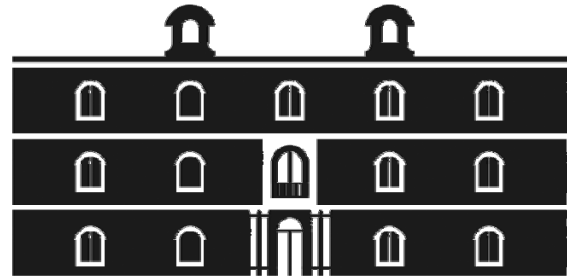




Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**industriales**  
etsii UPCT

# Software para el cálculo eléctrico y mecánico de L.A.T. subterránea y aérea

Titulación: Ingeniería Industrial  
Alumno/a: Álvaro López Parra  
Director/a/s: Francisco Javier Cánovas Rodríguez

Cartagena, 2 de Octubre de 2013

## ÍNDICE:

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	2
1.2. NORMATIVA APLICABLE.....	2
1.3. HERRAMIENTA UTILIZADA .....	3
<b>2. CÁLCULOS MECÁNICOS DE CONDUCTORES: .....</b>	<b>5</b>
2.1. CARGAS Y SOBRECARGAS A CONSIDERAR .....	6
2.1.1. Cargas permanentes.....	7
2.1.2. Acción de la temperatura: .....	11
2.2. ECUACIÓN DE CAMBIO DE CONDICIONES .....	11
2.2.1. Planteamiento de la ecuación .....	11
2.3. CÁLCULO DE LAS FLECHAS: .....	14
2.4. HIPÓTESIS REGLAMENTARIAS.....	16
2.5. COMPROBACIÓN DE FENÓMENOS VIBRATORIOS (EDS Y HDS).....	19
2.6. VANO DE REGULACIÓN EN VANOS INCLINADOS:.....	22
2.7. DISTANCIAS MINIMAS.....	22
2.7.1. Distancia de los conductores al Terreno .....	23
2.8. TABLA DE TENDIDO .....	24
<b>3. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE CONDUCTORES: .....</b>	<b>27</b>
3.1. PARAMETROS ELÉCTRICOS .....	27
3.1.1. Resistencia eléctrica .....	27
3.1.2. Inductancia .....	28
3.1.3. Capacidad .....	28
3.1.4. Resistencia de aislamiento .....	29
3.2. CÁLCULOS DE CAIDA DE TENSIÓN Y PÉRDIDA DE POTENCIA .....	29
3.2.1. Línea corta (longitud < 80 km).....	30
3.2.2. Línea media (80km ≤longitud≤300km).....	31
3.2.3. Línea larga (longitud >300 km).....	32
3.3. CÁLCULO DE INTENSIDAD NOMINAL.....	32
<b>4. CÁLCULOS Y PARAMETROS EN LINEAS AÉREAS.....</b>	<b>35</b>
4.1. INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE .....	35
4.1.1. Densidad admisible.....	35

4.2.	TENSIONES NOMINALES NORMALIZADAS.....	37
4.3.	EFFECTO CORONA Y PERTURBACIONES RADIOELÉCTRICAS.....	38
4.4.	CADENAS DE AISLADORES .....	40
4.4.1.	Materiales empleados en los aisladores .....	41
4.4.2.	Líneas de fugas recomendadas.....	45
4.4.3.	Número de aisladores.....	46
<b>5.</b>	<b>CÁLCULOS Y PARAMETROS EN LINEAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>49</b>
5.1.	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE PARA CONDUCTORES ENTERRADOS: .....	49
5.2.	FACTORES DE CORRECCION CABLES ENTERRADOS DIRECTAMENTE .....	50
5.2.1.	Cables enterrados directamente en terrenos cuya temperatura sea distinta de 25°C. ....	50
5.2.2.	Cables enterrados directamente en terrenos de resistividad térmica distinta de 1,5 K·m/W .....	51
5.2.3.	Cables tripolares o ternos de cables unipolares agrupados bajo tierra .....	52
5.2.4.	Cables directamente enterrados en zanja a diferentes profundidades.....	53
5.3.	INTENSIDADES MAXIMAS ADMISIBLES EN ZANJA EN EL INTERIOR DE TUBOS O SIMILARES .....	53
5.4.	INTENSIDADES MAXIMAS ADMISIBLES EN CONDICIONES DE INSTALACIÓN AL AIRE	54
5.5.	FACTORES DE CORRECCION CABLES INSTALADOS AL AIRE .....	55
5.5.1.	Cables instalados al aire en ambientes de temperatura distinta de 40°C ...	55
5.5.2.	Cables tripolares o ternos de cables unipolares instalados al aire y agrupados.....	56
5.5.3.	Cables expuestos directamente al sol .....	63
<b>6.</b>	<b>CONDUCTORES.....</b>	<b>65</b>
6.1.	CONDUCTORES DESNUDOS PARA LINEAS AEREAS:.....	65
6.2.	CONDUCTORES AISLADOS: .....	70
<b>7.</b>	<b>DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CÁLCULO: .....</b>	<b>72</b>
7.1.	INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN MATLAB: .....	72
7.2.	INTRODUCCIÓN A LA CREACIÓN DE ARCHIVOS GUI.....	72
7.3.	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA .....	76
7.3.1.	Ventana de inicio .....	76

7.3.2. Cálculos eléctricos en líneas aéreas de alta y media tensión para conductores desnudos. ....	77
7.3.3. Ventana de salida de cálculos eléctricos: .....	86
7.3.4. Cálculos eléctricos en líneas subterráneas para líneas de hasta 18/30kV...87	
7.3.5. Cálculos mecánicos en líneas aéreas de alta y media tensión para conductores desnudos .....	93
7.3.6. Ventana Cálculos Mecánicos de Conductores.....	102
7.3.7. Ventana Tabla de tendido .....	105
7.3.8. Otras opciones generales de las ventanas. ....	107
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>110</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>113</b>

