	___	___	___	___

2) DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE AYUDAS Y VALIDACIONES

	MB	B	R	M
2.1. Recomendaciones explícitas en la sección de tableros	___	___	___	___
2.2. Contenido y funcionalidad de la ayuda que sirve como soporte pedagógico	___	___	___	___
2.3. Sugerencias en pantalla para no permitir el ingreso de datos erróneos	___	___	___	___

3) CALIDAD Y EFICIENCIA DE DATOS OBTENIDOS

3.1. Considera que los cálculos de los elementos que genera el programa son suficientes para el diseño, trazado y plantillado de un proyecto de líneas de transmisión?

SI ___ NO ___

¿POR QUÉ? _____

3.2. En el transcurso de la realización de las pruebas encontró errores en los resultados?

SI ___ NO ___

Especifique en que sección del software encontró errores y explique claramente qué clase de error encontró: _____

3.3. Considera que la Herramienta para el Diseño de líneas cumple con todos los objetivos de:

	SI	NO	POR QUÉ?
3.3.1. Ahorro de Tiempo	___	___	_____
3.3.2. Presentación de resultados	___	___	_____
3.3.3. Practicidad	___	___	_____
3.3.4. Pedagogía	___	___	_____

3.1.5.1 RESULTADOS

Las pruebas se realizaron a un grupo de 25 personas los días 17 y 18 de mayo de 2006. Los resultados son tabulados en las figuras 7, 8 y 9.

Figura 7. Resultados de prueba de diseño y presentación en pantalla

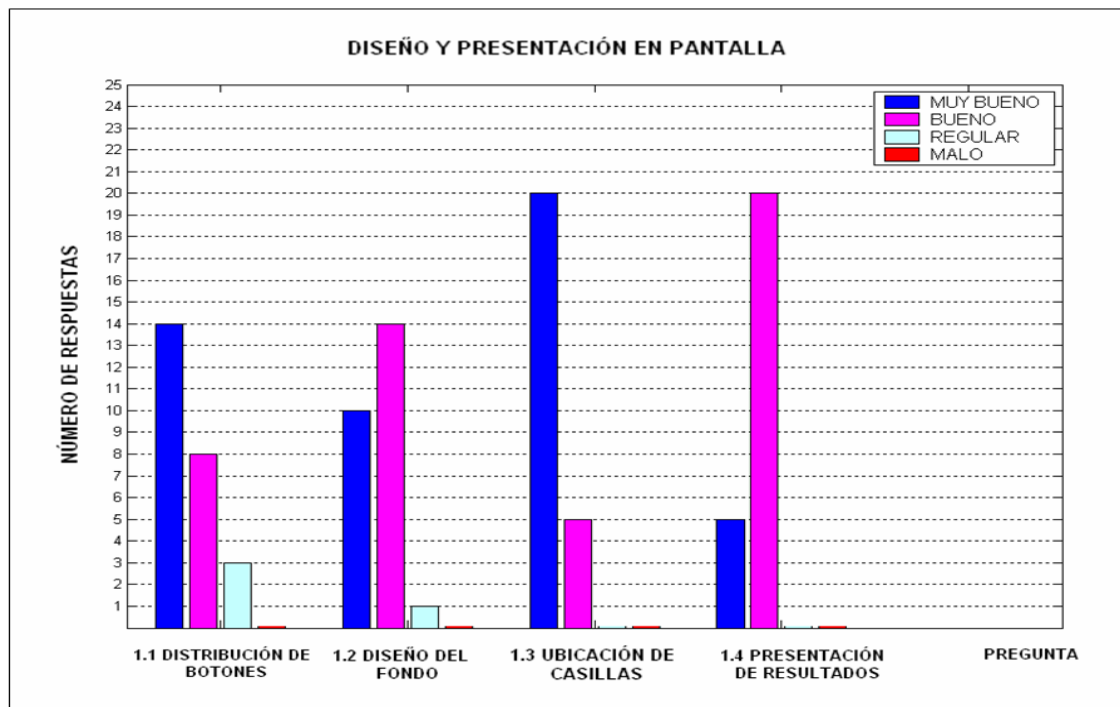


Figura 8. Resultados de prueba de diseño e implementación de ayudas

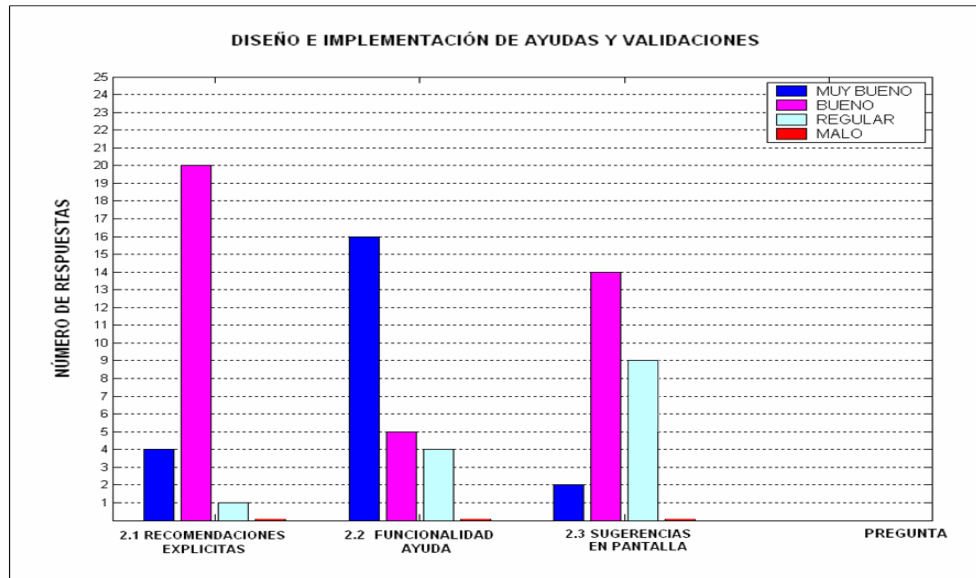
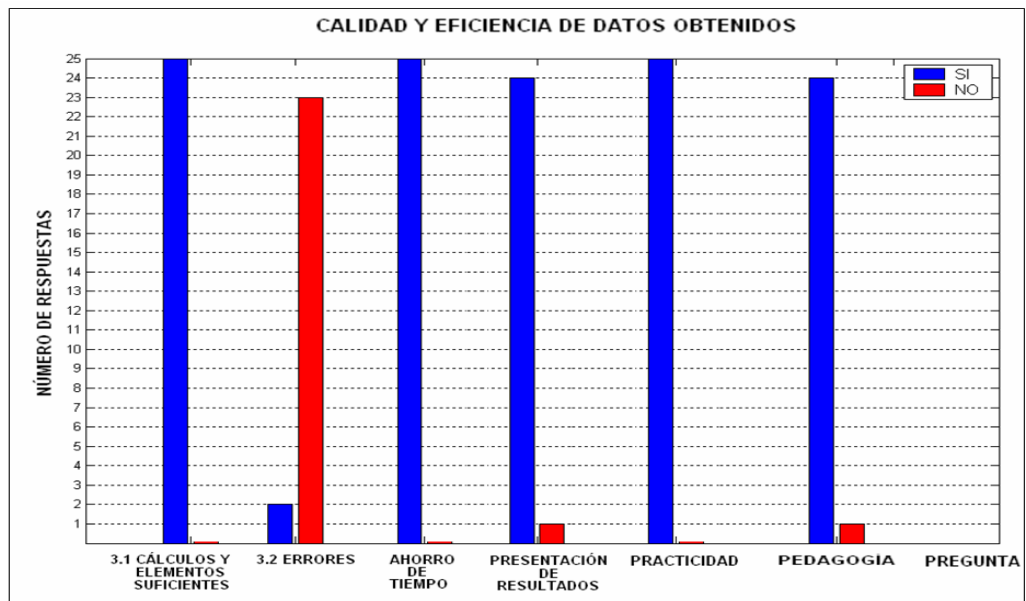


Figura 9. Resultados de prueba de calidad y eficiencia de datos obtenidos



3.1.5.2 OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS

Al realizar el análisis de la evaluación de los diferentes aspectos del software se obtienen los siguientes resultados:

- El 56% del total de los encuestados calificó la distribución de los botones como Muy Buena, el 32% los calificó como Buenos y el 12% Regulares.
- El diseño del fondo del programa fue evaluado así: el 40% opinaron que el fondo es Muy Bueno, el 56% lo calificaron como solamente Bueno y el 4% restante, piensa que el fondo de la presentación es Regular. Sin embargo en las pruebas más del 90% de los encuestados aprobó el diseño del fondo.
- La ubicación de las casillas para el ingreso de datos, fue aprobada tal y como se diseñó, debido a que en la prueba el mayor puntaje lo obtuvo la calificación Muy Buena con el 80% y el otro 20% la catalogó de Buena.
- La presentación de resultados fue aprobada, debido a que el 100% de los encuestados la calificaron como Muy Buena o Buena en cada una de las pruebas.
- Las ayudas de los tableros fueron calificadas como Muy Buenas y Buenas por el 16% y 80% respectivamente.
- El contenido y funcionalidad del soporte pedagógico fue aprobado ya que más del 64% de los encuestados la calificaron como Muy Buena y 20% la calificaron como Buena a pesar de que un preocupante 16% la catalogó de Regular.

- Las sugerencias en pantalla para no permitir el ingreso de datos erróneos o inconsistentes igualmente fueron aprobadas ya que fueron calificadas como Muy Buenas por más del 60% de los encuestados.
- 100% de los encuestados opinan que el cálculo los elementos que genera el programa son suficientes para el diseño, trazado y plantillado de un proyecto de líneas de transmisión.
- Más del 90% de los encuestados opina que el programa no tiene errores de operación, sin embargo se acogieron algunas recomendaciones que ellos mismos aportaron para el mejoramiento del programa.
- Se cumplieron a cabalidad todos los objetivos que se planeó alcanzaría el programa, el ahorro del tiempo con una aprobación del 100%, la presentación de resultados con 96%, la practicidad en el manejo y ejecución del software con el 100% de aprobación, la pedagogía con 96% de aceptación.

3.1.5.3 COMPARACIÓN CON OTRO SOFTWARE SIMILAR

Esta comparación se realiza para determinar las ventajas y desventajas del software que se está diseñando con el fin de evaluar la viabilidad y de determinar si los alcances y limitaciones del diseño están bien planeados.

La comparación se hace con el software Power Line PDDS*, ya que en el medio del diseño de líneas es comúnmente usado.

* Información del producto disponible en www.powerline.com, consultada en noviembre de 2005

Power Line PDDS

- Requiere conocimientos básicos acerca de AUTOCAD R14.
- Para poder utilizar el software el usuario debe leer atentamente el manual que posee y tomar un curso de capacitación, para hacer un buen uso del programa.
- No es un software educativo, ni lleva una secuencia de ingreso de datos, lo cual puede ocasionar confusión al usuario.
- No se rige con la normatividad colombiana del diseño de líneas de transmisión.
- El usuario del software debe tener conocimientos muy claros acerca del diseño de líneas de transmisión, ya que este programa no ofrece controles y validaciones en el ingreso de los datos.
- Los resultados son de difícil manipulación para una posterior presentación de un informe.
- El costo del software es elevado.

HELITE 1.0

- No requiere conocimientos de ningún software específico.
- Un nuevo usuario de HELITE 1.0 no requiere leer largos manuales para poder usarlo, ya que uno de los objetivos principales es ofrecer una manipulación simple del mismo.
- El idioma utilizado es español, lo cual facilita el uso del mismo, teniendo en cuenta que es un software educativo creado inicialmente para uso interno de la Universidad Industrial de Santander.
- El ingreso de los datos se hace de una manera sencilla y orientada por medio de una serie de ayudas que se presentan durante el uso del programa.

- Posee ayudas de información, restricciones y validaciones de acuerdo a la normatividad colombiana del diseño de líneas.
- Los conocimientos requeridos; en el campo de las líneas, para el manejo de HELITE 1.0 son mínimos, ya que uno de sus objetivos es orientar al usuario en el diseño de líneas de transmisión.
- HELITE 1.0 posee una forma clara y ordenada de mostrar informes de los resultados de los cálculos necesarios para el diseño de una línea.
- Presenta gráficos de las curvas y perfil topográfico en AUTOCAD que pueden ser utilizados en la presentación de un plano, con sus respectivas memorias de cálculos.
- Los resultados son de fácil manipulación, permitiendo presentar un informe posterior con los cálculos obtenidos.
- El costo del software es bajo comparado con otros que existen en el mercado, debido a que estos últimos no sólo cubren el área de líneas, sino también la parte de protecciones, estabilidad entre otras, como es el caso del Power Line.

3.1.6 MANTENIMIENTO

Es el proceso de cambios que sufre el software después que ha sido entregado, estos cambios pueden surgir debido a que se hayan encontrado errores o a que deba adaptarse el software a un nuevo entorno.

Para llegar a la versión final de HELITE 1.0 fueron necesarias varias etapas de depuración (en las que se identificaban errores o puntos a mejorar) luego de las cuales se elabora el respectivo mantenimiento para obtener una versión mejorada del programa.

3.2 MODALIDADES Y TENDENCIAS

En la década de 1990 se establece definitivamente la Arquitectura Software (en adelante AS) como un dominio todavía hoy separado de manera confusa de ese marco global que es la ingeniería y de esa práctica puntual que es el diseño.

Ahora bien, articular una clasificación de estrategias no admite una solución simple y determinista. En distintos momentos de su trayectoria, algunos practicantes de la AS se mueven ocasionalmente de una táctica a otra, quizá en algunos casos evolucionan de un punto de vista más genérico a otro más particular, o realizan diferentes trabajos operando en marcos distintos. Además, las discusiones entre las distintas posturas rara vez se han manifestado como choques frontales entre ideologías irreconciliables, con la excepción del “gran debate metodológico” entre métodos pesados y ligeros, por lo que a menudo hay que leer entre líneas para darse cuenta que una afirmación no es más que una crítica a otra manera de ver las cosas.

Un método, comúnmente llamado metodología, impone un proceso disciplinado sobre el desarrollo de software con el objetivo de hacer el desarrollo de software más predecible y eficiente. Por tanto, se plantea que un método define un camino reproducible para obtener resultados confiables. Todas las actividades basadas en conocimiento utilizan métodos que varían en sofisticación y formalidad. Los cocineros se guían de recetas, los pilotos de avión a través de listas de chequeo antes de volar, los arquitectos utilizan planos y los músicos siguen reglas de composición. Similarmente un método de desarrollo de software describe cómo modelar y construir un sistema de software de una forma confiable y reproducible.

3.2.1 UNA NUEVA ALTERNATIVA: LOS MÉTODOS ÁGILES (MAS)

No es ajeno al conocimiento global que a finales de la década de 1990 dos grandes temas irrumpieron en las prácticas de la ingeniería de software y en los métodos de desarrollo: el diseño basado en patrones y los métodos ágiles. De estos últimos, el más resonante ha sido la Programación Extrema (XP), que algunos consideran una innovación extraordinaria y otros creen cínica, extremista, falaz o pernicioso para la salud de la profesión. Patrones y XP se convirtieron de inmediato en puntos de discusión masiva en la industria y de fuerte presencia en la Red. Al primero de esos temas el mundo académico lo está tratando como un asunto respetable desde hace un tiempo; el otro recién ahora se está legitimando como tópico serio de investigación. La mayor parte de los documentos proviene todavía de los practicantes, los críticos y los consultores que impulsan o rechazan sus postulados. Pero el crecimiento de los métodos ágiles y su penetración ocurre a un ritmo pocas veces visto en la industria.

Una de las principales críticas realizadas a los métodos propuestos hasta ahora es que son burocráticos, es decir, hay tantas cosas que hacer que el desarrollo de software se vuelve lento. Más aún, estos métodos han sido llamados “Heavy Methodologies” (Métodos pesados) o “Monumental Methodologies” (Métodos monumentales). Como una reacción a estas metodologías, a finales de los años 90, ha surgido un nuevo grupo de metodologías sustentadas en las antiguas ideas, las que fueron conocidas por un tiempo como “Lightweight Methodologies”,

Pero ahora el término aceptado es “Agiles Methodologies” (Métodos ágiles o como se venía mencionando MAS); lo que estos tienen en común (y lo que de aquí en más obrará como una definición de los mismos) es su modelo de desarrollo incremental (pequeñas entregas con ciclos rápidos), cooperativo (desarrolladores y usuarios trabajan juntos en estrecha comunicación), directo (el método es simple

y fácil de aprender) y adaptativo (capaz de incorporar los cambios). Las claves de los MAs son la velocidad y la simplicidad. De acuerdo con ello, los equipos de trabajo se concentran en obtener lo antes posible una pieza útil que implemente sólo lo que sea más urgente; de inmediato requieren retroalimentación de lo que han hecho y lo tienen muy en cuenta. Luego prosiguen con ciclos igualmente breves, desarrollando de manera incremental. Estructuralmente, los MAs se asemejan a los RADs (desarrollo rápido de aplicaciones) más clásicos y a otros modelos iterativos, pero sus énfasis son distintivos y su combinación de ideas es única.

En este sentido, la guerra de los métodos de software ha venido a completar un círculo peligroso. Mientras el manifiesto de Dijkstra llamaba por “más” disciplina en el desarrollo de software, los principales disidentes de los creadores de UML[®] han lanzado un manifiesto que clama por “menos”, llamado “Manifiesto for Agile Software Development” (Manifiesto por el Desarrollo de Software Ágil). El que se sustenta en los siguientes postulados:

- Los individuos y sus interacciones, son más importantes que los procesos y herramientas.
- Un software que funcione, es más importante que una abundante documentación.
- La colaboración con los clientes, es más importante que la negociación de contratos.
- La respuesta ante el cambio, es más importante que el seguimiento de un plan.

[®] Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés, Unified Modeling Language) es el lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido en la actualidad. Es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema de software, [LMU, 06].

Hay varios paralelos entre las dos escuelas. El autodenominado estilo ágil ha comenzado a presentar una serie de libros en *The Agile Software Development Series*, similar a lo propuesto por UML, *Object Technology Series*. Es destacable, sin duda, que la principal contribución de los MAs es que ellos están recogiendo ampliamente el enfoque centrado en la persona. Más aún, están agregando elementos adicionales para el entendimiento de la problemática humana detrás del desarrollo de software en general. Highsmith (2002) utiliza la palabra “ecosistema” en vez de método o metodología para indicar que el desarrollo de software trata acerca de personas, sus interacciones y adaptaciones a un ambiente amplio y no sobre procesos de ingeniería. Algunos importantes ejemplos de métodos ágiles son:

XP (Extreme Programming), Open Source y DSDM (Dynamic System Development Method) entre otros. Se debe destacar que la carencia de documentación es un síntoma de las profundas diferencias.

- ✦ *Los métodos ágiles son más adaptativos que predictivos.* Los métodos monumentales tienden a tratar de planear una gran parte del proceso de desarrollo de software, con gran detalle por un gran lapso de tiempo. Esto está bien, hasta que las cosas cambian. Así es que su naturaleza es resistir el cambio. Los métodos ágiles, por el contrario, reciben los cambios, tratan de procesarlos y hacerlos propicios.
- ✦ *Los métodos ágiles son más orientados a las personas que al proceso.* Ellos explícitamente manifiestan que se ha de “tratar” con el trabajo y la naturaleza de las personas más que contra ellos y enfatizan que el desarrollo de software debería ser una actividad entretenida. Muchas personas apelan a estas metodologías ágiles como reacción a las metodologías burocráticas o monumentales. Estos nuevos métodos intentan establecer un justo equilibrio

entre “sin proceso” y “demasiado proceso”, proporcionando sólo el proceso suficiente para obtener un retorno razonable. De muchas formas, estos métodos están más orientados al código: siguiendo la idea de que plantean que la parte clave de la documentación es el código fuente.

Ya presentado un preámbulo sobre los que son los Métodos Ágiles, se pretende mostrar ahora, como se aplicaron estos conceptos sobre la metodología de trabajo que se usó para el desarrollo de este proyecto (ciclo de vida clásico) teniendo como principal referencia los principios que rigen a la comunidad de MAs y que se encuentran al lado del manifiesto por el Desarrollo de Software Ágil que ya se mencionó anteriormente.

Dentro del desarrollo del proyecto se tiene como prioridad la entrega temprana y continua de software valioso, los requerimientos cambiantes son bienvenidos, incluso cuando llegan tarde en el desarrollo. Los procesos ágiles se pliegan al cambio en procura de una ventaja competitiva.

Uno de los factores que más se destacó en la implementación de esta herramienta es el trabajo entre el desarrollador y los usuarios del sistema, donde se presentó una continua interacción a través de todo el proyecto, dándole la vital importancia que representa el factor humano dentro del desarrollo de un proyecto y logrando obtener mejores beneficios para los usuarios finales, que en este caso son los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. Cabe mencionar que se lograron todos los objetivos de una manera diferente a la ofrecida por los métodos actuales de desarrollo de software, ya que el proceso se realizaba de una forma entretenida y dinámica, por que cada detalle que se estaba trabajando tenía como fundamento la idea de los representantes de los usuarios finales, que para este caso son los integrantes del proyecto, pertenecientes a la escuela de Ingeniería Eléctrica; y en donde cada detalle tenía implícito un trabajo

en conjunto, fruto de la confianza ofrecida por los involucrados en el proyecto, haciendo de estos unos individuos motivados, que tienen la oportunidad y el respaldo que se necesita para obtener los resultados que se requieren.

Otro de los factores de gran importancia es que la forma más eficiente y efectiva de comunicar información de ida y vuelta dentro de un equipo de desarrollo es mediante la conversación cara a cara, la cual se vivenció a través de las horas de trabajo que se realizaban diariamente, y en donde la información que rotaba era fundamental en cada nuevo paso que se estaba dando.

Se dice en algunas partes que una medida primaria de progreso es el software que funciona, tal vez no sea la única, pero cuando las personas interesadas en la aplicación comienzan a ver resultados desde muy temprano, presentan un mayor grado de motivación y esto trae como consecuencia mayores beneficios a la hora de presentar ideas en pro del desarrollo del proyecto.

Las mejores arquitecturas, requerimientos y diseños emergen de equipos que se auto-organizan, es otra de las premisas de esta MAs, y en el desarrollo de este proyecto se observó claramente la ejecución de esta, puesto que a medida que se trabajaba, iban surgiendo mejores propuestas e ideas que hacían que el trabajo fuera tomando un mejor ambiente y por ende mejores resultados y en donde el equipo reflexiona sobre la forma de ser más efectivo y ajusta su conducta en consecuencia.

Desde el momento en que Dijkstra planteó que el desarrollo de software debería estar centrado fuertemente en las matemáticas para producir productos confiables y con costos predecibles, muchos esfuerzos se han realizado para definir un proceso de desarrollo de software en forma disciplinada y rigurosa. Por su parte, la innumerable cantidad de métodos de desarrollo de software propuestos, algunos

quedando en el olvido y los menos (en su afán de adecuarse a los cambios de enfoques, a la innumerable cantidad de situaciones que deben enfrentar y a las diversas áreas de aplicación en que se deben desenvolver) han incorporado una gran cantidad de factores que requieren mucha disciplina y tiempo para seguirla correctamente. Esto ha llevado a definir las como Metodologías monumentales o Heavy Methodologies. Sin embargo, son muchas las áreas en las cuales este tipo de desarrollo no se condice con las exigencias del problema.

Existen muchos detractores que se oponen a la aceptación de dichos métodos monumentales sobre la base de que hacen más burocrático y lento el desarrollo software y que este tipo de desarrollo es un proceso centrado en las personas y en sus interrelaciones, y no entre las personas y las máquinas, por tanto, no es equivalente a un proceso de ingeniería tradicional. Sin duda, ambos enfoques tienen su área de aplicación y sus exigencias. Quizás, por el hecho de que los productos de software se requieran en áreas tan diferentes, distintos tipos de requisitos, distinta volatilidad de requisitos, diferentes niveles de riesgos, diversos clientes, diferentes niveles de calidad, entre muchos otros aspectos, hace que ambos tipos de enfoques metodológicos tengan su validez en el contexto en que se usan, en el caso de los métodos de desarrollo de software: “Servir para todas las áreas de aplicación y en todos los casos, pero simple y fácil de usar”.

3.3 PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS¹

La programación orientada a objetos (POO) es una nueva forma de enfocar la tarea de la programación. Los enfoques de la programación han cambiado drásticamente desde la invención de las computadoras, para acomodarse a la

¹ [VB6, 07]

creciente complejidad de los programas. Por ejemplo, cuando se inventaron las computadoras, la programación se realizaba introduciendo mediante una consola las instrucciones máquina en binario. Esto funcionaba porque los programas sólo tenían unos pocos cientos de instrucciones. Cuando crecieron los programas, se inventó el lenguaje ensamblador para que el programador pudiera manejar programas más largos y complejos usando una representación simbólica de las instrucciones máquina. Los lenguajes de alto nivel aparecieron para proporcionar al programador más herramientas con las cuales gestionar esa complejidad. El primer lenguaje ampliamente utilizado fue FORTRAN. Aunque FORTRAN impresiona al principio, no es un lenguaje que fuerce o anime a crear programas claros y fácilmente comprensibles.

En los años sesenta nace la programación estructurada. Este es el método alentado y reforzado por lenguajes como C y Pascal. Al principio, con los lenguajes estructurados fue posible escribir programas moderadamente complejos de una forma bastante sencilla. Sin embargo, incluso usando la programación estructurada, cuando los proyectos alcanzan un cierto tamaño, su complejidad se vuelve demasiado difícil para ser controlada por un programador.

En cada hito en el desarrollo de la programación, se crearon métodos para permitir que el programador pudiera manejar esa complejidad creciente. En cada paso de este camino, el nuevo enfoque tomaba los mejores elementos de los métodos previos y avanzaba. Hoy en día, hay muchos proyectos que están próximos o en el punto donde la aproximación de la programación estructurada ya no funciona. Para resolver este problema se desarrolló la programación orientada a objetos.

La programación orientada a objetos toma las mejores ideas de la programación estructurada y las combina con nuevos y poderosos conceptos que animan o alientan una nueva visión de la tarea de la programación.

La programación orientada a objetos permite descomponer fácilmente un problema en subgrupos de partes relacionadas. Entonces, puede traducir estos subgrupos en unidades autocontenidas llamadas objetos.

Todos los lenguajes de programación orientada a objetos tienen siempre tres cosas en común: objetos, polimorfismo y herencia. A continuación consideraremos uno a uno estos conceptos.

a) Objeto

Un objeto es simplemente una entidad lógica que contiene datos y código que manipula esos datos. Dentro de un objeto, parte del código o datos pueden ser privados del objeto e inaccesibles desde fuera de él. De esta forma, un objeto proporciona un significativo nivel de protección contra modificaciones accidentales o contra un uso incorrecto.

Para todos los efectos y propósitos, un objeto es una variable de un tipo definido por el usuario. Al principio puede parecer extraño pensar en un objeto, que una código y datos, como en una variable. Sin embargo, este es precisamente el caso en la programación orientada a objetos. Cuando se define un objeto se está creando implícitamente un nuevo tipo de dato.

b) Encapsulación

La encapsulación es el mecanismo que enlaza el código y los datos, al tiempo que asegura a ambos frente a interferencias o fallos exteriores. Y además, la encapsulación permite la creación de un objeto.

c) Polimorfismo

Los lenguajes de programación orientada a objetos admiten el polimorfismo, caracterizado por la frase “una interfaz, múltiples métodos”. En términos más

sencillos, el polimorfismo es el método que permite que una interfaz sea utilizada para varios propósitos relacionados pero ligeramente diferentes. La acción específica que se utiliza está determinada por la naturaleza exacta de la situación. Un ejemplo real de polimorfismo puede ser un termostato. Independientemente del tipo de energía que consume en una casa (gas, electricidad, gasóleo, etc.), el funcionamiento del termostato es siempre el mismo. Por ejemplo, si se desea mantener una temperatura de 25 grados, el termostato se fija a 25 grados. No importa el tipo de fuente energética que proporciona el calor. Este mismo principio es que se aplica a la programación. Por ejemplo, se puede tener valores de coma flotante y otra para valores de tipo carácter. Gracias al polimorfismo, se pueden crear tres conjuntos que contengan funciones llamadas introducir y recuperar, una para cada tipo de datos. El concepto general (interfaz) trata de introducir y de llevar a cabo estas tareas para cada tipo de datos. Cuando se introducen datos en una pila, es el tipo de datos que determina la versión específica de la función introduciré a la que hay que llamar.

El polimorfismo reduce la complejidad permitiendo que la misma interfaz sea utilizada para especificar una clase general de acciones. El compilador será el encargado de determinar la acción específica (es decir, el método) que se aplicará a cada situación. El programador no necesita realizar esta selección de forma manual. Lo único que deberá recordar y utilizar es la interfaz general.

d) Herencia

La herencia es el proceso por el cual un objeto puede adquirir las propiedades de otro objeto. Esto es importante porque permite manejar el concepto de clasificación. Si se piensa detenidamente, la mayoría del conocimiento se hace manejable por medio de clasificaciones jerárquicas. Por ejemplo, una manzana roja es parte de la clase manzana, que a su vez es parte de la clase fruta, que se encuentra por debajo de la clase superior comida. Sin el uso de clasificaciones

habría que definir todas las características de cada objeto explícitamente. Usando clasificaciones, sólo es necesario definir las cualidades que hacen únicos a un objeto dentro de su clase. La herencia es el mecanismo que hace posible que un objeto sea un ejemplar específico dentro de una clase más general.

3.3.1 CLASES Y OBJETOS

Una clase describe un grupo de objetos que tienen en común:

- Propiedades
- Comportamiento
- Relaciones con otros objetos

Un ejemplo podría ser una clase automóviles que puede estar compuesta por un conjunto de objetos. Cada uno de estos objetos puede tener unas características como marca, color, peso, modelo, velocidad máxima, entre otros. También para cada uno de estos automóviles se le puede aplicar una serie de operaciones como vender, comprar, acelerar, prender, apagar, pitar, etc. Es posible que esta clase llamada automóviles tenga relación por sus características con otras clases, por ejemplo la clase camiones o la clase motocicletas.

Se puede decir que un objeto es una instancia de una clase o un caso particular de una clase.

Entonces, se puede definir una clase como la descripción de las características y operaciones de un conjunto de objetos, así como las relaciones que se puede tener con otra clase de objetos.

Las formas de acceder a los componentes de una clase son:

3.3.1.1 PÚBLICA

Los componentes que están en esta forma pueden ser accedidos desde cualquier lugar del programa. No hay restricción de ningún tipo. Se recomienda no definir atributos públicos para evitar que cualquier programa los modifique.

3.3.1.2 PRIVADA

Un componente declarado en forma privada sólo puede ser accedido por la misma clase. Así que si queremos acceder a un componente privado desde un programa cualquiera, es necesario que la clase tenga funciones públicas que proporcionen una interfaz para accederlos. Se utiliza esta forma de acceso para ocultar los detalles de implementación de los objetos a los usuarios y para evitar que los usuarios modifiquen directamente los miembros delicados del objeto.

3.3.1.3 PROTEGIDA

Un elemento declarado como protegido actúa igual que un elemento privado, su única diferencia radica en la forma de heredar, ya que pueden acceder a las clases descendientes.

3.3.2 ATRIBUTOS

Un atributo es esencialmente una variable que es parte de un objeto. Como el campo de un tipo registró un atributo de una clase representa un ítem o característica de ésta clase, esta característica existirá en cada objeto o instancia de la clase. Los atributos pueden ser de un tipo de datos simple, como de un tipo de datos definidos por el programado o incluso pueden ser otros objetos. El valor de los atributos es específico para cada objeto, y el valor de estos atributos es lo que diferencia a un objeto de otro.

Los atributos pueden ser declarados de forma pública, privada y protegida. Si se declara un atributo de forma pública este atributo puede ser modificado desde cualquier parte del programa, si se declara privada el usuario por tanto no sabrá de la existencia de este atributo, por otra parte si se declara protegido el atributo estará disponible por las clases que hereden de esta clase.

3.3.3 MÉTODOS

Los métodos son las acciones que pueden realizar un objeto. Por tanto un método son procedimientos y funciones de un objeto dado. Los métodos tienen la característica que determina como debe comportarse un objeto. Existen dos métodos importantes que están presentes en todos los objetos, que son el constructor y el destructor, además el programador puede construir cualquier método para que su objeto realice diferentes tareas.

3.3.3.1 CONSTRUCTOR

Un constructor es un método que se ejecuta en el momento que el objeto es creado, éste método se ejecuta una sola vez en la vida de este objeto. El constructor es el responsable de crear una instancia de su clase y asignar memoria o inicializar cualquier atributo que sea necesario, de forma que el objeto este listo para utilizado cuando se termine de ejecutar el método constructor.

3.3.3.2 DESTRUCTOR

Un destructor es un método complementario al método constructor. Este método hace el papel de la función de cierre. Son muchas las circunstancias para que un objeto necesite realizar algunas acciones antes de destruirse; por ejemplo liberar la memoria dinámica que requiere en sus procesos de almacenamiento de datos en memoria.

3.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA ESPECÍFICA

3.4.1 VISUAL BASIC 6.0¹

Visual Basic 6.0 es uno de los lenguajes de programación que más entusiasmo despiertan entre los programadores de computadoras, tanto expertos como novatos. En el caso de los programadores expertos por la facilidad con la que desarrollan aplicaciones complejas en poquísimo tiempo (comparado con lo que cuesta programar en *Visual C++*, por ejemplo). En el caso de los programadores

¹ [VB6, 07]

novatos por el hecho de ver de lo que son capaces a los pocos minutos de empezar su aprendizaje. Es también un lenguaje de programación visual, que generalmente es llamado lenguaje de 4ª generación. Esto quiere decir que un gran número de tareas se realizan sin escribir código, simplemente con operaciones gráficas realizadas con el ratón sobre la pantalla. Además *Visual Basic 6.0* es un programa *basado en objetos*, aunque carece de los mecanismos de *herencia* y *polimorfismo* propios de los verdaderos lenguajes orientados a objetos.

3.4.1.1 MODO DE DISEÑO Y MODO DE EJECUCIÓN

La aplicación *Visual Basic* de *Microsoft* puede trabajar de dos modos distintos: en modo de diseño y en modo de ejecución. En *modo de diseño* el usuario construye interactivamente la aplicación, colocando *controles* en el *formulario*, definiendo sus *propiedades*, y desarrollando *funciones* para gestionar los *eventos*.

La aplicación se prueba en *modo de ejecución*. En ese caso el usuario actúa sobre el programa (introduce *eventos*) y prueba cómo responde el programa. Hay algunas *propiedades* de los *controles* que deben establecerse en modo de diseño, pero muchas otras pueden cambiarse en tiempo de ejecución desde el programa escrito en *Visual Basic 6.0*, en la forma en que más adelante se verá.

3.4.1.2 FORMULARIOS Y CONTROLES

Cada uno de los elementos gráficos que pueden formar parte de una aplicación típica de *Windows 95/98/NT* es un tipo de *control*: los botones, las cajas de diálogo y de texto, las cajas de selección desplegables, los botones de opción y de

selección, las barras de desplazamiento horizontales y verticales, los gráficos, los menús y muchos otros tipos de elementos son controles para *Visual Basic 6.0*. Cada control debe tener un *nombre* a través del cual se puede hacer referencia a él en el programa. *Visual Basic 6.0* proporciona nombres *por defecto* que el usuario puede modificar.

En la terminología de *Visual Basic 6.0* se llama *formulario (form)* a una ventana. Un formulario puede ser considerado como una especie de contenedor para los controles.

Una aplicación puede tener varios formularios, pero un único formulario puede ser suficiente para las aplicaciones más sencillas.

3.4.1.3 OBJETOS Y PROPIEDADES

Los formularios y los distintos tipos de controles son entidades genéricas de las que puede haber varios ejemplares concretos en cada programa. En *programación basada en objetos*, se llama *clase* a estas entidades genéricas, mientras que se llama *objeto* a cada ejemplar de una clase determinada. Por ejemplo, en un programa puede haber varios botones, cada uno de los cuales es un *objeto* del tipo de control *command button*, que sería la *clase*. Cada formulario y cada tipo de control tienen un conjunto de *propiedades* que definen su aspecto gráfico (tamaño, color, posición en la ventana, tipo y tamaño de letra, etc.) y su forma de responder a las acciones del usuario (si está activo o no, por ejemplo). Cada propiedad tiene un *nombre* que viene ya definido por el lenguaje.

Casi todas las propiedades de los objetos pueden establecerse en tiempo de diseño y también -casi siempre- en tiempo de ejecución. En este segundo caso se

accede a sus valores por medio de las sentencias del programa, en forma análoga a como se accede a cualquier variable en un lenguaje de programación. Para ciertas propiedades ésta es la única forma de acceder a ellas.

Se puede *acceder a una propiedad* de un objeto por medio del *nombre del objeto* a que pertenece, seguido de un *punto* y el *nombre de la propiedad*.

3.4.1.4 EVENTOS

Son eventos típicos el hacer clic sobre un botón, el hacer doble clic sobre el nombre de un fichero para abrirlo, el arrastrar un icono, el pulsar una tecla o combinación de teclas, el elegir una opción de un menú, el escribir en una caja de texto, o simplemente mover el ratón.

Cada vez que se produce un evento sobre un determinado tipo de control, *Visual Basic 6.0* arranca una determinada *función* o *procedimiento* que realiza la acción programada por el usuario para ese evento concreto. Estos procedimientos se llaman con un nombre que se forma a partir del nombre del objeto y el nombre del evento, separados por el carácter (_).

3.4.1.5 MÉTODOS

Los *métodos* son funciones que también son llamadas desde programa, pero a diferencia de los procedimientos no son programadas por el usuario, sino que vienen ya pre-programadas con el lenguaje. Los métodos realizan tareas típicas, previsibles y comunes para todas las aplicaciones. De ahí que vengan con el

lenguaje y que se libere al usuario de la tarea de programarlos. Cada tipo de objeto o de control tiene sus propios métodos.

3.4.1.6 PROYECTOS Y FICHEROS

Cada aplicación que se empieza a desarrollar en *Visual Basic 6.0* es un nuevo *proyecto*. Un proyecto comprende otras componentes más sencillas, como por ejemplo los *formularios* (que son las ventanas de la interfase de usuario de la nueva aplicación) y los *módulos* (que son conjuntos de funciones y procedimientos sin interfase gráfica de usuario).

3.4.2 AUTOCAD¹

AUTOCAD es uno de los paquetes de dibujo asistido por computador (Computer Aided Drafting o CAD), más populares en el mundo debido a su gran precisión y exactitud de dibujo, el conjunto de facilidades que ofrece al dibujante lo hace más funcional y didáctico que otros programas que no ofrecen las facilidades de programación.

AUTOCAD tiene un sin número de herramientas y ayudas para dibujar con gran exactitud y precisión, brindando confianza absoluta en las coordenadas, distancias, áreas e información adicional que se extraiga del dibujo; así, el dibujo es tan preciso como el dibujante lo desee.

Las órdenes disponibles en AUTOCAD pueden agruparse de la siguiente manera:

¹ [AH5, 08]

- Órdenes de dibujo
Permiten crear entidades nuevas tales como líneas, círculos, polilíneas, elipses, etcétera.

- Órdenes de edición
Permite modificar las entidades ya dibujadas, por ejemplo, rotar, mover, copiar, entre otras.

- Órdenes de visualización
Modifican el aspecto de la pantalla pero no de las entidades.

- Órdenes de consulta
Permiten recuperar información contenida en el dibujo por ejemplo áreas, distancias, coordenadas.

- Órdenes de ayuda
Facilitan el dibujo al usuario, por ejemplo, información sobre comandos desconocidos, modos de referencia, etcétera.

3.5 DESARROLLO DEL PROYECTO

3.5.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

Durante la etapa de análisis del sistema, se realizó una investigación preliminar que permitió alcanzar un alto grado de conocimiento sobre los factores que pueden intervenir en el diseño de una línea de transmisión, desde las formas de ingreso de datos hasta la presentación de los resultados, teniendo en cuenta todos los procedimientos intermedios.

3.5.2 DISEÑO

Se planea ofrecer una interfase de entrada que contenga ocho secciones:

Como primera instancia se tiene Nuevo Proyecto, dentro de la cual se cuenta con la opción de:

- ✦ Elaborar todo el diseño de la línea, incluyendo cálculos eléctricos, mecánicos, aisladores, cable de guarda, diseño de torre y plantillado.

Como segunda, tercera, cuarta, quinta, sexta y séptima instancia se tienen los cálculos individuales, donde se puede:

- ✦ Elaborar el diseño por partes, bien sea de cálculos eléctricos, mecánicos, aisladores, cable de guarda, diseño de torre y plantillado, cada uno en un módulo separado.

En la octava y última sección que se llama Acerca de, se puede ingresar para conocer información sobre:

- ✦ Autores
- ✦ Colaboradores
- ✦ Los derechos del software

Cada una de las anteriores secciones de la herramienta software propuesta contiene dentro de su interfase las siguientes secciones en forma general:

3.5.2.1 SECCIÓN DE INGRESO DE DATOS

El objetivo que se pretende alcanzar, es crear una presentación que permita un ingreso de datos coherente, por medio de validaciones y controles internos, así como un manejo del lenguaje propio del área de aplicación (diseño de líneas).

3.5.2.2 SECCIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se presentará de forma ordenada y consecutiva, tanto, el valor de los datos para el diseño (que se ingresaron para realizar el cálculo), como, el valor de los elementos calculados con la herramienta. Además se pretende mostrar imágenes que complementen la representación del cálculo de los elementos y permita un mayor entendimiento de los resultados. También se ofrece la opción de exportar estos resultados a otros programas (como son Word y Excel) para posteriormente manipularlos e imprimirlos.

3.5.2.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS GRÁFICOS

Se desea ofrecer la opción de graficar las curvas de plantilla de acuerdo al valor de los elementos calculados con la herramienta, con el fin de ofrecer al usuario un ahorro en el tiempo, ya que la realización de los dibujos en AUTOCAD es uno de los procesos más tediosos.

3.5.2.4 SECCIÓN DE AYUDAS

Se pretende ofrecer al usuario dentro del programa un soporte educacional del

diseño de líneas, con el fin de reforzar el aprendizaje que éste recibe en las aulas. Las ayudas se estructuraron de la siguiente manera:

- Ayuda pedagógica

Consta de un marco teórico sobre el diseño de líneas, ejemplos ilustrativos y una guía para el manejo del software.

- Ayuda en pantalla

Se refiere a las pizarras que ofrecen información al usuario sobre los datos que se está ingresando tomando como referencia las normas técnicas para el diseño.

En consecuencia la herramienta software permitirá realizar las siguientes tareas:

- Registrar el ingreso de datos necesarios para la generación de curvas de plantilla, y demás cálculos.
- Ofrecer ayudas permanentes sobre la información que se esta ingresando y todo sobre lo concerniente al diseño de líneas.
- Mostrar los resultados a manera de tablas, dibujos e informes.
- Exportar datos creando documentos de WORD y tablas en EXCEL.
- Dibujar las curvas diseñadas en AUTOCAD.

3.5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Se logró cumplir con el propósito de esta etapa, que consistía en desarrollar los algoritmos necesarios para implementar la funcionalidad del sistema que se estableció en las etapas anteriores.

Esta fase se desarrolló cumpliendo con los objetivos específicos propuestos, teniendo en cuenta el diseño preliminar.

Se realizaron las siguientes acciones:

- Se implementaron las secciones, los formularios (Interfases), el programa (Código fuente), los informes, la seguridad y el control, que permiten satisfacer las necesidades correspondientes, sometidas a pruebas para garantizar su excelente funcionamiento.
- Se desarrollaron las interfases teniendo en cuenta los estándares existentes para el desarrollo de sistemas de información bajo ambiente Windows, se implemento bajo esta plataforma pensando en los usuarios finales que manipularán el sistema, suministrando las herramientas visuales de manejo de eventos (iconos, menús, botones, formularios organizados, etc.) que permiten su manejo a través del Ratón.
- Se diseñaron las ayudas tipo Windows utilizando Visual Help Workshop¹.
- Además de estas actividades relacionadas con los datos, se realizó la selección de las especificaciones técnicas de hardware requerido para poder implantar el proyecto, ya que de esto depende en gran parte la eficiencia y buen desempeño del sistema.

¹ [VB6, 07]

3.5.4 ALCANCES, LIMITACIONES Y REQUERIMIENTOS

El objetivo principal a realizar en este trabajo de investigación es diseñar una herramienta que cumpla las siguientes funciones:

- Calcular los parámetros eléctricos del modelo de línea larga para un diseño específico.
- Realizar la estimación de las pérdidas de potencia, efecto corona y regulación.
- Organizar los resultados (de acuerdo al peso), de las configuraciones que cumplen con las exigencias de diseño.
- Calcular las solicitaciones mecánicas sobre el cable y las estructuras, de acuerdo a las condiciones climáticas predominantes en la zona donde se construirá la línea.
- Verificar el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad.
- Ubicar el cable de guarda para proteger la línea contra las descargas atmosféricas.
- Generar archivos de dibujo en AUTOCAD de las curvas de plantilla y perfil topográfico diseñadas individualmente, para que el usuario pueda construir posteriormente los planos respectivos.
- Generar documentos en Word y Excel con el fin de una posterior manipulación por parte del usuario.

- Soportar mediante diferentes tipos de ayudas los conceptos teórico-prácticos del diseño de líneas de transmisión basados en la normatividad colombiana vigente.
- Permitir (sólo por parte de los diseñadores del programa) la actualización de las ayudas que ofrece el software en cuanto a nuevas normativas del diseño, materiales de construcción y metodologías.
- Servir de soporte en la enseñanza y aprendizaje de la asignatura Sistemas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica.

A su vez, la primera versión de la HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, HELITE 1.0, no está en la capacidad de cumplir funciones como:

- Ubicación óptima de torres.
- Facilitar la elección del corredor que transitará la línea.
- Cálculo y coordinación de protecciones.
- Extraer perfil topográfico de fotos satelitales, mapas de nivel o archivos GPS.
- Plantillado automático.
- Cálculo del sistema de puesta a tierra.

La descripción de los requisitos mínimos que debe tener el equipo computacional es la siguiente:

TABLA 3. Requerimientos hardware y software del sistema

CARACTERÍSTICAS	REQUERIMIENTO
CPU	Procesador Pentium III o Superior
MEMORIA	128 Mb de RAM o Superior
DISCO	10 Gb o Superior
RATÓN	Genérico o 2 botones
ESTABILIZADOR	1000 Vatios
IMPRESORA	Impresoras láser, burbuja o matriz de punto
SISTEMA OPERATIVO	Windows XP
SOFTWARE	MS OFFICE 2003, AUTOCAD 2005, ACROBAT READER

4 PRESENTACIÓN Y EJECUCIÓN DEL SOFTWARE

El software HELITE 1.0 requiere para su uso que en la configuración regional del equipo el separador de decimales sea el carácter punto (.), ya que este programa realiza los cálculos con dicha configuración.

Para las opciones de exportar resultados, exportar cartera y graficar, que el HELITE 1.0 contiene, es necesario tener instalados los programas de Microsoft Office 2003 o superior y AUTOCAD 2005 o superior.

La presentación del software, se ha diseñado con el objetivo que el usuario encuentre una presentación organizada, de manejo y ejecución simple y con exposición de datos finales de una forma clara y ordenada.

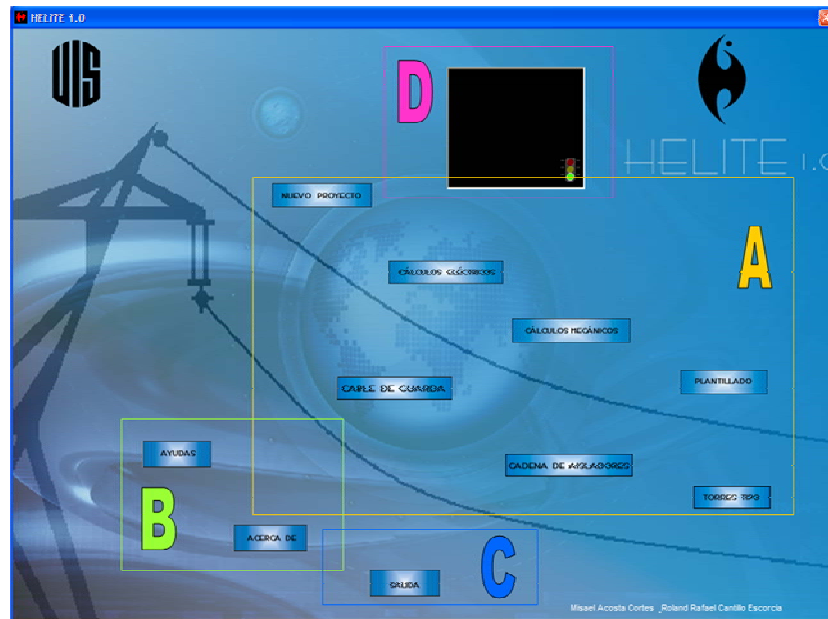
4.1 PRESENTACIÓN DE LA INTERFASE DE ENTRADA

La interfase de entrada esta dividida en cuatro secciones específicamente definidas, con el fin que el usuario encuentre una presentación que le guíe en la ejecución del programa. Dichas zonas se identifican en la figura 10.