**ÍNDICE DE TABLAS:**

Tabla 1 Hipótesis reglamentarias en Zona A .....	16
Tabla 2 Hipótesis de cálculo reglamentarias en Zona B.....	16
Tabla 3 Hipótesis reglamentaría en Zona C.....	17
Tabla 4 Límites E.D.S. según CIGRÉ .....	21
Tabla 5 Valores de Del .....	23
Tabla 6 Densidad máxima de corriente en distintos materiales.....	35
Tabla 7 Tensión más elevada de la red.....	38
Tabla 8 Aisladores de vidrio.....	42
Tabla 9 Aisladores compuestos .....	44
Tabla 10 Niveles de contaminación y líneas de fuga recomendadas.....	45
Tabla 11 Intensidad máxima admitida en conductores enterrados .....	49
Tabla 12 Factor de corrección, F, para temperatura del terreno distinta de 25 °C.....	50
Tabla 13 Factores de corrección Cables enterrados directamente en terrenos de resistividad térmica distinta de 1,5 K·m/W .....	51
Tabla 14. Factor de corrección por distancia entre ternos o cables tripolares.....	52
Tabla 15 Factores de corrección para profundidades de la instalación distintas de 1 metro .....	53
Tabla 16 Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y con corriente alterna. Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV bajo tubo .....	54
Tabla 17. Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y con corriente alterna. Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV instalados al aire.....	55
Tabla 18 Factor de corrección F, para temperaturas del aire distinta de 40°C. ....	55
Tabla 19. Factores de corrección para distintos tipos de instalación en canales o galerías.....	56
Tabla 20 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre bandejas continuas (la circulación del aire es restringida), con separación entre cables igual a un diámetro d .....	56
Tabla 21 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas, con separación entre cables igual a un diámetro d.....	57
Tabla 22 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre estructuras o sobre la pared, con separación entre cables igual a un diámetro d .....	58
Tabla 23 Cables tripolares o ternos de cables unipolares en contacto entre sí y con la pared, tendido sobre bandejas continuas o perforadas (la circulación de aire es restringida) .....	59
Tabla 24 Cables secos, tripolares o ternos de cables unipolares, en contacto entre sí, dispuestos sobre estructura o sobre pared.....	59
Tabla 25 Agrupación de cables tripolares o ternos de cables unipolares, con una separación inferior a un diámetro y superior a un cuarto de diámetro, suponiendo su instalación sobre bandeja perforada (el aire puede circular libremente entre los cables) .....	60

Tabla 26 Cables unipolares, tendidos sobre bandejas continuas (la circulación de aire es restringida) con separación entre cables igual a un diámetro d.....	61
Tabla 27 Cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas con separación entre cables igual a un diámetro d.....	61
Tabla 28 Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro d .....	62
Tabla 29 Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro d .....	62
Tabla 30 Conductores homogéneos de aluminio.....	66
Tabla 31 Conductores homogéneos de aleación de aluminio (ALx) .....	66
Tabla 32 Conductores bimetálicos de aluminio con acero galvanizado AL1/STyz.....	67
Tabla 33 Conductores compuestos (bimetálicos) de aleación de aluminio reforzados con acero galvanizado (AL3/STyz). .....	67
Tabla 34 Conductores compuestos de aluminio o aleación de aluminio reforzado con acero recubierto de aluminio(Antiguo LARL) .....	68
Tabla 35 Conductores compuestos de aluminio reforzados con aleación de aluminio (AL1).....	69
Tabla 36 Conductores de cobre (C) .....	70
Tabla 37 Botones de diseño GUI de MATLAB.....	75
Tabla 38 Posición de introducción de datos en aisladores de vidrio .....	84
Tabla 39 Posición de introducción de datos en aisladores compuestos.....	84
Tabla 40 Secciones del conductor en conductores aislados .....	90
Tabla 41 Secciones normalizadas para conductores aislados expuestos .....	92
Tabla 42 Tensiones nominales recomendadas por la compañía distribuidora.....	95
Tabla 43 Posición de los datos y unidades de los conductores en la base de datos .....	95

**ÍNDICE DE FIGURAS:**

Figura 2. 1 Cargas y peso del viento .....	7
Figura 2. 2 Espesor de hielo sobre un conductor .....	8
Figura 2. 3 Peso de hielo.....	9
Figura 2. 4 Espesor de hielo sobre el diámetro del conductor.....	10
Figura 2. 5 Vórtices de Von Karman .....	19
Figura 2. 6 Vibración eólica del conductor .....	19
Figura 3. 1 Circuito monofásico equivalente .....	30
Figura 3. 2 Circuito monofásico equivalente en $\pi$ .....	31
Figura 4. 1 Aislador de vidrio (D=diámetro, P=Paso).....	42
Figura 4. 2 Aisladores compuestos .....	43
Figura 5. 1 .....	52
Figura 5. 2 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre bandejas continuas (la circulación del aire es restringida), con separación entre cables igual a un diámetro d .....	57
Figura 5. 3 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas, con separación entre cables igual a un diámetro d.....	58
Figura 5. 4 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre estructuras o sobre la pared, con separación entre cables igual a un diámetro d.....	58
Figura 5. 5 Cables tripolares o ternos de cables unipolares en contacto entre sí y con la pared, tendido sobre bandejas continuas o perforadas (la circulación de aire es restringida) .....	59
Figura 5. 6 Cables secos, tripolares o ternos de cables unipolares, en contacto entre sí, dispuestos sobre estructura o sobre pared .....	60
Figura 5. 7 Agrupación de cables tripolares o ternos de cables unipolares, con una separación inferior a un diámetro y superior a un cuarto de diámetro, suponiendo su instalación sobre bandeja perforada (el aire puede circular libremente entre los cables).....	60
Figura 5. 8 Cables unipolares, tendidos sobre bandejas continuas (la circulación de aire es restringida) con separación entre cables igual a un diámetro d .....	61
Figura 5. 9 Cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas con separación entre cables igual a un diámetro d.....	62
Figura 5. 10 Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro d .....	62
Figura 5. 11 . Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro d .....	63
Figura 7. 1 Creación de un nuevo GUI .....	73

Figura 7. 2 Hoja GUI en blanco .....	74
Figura 7. 3 Página de Inicio .....	77
Figura 7. 4 Características de la línea .....	78
Figura 7. 5 Características del circuito.....	80
Figura 7. 6 Fases simplex .....	81
Figura 7. 7 Fases duplex.....	81
Figura 7. 8 Fases tríplex .....	81
Figura 7. 9 Fases cuádruplex.....	82
Figura 7. 10 Panel Características del Conductor .....	80
Figura 7. 11 Panel Distancia entre conductores.....	82
Figura 7. 12 Panel Aisladores.....	83
Figura 7. 13 Panel Efecto Corona .....	85
Figura 7. 14 Panel Parámetros eléctricos .....	86
Figura 7. 15 Panel salida Efecto Corona .....	86
Figura 7. 16 Panel salida Aisladores .....	87
Figura 7. 17 Panel Características de la línea .....	88
Figura 7. 18 Panel Conductores enterrados .....	90
Figura 7. 19 Panel Conductores no enterrados.....	91
Figura 7. 20 Panel Datos de conductores .....	93
Figura 7. 21 Panel Resultados.....	93
Figura 7. 22 Panel Datos de la línea.....	94
Figura 7. 23 Ventana de ayuda por coeficiente de seguridad mínimo .....	96
Figura 7. 24 Ventana de ayuda velocidad mínima .....	96
Figura 7. 25 Ventana de ayuda por velocidad mínima en caso de consideración de peso propio, hielo y viento.....	97
Figura 7. 26 Panel Introducción de puntos del terreno .....	97
Figura 7. 27 Importar puntos del terreno .....	98
Figura 7. 28 Representación del perfil.....	98
Figura 7. 29 Introducción de puntos manual .....	99
Figura 7. 30 Panel Opciones .....	99
Figura 7. 31 Panel Introducción de cantones y vanos.....	100
Figura 7. 32 Ejemplo introducción de cantones.....	101
Figura 7. 33 Perfil de la línea y representación de los apoyos .....	101
Figura 7. 34 Datos de la línea.....	102
Figura 7. 35 Pesos considerados.....	103
Figura 7. 36 Tabla de resultados.....	103
Figura 7. 37 Exportar resultados del CMC .....	104
Figura 7. 38 Confirmación de exportación de resultados correcta.....	104
Figura 7. 39 Ventana de selección de temperatura mínima e incremento de temperatura .....	105
Figura 7. 40 Datos de la línea .....	105



Figura 7. 41 Temperaturas elegidas .....	106
Figura 7. 42 Tabla de tendido .....	106
Figura 7. 43 Ventana de exportación de la tabla de tendido.....	107
Figura 7. 44 .....	107
Figura 7. 45 Iniciar nuevo proyecto .....	108
Figura 7. 46 Ayuda .....	108

# **SOFTWARE PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE L.A.T. SUBTERRANEA Y AÉREA**

**INTRODUCCIÓN**

**CAPÍTULO 1**

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Cuando se quiere diseñar una red eléctrica, uno de los problemas con los que nos encontramos, o que requieren cálculos más monótonos y tediosos, es el cálculo de las secciones de las líneas eléctricas en alta tensión, tanto los cálculos eléctricos en líneas aéreas para conductores desnudos y subterráneas con conductores aislados, como los cálculos mecánicos de conductores desnudos en las líneas aéreas, y este es precisamente el trabajo que elabora la herramienta informática realizada en este proyecto.

El cálculo de las secciones no es muy complejo, sino que requiere, sobretodo en el caso de cálculos mecánicos en líneas aéreas de alta y media tensión, un número determinado de cálculos repetitivos, y que pueden ser fácilmente desarrollados por un programa de cálculo informático.

Existen paquetes de software que realizan estos cálculos, con una exactitud tremenda, y con una interfaz gráfica muy fácil y austera, este software suele ser realizado por los propios fabricantes y te llevan a elegir única y exclusivamente a sus productos.

El campo de aplicación de esta herramienta, es tanto para su uso por parte de los alumnos de ingenierías como para profesionales que no quieren ver las opciones de selección de conductores reducidos a los fabricados por una casa específica, puesto que en muchas ocasiones, esa rigidez en la selección de materiales o conductores, pueden llevarnos a reducir la efectividad del proyecto.

Así a su vez, este software es bastante cómodo, puesto que todo se ve en pantalla, el número de conductores sobre los que se selecciona puede ser variado, incluso modificado, mediante la introducción de los valores en una hoja de Excel, siendo esta parte idónea para proyectos que requieren de materiales no usuales o no normalizados.

El software creado como objeto del presente proyecto además no requiere de ningún otro programa de pago, y por ello se convierte en un programa sin coste añadido para su disponibilidad y uso.

### 1.2. NORMATIVA APLICABLE

La normativa relacionada con el objetivo de esta aplicación es la siguiente:

— *“Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-*

*LAT 01 a 09"* (Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero del Ministerio de Industria Turismo y Comercio).

- *UNE-EN 50182:2002*. Conductores para líneas eléctricas aéreas. Conductores de alambres redondos cableados en capas concéntricas.
- *UNE-EN 50182 CORR.:2005*. Conductores para líneas eléctricas aéreas. Conductores de alambres redondos cableados en capas concéntricas.
- *UNE-EN 50183:2000*. Conductores para líneas eléctricas aéreas. Alambres en aleación de aluminio-magnesio-silicio.
- *UNE-EN 50189:2000*. Conductores para líneas eléctricas aéreas. Alambres de acero galvanizado.
- *UNE 211620*. Cables eléctricos de distribución con aislamiento extruido, de tensión asignada desde 3,6/6 (7,2)kV hasta 20,8/36 (42)kV.