A: OPCIONES DE DISEÑO: Permite al usuario escoger cualquiera de los procedimientos que se realizan en el diseño de una línea. Cada opción de diseño posee una interfase que se muestra al deslizar el puntero sobre el botón y hacer clic en él.

B: MENÚ DE INFORMACIÓN: Son dos botones que ofrecen al usuario información sobre la herramienta HELITE 1.0 y sobre su manejo y alcances.

Figura 10. Interfase de entrada de HELITE 1.0



C: OPCIÓN DE SALIDA: Este es un botón que permite al usuario cerrar la ejecución del programa.

D: PIZARRA: Esta sección brinda información al usuario acerca de la función de cada uno de los botones de la interfase de entrada.

4.1.1 OPCIÓN NUEVO PROYECTO

Se refiere al primer botón ubicado en la zona superior izquierda, identificado con la leyenda "Nuevo Proyecto", al seleccionar esta opción, HELITE 1.0, desplegará un

formulario de entrada de datos, donde solicitará toda la información necesaria para elaborar los cálculos eléctricos y mecánicos de la línea.

ENTRADA DE DATOS PARA NUEVO PROYECTO

Figura 11. Formulario de ingreso de datos para nuevo proyecto

The screenshot shows a software window titled "NUEVO PROYECTO" with a sub-header "Datos de Entrada". The interface includes the following elements:

- Input Fields:**
 - Longitud de la Línea: 350 Km (labeled 'a')
 - Potencia a transmitir: 200 MW (labeled 'b')
 - Frecuencia: 60 Hz (labeled 'c')
 - Factor de Potencia: 0.9 (labeled 'd')
 - Regulación Máxima: 15 % (labeled 'e')
 - Pérdidas de Potencia: 4 % (labeled 'f')
 - Altura Sobre el Nivel del Mar: 1100 m (labeled 'g')
 - Factor de Seguridad Diario: 5 (labeled 'h')
 - Factor de Seguridad Mínimo: 2.5 (labeled 'i')
 - Efecto Corona: 1 (labeled 'm')
 - Vano Regulador: 500 (m) (labeled 'q')
- Hipótesis Section:**
 - [A] Máxima Velocidad del Viento:
 - Temperatura: 15 ± 10 (labeled 'j')
 - Velocidad del Viento: 90 Km/h
 - [B] Mínima Temperatura:
 - Temperatura: -20 ± 15
 - Velocidad del Viento: 30 Km/h
 - [C] Operación Diaria:
 - Temperatura: 5 ± 15
 - Velocidad del Viento: 10 Km/h
 - [D] Máxima Temperatura:
 - Temperatura: 25 ± 35
 - Velocidad del Viento: 0 Km/h
- Buttons and Other Elements:**
 - CARGAR DATOS (labeled 'k')
 - Voltaje: 115 KV (labeled 'l')
 - CONTINUAR (labeled 'n')
 - BORRAR (labeled 'o')
 - SALIR (labeled 'p')
 - Help icon (?) (labeled 'p')

En este formulario se solicita al usuario proveer la información necesaria, posee las siguientes casillas y botones:

- a. Longitud de la línea en kilómetros
- b. Potencia a transmitir en megavatios

- c. Frecuencia del sistema en hertz
- d. Factor de potencia
- e. Regulación máxima admisible en por ciento
- f. Pérdidas de potencia máximas admisibles en por ciento
- g. Altura sobre el nivel del mar en metros
- h. Factor de seguridad
- i. Pizarra

Esta sección brinda información al usuario acerca de la función de cada uno de los botones de la interfase de entrada de datos y las recomendaciones de la normatividad sobre los valores de cada casilla.

- j. Datos de las hipótesis

En esta sección se solicita al usuario la introducción de los valores referentes a las condiciones de viento y temperatura reinantes en la zona de construcción de la línea en kilómetros por hora y grados centígrados respectivamente.

- k. Cargar datos

Una vez llenas todas las casillas, se procede a cargar los datos haciendo clic sobre el botón "Cargar Datos" para que el programa valide las entradas, además

entrega en la pizarra los resultados de aplicar los diferentes criterios para la selección de voltaje de transmisión.

l. Voltaje del sistema

El programa muestra en la pizarra los resultados de aplicar los criterios recomendados para escoger el voltaje de transmisión y es el usuario, quien finalmente decide con cual de los voltajes normalizados se va a trabajar.

m. Borrar

Este botón permite al usuario limpiar todos los datos ingresados en las diferentes casillas.

n. Continuar

Al hacer clic sobre este botón se realizan los cálculos eléctricos, se escoge la configuración de menor peso, que cumple los requisitos dados y realiza a continuación los cálculos mecánicos, diseño de torres y cadena de aisladores, para concluir con la elaboración de la plantilla y/o la pantalla de taquimetría, es habilitado únicamente después de cargar los datos.

o. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

p. Ayuda

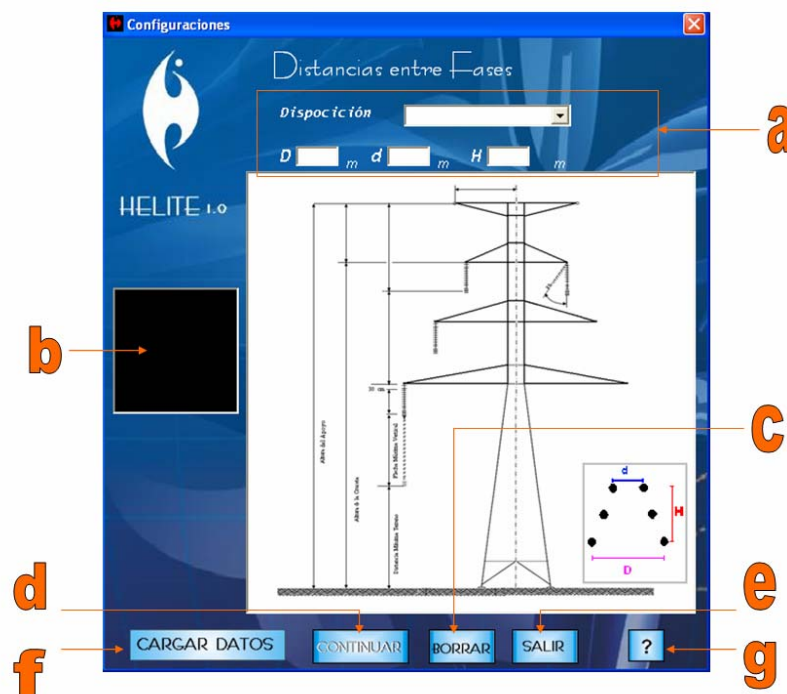
Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

q. Vano regulador en metros

DISTANCIAS DE LAS CONFIGURACIONES PARA NUEVO PROYECTO

Una vez se han cargado los datos anteriores y se pulsa el botón de continuar, aparece la siguiente interfase, donde se solicitan las distancias de las diferentes configuraciones:

Figura 12. Formato de ingreso de distancias entre fases para nuevo proyecto



a. Datos de las disposiciones

Se deben introducir todas las distancias solicitadas para las diferentes configuraciones, desplazando el seleccionador por cada una de las 6 disposiciones y rellenando las casillas correspondientes a las distancias especificadas en las imágenes.

b. Pizarra

Esta sección brinda información al usuario acerca de la función de cada uno de los botones de la interfase de entrada de datos y las recomendaciones de la normatividad sobre los valores de cada casilla.

c. Borrar

Este botón permite al usuario limpiar todos los datos ingresados en las diferentes casillas.

d. Continuar

Al hacer clic sobre este botón se realizan los cálculos eléctricos, es habilitado únicamente después de cargar los datos.

e. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

f. Cargar datos

Una vez llenas todas las casillas, se procede a cargar los datos haciendo clic sobre el botón "Cargar Datos" para que el programa valide las entradas.

g. Ayuda

Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

RESULTADOS DE NUEVO PROYECTO

A medida que avanza en la obtención de soluciones, el programa suministra al usuario los resultados finales de cada módulo y espera ordenes de éste para proseguir, exportar o finalizar.

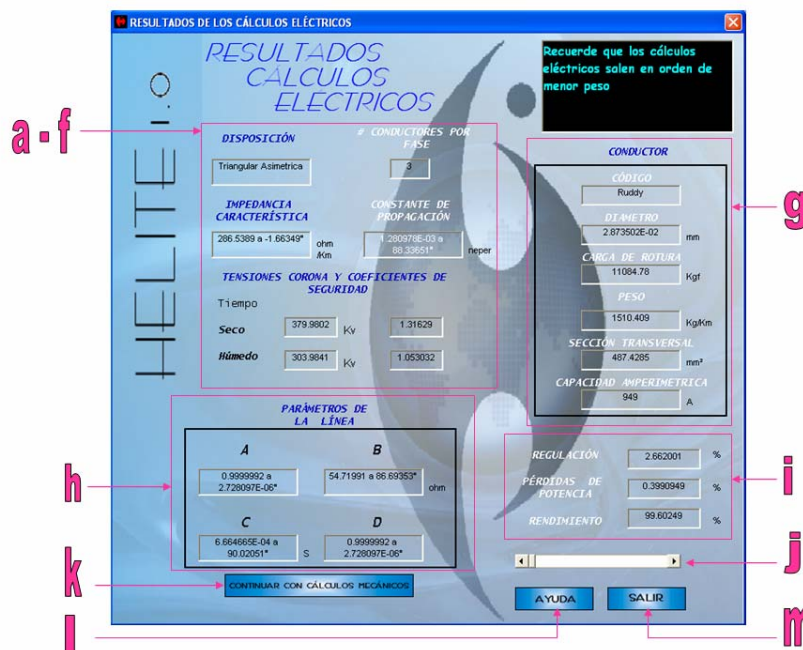
La secuencia que sigue el programa entrega en su primera instancia los resultados de los cálculos eléctricos para que el usuario decida cual configuración de las encontradas continuará siendo evaluada, luego el módulo de cálculos mecánicos entrega los esfuerzos para las diferentes condiciones y el programa pasa a calcular los aisladores y la ubicación del cable de guarda previa autorización del usuario, para terminar con el plantillado.

RESULTADOS DE CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE NUEVO PROYECTO

Una vez se ha hecho clic sobre el botón continuar de la pantalla anterior, el programa realiza las operaciones necesarias y clasifica los resultados que

cumplen las especificaciones requeridas, de menor a mayor en el peso total del conductor y enseña dicho resultado, acompañado de todos los datos de interés para el proyectista

Figura 13. Pantalla de resultados de cálculos eléctricos para nuevo proyecto



- a. Disposición
- b. Número de conductores por fase
- c. Impedancia característica
- d. Constante de propagación

- e. Tensión corona
- f. Factor de seguridad
- g. Datos del conductor
- h. Parámetros de la línea
- i. Regulación, pérdidas de potencia y rendimiento
- j. Barra de resultados

Inicialmente se muestra al usuario la configuración menos pesada (conductor) de las que cumplen con los requerimientos del diseño, al desplazar la barra, se pueden visualizar las siguientes configuraciones que cumplen en orden ascendente en cuanto al peso total.

- k. Continuar con cálculos mecánicos

Este botón lleva al usuario al siguiente formulario, con el que se continúa los cálculos del nuevo proyecto.

- l. Ayuda

Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

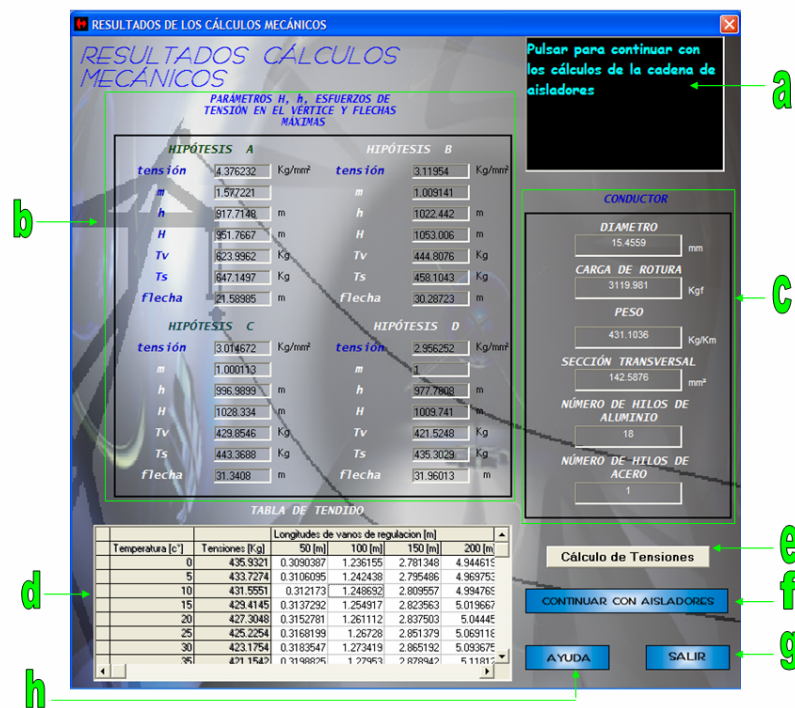
m. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

RESULTADOS CÁLCULOS MECÁNICOS (conductor de fase)

Una vez se ha hecho clic sobre el botón continuar con cálculos mecánicos, el programa realiza las operaciones necesarias y enseña el resultado con todos los datos que interesan al usuario:

Figura 14. Formato de resultados de cálculos mecánicos nuevo proyecto



a. Pizarra

Esta sección brinda información al usuario sobre los botones.

b. Flechas, parámetros H y h y tensión en el vértice

c. Datos del conductor

d. Tabla de tendido

e. Cálculo de tensiones individuales para distintos vanos y temperaturas

f. Continuar con aisladores

Este botón lleva al usuario al siguiente formulario, con el que se continúa los cálculos del nuevo proyecto.

g. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

h. Ayuda

Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

CÁLCULOS DE LA CADENA DE AISLADORES DE NUEVO PROYECTO

En este módulo del programa se realizan los cálculos de la cadena de aisladores (esfuerzos y distancias) requiriendo del usuario, la introducción de los datos del tipo de aislador a utilizar.

a. Metodología a seguir para elaborar los cálculos

Se ofrece la opción de escoger uno de dos procedimientos para llevar a cabo los cálculos.

b. Datos del aislador

En estas casillas se encuentran preestablecidos los datos del aislador de vidrio de 10" referencia ANSI 52-3, que el usuario puede reemplazar por los datos del aislador que desee.

c. Grados de aislamiento

Se selecciona el grado de aislamiento de acuerdo al tipo de zona que atraviesa la línea.

d. Sección de resultados

Una vez se pulsa el botón de calcular, se muestran los siguientes resultados: Número de aisladores, longitud y peso de la cadena de aisladores, presión del viento sobre el conductor y la cadena, ángulo de inclinación de la cadena y nivel básico de aislamiento.

e. Botón continuar con la ubicación del cable de guarda

Por razones de espacio, este botón no posee una marca de identificación encima, pero su función se da a conocer en la pizarra, aparece una vez se han elaborado los cálculos de la cadena de aisladores.

Figura 15. Formato de cálculos de la cadena de aisladores nuevo proyecto

AISLADORES

Cálculo de la cadena de aisladores

HELITE 1.0

Escoja el método de cálculo

Número de aisladores teniendo en cuenta el grado de aislamiento
 Número de aisladores según la norma americana

Línea de fuga	29.2	cm
Longitud aislador	14.605	cm
Diámetro aislador	0.254	m
Peso aislador	3.08	kg
Longitud herrajes	30	cm
Peso herrajes	4	kg

Grados de Aislamiento	
Zonas	Grados de aislamiento
<input checked="" type="radio"/> Forestales y Agrícolas	1.9 [cm/KV]
<input type="radio"/> Industriales y Próximas al mar	2.5 [cm/KV]
<input type="radio"/> Industriales y muy próximas al mar	3.2 [cm/KV]
<input type="radio"/> Industriales en fabricas de productos Químicos , Centrales Térmicas	3.2 [cm/KV]

Voltaje de línea: 500 KV
Vano regulador: 500 m
Peso del conductor: 1510.40938 kg/m
Diámetro del conductor: 0.02873502 m
Conductores en haz: 3
Velocidad del viento máxima: 80 km/h

Número de aisladores	34
Longitud de la cadena	5.2657 m
Peso de la cadena	108.72 kg
Peso que soporta la cadena	2374.334 kg
Peso por conductor	2265.614 kg
Presión del viento sobre el conductor	1169.63 kg/m
Presión del viento sobre la cadena	50.50354 kg
Ángulo de la cadena	27.25033 grados
Nivel básico de aislamiento (BIL)	No hay Kv

e **f** **g** **h** **i** **BORRAR** **SALIR** **?**

f. Botón calcular la cadena de aisladores

Por razones de espacio, este botón no posee una marca de identificación encima, pero su función se da a conocer en la pizarra, permite elaborar los cálculos de la cadena con los datos suministrados.

g. Borrar

Este botón permite al usuario limpiar todos los datos ingresados en las diferentes casillas.

h. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

i. Ayuda

Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

ENTRADA DE DATOS PARA LA UBICACIÓN DEL CABLE DE GUARDA PARA NUEVO PROYECTO

Figura 16. Formulario de entrada de datos para los cálculos mecánicos y ubicación del cable de guarda nuevo proyecto

The screenshot shows a software window titled "CABLE DE GUARDA" with the subtitle "Ubicación del Cable de Guarda". The interface includes a logo for "HELITE 1.0" and a "RETIE" button. The main area is divided into several sections: "Conductor de Aluminio Galvanizado" with dropdowns for "Parámetro de Selección" (set to "Código") and "Selección" (set to "1"); "Hipótesis" with four sub-sections (A, B, C, D) for wind speed and temperature; "Distancia mínima al terreno" (set to 9 m); "# conductores por fase" (set to 1); "Distancia entre conductores del haz" (set to 0.400000 m); "Fecha Máxima" (set to 10/09/2007); "Disposición" (set to "Horizontal"); "D" (set to 10 m); "Longitud de la cadena de aisladores" (set to 200000 m); "Voltaje Crítico de Fimco" (set to 20 kV); "Vano Regulador" (set to 500 m); "# de cables de guarda" (set to 1); and "Nivel Cerámico" (set to 100). At the bottom, there are buttons for "CARGAR DATOS", "CONTINUAR", "BORRAR", "SALIR", and a help icon. Red letters 'a', 'b', and 'c' are overlaid on the image, pointing to the "Distancia mínima al terreno", "Nivel Cerámico", and "# de cables de guarda" fields respectively.

En este formulario se requiere que el usuario ingrese los siguientes datos:

a. Distancia mínima al terreno

Se sugiere al usuario consultar el RETIE, para lo cual se cuenta con un atajo al PDF (Portable Document Format) que contiene dicho reglamento.

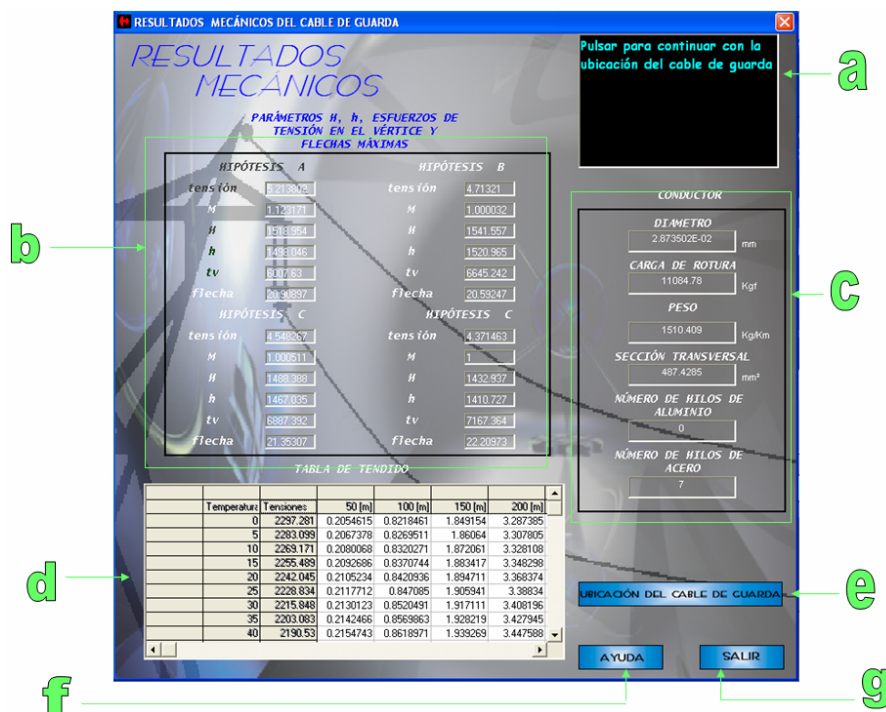
b. Nivel cerámico

c. Número de cables de guarda a utilizar

De acuerdo a la configuración que se venga desarrollando, el usuario debe decidir si el diseño tendrá uno o dos cables de escudo contra las descargas atmosféricas. Las demás casillas se rellenan automáticamente con los datos de hipótesis y configuraciones ya trabajados, una vez se ingresen los datos requeridos se debe oprimir el botón cargar datos y luego continuar para observar los resultados de los cálculos mecánicos del cable de guarda.

RESULTADOS CÁLCULOS MECÁNICOS (cable de guarda)

Figura 17. Formato de resultados de cálculos mecánicos del cable de guarda



a. Pizarra

Esta sección brinda información al usuario sobre los botones.

b. Flechas, parámetros H y h y tensión en el vértice

c. Datos del cable

d. Tabla de tendido

e. Continuar con la ubicación del cable de guarda

Este botón lleva al usuario al siguiente formulario, con el que se continúa los cálculos del nuevo proyecto.

f. Ayuda

Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

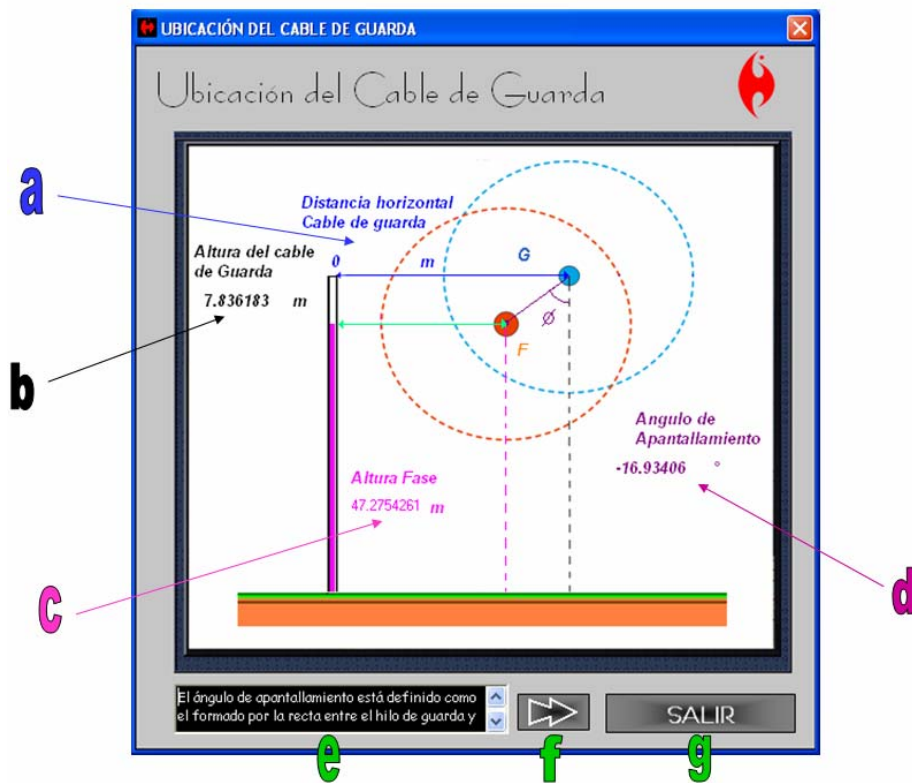
g. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

UBICACIÓN DEL CABLE DE GUARDA PARA NUEVO PROYECTO

Se muestran en una figura que no está a escala, las distancias sugeridas para la ubicación del cable de guarda.