### **1.3. HERRAMIENTA UTILIZADA**

Para el desarrollo de la aplicación, se trabaja con una herramienta de MATLAB<sup>®</sup> llamada GUIDE (Graphical User Interface Development Environment). Esta herramienta está pensada para desarrollar GUI's (Graphical User Interfaces) fácil y rápidamente haciendo sencillo el diseño y presentación de los controles de la interfaz, reduciendo la labor en el momento de seleccionar, deshacer, arrastrar y centrar controles, así como a personalización de las propiedades de estos.

El software MATLAB es de uso común en todos los ordenadores destinados a la enseñanza de materias técnicas ya que presenta numerosas interfaces para cálculos matemáticos dentro de cada una de las partes de la ingeniería.

El software MATLAB permite además que para utilizar el programa desarrollado como objeto de este proyecto no sea necesario disponer del programa en sí, siendo posible utilizarlo en ordenadores que no dispongan del mismo, dejando mucha libertad para su utilización.

# **SOFTWARE PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE L.A.T. SUBTERRANEA Y AÉREA**

**CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES**

**CAPÍTULO 2**

## 2. CÁLCULOS MECÁNICOS DE CONDUCTORES:

La filosofía de diseño para las líneas de alta tensión en general, está basada en el método empírico indicado en las normas UNE-EN 50341-1 y UNE-EN 50423-1. De acuerdo con ello, se utilizarán para las aplicaciones de las posibles solicitudes de cargas, fórmulas empíricas avaladas por la práctica que responderán a la duración, fiabilidad y garantía establecida en esta instrucción, equiparables con lo recomendado en la norma aludida.

En el “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en las líneas eléctricas de alta tensión” se parte de unos valores mínimos generalizados para el cálculo de las sollicitaciones sobre los apoyos y los componentes de la línea. Se exponen fórmulas empíricas en función de variables y posibilidades de aplicación de distintas hipótesis, que puedan contemplar la diferencia geográfica de las distintas áreas en que puede dividirse el Estado, en cuanto a concepción orográfica y climatológica se refiere. De esta forma, se establece una metodología de cálculo basada en la experiencia que las empresas distribuidoras y de transporte tienen en el diseño de líneas eléctricas aéreas.

Los conductores poco tensos necesitan apoyos más elevados, puesto que entre el punto más bajo del conductor y la tierra ha de quedar una altura mínima. Además tienen el peligro, cuando hay fuertes vientos, de que los conductores se balanceen y puedan llegar a tocarse unos con otros. Esto sucede, en particular, con las líneas con conductores de aluminio debido al pequeño peso específico del material. El contacto entre conductores origina un cortocircuito que provoca una interrupción en el servicio y un arco eléctrico que daña el material. Para evitar tales inconvenientes, las líneas poco tensas deben estar ampliamente dimensionadas en lo que se refiere a la distancia entre conductores.

Los conductores demasiado tensos están expuestos, en cambio, al peligro de la rotura cuando la fatiga del material se eleva como consecuencia de la contracción debida al frío, de la sobrecarga por la presión del viento o por el peso de la nieve o el hielo; entonces puede rebasarse fácilmente el límite admisible de la fatiga a la tracción (carga de rotura) y producirse la rotura del conductor.

Son principalmente dos los objetivos correspondientes al cálculo mecánico de conductores, a saber:

- 1)** Establecer la tracción (daN) que ha de darse al conductor el día del tendido, de tal forma que nunca se sobrepase en el conductor una fracción de la carga de rotura, en las condiciones de sobrecarga y temperatura, fijadas por el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en las líneas eléctricas de alta tensión, a las que va a estar sometido el conductor a lo largo de su vida.

En definitiva, se debe establecer una tabla de tendido de la línea para que el instalador pueda ejecutar el tendido, garantizándose con ello el cumplimiento de las prescripciones reglamentarias durante la vida de la línea.

La tabla de tendido facilita las tensiones del conductor y su flecha, en función de la temperatura del conductor en el momento del tendido para una longitud del vano determinada, que se denomina vano de regulación.

El vano de regulación es un vano de longitud ficticia, tal que el conductor instalado en dicho vano tiene la misma componente horizontal de la tracción que el mismo conductor instalado en una serie de vanos comprendidos entre dos apoyos de amarre (cantón). La longitud del vano de regulación se calcula a partir de las longitudes (y de los desniveles para más aproximación) de los vanos comprendidos dentro del cantón.

El tendido de la línea se realiza a la temperatura ambiente sin sobrecarga alguna en el conductor.

- 2) Obtener las flechas máximas indicadas según el apartado 3.2.3 de la ITC-LAT-07 y apartado 4.3.3 de la ITC-LAT-08, para establecer las distancias entre conductores, distancias entre conductores y el terreno, distancias en cruzamientos, etc., y garantizar el cumplimiento de las prescripciones establecidas en el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en las líneas eléctricas de alta tensión.

Además de los dos objetivos citados anteriormente el cálculo mecánico del conductor debe de permitir:

- Obtener la flecha mínima a emplear en la verificación de la distancia en el cruzamiento entre las líneas eléctricas aéreas.
- Obtener las tensiones mecánicas, en el conductor, a emplear para el cálculo de los apoyos.
- Obtener la distancia entre conductores y a partes puestas a tierra (desviación de cadena de aisladores de suspensión) y verificar que cumplen el límite reglamentario.

## **2.1. CARGAS Y SOBRECARGAS A CONSIDERAR**

El cálculo mecánico de los elementos constituyentes de las líneas, cualquiera que sea la naturaleza de éstos, se efectuará bajo la acción de las cargas y sobrecargas que a continuación se indican, combinadas en la forma y en las condiciones que se fijan en los apartados siguientes.

En el caso de que puedan preverse acciones de todo tipo más desfavorables que las que a continuación se prescriben, deberá el proyectista adoptar de modo justificativo valores distintos a los establecidos.

### 2.1.1. Cargas permanentes

Se considerarán las cargas verticales debidas al peso propio de los distintos elementos: conductores, aisladores, herrajes, cables de tierra -si los hubiere-, apoyos y cimentaciones.