Figura 18. Display de ubicación del cable de guarda nuevo proyecto



- a. En azul se indica la distancia horizontal del cable de guarda al eje vertical de la torre.

- b. En negro se indica la distancia vertical entre el apoyo del cable de guarda y el apoyo del conductor de fase más elevado.
- c. En fucsia se indica la distancia vertical entre el apoyo del conductor de fase más elevado y la base de la torre.
- d. En vino tinto se indica el ángulo de apantallamiento que suministra la ubicación sugerida
- e. Pizarra

Esta sección brinda información al usuario sobre los botones.

- f. Continuar con distancias en la torre

Por razones de espacio, este botón no posee una marca de identificación encima, pero su función se da a conocer en la pizarra.

- g. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

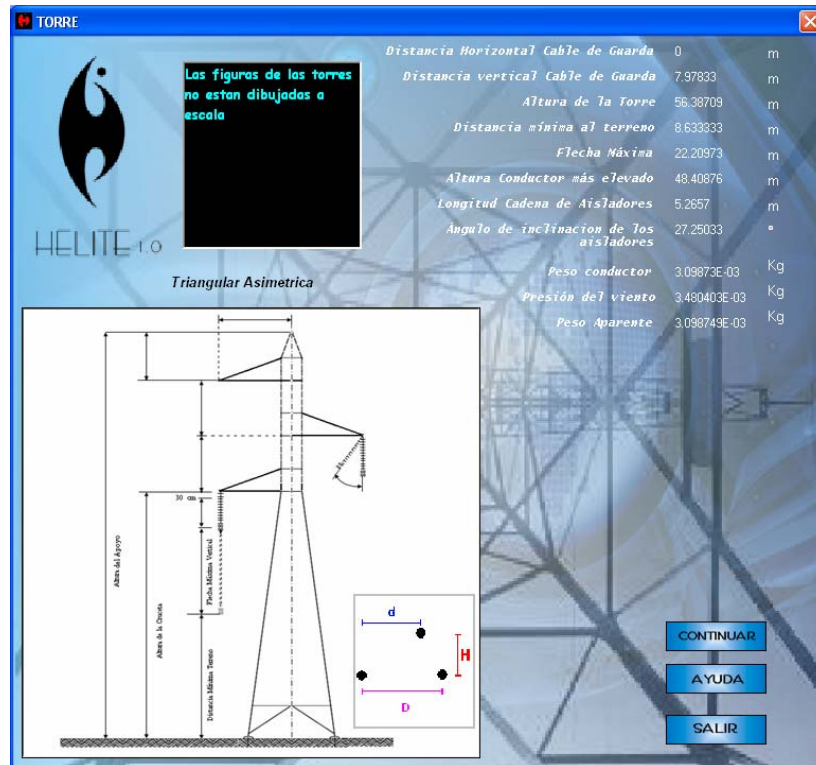
DISTANCIAS EN LA TORRE DE NUEVO PROYECTO

Coloca en pantalla una lista de las distancias obtenidas e ingresadas, que ofrecen parte del dimensionamiento de la torre, se ofrece también un dibujo que no está a escala con la torre tipo que usualmente se utiliza en la configuración dada.

La lista está conformada por los siguientes datos:

- a. Distancia horizontal del cable de guarda al eje vertical de la torre
- b. Distancia vertical entre el apoyo del cable de guarda y el apoyo del conductor de fase más elevado.
- c. Altura de la torre.
- d. Distancia mínima al terreno.
- e. Flecha máxima.
- f. Distancia vertical entre el apoyo del conductor de fase más elevado y la base de la torre.
- g. Longitud de la cadena de aisladores.
- h. Ángulo de inclinación de la cadena de aisladores.
- i. Peso del conductor, presión del viento y peso aparente.

Figura 19. Presentación de las distancias de diseño de la torre



Además contiene tres botones:

- Continuar con plantillado:

Lleva al siguiente módulo donde se carga la plantilla provisional.

- Ayuda

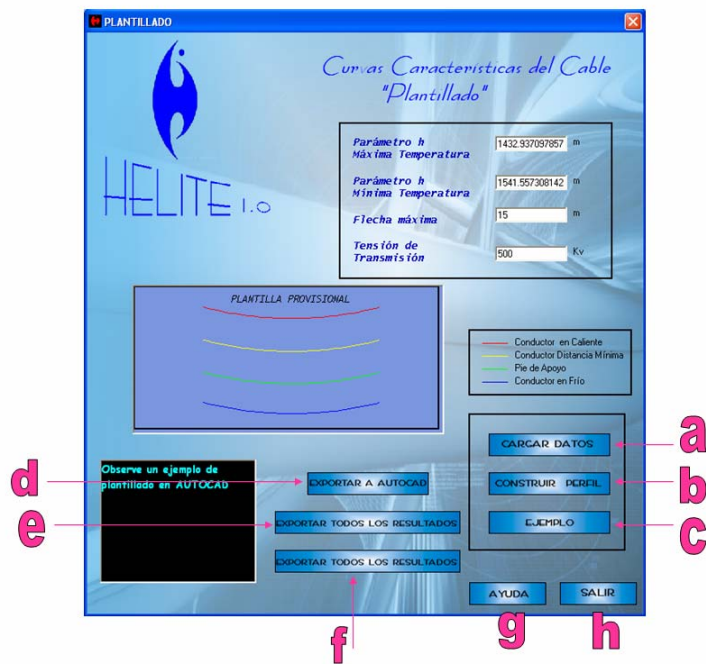
Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

- Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

PLANTILLADO

Figura 20. Módulo de plantillado nuevo proyecto



Es el módulo final de nuevo proyecto, desde él se pueden exportar los resultados a Excel y a Word y llevar la plantilla a AUTOCAD, consta de los siguientes botones:

a. Cargar datos

Al oprimir este botón se construye la plantilla provisional

b. Construir perfil

Lleva a un módulo adicional en el que el usuario puede construir el perfil del tramo a plantillar introduciendo la altura relativa de los puntos a graficar.

c. Ejemplo

Contiene un perfil plantillado y una plantilla, como muestra de los resultados que se pueden lograr.

d. Exportar a AUTOCAD

Una vez se ha construido la plantilla provisional se puede llevar a AUTOCAD en un plano que está a las escalas requeridas.

e. Exportar todos los resultados a MICROSOFT WORD

Lleva los datos de entrada y salida a un documento de Word, donde el usuario puede manejarlos a su antojo.

f. Exportar todos los resultados a MICROSOFT EXCEL

Lleva a Excel los datos que le permiten construir las curvas de tendido y de flecha

g. Ayuda

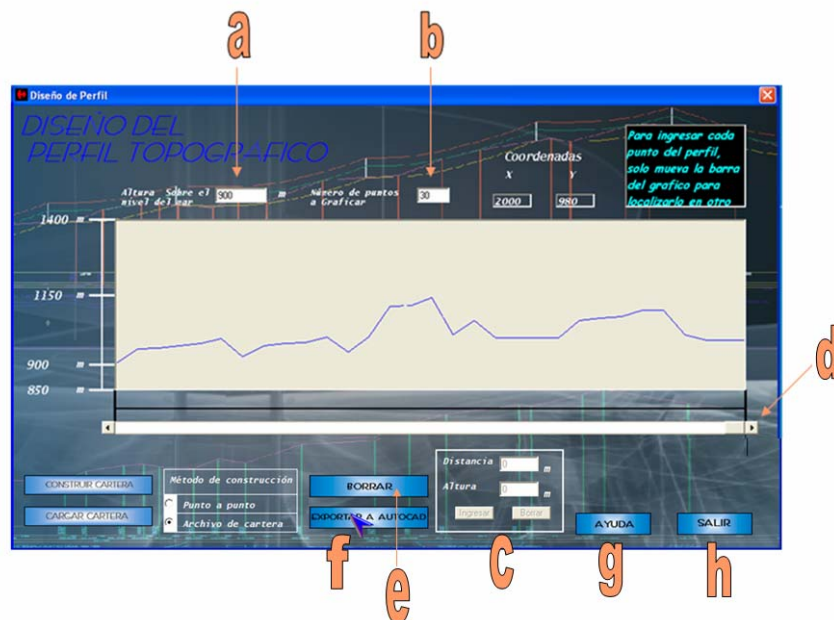
Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

h. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

CONSTRUCCIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO

Figura 21. Pantalla de construcción de perfil topográfico nuevo proyecto



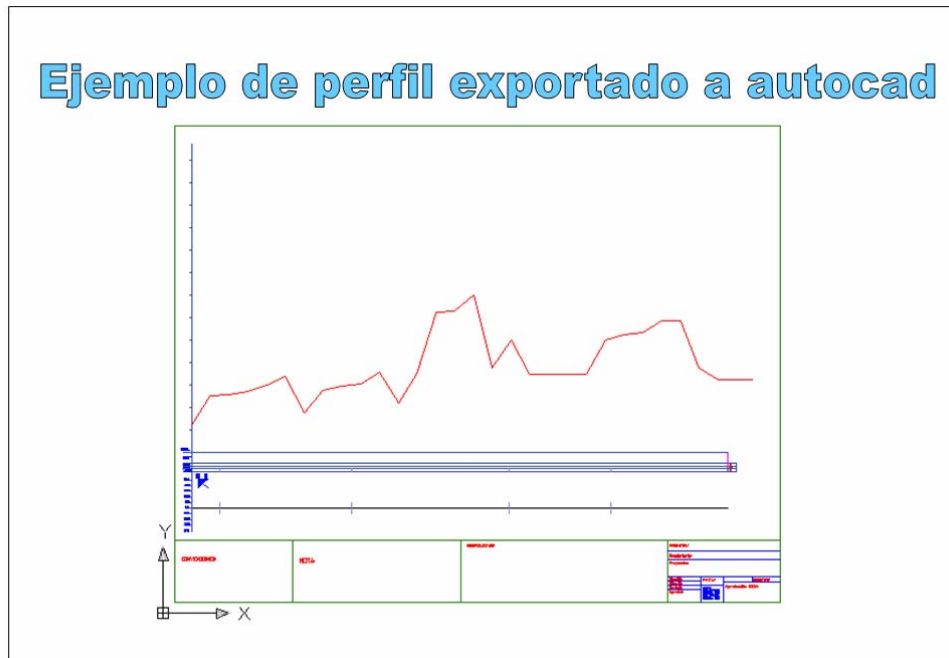
- a. Se introduce el valor de la altura de referencia o altura media de construcción de la línea.
- b. Se introducen el número de puntos a graficar. (El rotulo que contiene el plano posee capacidad para un tramo de 2km, las escalas son 1:2000 horizontal y 1:500 vertical).
- c. Se introduce el dato de la altura y se presiona ingresar si el dato es correcto, de lo contrario se pulsa borrar.
- d. Una vez se ingresa el dato del punto, se hace clic (una vez) sobre el extremo de la barra de desplazamiento, lo que permite ir construyendo punto a punto el perfil.
- e. Si los datos en su totalidad no son los deseados, se puede iniciar el proceso desde el primer paso.
- f. Cuando ya se han ubicado los puntos correspondientes al tramo se pulsa este botón que lleva los datos a AUTOCAD en un plano a las escalas normalizadas.
- g. Ayuda

Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

- h. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

Figura 22. Ejemplo de perfil topográfico construido en HELITE 1.0 y exportado a AUTOCAD



4.2 CÁLCULOS ELÉCTRICOS

En esta opción el usuario tiene la posibilidad de elaborar los cálculos eléctricos de un diseño y la configuración a utilizar (Conductor, disposición y distancias), una vez se ha hecho clic sobre este botón aparece el formulario de entrada de datos.

ENTRADA DE DATOS PARA CÁLCULOS ELÉCTRICOS

Figura 23. Formulario de entrada de datos para cálculos eléctricos

The screenshot shows a software window titled "CÁLCULOS ELÉCTRICOS" with the following elements:

- Inputs (left side):**
 - a:** Longitud de la Línea (km)
 - b:** Temperatura Media (°C)
 - c:** Altura Sobre el Nivel del Mar (m)
- Inputs (right side):**
 - f:** Potencia (MW)
 - g:** Frecuencia (Hz)
 - h:** Regulación (%)
 - i:** Pérdidas de Potencia (%)
 - j:** Factor de Potencia
 - k:** Factor de Seguridad
- Conductores en Haz:** Three diagrams showing different conductor arrangements.
- Distancias entre Fases:** A section with a "Disposición" dropdown menu and input fields for distances: D (m), d (m), H (m).
- Buttons:**
 - m:** CARGAR DATOS
 - n:** A large black rectangular area.
 - o:** Voltaje (500 KV)
 - p:** HELITE v.º
 - q:** CONTINUAR
 - r:** BORRAR
 - s:** SALIR
 - r:** ?

En este formulario se requiere que el usuario ingrese los siguientes datos:

Se deben introducir todas las distancias solicitadas para las diferentes configuraciones, desplazando el seleccionador por cada una de las 6 disposiciones y rellenando las casillas correspondientes a las distancias especificadas en las imágenes.

- a. Longitud de la línea en kilómetros
- b. Temperatura en grados centígrados
- c. Altura sobre el nivel del mar en metros
- d. Distancias entre conductores del haz en metros
- e. Tipo de conductor
- f. Potencia a transmitir en megawatts
- g. Frecuencia del sistema en hertz
- h. Regulación en por ciento
- i. Pérdidas de potencia en por ciento
- j. Factor de potencia
- k. Factor de seguridad
- l. Datos de las disposiciones
- m. Cargar datos

Una vez llenas todas las casillas (a-l) se procede a cargar los datos haciendo clic sobre el botón "Cargar Datos" para que el programa valide las entradas.

n. Pizarra

Esta sección brinda información al usuario acerca de la función de cada uno de los botones de la interfase de entrada de datos y las recomendaciones de la normatividad sobre los valores de las diferentes casillas.

o. Voltaje del sistema

Luego de cargar los datos, el programa presenta al usuario los resultados de aplicar los diferentes criterios de selección de voltaje de transmisión en la pizarra, para que éste escoja el que considere más conveniente entre los voltajes normalizados en el país.

p. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

q. Borrar

Este botón permite al usuario limpiar todos los datos ingresados en las diferentes casillas.

r. Ayuda

Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

s. Continuar

Al hacer clic sobre este botón se realizan los cálculos eléctricos y se muestra la pantalla de resultados, es habilitado únicamente después de cargar los datos.

RESULTADOS DE CÁLCULOS ELÉCTRICOS

Una vez se ha hecho clic sobre el botón continuar de la pantalla "Entrada de datos cálculos eléctricos" el programa realiza las operaciones necesarias y clasifica los resultados que cumplen las especificaciones requeridas, de menor a mayor en el peso total del conductor y enseña dicho resultado, acompañado de todos los datos de interés para el proyectista:

- a. Disposición.
- b. Número de conductores por fase.
- c. Regulación.
- d. Tensión corona.
- e. Pérdidas de potencia.
- f. Factor de seguridad.
- g. Datos del conductor.

h. Barra de resultados

Inicialmente se muestra al usuario la configuración menos pesada (conductor) de las que cumplen con los requerimientos del diseño, al desplazar la barra, se pueden visualizar las siguientes configuraciones que cumplen en orden ascendente en cuanto al peso total.

i. Exportar datos a Excel

Lleva todas las configuraciones que cumplen a un archivo de Microsoft Excel que puede ser manipulado por el usuario.

j. Ayuda

Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

k. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

4.3 CÁLCULOS MECÁNICOS

En esta opción el usuario tiene la posibilidad de elaborar los cálculos mecánicos de un diseño del que ya posee los datos eléctricos y la configuración a utilizar (Conductor, disposición y distancias), una vez se ha hecho clic sobre este botón aparece el formulario de entrada de datos.

ENTRADA DE DATOS CÁLCULOS MECÁNICOS

Figura 24. Formulario entrada de datos cálculos mecánicos

En este formulario se requiere que el usuario ingrese los siguientes datos:

- a. Conductor a utilizar
- b. Vano regulador a utilizar

c. Factores de seguridad

d. Velocidad del viento, temperatura y variación de temperatura para las diferentes hipótesis

e. Pizarra

Esta sección brinda información al usuario acerca de la función de cada uno de los botones de la interfase de entrada de datos y las recomendaciones de la normatividad sobre los valores de las diferentes casillas.

f. Cargar datos

Una vez llenas todas las casillas, se procede a cargar los datos haciendo clic sobre el botón "Cargar Datos" para que el programa valide las entradas.

g. Borrar

Este botón permite al usuario limpiar todos los datos ingresados en las diferentes casillas.

h. Salida

Este es un botón que al igual del botón ayuda, siempre está presente y permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

i. Ayuda

Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa y ofrecer documentación sobre el diseño de líneas.

j. Continuar

Al hacer clic sobre este botón se realizan los cálculos eléctricos y se muestra la pantalla de resultados, es habilitado únicamente después de cargar los datos.

RESULTADOS CÁLCULOS MECÁNICOS

Una vez se ha hecho clic sobre el botón continuar de la pantalla "Entrada de datos cálculos mecánicos" el programa realiza las operaciones necesarias y enseña el resultado con todos los datos que interesan al usuario:

j. Flechas

k. Esfuerzos en los apoyos

l. Parámetros H y h

m. Factor de sobrecarga

n. Tabla de tendido

o. Curvas de tensiones de tendido

p. Curvas de flechas de tendido

4.4 AISLADORES

En este módulo del programa se realizan los cálculos de la cadena de aisladores (esfuerzos y distancias) requiriendo del usuario, la introducción de los datos del tipo de aislador a utilizar, trae preestablecidos los datos del aislador de vidrio de 10" referencia ANSI 52-3. (Ver figura 15)

Se puede escoger una de dos metodologías para realizar el cálculo del número de aisladores (Americana o grado de aislamiento).

4.5 DISEÑO DEL CABLE DE GUARDA

En esta opción el usuario tiene la posibilidad de elaborar los cálculos mecánicos del cable de guarda y obtener su ubicación en la torre para un diseño del que ya posee los datos eléctricos, la configuración a utilizar (Conductor, disposición y distancias) y los cálculos mecánicos, una vez se ha hecho clic sobre este botón aparece el formulario de entrada de datos. (Ver figuras 16, 17 y 18)

ENTRADA DE DATOS PARA EL DISEÑO DEL CABLE DE GUARDA

En este formulario se requiere que el usuario ingrese los siguientes datos:

d. Conductor a utilizar

- e. Temperatura para las hipótesis
- f. Variación de temperatura para las diferentes hipótesis
- g. Velocidad del viento para las diferentes hipótesis
- h. Factores de seguridad
- i. Vano regulador a utilizar
- j. Disposición
- k. Voltaje crítico de flameo
- l. Distancia mínima al terreno
- m. Flecha máxima del conductor de fase

4.6 TORRES TIPO

Al seleccionar este botón se muestra al usuario las diferentes estructuras tipo, con las que el programa modela cada configuración.

4.7 PLANTILLADO

En este submenú el programa ofrece la opción de dibujar el perfil topográfico de un tramo de la línea, introduciendo los puntos de taquimetría requeridos, además

entrega las plantillas para el diseño determinado y exporta estos datos a AUTOCAD, posee también un ejemplo de plantillado ya terminado. (Ver figura 20)

4.8 BOTÓN AYUDA

Permite visualizar el archivo que tiene como finalidad guiar al usuario en el manejo del programa.

4.9 BOTÓN ACERCA DE HELITE 1.0

Corresponde al segundo botón ubicado en la zona de MENÚ DE INFORMACIÓN, brinda información al usuario acerca de los autores del programa, director del proyecto, también da a conocer características propias del programa así como las restricciones del mismo sobre su uso, reproducción y comercialización.

4.10 SALIDA

Este es un botón que permite al usuario abandonar el módulo en el momento que lo requiera.

4.11 ATAJOS EN LA INTERFASE PRINCIPAL

Tabla 4. Atajos en la interfase principal de HELITE 1.0

TECLA	FUNCIÓN
r	Abre el PDF que contiene el RETIE
c	Abre la base de datos de los conductores
e	Abre los cálculos eléctricos para un sólo conductor
d	Abre cálculos mecánicos para vanos desnivelados
v	Cálculo del vano regulador
F1	Abre la ayuda de HELITE 1.0

5 CONCLUSIONES

- HELITE 1.0 (HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA) es una herramienta software para realizar el diseño líneas de transmisión que permite apoyar tanto a profesores, estudiantes y profesionales del área, en el aprendizaje, comprensión, cálculo e interpretación de sus propios diseños.
- A través de HELITE 1.0 se puede realizar el proceso de cálculo de cada uno de los elementos de diseño de una línea.
- Las verificaciones casi inmediata del cumplimiento del prediseño propuesto por el usuario, lo orienta a realizar una modificación en el diseño en el caso de no cumplir con los requerimientos.
- La generación de gráficos y archivos en programas como Word y Excel ofrece al usuario una mayor utilidad de los resultados al permitir la manipulación e impresión de los mismos para la presentación final de informes.
- Las ayudas de mensajes en pantalla y las validaciones en casillas para la corrección de datos que han sido introducidos de forma incorrecta o que son inconsistentes, son un soporte para el estudiante con el cual se puede garantizar la obtención de diseños de acuerdo a la normatividad colombiana.
- El ingreso de los datos en este software se hace de una manera sencilla y orientada por medio de una serie de ayudas que se presentan durante el uso del programa, haciendo de éste un software pedagógico.

- ✦ HELITE 1.0 se diseñó de acuerdo al programa académico del área de Diseño de Sistemas de Transmisión y Distribución de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.
- ✦ La herramienta se desarrolló con el fin de disminuir el tiempo invertido en los procesos de cálculo para poder utilizarlo en el análisis del diseño, interpretación de resultados y estudio de alternativas.

6 RECOMENDACIONES

- Para utilizar HELITE 1.0 de manera óptima, se recomienda leer el manual de usuario que se encuentra en la carpeta de soportes del programa.
- Para posteriores versiones de HELITE se recomienda:
 - Implementar el software en el web, para que los estudiantes puedan acceder a él desde cualquier lugar.
 - Desarrollar una versión que se pueda implementar en una agenda electrónica tipo PALM.
 - Que HELITE se acople a un módulo de análisis de flujo de potencias y estudio de fallas.
 - Agregar :
 - Ubicación óptima de torres.
 - Facilitar la elección del corredor que transitará la línea.
 - Cálculo y coordinación de protecciones.
 - Extraer perfil topográfico de fotos satelitales, mapas de nivel o archivos GPS.
 - Plantillado automático.
 - Cálculos del sistema de puesta a tierra

BIBLIOGRAFÍA

- AUTODESK, Inc. AUTOCAD 2005. Version N.63.0. World Wide ,2005
- *BAUTISTA PÉREZ MIGUEL ÁNGEL, ORTEGA NÉSTOR RAÚL, Software de Cálculos Eléctricos y Mecánicos en líneas de Transmisión*, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 1991.
- CHECA LUÍS M, *Líneas de Transporte de Energía*, Alfaomega-Marcombo,4ª Edición, España, 2000.
- *Curso de Diseño de Líneas de Transmisión y Estaciones Transformadoras (INGENIERÍA ELECTRICISTA PLAN 1988 ASIGNATURA 558)*, Facultad de ingeniería - Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 1991 - 1992.
- *GÓMEZ RICO CARLOS MARÍA, Curso de Líneas Aéreas de Transmisión*, Universidad Industrial de Santander, *Colombia*, 1985.
- *GÖNEN TURAN, Electric power transmission system engineering*, john wiley & sons, *Wiley-interscience, USA*, 1988.
- *JACOBSON IVAR, BOOCH GRADY, RUMBAUGH JAMES*, *El lenguaje de Modelado Unificado*, *Addison Wesley, España*, 2000.
- *JACOBSON IVAR, BOOCH GRADY, RUMBAUGH JAMES*, *El proceso Unificado de Desarrollo de Software*, *Addison Wesley, España*, 2000.

- *JURADO JEREZ, CIRO, Apuntes de Clase, Sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, UIS, 2004.*
- *KENDALL KENNETH, KENDALL JULIE, Análisis y diseño de Sistemas, Tercera edición, Prentice Hill, México, 1997.*
- *LEÓN GARCÍA JAIRO, Criterios Básicos para el Diseño de Líneas de Transmisión de Alto Voltaje, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 1983.*
- *PRESSMAN ROGER, Ingeniería del Software, Un enfoque práctico, McGraw Hill, España., 2000.*
- *VAQUERO ANTONIO, Microsoft Visual Basic 6.0.Manual del Programador, McGraw Hill, España, 1998.*

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [UNL,01], Curso de Diseño de Líneas de Transmisión y Estaciones Transformadoras (INGENIERÍA ELECTRICISTA PLAN 1988 ASIGNATURA 558), Facultad de ingeniería - Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 1991 - 1992.
- [STD,02], *JURADO JEREZ, CIRO, Apuntes de Clase, Sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, UIS, 2004.*
- [SCL, 03], *BAUTISTA PÉREZ MIGUEL ÁNGEL, ORTEGA NÉSTOR RAÚL, Software de Cálculos Eléctricos y Mecánicos en líneas de Transmisión, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 1991.*
- [EPT, 04], *GÖNEN TURAN, Electric power transmission system engineering, john wiley & sons, Wiley-interscience, USA, 1988.*
- [LTE,05], CHECA LUÍS M, Líneas de Transporte de Energía, Alfaomega-Marcombo, 4ª Edición, España, 2000.
- [AYD,06], KENDALL KENNETH, KENDALL JULIE, Análisis y diseño de Sistemas, Tercera edición, Prentice Hill, México, 1997.
- [LMU,07], *JACOBSON IVAR, BOOCH GRADY, RUMBAUGH JAMES, El lenguaje de Modelado Unificado, Addison Wesley, España, 2000.*

- [VB6,08], VAQUERO ANTONIO, *Microsoft Visual Basic 6.0.Manual del Programador*, McGraw Hill, Interamericana de España S.A., 1998.
- [AH5,09], AUTODESK, Inc. AUTOCAD 2005. versión N.63.0. World Wide, 2005

ANEXO A

DESARROLLO MATEMÁTICO¹

A.1 CÁLCULOS ELÉCTRICOS

Tabla A.1. Criterios de selección de voltaje

Criterios de selección de voltaje para líneas de transmisión	
Criterio	Voltaje [kV]
Still	$V_L = 5.5 * \sqrt{\left(\frac{L}{1.609} + \frac{P_{3\phi}}{100}\right)}$
Lalander	$V_L = 4.4 * \left(\frac{P_{3\phi}}{1000}\right)^{0.45} * [Ln(L) - 1.9]$
Hefner	$V_L = \sqrt{(10^{-3} * P_{3\phi} * L)}$

En donde L es la longitud de la línea en km y P es la potencia a transmitir en kW.

¹ Este anexo se realizó combinando información encontrada en [STD,02], [SCL,03], [EPT,04] y [LTE,05]

A.1.1 CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DE LA LÍNEA

Una vez se ha escogido el nivel de tensión al que se trabajará, se toman los posibles conductores y el número de haces, se extraen de las tablas del fabricante el calibre (mm), diámetro (mm), área (mm²), radio medio geométrico (mm), resistencia (Ω/km), reactancia inductiva (Ω/km) y capacidad de corriente (A), con estos datos se procede a realizar los cálculos, teniendo en cuenta que:

r_c : Resistencia en [Ω/Km] del Conductor

n : Número de Conductores del Haz.

m : Número de Circuitos.

RMG: Radio medio geométrico propio del conductor [cm]

d : Distancia entre conductores del haz. [cm]

r : Radio del Conductor [cm]

D_m : Distancia media geométrica mutua. [m]

A.1.1.1 RESISTENCIA POR UNIDAD DE LONGITUD

$$r_L = \frac{r_c}{n \cdot m} \left(\frac{\Omega}{Km} \right)$$

A.1.1.2 DISTANCIA EQUIVALENTE MUTUA

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} \quad [\text{m}]$$

A.1.1.3 DISTANCIA MEDIA GEOMÉTRICA INDUCTIVA PROPIA

Para un conductor por fase: $D_s^h = RMG$ [cm]

Para dos conductores por fase: $D_s^h = \sqrt[2]{d \cdot RMG}$ [cm]

Para tres conductores por fase: $D_s^h = \sqrt[3]{d^2 \cdot RMG}$ [cm]

Para cuatro conductores por fase: $D_s^h = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot d^3 \cdot RMG}$ [cm]

A.1.1.4 DISTANCIA MEDIA GEOMÉTRICA CAPACITIVA PROPIA

Para un conductor por fase: $D_s^c = r$ [cm]

Para dos conductores por fase: $D_s^c = \sqrt[2]{d \cdot r}$ [cm]

Para tres conductores por fase: $D_s^c = \sqrt[3]{d^2 \cdot r}$ [cm]

Para cuatro conductores por fase: $D_s^c = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot r \cdot d^3}$ [cm]

A.1.1.5 DISTANCIA MEDIA GEOMÉTRICA MUTUA

$$Dm = D\sqrt[3]{2} \text{ [m]}$$

A.1.1.6 INDUCTANCIA POR FASE

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \ln\left(\frac{Dm}{D_s^h}\right) \text{ (H/m/fase)}$$

$$L = 2 \cdot 10^{-4} \ln\left(\frac{Dm}{D_s^h}\right) \text{ (H/km/fase)}$$

A.1.1.7 REACTANCIA INDUCTIVA

$$x_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \left[\frac{\Omega}{Km} \right] \text{ por fase}$$

$$x_L = 0.0754 \cdot Ln\left(\frac{D_{eq}}{D_s^h}\right) \left[\frac{\Omega}{Km} \right] \text{ por fase}$$

A.1.1.8 CAPACITANCIA POR FASE

$$C = \left(18 \cdot 10^9 \cdot \ln\left(\frac{Dm}{D_s^c}\right) \right)^{-1} \text{ (F/m/fase)}$$

$$C = \left(18 \cdot 10^9 \cdot \ln \left(\frac{D_m}{D_s^c} \right) \right)^{-1} \cdot 1000 \quad (\text{F/km/fase})$$

A.1.1.9 REACTANCIA CAPACITIVA

$$x_c = \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \right) [M\Omega \cdot Km] \text{ por fase}$$

$$x_c = 0.047 \cdot \ln \left(\frac{D_{eq}}{D_s^c} \right) [M\Omega \cdot Km] \text{ por fase}$$

A.1.1.10 SUCEPTANCIA CAPACITIVA

$$B = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C = \frac{1}{x_c} \left[\frac{S}{km} \right] \text{ Por fase.}$$

A.1.1.11 CONDUCTANCIA O PERDITANCIA

$$G_K = \frac{P_p}{V^2} \cdot 10^{-3} \left[\frac{S}{km} \right] \text{ Por fase.}$$

Donde:

P_p Pérdidas de potencia en kilovatios por kilómetro [kW/km]

V Tensión por fase en KV

A.1.1.12 IMPEDANCIA SERIE POR UNIDAD DE LONGITUD POR FASE

$$\bar{z} = r + jx_L \left[\frac{\Omega}{Km} \right]$$

A.1.1.13 ADMITANCIA EN PARALELO POR UNIDAD DE LONGITUD POR FASE A NEUTRO

$$\bar{y} = G + jB \left[\frac{S}{km} \right]$$

A.1.1.14 IMPEDANCIA SERIE TOTAL POR FASE

$$\bar{Z} = \bar{z} \cdot l = R \cdot l + jx_L \cdot l = R + jX_L \quad [\Omega]$$

$$\bar{Z} = \left(\sqrt{R^2 + X_L^2} \angle \tan^{-1} \frac{X_L}{R} \right) \quad [\Omega]$$

$$\bar{Z} = (|Z| \angle \theta_z) \quad [\Omega]$$

A.1.1.15 ADMITANCIA EN PARALELO TOTAL POR FASE AL NEUTRO

$$\bar{Y} = \bar{y} \cdot l = G \cdot l + jB \cdot l = G + j \frac{1}{X_C} \quad [\Omega]$$

A.1.1.16 IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA

$$\bar{Z}_c = \sqrt{\frac{\bar{z}}{\bar{y}}} \quad [\Omega]$$

A.1.1.17 CONSTANTE DE PROPAGACIÓN

$$\bar{\gamma} = \sqrt{\bar{z} \cdot \bar{y}} \quad (\text{Neper/km})$$

$$\bar{\gamma} = \alpha + j\beta$$

A.1.1.18 CONSTANTE DE AMORTIGUAMIENTO Y DE FASE

De la constante de propagación se desprende que:

α Constante de amortiguamiento de la línea

β Constante de fase de la línea

A.1.1.19 LONGITUD DE LA ONDA

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi}{\beta} = \frac{l}{f \cdot \sqrt{L \cdot C}} \left[\frac{km}{ciclo} \right]$$

A.1.1.20 VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\beta} = \frac{l}{\sqrt{L \cdot C}} \left[\frac{km}{s} \right]$$

A.1.1.21 PARÁMETROS A B C D (MODELO DE LÍNEA LARGA)

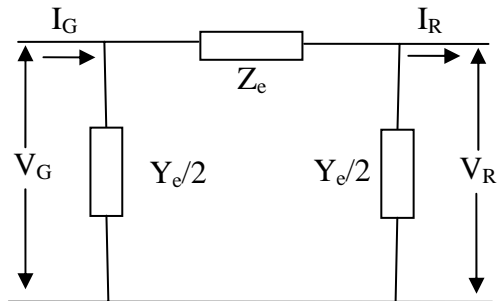
$$\bar{A} = \cosh(\gamma \cdot l)$$

$$\bar{B} = Z_c \cdot \sinh(\gamma \cdot l) \quad [\Omega]$$

$$\bar{C} = \frac{\sinh(\gamma \cdot l)}{Z_c} \quad [S]$$

$$\bar{D} = \bar{A}$$

Figura A.1. Equivalente π



A.1.1.22 EQUIVALENTE π

$$\bar{Z}_e = \bar{Z}_c \cdot \operatorname{senh}(\gamma \cdot l) \quad [\Omega]$$

$$\frac{\bar{Y}_e}{2} = \frac{1}{\bar{Z}_c} \cdot \tanh\left(\frac{\gamma \cdot l}{2}\right)$$

A.1.1.23 PARÁMETROS DEL GENERADOR

$$\bar{V}_g = \bar{A} \cdot \bar{V}_R + \bar{B} \cdot \bar{I}_R \quad \text{Tensión de fase}$$

$$\bar{I}_g = \bar{C} \cdot \bar{V}_R + \bar{D} \cdot \bar{I}_R \quad \text{Corriente de fase}$$

$$\bar{S}_g = 3 \cdot \bar{V}_g \cdot \bar{I}_g^* \quad \text{Potencia Generador}$$

$$\bar{S}_g = (|S_g| \angle \varphi_g) \quad \text{Potencia Generador}$$

$$fp_g = \cos(\varphi_g)$$

Factor de Potencia Generador

A.1.1.24 PÉRDIDAS DE POTENCIA PORCENTUAL

$$Pp_{\%} = \frac{Pg - Pr}{Pr} * 100\%$$

A.1.1.25 REGULACIÓN PORCENTUAL

$$\delta_{\%} = \left(\frac{|\overline{V_g}|}{|A| * |V_r|} - 1 \right) * 100$$

A.1.1.26 EFICIENCIA PORCENTUAL

$$\eta_{\%} = 100 * \frac{P_g - P_r}{P_g}$$

A.1.2 EFECTO CORONA

Para cálculos de pérdidas por efecto corona se requiere:

A.1.2.1 GRADIENTE CRÍTICO SUPERFICIAL

- Según Peek el gradiente superficial se da por la siguiente expresión:

$$g_o = 21.1 \cdot \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{r}}\right) [KV_{RMS} / cm]$$

En donde: $r = \text{Radio del conductor en cm.}$

- Según el instituto Chevilly de electricidad de Francia el valor de g_o es el siguiente:

$$g_o = 30 \cdot (1 - 0.07 \cdot r) [KV_{RMS} / cm]$$

- Según la investigaciones de Peterson el gradiente superficial varía en proporción directa de $\delta^{2/3}$:

$$g_o = 30 \cdot (1 - 0.07 \cdot r) \cdot \delta^{2/3} \cdot m_c [KV_{RMS} / cm]$$

A.1.2.2 TENSIÓN CRÍTICA DISRUPTIVA

Según Peek se presentará efecto corona si la Tensión de la Línea sobrepasa la siguiente tensión crítica:

$$V_c = \frac{29.8 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{2}} \cdot m_c \cdot m_T \cdot \delta \cdot r \cdot n \cdot Ln \frac{D_{eq}}{r'} [KV]$$

En donde:

V_c Tensión crítica eficaz en KV debido al arreglo que presenta la línea.
Para cualquier tensión por encima de esta se presenta efecto corona.

29.8 Valor en KV/cm. de la rigidez dieléctrica del aire a 25°C de temperatura y a una presión atmosférica de 76 cm. de la columna de mercurio.

m_c Coeficiente de rugosidad del conductor ($m_c = m_f \times m_s$)

δ Factor de corrección de la densidad del aire.

r Radio exterior del conductor en cm.

n Número de conductores en haz.

D Distancia entre ejes de conductores de fase.

r' Radio ficticio del conductor en cm.

a) Para el caso de líneas monofásicas:

$$g_o = 18 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{q}{r} \right) [V_{RMS} / m]$$

$$V_L = 36.6 \cdot 10^9 \cdot q \cdot \ln \left(\frac{D}{r} \right) [V_{RMS}]$$

b) Para el caso de líneas trifásicas sencillas:

$$g_o = 30 \cdot m_s \cdot m_f \cdot \delta^{2/3} \cdot (1 - 0.07 \cdot r) \quad [kV_{R.M.S} / cm]$$

$$V_c = 30 \cdot m_s \cdot m_f \cdot \delta^{2/3} \cdot r \cdot (1 - 0.07 \cdot r) \cdot \ln\left(\frac{DMG}{r}\right) \quad [kV_{R.M.S}]$$

c) Para el caso de líneas trifásicas con conductores en haz:

$$g_o = 30 \cdot m_s \cdot m_f \cdot \delta^{2/3} \cdot (1 - 0.07 \cdot r) \cdot \left(1 - \frac{(n-1) \cdot r}{R}\right) \quad [kV_{R.M.S} / cm]$$

$$V_c = 30 \cdot m_s \cdot m_f \cdot \delta^{2/3} \cdot n \cdot r \cdot (1 - 0.07 \cdot r) \cdot \left(1 - \frac{(n-1) \cdot r}{R}\right) \cdot \ln\left(\frac{DMG}{r}\right) \quad [kV_{R.M.S}]$$

En donde:

m_c Coeficiente de rugosidad del conductor ($m_c = m_f \times m_s$)

m_T Coeficiente atmosférico del conductor

δ Factor de corrección de la densidad del aire.

r Radio exterior del conductor en cm.

n Número de conductores en haz.

DMG Distancia media geométrica entre ejes de conductores de fase.

R Radio del círculo circunscrito entre el haz de conductores en cm.

A.1.2.3 COEFICIENTE DE SEGURIDAD

$$C_s = \frac{V_c}{V_{n_{rms}}}$$

A.1.2.4 PÉRDIDAS DE POTENCIA POR EFECTO CORONA

Según Peek las pérdidas pueden ser calculadas de la siguiente forma:

$$P = \frac{241}{\delta} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{D}} \cdot (V - V'_c)^2 \cdot 10^{-5} [\text{Kw/Km/fase}]$$

En donde:

P Pérdidas por conductancia en Kw/Km.

f Frecuencia en ciclos por segundo (Hz)

V Tensión de fase máxima de la línea en KV. $V = (1.1 \cdot V_L / \sqrt{3})$

V'_c Tensión critica disruptiva por fase. $V'_c = (V_c / \sqrt{3})$

También pueden ser calculadas en función del coeficiente de seguridad:

$$P = \frac{111.13 \cdot 10^{-6} \cdot f \cdot V_f^2 \cdot F}{\left(\ln \frac{DMG}{r} \right)^2} [\text{Kw/Km/fase}]$$

En donde:

P Pérdidas por conductancia en Kw/Km.

f Frecuencia en ciclos por segundo (Hz)

V Tensión de fase máxima de la línea en KV. $V = (1.1 \cdot V_L / \sqrt{3})$

Tabla A.2. Coeficientes de seguridad para tensión corona

Vn/Vc	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.5	2	10
F	0.011	0.014	0.018	0.025	0.036	0.053	0.085	0.150	0.95	7	28

Se asume un KW por Km y por conductor como pérdidas admisibles, Vn es el voltaje nominal.

A.1.2.5 RADIO FICTICIO DEL CONDUCTOR (Efecto corona)

Para un conductor por fase: $r' = r$ [cm]

Para dos conductores por fase: $r' = \sqrt[2]{d \cdot r}$ [cm]

Para tres conductores por fase: $r' = \sqrt[3]{d^2 \cdot r}$ [cm]

Para cuatro conductores por fase: $r' = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot r \cdot d^3}$ [cm]

En donde:

- r Radio exterior del conductor en cm.
- d Distancia entre los conductores del haz.

A.1.2.6 COEFICIENTE DE ESTADO DEL CONDUCTOR (m_s)

Tabla A.3. Coeficientes de estado del conductor

COEFICIENTE DE ESTADO DEL CONDUCTOR (m_s)	
<i>Cables limpios envejecidos.</i>	0.9
<i>Cables nuevos.</i>	0.8
<i>Cables sucios o engrasados.</i>	0.7
<i>Cables recubiertos de gotas de agua.</i>	0.85 - 0.3

A.1.2.7 COEFICIENTE DE GEOMETRÍA DEL CONDUCTOR (m_f)

Tabla A.4. Coeficientes de geometría del conductor

COEFICIENTE DE GEOMETRÍA DEL CONDUCTOR (m_f)	
<i>Conductores de sección circular</i>	1
<i>Cables con 6 hilos en su capa exterior</i>	0.85
<i>Cables con 12 -30 hilos en su capa exterior</i>	0.9

A.1.2.8 COEFICIENTE METEREOLÓGICO (m_T)

Tabla A.5. Coeficientes de clima

COEFICIENTE DE CLIMA(m_T)	
Tiempo seco	1
Tiempo lluvioso	0.8

A.1.2.9 FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE (δ)

$$\delta = \left(\frac{273 + 25}{76} \right) \cdot \left(\frac{h}{273 + \theta} \right) = \frac{3.926 \cdot h}{273 + \theta}$$

$$\ln(h) = \left(\ln(76) - \frac{y}{7963} \right) = x$$

$$h = e^x \text{ [cm]}$$

h Presión barométrica en centímetros de la columna de mercurio

θ Temperatura media en grados centígrados correspondiente a la longitud del punto

y Altura en metros sobre el nivel del mar.

A.1.3 CÁLCULO DE LOS AISLADORES

A.1.3.1 TENSIÓN MÁXIMA SEGÚN LA NORMA IEEE*

Tabla A.6. Tensión máxima según la IEEE

V_L [kV]	3	6	10	15	20	30	45	66	90	115	132	160	220	380	500	700
V_{max} [kV]	3.6	7.2	12	17.5	24	36	52	72.5	100	123	145	170	245	420	525	765

A.1.3.2 GRADOS DE AISLAMIENTO

Tabla A7. Grados de aislamiento de acuerdo a la zona*

Zonas	Grados de aislamiento	
Forestales y Agrícolas	1,9	[cm/KV]
Industriales y Próximas al mar	2,5	[cm/KV]
Industriales y muy próximas al mar	3,2	[cm/KV]
Fabricas de productos Químicas , Centrales Térmicas	3,2	[cm/KV]

* IEEE Std 998-1996

* Norma IEC 71-2

A.1.3.3 NÚMERO DE AISLADORES

A.1.3.3.1 TENIENDO EN CUENTA EL GRADO DE AISLAMIENTO

Para el cálculo del número de aisladores se tiene que:

$$N_{ais} = \frac{V_{max} \cdot Ga}{Lf}$$

Donde:

V_{max} Voltaje máximo de la línea según la IEEE [kV]

Ga Grado de Aislamiento [cm/Kv]

Lf Línea de fuga del aislador [cm.]

A.1.3.3.2 SEGÚN LA NORMA AMERICANA

$$N_{ais} = \frac{V_L}{G_a \cdot L_{Fa}}$$

Donde:

G_a Grado de aislamiento, contaminación ligera [cm/Kv]

V_L Voltaje de Línea [kV]

L_{fa} Línea de fuga del aislador [cm.]

A.1.3.3.3 SEGÚN EL NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO

$$N_{ais} = \frac{BIL_{ns}}{BIL_{sa}}$$

$$BILs = BILns/\delta$$

Donde:

N_{ais} Número de aisladores

BIL_{ns} Nivel básico de aislamiento no estándar [KV]

BIL_{sa} Nivel básico de aislamiento para un aislador. [KV]

BIL_s Nivel básico de aislamiento estándar para V_L [KV]

(δ) Factor de corrección de la densidad del aire

A.1.3.4 LONGITUD DE LA CADENA DE AISLADORES

$$\lambda = (N_{ais} \cdot \lambda_a) + \lambda_e$$

Donde:

N_{ais} Número de aisladores.

λ_a Longitud de un aislador [cm]

λ_e Longitud de los herrajes [cm]

A.1.3.5 NÚMERO DE AISLADORES REQUERIDO POR SOBRETENSIONES POR MANIOBRA

El número de aisladores para soportar las sobretensiones de maniobra se puede determinar de manera estadística considerando los diferentes eventos de manera probabilística, lo cual se puede realizar utilizando programas como el ATP el cual permite realizar simulaciones de maniobra de tipo estadístico.

A.1.3.6 AISLAMIENTO POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

El nivel de aislamiento se debe verificar para descargas atmosféricas, ya que se pueden producir flameos entre la torre y el conductor. Para determinar el número de aisladores por descargas atmosféricas se define una rata de salidas de la línea por cada 100 km y por año. Este criterio es de cada empresa, pero es aceptado un valor de 3 salidas/100 km*año. La cantidad de aisladores requeridos es muy dependiente del valor de la puesta a tierra de la torre y de la densidad de descargas en la zona.

De acuerdo a la resolución 098 de 2000 emanada de la CREG y por la cual se modifica el Anexo CC1 del Código de Conexión (Resolución 025 de 1995), en lo que se refiere al aislamiento dice: “El dimensionamiento eléctrico de las estructuras se debe definir mediante combinación de las distancias mínimas correspondientes a las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas, a las sobretensiones de maniobra y a las sobretensiones de frecuencia industrial. En caso de usarse estructuras de otro diseño disponible por el transportador, se deberá demostrar que el dimensionamiento eléctrico satisface las condiciones de aislamiento exigidas para la región en donde se va construir la nueva línea. Para evaluar el comportamiento ante descargas eléctricas atmosféricas se debe considerar como parámetro de diseño un máximo de tres salidas por cada 100 km de línea por año. El comportamiento de la línea ante sobretensiones de maniobra se debe realizar evaluando el riesgo de falla del aislamiento, permitiéndose una (1) falla por cada cien (100) operaciones de maniobra de la línea. El comportamiento de la línea ante sobretensiones de frecuencia industrial, deberá asegurar su permanencia en servicio continuo. No se permite el uso de pararrayos de carburo silicio en ningún punto como protección de las nuevas líneas de transmisión.”

A.1.3.7 PESO DE LA CADENA DE AISLADORES

$$Q = (N_{ais} \cdot Q_a) + Q_e$$

Donde:

N_{ais} Número de aisladores

Q_a Peso de cada aislador [kg]

Q_e Peso de los herrajes [kg]

A.1.3.8 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA CADENA DE AISLADORES

Para el vano regulador escogido, el peso por conductor que soporta cada cadena de aisladores es:

$$P_{cond} = a_r \cdot n \cdot P_c$$

Donde:

n Número de conductores en haz por fase.

P_c Peso de cada conductor que hace parte del haz [kg/m]

a_r Vano regulador [m]

P_{cond} Peso del haz de conductores entre vanos.

Entonces, el peso total que soporta la cadena de aisladores será:

$$W_t = P_{cond} + Q$$

Por lo tanto, el factor de seguridad, para el aislador estará dado por:

$$F_s = \frac{W_r}{W_t}$$

Este factor de seguridad debe ser mayor que el factor de seguridad mínimo.

La presión del viento sobre la cadena de aisladores dada por:

$$Q_v = 0.0059 \cdot d_{ais} \cdot V_v^2 \cdot \lambda \quad [kg]$$

Donde:

d_{ais} Diámetro del aislador [m]

V_v Velocidad del viento máx. (Hip A) [km/h]

λ Longitud de la cadena de aisladores [m].

La presión del viento ejercida por el conductor está dada por:

$$P_v = 4.24 \cdot 10^{-3} \cdot V_v^2 \cdot d \cdot a_r \cdot n \quad [kg/m]$$

Donde:

d Diámetro del conductor [m]

S Sección del conductor [mm]

V_v Velocidad del viento máx. (Hip A) [km/h]

n Número de conductores en haz por fase.