#### 2.1.1.1. Fuerzas del viento sobre los componentes de las líneas aéreas.

Se considerará un viento mínimo de referencia de 120 km/h de velocidad, excepto en las líneas de categoría especial, donde se considerará un viento mínimo de 140 km/h de velocidad. Se supondrá el viento horizontal, actuando perpendicularmente a las superficies sobre las que incide.

La acción del viento, en función de su velocidad  $V_v$  en km/h, da lugar a las fuerzas que a continuación se indican sobre los distintos elementos de la línea.

La presión del viento en los conductores causa fuerzas transversales a la dirección de la línea, al igual que aumenta las tensiones sobre los conductores.

Considerando los vanos adyacentes, la fuerza del viento sobre un apoyo de alineación será, para cada conductor del haz podemos ver la ecuación 2.1.

$$F_c = q \cdot d \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \text{ daN} \quad (2.1)$$

Siendo

$D$ = Diámetro del conductor, en metros

$a_1$  y  $a_2$  = Longitudes de los vanos adyacentes, en metros. La semisuma de  $a_1$  y  $a_2$  es el vano de viento o eolovano,  $a_v$ .

$q$ = Presión del viento.

$$q = 60 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \text{ daN/m}^2 \text{ para conductores de } d \leq 16 \text{ mm}$$

$$q = 50 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \text{ daN/m}^2 \text{ para conductores de } d > 16 \text{ mm}$$

La presión de viento en los conductores aumenta las tracciones en los mismos, siendo su valor proporcional al cuadrado de la velocidad, como podemos ver en la figura 2.1 y su visión matemática en la ecuación 2.2.

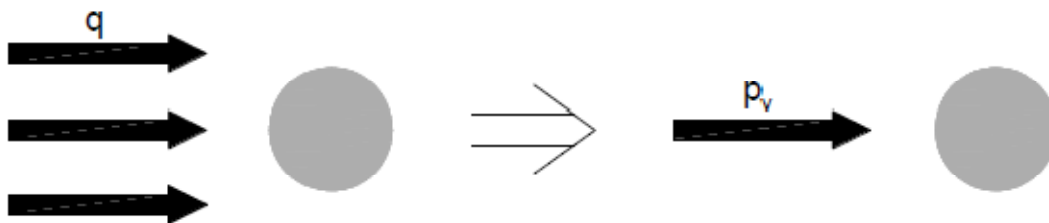


Figura 2. 1 Cargas y peso del viento



$$P_v = q \cdot d \left( \frac{daN}{m} \right) \quad (2.2)$$

En el caso de sobrecargas combinadas de hielo y de viento, se deberá considerar el diámetro incluido el espesor del manguito de hielo, para lo cual se aconseja considerar un peso volumétrico específico del hielo de valor  $750 \text{ daN/m}^3$ .

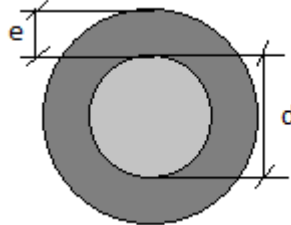


Figura 2. 2 Espesor de hielo sobre un conductor

e= Espesor.

d= Diámetro del conductor.

La acción del viento combinada con manguito de hielo, da lugar a la fuerza que se indica en la ecuación 2.3 sobre los conductores.

$$p_v = q \cdot (d + 2 \cdot e) \text{ daN/m} \quad (2.3)$$

La fuerza del viento sobre un apoyo de alineación, con sobrecarga de viento y hielo, será para cada conductor del haz:

$$F_c = q \cdot (d + 2 \cdot e) \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \text{ daN} \quad (2.4)$$

La fuerza total del viento sobre los conductores en haz estará definida como la suma de las fuerzas sobre cada uno de los conductores, sin tener en cuenta posibles efectos de pantalla entre conductores, ni aún en el caso de haces de conductores de fase.

En las fuerzas del viento sobre apoyos en ángulo, ha de tenerse en cuenta la influencia del cambio en la dirección de la línea, así como las longitudes de los vanos adyacentes.

#### 2.1.1.2. Sobrecargas motivadas por el hielo.

A estos efectos, el país se clasifica en tres zonas:

- Zona A: La situada a menos de 500 metros de altitud sobre el nivel del mar.
- Zona B: La situada a una altitud entre 500 y 1.000 metros sobre el nivel del mar.
- Zona C: La situada a una altitud superior a 1.000 sobre el nivel del mar.

Las sobrecargas serán las siguientes:

- Zona A: No se tendrá en cuenta sobrecarga alguna motivada por el hielo.
- Zona B: Se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor:  $0,18x\sqrt{d}$  daN por metro lineal, siendo d el diámetro del conductor o cable de tierra en milímetros.
- Zona C: Se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor:  $0,36x\sqrt{d}$  daN por metro lineal, siendo d el diámetro del conductor o cable de tierra en milímetros. Para altitudes superiores a 1500 metros, el proyectista deberá establecer las sobrecargas de hielo mediante estudios pertinentes, no pudiéndose considerar sobrecarga de hielo inferior a la indicada anteriormente.

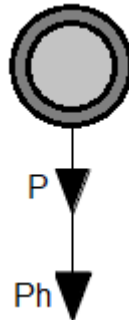


Figura 2. 3 Peso de hielo

Los valores de las sobrecargas a considerar para cada zona podrán ser aumentados, si las especificaciones particulares de las empresas distribuidoras o de transporte responsables del servicio así lo estableciesen.

Una práctica habitual es considerar, a partir de 1500 m de altitud, una variación lineal del manguito de hielo con la altitud, de acuerdo a la ecuación 2.5.

$$p_h = \frac{0,18 \cdot \sqrt{d}}{500} \cdot 1800 \text{ (daN/m)} \quad (2.5)$$

De acuerdo con el apartado “fuerzas del viento sobre los conductores”, donde se aconseja considerar un peso volumétrico específico del hielo de valor  $750 \text{ daN/m}^3$  y teniendo en cuenta las sobrecargas de hielo establecidas para las zonas B y C, se puede

determinar el espesor del manguito de hielo que le correspondería a cada una de las sobrecargas reglamentarias.