A.1.3.9 CÁLCULO DEL ÁNGULO DE LA CADENA DE AISLADORES PARA MÁXIMA VELOCIDAD DEL VIENTO

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{Q_V + 2 \cdot P_V}{Q + 2 \cdot P} \right)$$

Donde:

Q Peso de los aisladores [kg]

Q_V Presión del viento sobre la cadena de aisladores [kg]

P_V Presión del viento sobre el conductor (hipótesis A) [kg/m]

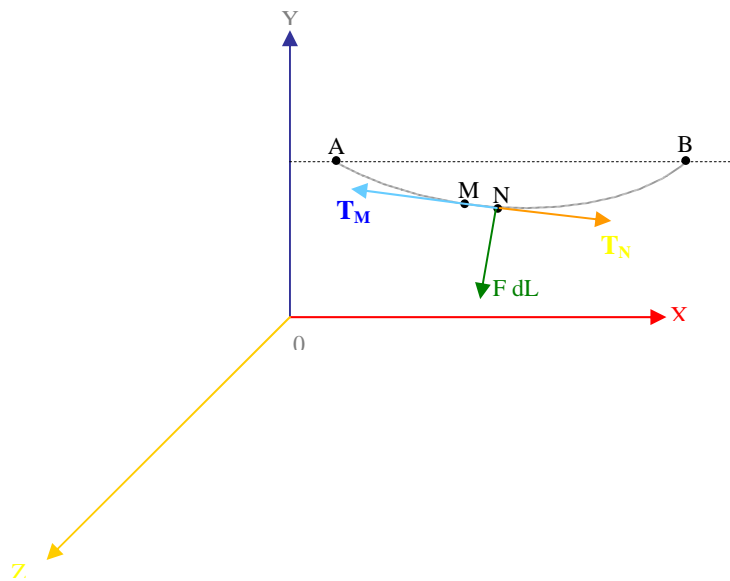
P_C Peso del conductor. [Kg]

A.2 CÁLCULOS MECÁNICOS EN CABLES

A.2.1 ECUACIÓN GENERAL

Sea AB, el cable tendido entre dos puntos A y B al mismo nivel. El cable AB tiene un peso determinado (W , kg/m) por unidad de longitud. Si consideramos dos puntos cercanos M y N, separados por una distancia MN en la curva que hace el cable tendido y si se designa a $d\mathbf{l}$ como dicho elemento, entonces, se tiene que:

Figura A.2. Cable tendido entre dos puntos al mismo nivel



TM Tensión mecánica en M

.

TN Tensión mecánica en N.

L Longitud del cable tendido

Fdl Resultante de las fuerzas exteriores que actúan sobre dicho elemento del cable.

Si el elemento MN, del cable tendido AB se halla en equilibrio, las fuerzas que se le aplican tienen una suma vectorial igual a cero, luego:

$$\sum F = 0 \quad (1)$$

$$TN - TM + FdL = 0 \quad (2)$$

Si se toman las componentes a lo largo de los ejes se tendrá que:

Componentes de TM T_x, T_y y T_z

Componentes de TN $T_x + dT_x, T_y + dT_y, T_z + dT_z$

Componentes de F F_x, F_y y F_z

Haciendo tender dL a cero, la igualdad vectorial en las proyecciones de los tres ejes nos proporciona el siguiente conjunto de ecuaciones:

$$Tx + dTx - Tx + FxdL = 0 \quad (3)$$

$$Ty + dTy - Ty + FydL = 0 \quad (4)$$

$$T_z + dT_z - T_z + F_z dL = 0 \quad (5)$$

Simplificando se obtiene:

$$dT_x + F_x dL = 0 \quad \frac{dT_x}{dL} + F_x = 0 \quad (6)$$

$$dT_y + F_y dL = 0 \quad \frac{dT_y}{dL} + F_y = 0 \quad (7)$$

$$dT_z + F_z dL = 0 \quad \frac{dT_z}{dL} + F_z = 0 \quad (8)$$

Cuando dL tiende a cero, TM es tangente a la curva y se tiene que:

$$T_x = TM \frac{dx}{dL} \quad (9)$$

$$T_y = TM \frac{dy}{dL} \quad (10)$$

$$T_z = TM \frac{dz}{dL} \quad (11)$$

y las ecuaciones 6,7 y 8 se convertirán en:

$$\frac{d}{dL} \left(TM \frac{dx}{dL} \right) + F_x = 0 \quad (12)$$

$$\frac{d}{dL} \left(TM \frac{dy}{dL} \right) + F_y = 0 \quad (13)$$

$$\frac{d}{dL} \left(TM \frac{dz}{dL} \right) + F_z = 0 \quad (14)$$

En un cable tendido entre dos puntos, cuyo peso por unidad de longitud sea constante y que se halle en equilibrio, la única fuerza exterior que actúa sobre él, es la gravedad. La curva de equilibrio es plana para estas condiciones y se encuentra en el plano vertical que pasa por A y B. es decir, el plano xy.

Si el cable se encuentra sometido a la acción del viento por una fuerza (p_{vc} , kg/m) por unidad de longitud, el cable se encontraría bajo la influencia de un plano de fuerzas cuya resultante es.

$$p = \sqrt{W^2 + p_{vc}^2} \quad (15)$$

En donde:

W : Peso del cable en Kg/m

P_{vc} : Acción del viento sobre el cable Kg/m

P : Fuerza resultante por peso y viento sobre un metro de conductor en Kg/m

La curva de equilibrio estará en un plano que se forma en la vertical a un ángulo de:

$$\text{Tang}(\theta) = \frac{P_{vc}}{w} \quad (16)$$

A.2.2 MÉTODO DE LA CATENARIA

Para la catenaria sólo necesitamos tomar el plano XY, por lo tanto $z = 0$, si en el plano XY, se toma a OY como el eje vertical, entonces los componentes de las fuerzas exteriores tendrán los valores de:

$$F_x = 0 \quad (17)$$

$$F_y = -W \quad (18)$$

En donde W ya estaba definida como el peso por longitud, si remplazamos las ecuaciones 17 y 18 en las ecuaciones 12 y 13 respectivamente, se tiene que:

$$\frac{d}{dL} \left(TM \cdot \frac{dx}{dL} \right) = 0 \quad (19)$$

$$\frac{d}{dL} \left(TM \cdot \frac{dy}{dL} \right) = W \quad (20)$$

Integrando la ecuación 19,

$$TM \cdot \frac{dx}{xL} = A \quad (21)$$

Remplazando la ecuación 21 en la ecuación 20:

$$\frac{d}{dL} \left(A \cdot \frac{dL}{dx} \cdot \frac{dy}{dL} \right) = W \quad ; \quad \frac{d}{dL} \left(\frac{dy}{dx} \right) = \frac{W}{A}$$

$$\frac{d}{dL}(Y') = \frac{W}{A} \quad (22)$$

Pero

$$dL = \pm \cdot \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$dL = \pm \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$dL = \pm \cdot \sqrt{1 + (Y')^2} dx$$

De la ecuación 22 se obtiene:

$$dy' = \frac{W}{A} \cdot dL$$

$$dy' = \frac{W}{A} \cdot \sqrt{1 + (y')^2} dx$$

$$\frac{dy'}{\sqrt{1 + (Y')^2}} = \frac{W}{A} \cdot dx$$

Como W y A son constantes, entonces podemos reemplazarlos por:

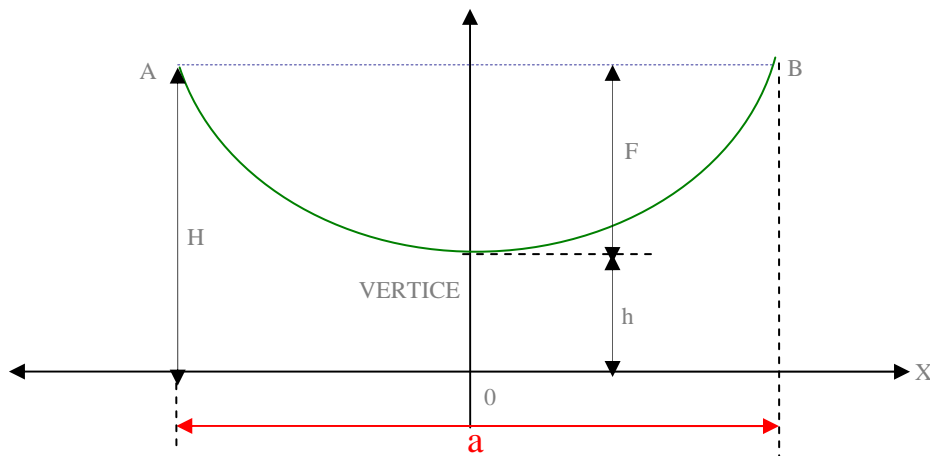
$$h = \frac{A}{W} \quad (23)$$

$$\frac{dy'}{\sqrt{1+(Y')^2}} = \frac{1}{h} \cdot dx$$

Haciendo $y' = u$, se obtiene:

$$\frac{du}{\sqrt{1+u^2}} = \frac{1}{h} \cdot dx \quad (24)$$

Figura A.3 Catenaria y flecha de un cable tendido entre dos puntos



La ecuación 24 admite las dos soluciones:

$$\text{Ln}(u + \sqrt{1+u^2}) = \frac{x-x_0}{h} \quad (25)$$

$$\text{Ln}(u + \sqrt{1+u^2}) = -\left(\frac{x-x_0}{h}\right) \quad (26)$$

De acuerdo a la *figura A.3*, en el vértice, la tangente es horizontal

$$Y'(\text{vértice}) = u(\text{vértice}) = 0$$

Entonces

$$0 = \frac{x_v - x_o}{h} ;$$

$$X_v = X_o$$

Tomando el eje OY de modo que pase por el punto del vértice (como está hecho en la *figura A.3*), se tiene que

$$X_1 = X_o = 0$$

Las ecuaciones 25 y 26 se transforman

$$\text{Ln}(u + \sqrt{1+u^2}) = \frac{x}{h} \quad ; \quad \text{Ln}(-u + \sqrt{1+u^2}) = -\frac{x}{h}$$

De donde

$$u + \sqrt{1+u^2} = e^{\frac{x}{h}} \quad (27)$$

$$-u + \sqrt{1+u^2} = e^{-\frac{x}{h}} \quad (28)$$

Restando la ecuación 28 de la ecuación 27

$$2u = e^{\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}}$$

$$u = \frac{e^{\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}}}{2}$$

Pero $u = Y'$ entonces tenemos que:

$$Y' = u = \frac{dy}{dx} = \frac{e^{\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}}}{2} \quad dy = \frac{e^{\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}}}{2} dx$$

Integrando

$$y - y_o = \frac{e^{\frac{x}{h}} + e^{-\frac{x}{h}}}{\frac{2}{h}}$$

$$y - y_o = h \frac{e^{\frac{x}{h}} + e^{-\frac{x}{h}}}{2} \quad (29)$$

$$y - y_o = h \cdot \cosh\left(\frac{x}{h}\right) \quad (30)$$

La ecuación 30 corresponde a la ecuación de la catenaria. Si se toma el eje OX de modo que $Y_v = h$ (altura del vértice, como se tomó en la figura A.2)

$$h - y_o = h \cdot \cosh\left(\frac{0}{h}\right) = h$$

$$y_o = 0$$

Y la ecuación puede escribirse:

$$y = h \cdot \cosh\left(\frac{x}{h}\right) \quad (31)$$

A.2.3 ECUACIÓN DE LA LONGITUD DE LA CATENARIA

La longitud dL de un arco de catenaria se puede obtener integrando la longitud dL .

$$dL = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

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

$$dL = \sqrt{1 + Y'} dx$$

$$dL = \sqrt{1 + u} du \quad (32)$$

Sumando las ecuaciones 27 y 28

$$\sqrt{1+u^2} = \frac{e^{\frac{x}{h}} + e^{-\frac{x}{h}}}{2}$$

Reemplazando esta ecuación en la ecuación 32, se obtiene que:

$$dL = \frac{e^{\frac{x}{h}} + e^{-\frac{x}{h}}}{2} dx \quad (33)$$

Tomando el vértice V como origen de los arcos (ver figura A.3)

$$\int_{-L/2}^{L/2} dL = \int_{-x}^x \frac{e^{\frac{x}{h}} + e^{-\frac{x}{h}}}{2} dx$$

$$L \Big|_{-L/2}^{L/2} = h \frac{e^{\frac{x}{h}} + e^{-\frac{x}{h}}}{2} dx \Big|_{-x}^x$$

$$L = h \frac{e^{\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}} + e^{\frac{x}{h}}}{2} = 2h \frac{e^{\frac{x}{h}} - e^{-\frac{x}{h}}}{2}$$

$$L = 2h \cdot \operatorname{senh}\left(\frac{x}{h}\right) \quad (34)$$

Donde $x = a/2$ y a es la longitud del vano (distancia entre las estructuras.)

A.2.4 ECUACIÓN DE LA FLECHA

Se entiende como flecha en un cable tendido entre dos puntos al mismo nivel, la máxima distancia vertical entre la recta que une los puntos de sujeción del cable y este. En la figura A.3 se observa:

T_v : Tensión en Kg en el vértice de la curva

t_B : Tensión en Kg en el punto B.

p : Fuerza resultante por el peso y viento entre un metro de conductor en Kg/m. En ausencia del viento p es igual a W .

W : Peso del cable en Kg/m.

a : Longitud horizontal entre A y B.

H : Distancia en metros desde A o desde B al eje X.

h : Distancia en metros desde el vértice y el eje X.

La ecuación de la catenaria es:

$$y = h \cdot \cosh\left(\frac{x}{h}\right)$$

Observando la *figura A.2*, se tiene que:

$$H = h \cdot \cosh\left(\frac{a/2}{h}\right) = h \cdot \cosh\left(\frac{a}{2h}\right) \quad (35)$$

La flecha vendrá dada por:

$$F = H - h = h \left(\cosh \frac{a}{2h} - 1 \right) \quad (36)$$

$$f = h \left(\cosh \frac{a}{2h} - 1 \right) \quad (37)$$

A.2.5 MÉTODO DE LA PARÁBOLA

La ecuación de la catenaria es:

$$y = h \cdot \cosh \left(\frac{x}{h} \right)$$

Expresando el coseno hiperbólico en series de Taylor:

$$y = h \cdot \left[1 + \frac{1}{2!} \left(\frac{x}{h} \right)^2 + \frac{1}{4!} \left(\frac{x}{h} \right)^4 + \dots \right] \quad (38)$$

Tomando los dos términos iniciales del desarrollo de la serie:

$$y = h + \frac{1}{2h} x^2 \quad (39)$$

Que es la ecuación de la parábola. La nueva expresión para la flecha será:

$$F = H - h = h + \frac{1}{2h} \left(\frac{a}{2} \right)^2$$

$$H = h + \frac{a^2}{8h} \quad (40)$$

Entonces

$$F = H - h = \left(h + \frac{a^2}{8} \right) - h$$

$$F = \frac{a^2}{8h} \quad (41)$$

En general

$$h = \frac{t}{p} \quad (42)$$

$$f = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot t} \quad (43)$$

La nueva expresión para la longitud del cable se determina de forma similar. La longitud de la catenaria es:

$$L = 2h \cdot \operatorname{senh} \left(\frac{x}{h} \right) \quad (44)$$

Con $x = a/2$ y expresando el seno hiperbólico en serie de Taylor:

$$L = 2h \cdot \left[\frac{a}{2h} + \frac{1}{3!} \left(\frac{a}{2h} \right)^3 + \frac{1}{5!} \left(\frac{a}{2h} \right)^5 + \dots \right]$$

Tomando los dos primeros términos, se tiene que

$$L = 2h \cdot \left(\frac{a}{2h} + \frac{a^3}{48h^3} \right) = a + \frac{a^3}{24h^2} \quad (45)$$

O también

$$L = a + \frac{a^3}{24t^2} p^2 \quad (46)$$

Multiplicando por f^2 y dividiendo por f^2

$$L = a + \frac{a^3 p^2}{24t^2} \cdot \frac{f^2}{p^2 a^4} 8^2 t^2$$
$$L = a + \frac{8f^2}{3a} \quad (47)$$

A.2.6 ECUACIÓN DEL CAMBIO DE ESTADO

El alargamiento o acortamiento ΔL del cable, correspondiente a una variación de temperatura ΔT y a una tensión Δt , tiene por expresión en función del coeficiente de dilatación lineal (α , / °C) y suponiendo que las deformaciones son elásticas y que se puede aplicar la ley de Hook:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T + \frac{L}{s \cdot E} \Delta t \quad (48)$$

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot (T - T_1) + \frac{L(t - t_1)}{s \cdot E} \quad (49)$$

Donde

T : Temperatura del estado final en °C

T_1 : Temperatura del estado inicial en °C

t : Tensión horizontal del estado final del conductor en Kg.

s : Sección del conductor en mm²

E : Modulo de elasticidad en Kg/mm²

Según la ecuación 46 tenemos que:

$$L = a + \frac{a^3}{24t^2} p^2$$

Entonces

$$L_1 = a + \frac{a^3 p_1^2}{24t_1^2}$$

p : Fuerza resultante del estado final por peso y viento sobre un metro de cable en Kg/m

P_1 : Fuerza resultante del estado inicial por peso y viento sobre un metro de cable en Kg/m

a : Longitud del vano, distancia horizontal en m.

Entonces:

$$\Delta L = L - L_1 = \frac{a^3}{24} \left(\frac{p^2}{t^2} - \frac{p_1^2}{t_1^2} \right) \quad (50)$$

Igualando la ecuación 49 y al ecuación 50:

$$L \cdot \alpha \cdot (T - T_1) + \frac{L \cdot (t - t_1)}{s \cdot E} = \frac{a^3}{24} \left(\frac{p^2}{t^2} - \frac{p_1^2}{t_1^2} \right)$$

Si se supone que $L \cong a$, o sea que el vano y la flecha sean pequeños

$$\alpha \cdot (T - T_1) + \frac{(t - t_1)}{s \cdot E} = \frac{a^2}{24} \left(\frac{p^2}{t^2} - \frac{p_1^2}{t_1^2} \right)$$

$$\alpha \cdot (T - T_1) + \frac{(t - t_1)}{s \cdot E} + \frac{a^2}{24} \frac{p_1^2}{t_1^2} = \frac{a^2}{24} \frac{p^2}{t^2}$$

$$s \cdot E \cdot \alpha \cdot (T - T_1) + (t - t_1) + \frac{s \cdot E \cdot a^2 \cdot p_1^2}{24 \cdot t_1^2} = \frac{s \cdot E \cdot a^2 \cdot p^2}{24 \cdot t^2}$$

$$t^2 \left(t + s \cdot E \cdot \alpha \cdot (T - T_1) + \frac{s \cdot E \cdot a^2 \cdot p_1^2}{24 \cdot t_1^2} - t_1 \right) = \frac{s \cdot E \cdot a^2 \cdot p^2}{24} \quad (51)$$

A.2.7 SOBRECARGA EN LOS CABLES

Las sobrecargas en los cables pueden ser debidas a la presión del viento o al peso de un manguito de hielo.

El manguito de hielo no se considera en los diseños en Colombia debido a que esta sobrecarga no se presenta en la práctica.

La presión del viento sobre superficies cilíndricas se calculará en función de la velocidad del viento con la siguiente formula:

$$P_{vc} = 42 \cdot 10^{-7} \cdot d_c \cdot V_v^2 \quad (52)$$

La cual proporciona la fuerza por unidad de longitud (Kg/m).

d_c : Diámetro del conductor en mm.

V_v : Velocidad del viento en Km/h.

La velocidad de diseño se tomará de los registros de las zonas hechas por el IDEAM. Las velocidades del viento en Colombia varían mucho debido a las diferentes facetas orográficas del país. Las velocidades máximas varían entre los 50 y 100 km/h.

La resultante del peso propio y la carga del viento se expresó anteriormente en las ecuaciones 15 y 16.

$$p = \sqrt{W^2 + P_{vc}^2} \quad \text{Tang}(\theta) = \frac{P_{vc}}{W}$$

A.2.8 TIPOS DE VANOS

VANO: Distancia horizontal entre los elementos en los cuales el conductor está libremente suspendido o apoyado.

VANO INDIVIDUAL: Distancia horizontal entre dos apoyos adyacentes cualesquiera e una línea de transmisión. Sirve para saber la longitud de la línea.

VANO BÁSICO O VANO NORMAL: Distancia horizontal entre apoyos adyacentes con la cual se obtiene la mayor economía en la construcción de la línea en terreno plano. Este vano se determina a partir del aislamiento mínimo permisible a tierra para la tensión considerada.

TRAMO: Es el conjunto de varios vanos individuales consecutivos comprendidos entre apoyos de anclaje o de retensión. Sirve para calcular los vanos medios y reguladores.

VANO PROMEDIO O VANO MEDIO: es la distancia horizontal equivalente al promedio aritmético de las longitudes de los vanos que constituyen el tramo respectivo de la línea. Sirve para calcular el vano regulador.

VANO MÁXIMO: Es el vano individual de mayor longitud que tiene ocurrencia en un tramo.

VANO REGULADOR: Es un vano equivalente, ficticio, que permite obtener la tensión promedio en los vanos de un tramo de la línea comprendidos entre dos apoyos de retensión o de anclaje. Se usa este vano para la construcción de la plantilla de localización de los apoyos.

Su propósito en el diseño de las líneas es determinar la longitud de vano representativo para escoger las tensiones a diferentes temperaturas y preparar tablas o ábacos de tendido.

Puede calcularse, aproximadamente, en función de los vanos determinados en forma preliminar a partir de las siguientes expresiones.

$$a_r = \frac{1}{3}a_m + \frac{2}{3}a_{\max} \quad (53)$$

Donde:

a_r : Vano regulador.

a_m : Vano medio o vano promedio

a_{\max} : Vano máximo.

$$a_r = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n a_k^3}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n a_k}} = \sqrt{\frac{a_1^3 + a_2^3 + \dots + a_n^3}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}} \quad (54)$$

VANO PESO (GRAVIVANO): Es la distancia horizontal entre los puntos más bajos de un conductor a lado y lado del apoyo y se utiliza para el cálculo de las cargas verticales en los apoyos.

VANO VIENTO (EOLOVANO): Es aquel en el cual se supone que actúa la fuerza del viento sobre los conductores y se toma igual a la suma de las mitades de los vanos a lado y lado de las estructuras.

VANO CRÍTICO: Es aquel vano que nos informa cual es la hipótesis limitante en el diseño de la línea. Viene expresado por la ecuación.

$$a_c = t_r \sqrt{\frac{6 \cdot \left(\frac{t_r}{4 \cdot s \cdot E} - \alpha \cdot \Delta T \right)}{P_{vc}^2 - 3 \cdot W^2}} \quad (55)$$

Donde:

a_c : Vano crítico

t_r : Tensión de ruptura del conductor; Kg

ΔT : Variación de temperaturas (Ta-Tb)

A.2.9 HIPÓTESIS DE DISEÑO MECÁNICO

Hipótesis de condiciones promedio (A) la tensión en condiciones promedio de temperatura, sin viento, no deberá ser mayor que un cuarto de la tensión de rotura natural del conductor.

Hipótesis de condiciones extremas (B) la tensión en condiciones extremas de temperatura (temperatura mínima) y viento (velocidad máxima de diseño) no deberá ser mayor que la mitad de la tensión de rotura del conductor.

En las zonas donde la velocidad máxima del viento para efectos de diseño sea de 50 Km/hora, basta aplicar directamente la **hipótesis A**, independientemente del material del conductor.

En las zonas donde la velocidad del viento para efectos de diseño es de 100 km/hora para conductores de aluminio o sus compuestos mayores de 12 mm de diámetro (4/0 y mayores) y para todos los calibres de otros materiales basta aplicar la **hipótesis A**.

Para conductores de Aluminio o sus componentes menores a 12 mm de diámetro (3/0 y menores) deben verificarse las dos hipótesis A y B. En este último caso, para establecer cual de las dos hipótesis es limitante, se puede determinar el vano crítico, acorde con las hipótesis anteriores, mediante la ecuación 55 y así:

$a_r < a_c$ Limitante la Hipótesis A.

$a_r > a_c$ Limitante la Hipótesis B.

$a_r = a_c$ Limitante cualquiera A o B.

En los vanos grandes, sin gran desnivel, basta con chequear la tensión horizontal; para vanos muy desnivelados o mayores de 600 m es conveniente chequear la tensión en cada apoyo bajo las condiciones de la hipótesis B.

Condiciones promedio: se entienden por condiciones promedio las definidas por la temperatura promedio o media ponderada de las temperaturas medidas diariamente, sin viento. Estas condiciones serán siempre las del estado inicial.

Tensión de cada día: Se denomina tensión de cada día a la tensión de un conductor a temperatura promedio sin carga de viento.