El peso del manguito de hielo, por unidad de longitud, tiene por valor:

$$p_h = S \cdot \gamma \text{ (daN/m)} \quad (2.6)$$

Siendo S la sección transversal en m<sup>2</sup> del manguito y  $\gamma$  el peso específico del hielo, que tiene como valor 750 daN/ m<sup>3</sup> o 0,75·10<sup>-6</sup> daN/mm<sup>3</sup>.

El peso del manguito de hielo, en zona B, por metro de longitud es 0,18vd daN/m o 0,18·10<sup>-3</sup>v d daN/mm , con lo que:

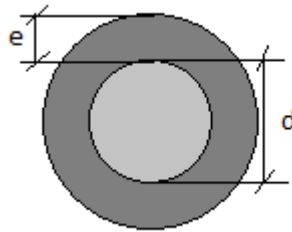


Figura 2. 4 Espesor de hielo sobre el diámetro del conductor

$$p_h = e^2 + 2 \cdot r \cdot e - \frac{0,18 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{d}}{\pi \cdot \gamma} = 0 \quad (2.7)$$

Resolviendo la ecuación 2.7 de segundo grado se obtiene un espesor para el manguito de hielo cuyo valor para Zona B será el indicado en la ecuación 2.8:

$$e = -r + \sqrt{r^2 + \frac{240 \cdot \sqrt{2} \cdot r}{\pi}} \quad (2.8)$$

Para zona C se resuelve de forma similar considerando que el peso del manguito de hielo es ahora 0,36x√d daN/m, con lo que el espesor del manguito viene expresada en la ecuación 2.9 .

$$e = -r + \sqrt{r^2 + \frac{480 \cdot \sqrt{2} \cdot r}{\pi}} \quad (2.9)$$

Donde:

- e= Espesor del manguito de hielo en milímetros.
- r= Radio del conductor en milímetros.

### 2.1.2. Acción de la temperatura:

Debido a los cambios de temperatura, el conductor se dilata o se contrae. Esto origina variaciones en la tensión y en la flecha, que aunque no son muy importantes en vanos de pequeña longitud, deberemos tenerlas en cuenta en el cálculo mecánico.

Como la dilatación es lineal responde a la fórmula:

$$L_1 = L_0(1 + \alpha \cdot T) \quad (2.10)$$

donde:

$L_0$ = Longitud del cable a cero grados (m).

$L_1$ = Longitud a la temperatura  $t$  (m).

$\alpha$ = coeficiente de dilatación lineal ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

$T$ = temperatura considerada ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Para hallar la variación de la longitud entre dos temperaturas diferentes  $T_1$  y  $T_2$  resolveremos la ecuación 2.11:

$$L_1 - L_2 = L_0(1 + \alpha \cdot T_1) - L_0(1 + \alpha \cdot T_2) = L_0\alpha(T_1 - T_2) \quad (2.11)$$

## 2.2. ECUACIÓN DE CAMBIO DE CONDICIONES

### 2.2.1. Planteamiento de la ecuación

La variación de las condiciones de carga (hielo o viento) o de la temperatura, producen la modificación de la tensión de trabajo de los conductores.

La ecuación del cambio de condiciones relaciona dos estados o situaciones de una línea eléctrica. Si se conocen todos los parámetros de un estado o condición inicial (1), se puede hallar por medio de la ecuación los parámetros de otro estado arbitrario o condición final (2).

<b>CONDICION INICIAL(1)</b>	a	$f_1$	$L_1$	$t_1$	$T_1$	$P_1$
<b>CONDICION FINAL(2)</b>	a	$f_2$	$L_2$	$t_2$	$T_2$	$P_2$

Resumiendo las ecuaciones que intervienen en las variaciones que sufre un vano cualquiera al variar sus condiciones, tendremos:

Ecuación de la flecha:

$$f_1 = \frac{Pa^2}{8T_1}; f_2 = \frac{Pa^2}{8T_2} \quad (2.12)$$

Longitud del conductor en el vano:

$$L_1 = a + \frac{a^3 P_1^2}{24T_1^2}; L_2 = a + \frac{a^3 P_2^2}{24T_2^2} \quad (2.13)$$

Por lo tanto uniendo las ecuaciones 2.12 y 2.13

$$L_1 - L_2 = a + \frac{a^3 P_1^2}{24T_1^2} - \left( a + \frac{a^3 P_2^2}{24T_2^2} \right) = \frac{a^3 P_1^2}{24T_1^2} - \frac{a^3 P_2^2}{24T_2^2} \quad (2.13)$$

Influencia de la temperatura:

$$L_1 - L_2 = L_0 \alpha (t_1 - t_2) \quad (2.14)$$

Influencia de la elasticidad:

$$L_1 - L_2 = \frac{L_0 (T_1 - T_2)}{ES} \quad (2.15)$$

En donde:

- $L_0 \approx a$  : longitud del vano (m).
- $f_1, f_2$ : flecha del conductor (m).
- $L_1, L_2$ : longitud del conductor (m).
- $t_1, t_2$ : temperatura ambiente (°C).
- $T_1, T_2$ : tensión en el conductor (daN o kg).
- $P_1, P_2$ : peso total unitario del conductor incluyendo la acción del viento y del hielo si lo indica el Reglamento (daN/m o kg/m)

Con todas estas premisas ya estamos en condiciones de plantear la ecuación. Por una parte la diferencia entre las longitudes del conductor en dos condiciones diferentes está dada por la expresión 2.12 , por lo tanto:

$$L_1 - L_2 = \frac{a^3 P_1^2}{24T_1^2} - \frac{a^3 P_2^2}{24T_2^2} \quad (2.16)$$

Por otra parte, la diferencia de longitudes también viene dada por las expresiones 2.15 y 2.14 , pues el conductor estará sometido a las variaciones de

temperatura y a la elasticidad, por lo tanto esta diferencia ( $L_1 - L_2$ ) será igual a la suma de estas variaciones:

$$L_1 - L_2 = a\alpha(t_1 - t_2) + \frac{a(T_1 - T_2)}{ES} \quad (2.17)$$

En esta ecuación hemos considerado que  $L_0=a$ , pues la diferencia existente es despreciable.