Cuando no se utilizan dispositivos anti-vibratorios dicha tensión no debe ser mayor que la quinta parte de la tensión de ruptura.

Con dispositivos anti-vibratorios se puede llegar a la tensión máxima de la hipótesis A, o sea la cuarta parte de la tensión de ruptura.

Conductores de calibre igual o inferior a 336.4 MCM no deben ser tendidos con más del 20% de su tensión de ruptura, aunque se usen dispositivos anti-vibratorios.

A.2.10 ECUACIÓN DEL VANO CRÍTICO

La ecuación del cambio de condiciones viene expresada por la *ecuación 51*:

$$t^2 \left(t + s \cdot E \cdot \alpha \cdot (T - T_1) + \frac{s \cdot E \cdot a^2 \cdot p_1^2}{24 \cdot t_1^2} - t_1 \right) = \frac{s \cdot E \cdot a^2 \cdot p^2}{24}$$

Aplicando en esta ecuación las condiciones de la hipótesis a, la cual ecuación anterior queda:

$$t^2 \left(t + s \cdot E \cdot \alpha \cdot (T - T_A) + \frac{s \cdot E \cdot a_c^2 \cdot w^2}{24 \cdot \left(\frac{t_r}{4}\right)^2} - \frac{t_r}{4} \right) = \frac{s \cdot E \cdot a_c^2 \cdot p^2}{24} \quad (56)$$

Aplicando las condiciones de las hipótesis B en la ecuación 56, tenemos:

$$\left(\frac{t_r}{2}\right)^2 \left(\frac{t_r}{2} + s \cdot E \cdot \alpha \cdot (T_B - T_A) + \frac{s \cdot E \cdot a_c^2 \cdot 16 \cdot w^2}{24 \cdot t_r^2} - \frac{t_r}{4} \right) = \frac{s \cdot E \cdot a_c^2 \cdot (p_{vc}^2 + w^2)}{24} \quad (57)$$

Reduciendo

$$\left(\frac{a_c}{t_r}\right)^2 = \frac{6 \cdot \left[\frac{t_r}{4 \cdot s \cdot E} - \alpha \cdot (T_A - T_B) \right]}{p_{vc}^2 - 3w^2} \quad (58)$$

y despejando se obtiene la ecuación del vano crítico:

$$a_c = t_r \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \left[\frac{t_r}{4 \cdot s \cdot E} - \alpha \cdot (T_A - T_B) \right]}{p_{vc}^2 - 3w^2}} \quad (59)$$

A.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Tabla A.8. Características de los materiales de los conductores

Material	Densidad [gr/cm ³]	Módulo de elasticidad (E) [kg/mm ²]	Temperatura de fusión [°C]	Coefficiente de resistividad por °C	Coefficiente de dilatación lineal por °C (α)
Cu, duro	8.9	12.65	1083	3.81 x 10 ⁻³	17.0 x 10 ⁻⁶
Al, duro	2.7	7	650	4.03 x 10 ⁻³	23.0 x 10 ⁻⁶
Acero	7.8	21	1400	5.00 x 10 ⁻³	11.5 x 10 ⁻⁶

A.4 DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD

Distancia horizontal entre conductores: La distancia entre conductores debe ser tal que los conductores no lleguen a tocarse debido al efecto del viento, pues esto ocasionaría fallas. La distancia mínima se calcula de acuerdo a la siguiente curva.

$$e = k\sqrt{F+L} + \frac{kV}{150} \quad [m] \quad (60)$$

En donde:

E: separación entre conductores, en metros.

K: Coeficiente igual a 0.75 para conductores de cobre o aluminio reforzado en acero y 1.0 para conductores de aluminio.

F: Flecha máxima, en metros.

L: Longitud de la cadena de aisladores, en m. si los conductores están, soportados en aisladores de pin y en las estructuras de retención $L = 0$.

Distancia vertical entre conductores: Si los conductores no están en el mismo plano horizontal, la distancia será como mínima.

$$e = 0.4 + \frac{kV}{75} \quad [m] \quad (61)$$

Vano máximo por péndulo: El vano máximo por péndulo es el vano mayor permitido por una determinada distancia entre conductores. Depende del péndulo de los mismos por efecto del viento. Por la ecuación 60 se tiene que:

$$e = k\sqrt{F+L} + \frac{kV}{150} \quad [m] \quad ; \quad \left(e - \frac{kV}{150}\right)^2 = k^2(F+L) \quad ; \quad F = \frac{1}{k^2} \left(e - \frac{kV}{150}\right)^2 - L$$

Por La ecuación 43 se tiene que:

$$F = \frac{a^2 p}{8 \cdot t} \quad ; \quad a^2 = \left(\frac{1}{k^2} \left(e - \frac{kV}{150} \right)^2 - L \right) \frac{8 \cdot t}{p}$$

Para este caso $p = w$; $a = a_H$ (Vano máximo por péndulo)

$$a_H = \sqrt{\left(\frac{1}{k^2} \left(e - \frac{kV}{150}\right)^2 - L\right) \frac{8 \cdot t}{p}} \quad (62)$$

t/w: parámetro de la plantilla, la tensión corresponde a la de la máxima temperatura sin viento.

Corrección por altura sobre el nivel del mar: Para alturas mayores a 1000 metros es necesario tener en cuenta la reducción de la rigidez dieléctrica del aire según la siguiente ecuación:

$$e_n = \frac{e_o}{F.R} \quad (63)$$

e_n : Separación entre conductores en metros , corregida en función de la altura sobre el nivel del mar.

F.R: Factor de reducción de la rigidez dieléctrica del aire según la tabla A.9 correspondientes a los valores recomendados por el RETIE.

Tabla A.9. Factor de reducción de la rigidez dieléctrica

Altura sobre el nivel del mar (m)	1000	1200	1500	1800	2000	2400	2500	3000	3500
Factor de reducción de la rigidez dieléctrica del aire	1.00	0.98	0.95	0.92	0.9	0.86	0.85	0.8	0.76

Distancia de los conductores al Terreno: la altura de los apoyos será la necesaria para los conductores, en la máxima flecha vertical queden situados por encima de cualquier punto del terreno o superficie de agua no navegable a una altura mínima conveniente. Las normas españolas sugieren una distancia mínima según la *ecuación 64*.

$$d_{\min} = 5.3 + \frac{kV}{150} \quad [m] \qquad \text{Ecuación 64}$$

Con un mínimo de seis metros.

El RETIE especifica las distancias mínimas que se consignan en tabla A.10.

Distancia de los conductores a los soportes: Las distancias de los conductores y sus accesorios a superficies de madera o de concreto se calculan por la *ecuación 65*.

$$e = 0.1 + \frac{kV}{150} \quad [m] \qquad (65)$$

Los conductores rígidamente soportados (con aislador de pin) esta es la distancia mínima. En el caso de conductores soportados en cadenas de suspensión esta distancia es el máximo acercamiento a al cadena.

Tabla A.10. Distancias mínimas de seguridad según el RETIE

Características de la zona	Distancias mínimas en [m]				
	0-0.6 KV.	7.62 -13.2 KV.	34.5-44 KV.	66 KV.	115 KV.
Zona poblada	5.0	7.0	7.0	7.5	8.0
Zona despoblada Accesible	5.0	6.0	6.0	3.0	6.5
Zona despoblada no accesible	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5
Carretera troncal	5.0	7.0	7.0	7.5	8.0
Camino secundario	5.0	7.0	7.0	7.5	8.0
Hasta el punto más alto de la embarcación máximo nivel aguas.	2.0	2.0	2.0	2.5	3.0
Hasta nivel máximo de aguas.	5.0	6.0	6.0	6.5	7.0
Oleoductos y/o gaseoductos	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0
Vías férreas	7.0	7.2	7.5	7.8	8.0
Distancia edificaciones.	1.0	2.5	3.5	4.5	5.0

Observaciones: Se prohíbe atravesar instalaciones deportivas. Cerca de aeropuertos, se prohíbe pasar por el cono de aproximación.

Distancia del cable de guarda en los conductores: El cable de guarda debe colocarse con una tensión tal que su flecha sea 75% a 80% la de los conductores, con lo cual se conserva el ángulo de apantallamiento y las distancias a los conductores en toda la longitud del vano. En tal caso, la tensión del cable de guarda correspondiente a flechas del 75 a 80% de los conductores sería de:

$$t_g = \frac{4 W_g}{3 w_c} t_c \quad \text{Para } f_g = 0.75 f_c \quad (66-A)$$

$$t_g = \frac{5 W_g}{4 w_c} t_c \quad \text{Para } f_g = 0.80 f_c \quad (66-B)$$

En donde:

t_g : Tensión de tendido del cable de guarda en Kg.

t_c : Tensión de tendido del conductor, en Kg.

f_g : Flecha del cable de guarda, en m.

f_c : Flecha del conductor, en m.

w_g : Peso propio de un metro de cable de guarda, en Kg.

w_c : Peso propio de un metro de conductor, en Kg.

Distancia en caso de Cruces: Los cruces de líneas soportadas en estructuras diferentes deberán cumplir los siguientes requisitos:

- a). La línea de mayor tensión debe cruzar siempre por sobre las líneas de tensiones inferiores.
- b). Se procurará que los cruces se efectúen cerca de un apoyo de línea de mayor tensión. La distancia mínima entre el conductor de la línea inferior y el apoyo de la línea superior deberá ser la calculada por la *ecuación 67*.

$$e = 1,5 + \frac{F}{\sqrt{2}} \quad [m] \quad (67)$$

En donde F es la flecha máxima del conductor inferior de la línea de menor tensión, en metros.

- c). la separación vertical mínima entre los conductores más próximos de los dos circuitos en el punto de cruce, está dada para la condición de máxima flecha.

Distancia entre circuitos de la misma estructura: las distancias verticales deberán cumplir en los siguientes requisitos mínimos:

- a). El circuito de mayor tensión deberá ir en la parte superior.

b). Las distancias verticales mínimas entre los conductores de circuitos diferentes que estén o se crucen en el mismo soporte deberán ser las indicadas en la tabla A.11.

Tabla A.11 Distancias de seguridad entre circuitos que se cruzan

	Circuito superior			
	<i>Tensión entre Fases</i>			
Circuito Inferior	Hasta 60 V	Hasta 7.62 KV	Hasta 44 KV	<i>Hasta 115 KV</i>
Circuitos de comunicaciones	1.2 m	1.20 m	1.60 m	<i>2.00 m</i>
Circuitos hasta 600 V	0.60 m	0.60 m	1.20 m	<i>2.00 m</i>
Circuito hasta 7.62 KV	-	0.60 m	1.20 m	<i>2.00 m</i>
Circuitos entre 7.62 y 44 KV	-	-	1.20 m	<i>2.00 m</i>
Circuitos hasta 115 KV	-	-	-	<i>2.00 m</i>

Nota: Se puede evitar al máximo tener circuitos de comunicaciones o hasta 600 V en la misma estructura con circuitos de tensión superior a 34.5 KV.

Distancias a edificaciones o estructuras similares:

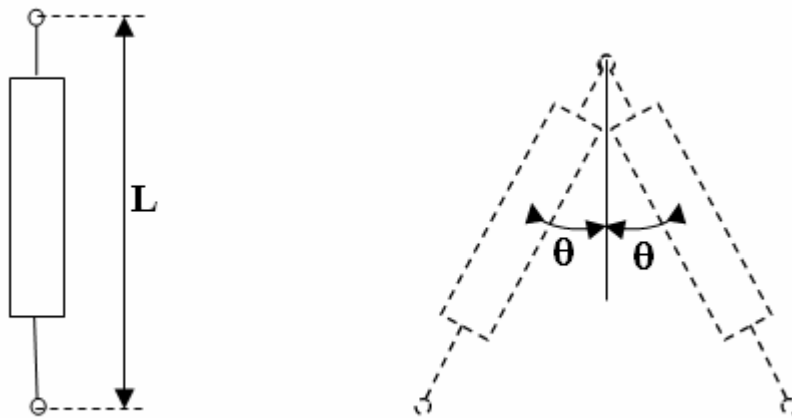
a). Se debe evitar pasar circuitos sobre edificaciones y estructuras similares.

b). Las distancias mínimas horizontales de conductores aéreos a edificios y estructuras similares serán las especificadas en la tabla A10.

A.5 DESVIACIÓN TRANSVERSAL DE LA CADENA DE SUSPENSIÓN

La acción horizontal del viento transversal a la línea hace que las cadenas de aisladores se desvíen pudiendo llegar a aproximarse de modo peligroso a los apoyos.

Figura A.4. Desviación transversal de la cadena de aisladores



Las desviaciones transversales de la cadena a la línea hay que calcularlas, para en función de ellas, proyectar la estructura y disposición de los apoyos; es decir, para que la distancia mínima que pueda presentarse en las condiciones más desfavorables, entre conductor y apoyo, sea siempre igual o mayor de :

$$e = 0.1 + \frac{KV}{150} \quad [m]$$

La desviación mínima es función de la fuerza resultante del sistema de fuerzas verticales y horizontales que actúan sobre las cadenas de aisladores, algunas de estas son:

- a. **Fuerzas verticales:** El peso del cable, o de la fase múltiple si se trata de conductores en haz (w en Kg). El peso de la cadena de aisladores con sus respectivos accesorios (Q en Kg)
- b. **Fuerzas Horizontales:** Fuerza sobre el conductor, o la fase debido a la acción del viento (P_{vc} en Kg). Fuerza sobre la cadena de aisladores y sus accesorios debido a la acción del viento (Q_v en Kg).

En el caso de apoyos de ángulo, el viento puede actuar en dos sentidos, en el sentido de la bisectriz o en el opuesto.

Desviación de una cadena de aisladores en apoyos de alineación

$$\tan(\theta) = \frac{P_{vc} + \frac{Q_v}{2}}{w + \frac{Q}{2}} \quad \text{Si no hay viento } P_v = 0 \quad \therefore \quad Q = 0 \quad (68)$$

Donde:

θ = Ángulo de desviación transversal de la cadena de aisladores

P_{VC} = Fuerza sobre el conductor, o la fase debido a la acción del viento en Kg

Q_V = Fuerza sobre la cadena de aisladores y sus accesorios debido a la acción del viento
en Kg

Q = Peso de la cadena de aisladores con sus respectivos accesorios en Kg

Si el valor del ángulo θ hiciera que la distancia entre el conductor y el apoyo fuese menor que la especificada es necesario:

- a. Aumentar la cruceta para alejar la parte vertical del apoyo.
- b. Añadir una fuerza vertical extra descendente que haga que θ no exceda el valor admisible.

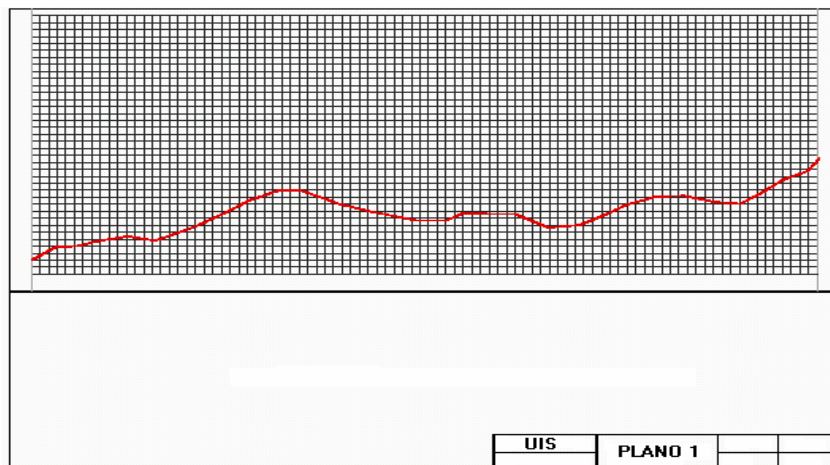
ANEXO B

Cómo plantillar utilizando AUTOCAD?

El proceso de ubicación de estructuras se puede realizar desde AUTOCAD, realizando una simulación de lo que sería utilizar una plantilla virtual. Para realizar el plantillado en AUTOCAD se deben disponer de los planos de planta y perfil en las escalas apropiadas y la plantilla, en la misma escala.

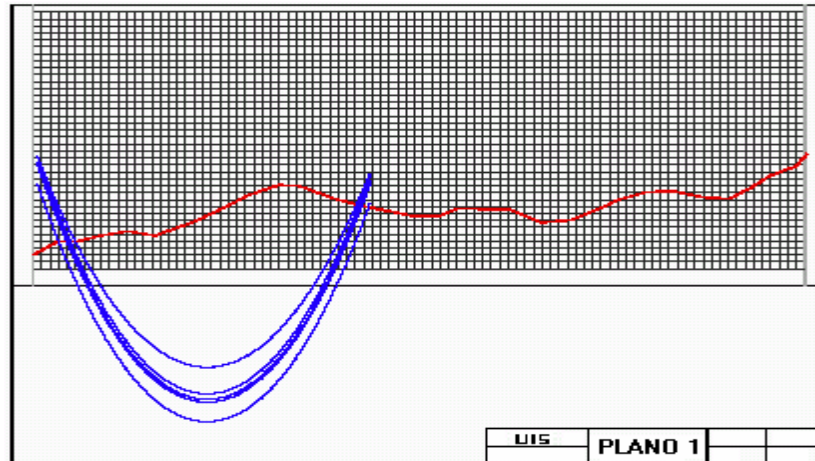
Lo primero que se debe hacer es abrir un archivo AUTOCAD que contenga el plano de planta y perfil.

Figura B.1. Esquema de un plano de perfil topográfico



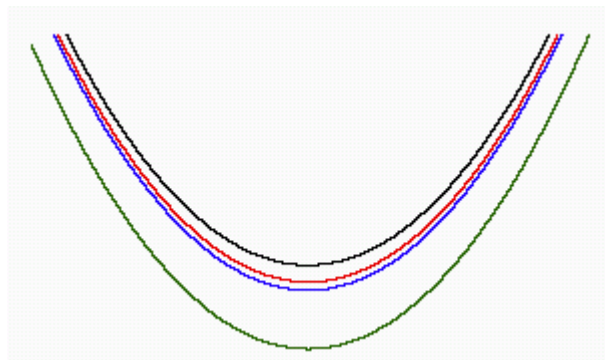
Desde este mismo dibujo se invoca el archivo que contiene la plantilla diseñada, se corta y se trae al plano que contiene el perfil.

Figura B.2. Esquema de un plano de perfil topográfico y plantilla



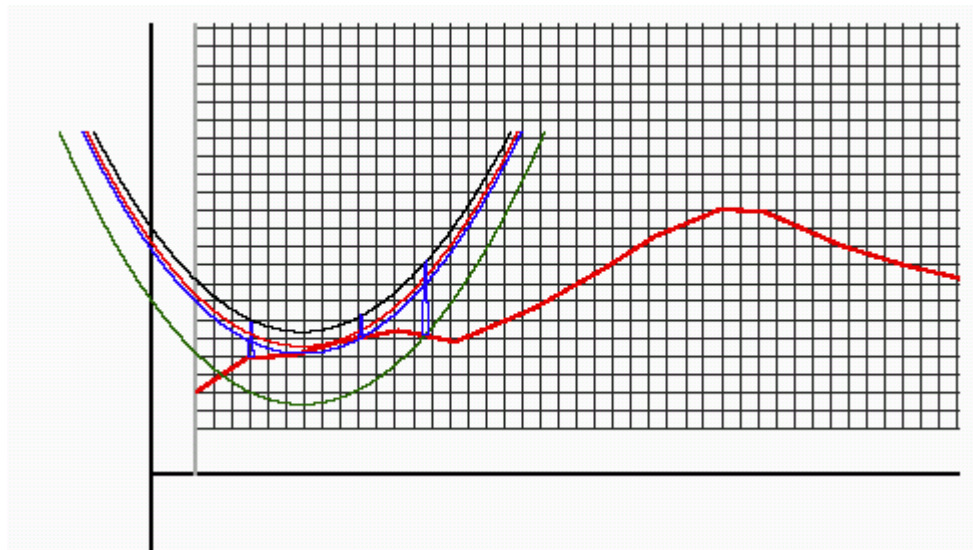
La plantilla se ajusta de acuerdo a la forma del terreno, inicialmente se puede omitir la curva en frío.

Figura B.3. Plantilla



Luego se inicia el proceso de plantillado, siguiendo los mismos pasos que con una plantilla física.

Figura B.4. Proceso de plantillado



ANEXO C

Ejemplos Prácticos

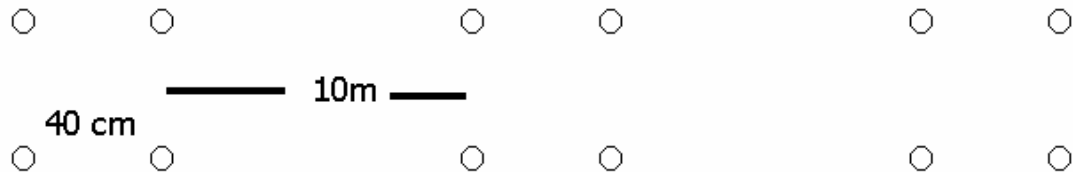
Ejemplo 1. Cálculos eléctricos

Elaborar los cálculos eléctricos para una disposición horizontal (figura E.1) con cuatro conductores por haz utilizando un conductor con un conductor de aluminio ACSR GULL (Gaviota) con las siguientes características y de acuerdo a los parámetros de diseño mostrados más adelante:

Tabla C.1 Datos del conductor ACSR GULL

CÓDIGO O DESIGNACION	GULL (Gaviota)	
CALIBRE MCM	666,6	
NO. DE HILOS	ALUMINIO	54
	ACERO	7
DIÁMETRO NOMINAL (MM)	25.4	
AREA SECCION TRANSVERSAL mm ²	381.55	
CARGA DE RUPTURA Kg	11135.6	
PESO TOTAL Kg/Km	1276	
CAP. DE CORRIENTE A	807	
RESISTENCIA A 60Hz 20 C°Ω/km	0.0852	
DIÁMETROS DE HILOS (Al y Ac)	2.8219	

Figura C.1 Disposicion horizontal con cuatro conductores por haz con una distancia entre fases de 10m y una distancia entre conductores de 0.4m



PARÁMETROS DE DISEÑO

◆ Longitud de la línea:	350 Km
◆ Potencia transmitida:	200 MW
◆ Factor de Potencia:	0,95 en atraso
◆ Altura sobre el nivel del mar:	1000 m
◆ Frecuencia:	60 Hz
◆ Regulación máxima:	15 %
◆ Pérdidas de potencias máximas:	4 %
◆ Temperatura condición diaria:	25 C°
◆ Temperatura conductor máxima:	65 C°
◆ Temperatura mínima:	5 C°
◆ Velocidad viento máxima:	90 Km/h
◆ Factor de seguridad diario:	5.0
◆ Factor de seguridad mínimo:	2,5

SELECCIÓN DEL NIVEL DE TENSIÓN

Aplicando los criterios de selección de voltaje:

Criterios de selección de voltaje para líneas de transmisión	
Criterio	Voltaje [kV]
Still	$V_L = 5.5 * \sqrt{\left(\frac{L}{1.609} + \frac{P_{3\phi}}{100}\right)}$
Lalander	$V_L = 4.4 * \left(\frac{P_{3\phi}}{1000}\right)^{0.45} * [Ln(L) - 1.9]$
Hefner	$V_L = \sqrt{(10^{-3} * P_{3\phi} * L)}$

Still:

$$V_L = 5,5 * \sqrt{\frac{L}{1,609} + \frac{P}{100}} = 5,5 * \sqrt{\frac{350}{1,609} + \frac{200 * 10^3}{100}} = 258 \text{ KV}$$

Lalander

$$V_L = 4.4 * \left(\frac{P_{3\phi}}{1000}\right)^{0.45} * [Ln(L) - 1.9] = V_L = 4.4 * \left(\frac{200 * 10^3}{1000}\right)^{0.45} * [Ln(350) - 1.9] = 188 \text{ KV}$$

Hefner

$$V_L = \sqrt{(10^{-3} * P_{3\phi} * L)} = \sqrt{(10^{-3} * 200 * 10^3 * 350)} = 264 \text{ KV}$$

Teniendo en cuenta la normatividad existente en el país sobre niveles de tensión comerciales y que la línea puede presentar una alta regulación, se tomará como valor de tensión para la línea de transmisión de 500 kV.