Igualando 2.16 y 2.17 queda:

$$\frac{a^3 P_1^2}{24T_1^2} - \frac{a^3 P_2^2}{24T_2^2} = a\alpha(t_1 - t_2) + \frac{a(T_1 - T_2)}{ES} \quad (2.18)$$

Agrupando los términos y dividiendo ambos miembros por  $a$  resulta:

$$\frac{a^2 P_1^2}{24T_1^2} - \alpha t_1 - \frac{T_1}{ES} = \frac{a^2 P_2^2}{24T_2^2} - \alpha t_2 - \frac{T_2}{ES} \quad (2.19)$$

Puesto que nos interesan las condiciones finales en función de las iniciales, demos al primer miembro de la igualdad el valor de  $K_1$ :

$$K_1 = \frac{a^2 P_1^2}{24T_1^2} - \alpha t_1 - \frac{T_1}{ES} \quad (2.20)$$

Con lo cual:

$$\frac{a^2 P_2^2}{24T_2^2} - \alpha t_2 - \frac{T_2}{ES} = K_1 \quad (2.21)$$

Multiplicamos ambos términos por  $24 \cdot T_2^2$ :

$$a^2 P_2^2 - 24T_2^2 \alpha t_2 - \frac{24T_2^3}{ES} = 24T_2^2 K_1 \quad (2.22)$$

Pasando el segundo miembro al primero y reagrupando nos queda:

$$\frac{24T_2^3}{ES} - a^2P_2^2 + (24\alpha t_2 + 24K_1)T_2^2 = 0 \quad (2.23)$$

Dividimos ambos miembros entre 24 resultando:

$$\frac{T_2^3}{ES} - \frac{a^2P_2^2}{24} + (\alpha t_2 + K_1)T_2^2 = 0 \quad (2.24)$$

Multiplicando la ecuación por S E obtenemos:

$$T_2^3 - \frac{a^2P_2^2 S E}{24} + (\alpha t_2 + K_1)S E T_2^2 = 0 \quad (2.25)$$

Llamando  $K_2$  a:

$$K_2 = (K_1 + t_2\alpha)SE \quad (2.26)$$

y  $K_3$  a:

$$K_3 = \frac{a^2P_2^2SE}{24} \quad (2.27)$$

La ecuación del cambio de condiciones queda de la forma:

$$T_2^3 + K_2T_2^2 - K_3 = 0 \quad (2.28)$$

Observamos que es una ecuación de tercer grado, lo que nos planteará problemas a la hora de su resolución, sin embargo, el empleo de ordenadores facilitará la obtención de resultados exactos de forma inmediata.

También es necesario aclarar que esta ecuación es válida para vanos nivelados, es decir, que los dos apoyos están a la misma altura. Sin embargo, se consigue suficiente aproximación hasta el 14% de desnivel, lo que abarca la mayor parte de los casos prácticos. Para vanos muy grandes o muy desnivelados se aplican fórmulas más complejas que se encontrarán en publicaciones especializadas en el tema.

### 2.3. CÁLCULO DE LAS FLECHAS:

En el vano a nivel, utilizando las ecuaciones de la catenaria, la flecha se calcula por medio de la ecuación:

$$f = c \left( \cosh \frac{x}{c} - 1 \right) \quad (2.29)$$

$$x = \frac{a}{2} \quad (2.30)$$

Utilizando las ecuaciones de la parábola hemos visto que en el caso del vano a nivel la flecha se calcula mediante la ecuación:

$$f = \frac{a^2 p}{8T} \quad (2.31)$$

Siendo  $a$  la longitud del vano,  $p$  el peso por metro lineal de conductor y  $T$  la componente horizontal de la tensión en las condiciones que se consideren.

Para vanos largos, aun cuando sean a nivel, esta ecuación introduce errores por defecto, puesto que ha sido deducida sustituyendo la función  $\cosh \frac{x}{c}$  por los dos primeros términos del desarrollo en serie por la ecuación de Mac Laurin.

Los errores se incrementan en el caso de que los vanos, además de ser largos, sean inclinados, ya que a mayor inclinación se utilizan puntos más altos de la rama de la curva, en los cuales se acentúan las diferencias entre la catenaria y la parábola. Por otra parte, las ecuaciones de la parábola están deducidas considerando un vano a nivel, en el cual la tensión en el punto medio coincide con la componente horizontal, y la longitud real  $b$  con la proyectada  $a$ .

Es sin duda por ello por lo que Truxá introdujo una modificación en la ecuación anterior, consistente en aplicar el criterio de utilizar la longitud real del vano,  $b$ , en lugar de la longitud proyectada, aparte de, como ha quedado indicado anteriormente, utilizar la tensión en el punto medio del vano en lugar de la componente horizontal. En tal caso resulta:

$$f = \frac{b^2 p}{8T_m} = \frac{b^2 p}{8 \frac{b}{a} T} = \frac{pab}{8T} \quad (2.32)$$

Ecuación que proporciona mayor aproximación en el cálculo de las flechas en vanos inclinados.

Buscando una mayor precisión, Truxá propone la utilización de la ecuación:

$$f = \frac{b^2 p}{8T_m} = \frac{b^2 p}{8 \frac{b}{a} T} = \frac{pab}{8T} \left( 1 + \frac{a^2 p^2}{48T^2} \right) \quad (2.33)$$

La cual se obtiene utilizando tres términos del desarrollo en serie por Mac Laurin y proporciona resultados muy aproximados incluso para vanos muy largos y muy desnivelados.



## 2.4. HIPÓTESIS REGLAMENTARIAS

El Reglamento nos marca una serie de hipótesis entre las que tenemos que buscar la más desfavorable. Estas hipótesis se dividen según las zonas en las que está situada la línea.