CALCULOS ELÉCTRICOS

DISTANCIA MEDIA GEOMÉTRICA MUTUA

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} \text{ [m]}$$

Para este tipo de disposición: $D_m = D \sqrt[3]{2} = 10 \sqrt[3]{2} = 12, 599 \text{ m}$

Radio Medio geométrico:

Radio Medio geométrico para la reactancia:

Para cuatro conductores por fase: $D_s^h = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot d^3 \cdot RMG} \text{ [cm]}$

$$D_s^h = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot d^3 \cdot RMG} = \sqrt[4]{12,7 * 10^{-3} * e^{-1/4} * 2^{1/2} * 0,4^3} = 0.1730 \text{ m}$$

Radio Medio geométrico para la capacitancia:

Para cuatro conductores por fase: $D_s^c = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot r \cdot d^3}$

$$D_s^c = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot r \cdot d^3} = \sqrt[4]{12,7 * 10^{-3} * 2^{1/2} * 0,4^3} = 0,1841 \text{ m}$$

Cálculo de la reactancia inductiva y Capacitancia

$$X = 0.0754 \ln \left(\frac{Dm}{Ds} \right) = 0.0754 \ln \left(\frac{12,599}{0,1730} \right) = 0.3276 \Omega /km .$$

$$C = \left[18 * 10^9 \ln \left(\frac{Dm}{Dsc} \right) \right]^{-1} = \left[18 * 10^9 \ln \left(\frac{12,599}{0,1841} \right) \right]^{-1} = 13,186 \mu F$$

Cálculo de resistencia:

Por ser una disposición en cuatro subconductores en haz:

$$r = \frac{rc}{4} = \frac{0,0852}{4} = 0,0213 \Omega /km.$$

Cálculo de la impedancia y la admitancia:

$$Z = r + j x = 0,0213 + j 0,3276 \Omega /km$$

$$Y = j2 * \pi * f * c = j2 * \pi * 60 * 13,147 * 10^{-9} = j 4, 971 * 10^{-6} s/km$$

Cálculo de la impedancia característica y la constante de propagación de la línea:

$$Z_c = \sqrt{z/y} = \sqrt{\frac{0,0213 + j0,3276}{j4,971 * 10^{-6}}} = 257.011 \angle -1.862^\circ \Omega$$

$$\delta = \sqrt{z * y} = \sqrt{(0,0213 + j0,3276 * j4,971 * 10^{-6})} = 0.447 \angle 88.121^\circ \text{ np/km}$$

Altura columna de mercurio:

$$\ln h = \ln 76 - \frac{h.s.n.m.}{7963} = \ln 76 - \frac{1000}{7963} = 4.2051$$

$$h = e^{4.2051} = 67.031 \text{ cm}$$

Densidad Relativa del Aire:

$$\rho = \frac{3,921 * h}{\epsilon + 273} = \frac{3,921 * 67.031}{25 + 273} = 0,8819$$

Gradiente crítico:

$$g_0 = 30 \text{ ms} * m_f \rho^{2/3} * (1 - 0,07ra) \left(1 - \frac{ra(n-1)}{R} \right);$$

$$R = \frac{d}{2} \sqrt{2} = \frac{0,4}{2} \sqrt{2} = 0,28284 \text{ m}$$

$$m_f = 0,85 \text{ y } m_s = 0,9$$

$$g_0 = 30 * 0,9 * 0,85 * (0,8819)^{2/3} (1 - 0,07 * 1,27) \left(1 - \frac{1,27(4-1)}{28,284} \right)$$

$$g_0 = 16.64 \text{ Vrms/cm}$$

Voltaje crítico condiciones diarias:

$$V_c = n g_0 r_a \ln \left(\frac{Dm}{RMG} \right) = 4 * 16.64 * 1,27 \ln \left(\frac{12,599}{0,1841} \right)$$

$$V_c = 433.95 \text{ KV}$$

COEFICIENTE DE SEGURIDAD

$$Cs = \frac{V_c}{V_r} = \frac{433.95}{500/\sqrt{3}} = 1.50$$

El voltaje de fase máximo para 500 KV es de $500/\sqrt{3} = 288.68$ KV

Por tanto no presenta pérdidas por efecto corona en condiciones normales de operación.

CALCULO DE LA REGULACIÓN

Parámetros A,B,C y D de la línea:

$$A = D = \text{Cos h}(\delta * L) = \text{Cosh}(0.447 \angle 88.121^\circ * 350)$$

$$A = 0.902 \angle 0.399^\circ$$

$$B = Z * \text{Senh}(\delta * L) = 255.75 \angle -186.268 \text{ Senh}(0.447 \angle 88.121^\circ * 350) / 255.75 \angle -186.268$$

$$B = 111.145 \angle 86.402^\circ [\Omega]$$

$$C = \text{Senh}(\delta * L) / Z_c = \text{senh}(0.447 \angle 88.121^\circ * 350) / 255.75 \angle -186.268$$

$$C = 1,683 * 10^{-3} \angle 90,126 [S]$$

$$V_g = AV_R + BI_R$$

Para esto tomamos:

$$I_g = CV_R + DI_R$$

$$|I_R| = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3}VLCos\phi} = \frac{200 * 10^6}{\sqrt{3} * 500 * 0,95 * 10^3} = 243.095 A \quad ; \quad \phi = 18.195^\circ$$

$$I_R = 243.095 \angle -18.195^\circ A \quad \text{Calculando:}$$

$$V_g = (0.902 \angle 0.399^\circ) * \left(\frac{500}{\sqrt{3}} * 10^3 \angle 0^\circ \right) + 111.145 \angle 86.402^\circ * 243.095 \angle -18.195^\circ$$

$$V_g = 271.713 \angle 5,682^\circ KV$$

$$I_R = (1,683 * 10^{-3} \angle 90,126^\circ) * \left(\frac{500}{\sqrt{3}} * 10^3 \angle 0^\circ \right) + (0.902 \angle 0.399^\circ) * 243.095 \angle -18.195^\circ$$

$$I_g = 467.4 \angle 63.615 A$$

Regulación

$$\delta_{\%} = 100 * \left[\frac{|V_S|}{|A| * VR} - 1 \right]$$

$$\delta_{\%} = 100 * \left[\frac{|271.713 * \sqrt{3}|}{|0.902| * 500} - 1 \right] = 4.362\%$$

Como $\delta_{\%} < \delta_{\% \max}$, el diseño cumple con las especificaciones

Pérdidas de potencia

Las pérdidas están dadas por

$$p_p = \frac{ps - pr}{pr} * 100$$

$$S_{3\phi} = 3 * V_g * I_g = 3 * 271.03 \angle 5.682 * 10^3 * 467.4 \angle -63.61$$

$$S_{3\phi} = 380.997 \angle -57.937 \text{ MVA}$$

$$P_{3\phi} = 202.256 \text{ Mw}$$

$$p_p = \frac{202.256 - 200}{200} * 100 = 1.128\%$$

Como $P_{p\%} < P_{p\% \max}$ el diseño es adecuado.

EFICIENCIA PORCENTUAL

$$\eta_{\%} = 100\% - P_{p\%}$$
$$\eta_{\%} = 100\% - 1.128_{\%} = 98.872\%$$

Ahora este ejemplo desarrollado en HELITE 1.0

DATOS DE ENTRADA

Figura C.2 Datos de Entrada del ejemplo en HELITE 1.0

NUEVO PROYECTO

Datos de Entrada

Longitud de la Línea: 350 Km
Potencia transmitida: 200 MW
Frecuencia: 60 Hz
Factor de Potencia: 0.95
Regulación Máxima: 15 %
Pérdidas de Potencia: 4 %
Altura Sobre el Nivel del Mar: 1000 m
Factor de Seguridad Diario: 5
Mínimo: 2.5
Efecto Corona: 1
Vano Regulador: 500 m

Hipótesis

[A] Máxima Velocidad del Viento
Temperatura: 15 ± 10
Velocidad del Viento: 90 Km/h

[B] Mínima Temperatura
Temperatura: 5 ± 10
Velocidad del Viento: 30 Km/h

[C] Operación Diaria
Temperatura: 25 ± 15
Velocidad del Viento: 10 Km/h

[D] Máxima Temperatura
Temperatura: 65 ± 15
Velocidad del Viento: 0 Km/h

Resultados para la selección de la tensión según :
Lalander = 188[Kv],
Still = 258[Kv],
Hefner = 264[Kv],
escoja la tensión normalizada que más se ajuste a su proyecto

DATOS CARGADOS
voltaje: 500 KV

HELITE 1.0

CONTINUAR BORRAR SALIR ?

RESULTADOS ELÉCTRICOS

Figura C.3 Resultados Eléctricos del ejemplo en HELITE 1.0

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS ELÉCTRICOS

RESULTADOS CÁLCULOS ELÉCTRICOS

DISPOSICIÓN: Horizontal

CONDUCTORES POR FASE: 4

IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA: 258.7508 a -1.862468° ohm /Km

CONSTANTE DE PROPAGACIÓN: 0.4441698 a 88.13754° neper

TENSIONES CORONA Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Tiempo

Seco: 433.949 Kv, 1.503243

Húmedo: 347.1592 Kv, 1.202595

CONDUCTOR

CÓDIGO: Gull

DIAMETRO: 25.4 mm

CARGA DE ROTURA: 11135.6 Kgf

PESO: 1276 Kg/Km

SECCIÓN TRANSVERSAL: 381.4982 mm²

CAPACIDAD AMPERIMETRICA: 808 A

PARÁMETROS DE LA LÍNEA

A	B
0.9031839 a 0.3933355°	111.1953 a 86.39909° ohm
C	D
1.660822E-03 a 90.12403° S	0.9031839 a 0.3933355°

REGULACIÓN: 4.357936 %

PÉRDIDAS DE POTENCIA: 1.109735 %

RENDIMIENTO: 98.90244 %

CONTINUAR CON CÁLCULOS MECÁNICOS

AYUDA SALIR

Como se puede apreciar en la figura C.3, los resultados que obtiene HELITE 1.0 se aproximan considerablemente a los resultados que se obtuvieron haciéndolos a mano.

CÁLCULOS MECÁNICOS

Elaborar los cálculos mecánicos para una línea que utiliza el conductor ACSR tipo GULL (Gaviota) y que está emplazada en una zona con las condiciones que describen las siguientes hipótesis:

Hipótesis de operación del conductor

Hipótesis A máxima velocidad del viento

⊕ Temperatura	15 °C
⊕ Variación de la temperatura	10 °C
⊕ Velocidad del viento	90 Km/h

Hipótesis B temperatura mínima

⊕ Temperatura	5 °C
⊕ Variación de la temperatura	10 °C
⊕ Velocidad del viento	30 Km/h

Hipótesis C condición diaria

⊕ Temperatura	25 °C
⊕ Variación de la temperatura	15 °C
⊕ Velocidad del viento	10 Km/h

Hipótesis D temperatura máxima

⊕ Temperatura	65 °C
⊕ Variación de la temperatura	15 °C
⊕ Velocidad del viento	0 Km/h

Parámetros de cálculo

◆ Factor de seguridad diario	5.0
◆ Factor de seguridad mínimo	2.5
◆ Módulo de elasticidad del aluminio	6.3*10 ⁵ Kg/cm
◆ Módulo de elasticidad del acero	21*10 ⁵ Kg/cm
◆ Coeficiente de dilatación del acero	1.15*10 ⁻⁵ 1/°C
◆ Coeficiente de dilatación del aluminio	2.3*10 ⁻⁵ 1/°C

Cálculos tipo

A continuación se presenta el cálculo tipo para el cable GULL tipo ASCR

◆ Número de hilos aluminio	54
◆ Número de hilos acero	7
◆ Diámetro por hilos	2.8219 mm
◆ Diámetro nominal	25.4 mm
◆ Sección transversal	381.49 mm
◆ Peso	1276 Kg/Km
◆ Carga de rotura	11135.6 Kg

Cálculo del módulo de elasticidad

$$E_c = \frac{n_{al} * E_{al} + n_{ac} * E_{ac}}{n_{al} + n_{ac}} = \frac{54 * 6.3 + 7 * 21}{54 + 7} * 10^3 = 7986.9 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

Cálculo del coeficiente de dilatación

$$\alpha_c = \frac{\alpha_{al} * E_{al} * n_{al} + \alpha_{ac} * E_{ac} * n_{ac}}{E_{al} * n_{al} + E_{ac} * n_{ac}} = \frac{2.3 * 6.3 * 54 + 1.15 * 21 * 7}{6.3 * 54 + 21 * 7} * 10^{-5}$$

$$\alpha_c = 1.953 * 10^{-5} * 1/^{\circ}C$$

Cálculo de la presión del viento:

$$p_v = 0.0042 V_v^2 * D_c$$

Para la máxima temperatura

$$P_{va} = 0.0042 * 90^2 * 25.4 * 10^{-3} = 0.864 * 10^{-3} \text{ Kg/m}$$

Para la mínima temperatura

$$P_{va} = 0.0042 * 30^2 * 25.4 * 10^{-3} = 0.096 \text{ Kg/m}$$

Para condiciones diarias

$$P_{va} = 0.0042 * 10^2 * 25.4 * 10^{-3} = 0.011 \text{ Kg/m}$$

Cálculo del factor de sobrecarga

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{P_v}{P_c}\right)^2}$$

para la máxima velocidad del viento

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{864.11 * 10^{-3}}{1.276} \right)^2} = 1.2077$$

Para mínima temperatura

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{96.012 * 10^{-3}}{1.276} \right)^2} = 1.0028$$

Para condiciones diarias

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{10.668 * 10^{-3}}{1.276} \right)^2} = 1.0000$$

Para temperatura máxima

$$P_{vd}=0 \text{ Kg/m}$$

$$m_d=1$$

Peso por unidad de superficie

$$w = \frac{1.276}{381.55} = 3.3447 * 10^{-3} \text{ kg/m/mm}^2$$

Tensión de rotura por unidad de área

$$t_r = \frac{11135.6}{381.55} = 29.185 \text{ Kg/mm}^2$$

Tensión inicial del conductor (para Fs diario)

$$t_c = \frac{t_r}{F_{sd}} = \frac{29.185}{5.0} = 5.8370 \text{ kg} / \text{mm}^2$$

Determinación de la hipótesis dominante:

Tomamos como punto de partida la hipótesis A de máxima velocidad del viento y la C de condiciones diarias

Ecuación de estado

$$t_2^3 + A * t_2^2 - B = 0$$

$$a = \alpha * e * (\theta_2 - \theta_1) - t_1 + a_2^2 * E * w_1^2 * m_1^2 / (24 * t_1^2)$$

$$B = \frac{a_r^2 * w^2 * m_2^2 * E}{24}$$

Cálculo del Vano Critico

$$a_c = \frac{tmx}{w} * \sqrt{\frac{24 * \alpha * (\theta A - \theta B)}{mA^2 - mB^2}} = \frac{5.8370}{3.3443 * 10^{-3}} * \sqrt{\frac{24 * 1.935 * 10^{-5} * (15 - 5)}{1.2077^2 - 1.0028^2}}$$
$$a_c = 177.554 \text{ m}$$

Como $a_c < a_r$, la tensión máxima es la de la condición de máxima velocidad del viento. Por tanto la condición dominante es la de máxima velocidad del viento.

Cálculo de la flecha máxima vertical

Flecha para máxima velocidad del viento

$$\theta_2 = \theta_a + \Delta\theta = -10 + 10 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Aplicando la ecuación de estado:

$$A = 21.517 \text{ Kg/mm}^2$$

$$B = 930.793 \text{ (Kg/mm}^2\text{)}^3$$

$$t_2^3 + 21.517 * t_2^2 - 930.793 = 0$$

$$t_2 = 5.878 \text{ Kg/mm}^2$$

Factor de Seguridad

$$F_s = 11135.6 / (5.834 * 381.49 * 10^{-3})$$

$$F_s = 5.004$$

Como el factor de seguridad es mayor que el factor de seguridad diario, podemos concluir que cumple.

flecha inclinada

$$H = 5.878 / (3.3443 * 10^{-3} * 1.2077) = 1445.189 \text{ [m]}$$

$$f_a' = A_r^2 * w * m A / (8 t v)$$

$$f_a' = 500^2 * 3.3443 * 10^{-3} * 1.2077 / (8 * 5.878) = 21.623 \text{ [m]} \text{ "Flecha Vertical"}$$

$$h = H + f_a' = 1466.813 \text{ [m]}$$

$$f_a = f_a' / 1.2077 = 17.904$$

$$\text{tensión de amarre} = h * 3.3443 * 10^{-3} * 1.2077 * 381.49 * 10^{-3} = 2260.443 \text{ Kg/mm}^2$$

Para las demás condiciones se sigue el mismo procedimiento obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla C.2.

Tabla C.2 Resultados Mecánicos

	<i>Hipótesis A</i>		<i>Hipótesis B</i>
<i>Tensión</i>	5.84	<i>Tensión</i>	6.17
<i>m</i>	1.21	<i>m</i>	1.00
<i>h</i>	1445.19	<i>h</i>	1840.14
<i>H</i>	1466.81	<i>H</i>	1857.12
<i>tv</i>	2227.12	<i>tv</i>	2354.65
<i>Flecha</i>	17.90	<i>Flecha</i>	16.93
	<i>Hipótesis C</i>		<i>Hipótesis D</i>
<i>Tensión</i>	5.83	<i>Tensión</i>	5.31
<i>m</i>	1.00	<i>m</i>	1.00
<i>h</i>	1744.07	<i>h</i>	1586.29
<i>H</i>	1761.99	<i>H</i>	1605.99
<i>tv</i>	2225.51	<i>tv</i>	2024.11
<i>Flecha</i>	17.92	<i>Flecha</i>	19.70

Cálculo de aislamientos

Selección del tipo de aislador

Por sus características eléctricas y mecánicas, el aislamiento escogido es el ANSI 52.3

Características técnicas del aislador

- ◆ Distancia de fuga 29.21 cm
 - ◆ Peso por unidad 3.08 Kg
 - ◆ Diámetro del aislador 25.4 cm
 - ◆ Altura del aislador 14.605 cm
- Cálculo del número de aisladores de la cadena

Criterio: GRADO DE AISLAMIENTO

$$Na = \frac{vl \max * ga}{lfa}$$

Para zonas forestales y agrícolas 1.9 cm/kv

Según la comisión eléctrica internacional el voltaje máximo para una tensión de 500 KVrms el valor de $V_{\max}=525$ KV

$$N_a = \frac{525 * 1.9}{29.21} = 34.15 \cong 34 \text{ aisladores}$$

Longitud de la cadena de aisladores

La longitud de cada aislador es de 14.605 cm

Longitud de los herrajes 30 cm

$$\lambda_{\text{cadena}} = N_a * \lambda_a + 30 = 34 * 14.605 + 30 = 5.265 \text{ m}$$

Peso de la cadena de aisladores

Peso de cada aislador = 3.08 kg

Peso de herrajes = 4 kg

$$Q = N_a * P_a + P_h = 34 * 3.08 + 4 = 108.72 \text{ Kg}$$

Comportamiento mecánico de la cadena de aisladores

El peso vertical que soporta la cadena de aisladores está dado por:

$$w_t = a * p + Q$$

a es el vano regulador de la estructura en estudio

P es el peso por unidad de longitud del conductor o conductores

Q es el peso de la cadena de aisladores

El peso de los conductores es de : $a * N_a * (\text{Peso del Conductor}) / 1000$

$$500 * 4 * 1276 / 1000 = 2552 \text{ Kg}$$

$$W_t = 2552 + 96.4 = 2648.4 \text{ Kg .}$$

El aislador seleccionado soporta hasta 3410 kgr

Cálculo del ángulo de inclinación de la cadena de aisladores

El ángulo está dado por

$$\tan i = \frac{2P_v + Q_v}{2P + Q}$$

$$P_v = 1744.67 \text{ Kg}$$

P_v es la presión del viento sobre el conductor

Q_v es la fuerza ejercida por el viento sobre la cadena de aisladores

$$Q_v = 0.0042 * V^2 * d_c * \lambda_{\text{cadena}}$$

$$Q_v = 0.0042 * 90^2 * 25.4 * 10^{-2} * 5.266 = 63.918 \text{ Kg}$$

$$i = \tan^{-1} \left(\frac{2 * 1744.67 + 63.918}{2 * 2552 + 108.72} \right) = 34.263^\circ$$

Siguiendo con el ejemplo en HELITE 1.0, se procede a mostrar los resultados obtenidos por este, para los cálculos mecánicos y aisladores.

Dichos resultados se muestran a continuación en las figuras C.4 y C.5.

Figura C.4 Resultados Mecánicos del ejemplo en HELITE 1.0

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS MECÁNICOS

RESULTADOS CÁLCULOS MECÁNICOS

PARÁMETROS H, h, ESFUERZOS DE TENSIÓN EN EL VÉRTICE Y FLECHAS MÁXIMAS

HIPÓTESIS A			HIPÓTESIS B		
tensión	5.837826	Kg/mm ²	tensión	6.172121	Kg/mm ²
m	1.207725		m	1.002827	
h	1445.189	m	h	1840.137	m
H	1466.813	m	H	1857.12	m
Tv	2227.12	Kg	Tv	2354.653	Kg
Ts	2260.443	Kg	Ts	2376.384	Kg
flecha	17.90429	m	flecha	16.93456	m

HIPÓTESIS C			HIPÓTESIS D		
tensión	5.838619	Kg/mm ²	tensión	5.305692	Kg/mm ²
m	1.000035		m	1	
h	1744.073	m	h	1586.295	m
H	1761.991	m	H	1605.995	m
Tv	2225.515	Kg	Tv	2024.112	Kg
Ts	2248.379	Kg	Ts	2049.249	Kg
flecha	17.9172	m	flecha	19.7	m

TABLA DE TENDIDO

Temperatura [c°]	Tensiones [Kg]	Longitudes de vanos de regulación [m]			
		50 [m]	100 [m]	150 [m]	200 [m]
0	2382.722	0.1673506	0.6694025	1.506156	2.67761
5	2348.933	0.1697579	0.6790316	1.527821	2.716126
10	2316.393	0.1721427	0.6885707	1.549284	2.754283
15	2285.031	0.1745053	0.6980211	1.570547	2.792084
20	2254.787	0.176846	0.707384	1.591614	2.829536
25	2225.599	0.1791652	0.7166609	1.612487	2.866644

Tabla de tendido (Flechas a diferentes niveles de temperatura y vanos reguladores)

CONDUCTOR

DIÁMETRO: 25.4 mm

CARGA DE ROTURA: 11135.6 Kg

PESO: 1276 Kg/Km

SECCIÓN TRANSVERSAL: 381.4982 mm²

NÚMERO DE HILOS DE ALUMINIO: 54

NÚMERO DE HILOS DE ACERO: 7

Cálculo de Tensiones

CONTINUAR CON AISLADORES

AYUDA SALIR

Como se puede apreciar, los resultados son muy aproximados, con la ventaja que HELITE 1.0, crea al mismo tiempo las tablas de tendido y considera el efecto terreno en la línea.

Figura C.5 Resultados de los cálculos de aisladores para el ejemplo en HELITE 1.0

HELITE 1.0

Cálculo de la cadena de aisladores

Una vez ingrese todos los datos, hacer clic en continuar, para realizar los cálculos

Línea de fuga

Línea de fuga: 29.2 cm
 Longitud aislador: 14.605 cm
 Diámetro aislador: 0.254 m
 Peso aislador: 3.08 kg
 Longitud herrajes: 30 cm
 Peso herrajes: 4 kg

Grados de Aislamiento

Zonas	Grados de aislamiento
<input checked="" type="radio"/> Forestales y Agrícolas	1.9 [cm/KV]
<input type="radio"/> Industriales y Próximas al mar	2.5 [cm/KV]
<input type="radio"/> Industriales y muy próximas al mar	3.2 [cm/KV]
<input type="radio"/> Industriales, en fabricas de productos Químicos , Centrales Térmicas	3.2 [cm/KV]

Número de aisladores

Número de aisladores teniendo en cuenta el grado de aislamiento
 Número de aisladores según la norma americana

Voltaje de línea: 500 KV
Vano regulador: 500 m
Peso del conductor: 1.276 kg/m
Diámetro del conductor: 0.0254 m
Conductores en haz: 4
Velocidad del viento máxima: 90 km/h

Resultados:

Número de aisladores: 34
 Longitud de la cadena: 5.2657 m
 Peso de la cadena: 108.72 kg
 Peso que soporta la cadena: 2680.72 kg
 Peso por conductor: 2552 kg
 Presión del viento sobre el conductor: 1744.675 kg/m
 Presión del viento sobre la cadena: 63.91854 kg
 Angulo de la cadena: 34.28044 grados
 Nivel básico de aislamiento (BIL): 2297.593396 Kv

BORRAR SALIR ?

En estos cálculos se espera que los resultados sean idénticos, ya que se utiliza el mismo aislador y el mismo método de calculo.