Tabla 1 Hipótesis reglamentarias en Zona A

ZONA A		
HIPOTESIS	PESO	TEMP °C
TRACCIÓN MAXIMA	P + V (Apdo. 3.1.2: mínimo 120 o 140km/h según tensión de la línea)	-5
	P + V (Apdo. 3.1.2:120 km/h)	15
FLECHA MAXIMA	P	50 85(*)
	P (Apdo. 3.2.2)	15
EDS	P (Apdo. 3.2.2)	15
CHS(**)	P	-5 (MT) 0 (AT)
FLECHA MÍNIMA	P	-5

(\*) Conductores de fase en categoría especial.

(\*\*) Hipótesis no exigida por ITC LAT-07.

Tabla 2 Hipótesis de cálculo reglamentarias en Zona B

ZONA B		
HIPOTESIS	PESO	TEMP °C
TRACCIÓN MAXIMA	P+H	-15
	P + V (Apdo. 3.1.2: mínimo 120 o 140km/h según tensión de la línea)	-10
	P+V+H(***) (Apdo. 3.1.2: mínimo 60)	-15
FLECHA MAXIMA	P + V	15
	P+H	0
	P	50 85(*)
EDS	P (Apdo. 3.2.2)	15
CHS(**)	P	-5 (MT) -5(AT)
FLECHA MÍNIMA	P	-15

(\*)conductores de fase en categoría especial

(\*\*) Hipótesis no exigida por ITC LAT-07.

(\*\*\*) La hipótesis de tracción máxima P+H+V se aplica a las líneas de categoría especial y todas las líneas que la norma particular de la empresa eléctrica así lo establezca o cuando el proyectista considere que la línea pueda encontrarse expuesta a la citada carga combinada. La velocidad del viento será como mínimo 60 km/h.

Tabla 3 Hipótesis reglamentaria en Zona C

ZONA C		
HIPOTESIS	PESO	TEMP(°C)
TRACCIÓN MAXIMA	P+H	-20
	P + V (Apdo. 3.1.2: mínimo 120 o 140km/h según tensión de la línea)	-15
	P+V+H(*) (Apdo. 3.1.2: mínimo 60)	-20
FLECHA MAXIMA	P + V	15
	P+H	0
	P	50 85(*)
EDS	P (Apdo. 3.2.2)	15
CHS(**)	P	-5 (MT) -10(AT)
FLECHA MÍNIMA	P	-20

(\*)Conductores de fase en categoría especial

(\*\*) Hipótesis no exigida por ITC LAT-07.

(\*\*\*) La hipótesis de tracción máxima P+H+V se aplica a las líneas de categoría especial y todas las líneas que la norma particular de la empresa eléctrica así lo establezca o cuando el proyectista considere que la línea pueda encontrarse expuesta a la citada carga combinada.

Las hipótesis de tracción máxima, adicional y de flecha máxima son de obligado cumplimiento. Las hipótesis de flecha mínima y tensión de cada día (T.D.C.) no están reglamentadas, pero dada su importancia se reseñan en las tablas.

Atendiendo a lo dicho en la ICT-LAT07, sobre vibraciones, incluimos una condición no reglamentaria, la TDC Tensión de Cada Día. Esta condición que corresponde a un peso del conductor sin sobrecargas y a una temperatura de 15 °C, dará una tensión a la que el conductor está sometido la mayor parte del tiempo.

También incluimos una condición, no reglamentada, la de FLECHA MÍNIMA, la cual puede ser interesante en ciertas ocasiones.

La ecuación del cambio de condiciones nos permitirá hallar cuál es la peor condición a la que estará sometido un conductor en un vano, es decir, aquella

situación en la que nos acerquemos más a la rotura del conductor; ésta será la hipótesis más desfavorable.

Para aplicar la ecuación del cambio de condiciones necesitamos una serie de datos básicos que quedarán definidos una vez elegido el conductor. La elección del conductor se hace en función de las características eléctricas de la línea, y casi nunca atendiendo a las necesidades mecánicas. Inmediatamente después elegiremos el vano, teniendo presente que cuanto mayor sea el vano las flechas resultantes serán mayores y por tanto también la altura de los postes que sustentarán la línea.

Las características del conductor que necesitamos, y que facilitan las tablas son:

- \* Peso propio por unidad de longitud.
- \* Diámetro total.
- \* Sección total.
- \* Módulo de elasticidad.
- \* Coeficiente de dilatación.
- \* Carga de rotura.

Para obtener la hipótesis más desfavorable, tendríamos que comparar todas entre sí, pero como sabemos que ésta será siempre la hipótesis de tracción máxima o la hipótesis adicional, solamente tendremos que buscar entre estos dos casos.

Si suponemos que la línea está en la zona B, comparamos la primera hipótesis (tracción máxima) con la segunda (hipótesis adicional). Como datos de la primera hipótesis tenemos el peso total a que estará sometido el conductor (peso propio más peso del hielo), la temperatura (-15 °C) y la tensión máxima que puede soportar el cable (carga de rotura dividida entre el coeficiente de seguridad). Como datos de la segunda hipótesis tenemos el peso total (peso propio más peso originado por el viento) y la temperatura (-10 °C) a que estará sometido el conductor en la hipótesis adicional. De esta manera tendremos una ecuación con una sola incógnita  $T_2$ . Al resolver la ecuación del cambio de condiciones obtendremos la tensión de la hipótesis adicional. Si la línea fuera de categoría especial también se debería comprobar la tercera hipótesis (P+V+H).

La hipótesis que presenta una mayor tensión será la más desfavorable y con los datos de esta hipótesis calculamos la constante A en la ecuación del cambio de condiciones, y a partir de aquí hallaremos las tensiones correspondientes al resto de las hipótesis.

Una vez efectuadas todas estas operaciones tendremos la tensión a la que está sometido el conductor en cada una de las hipótesis que marca el Reglamento, y por lo tanto hallaremos las flechas correspondientes, fijándonos especialmente en la flecha máxima que nos condicionará la altura de los postes.

## 2.5. COMPROBACIÓN DE FENÓMENOS VIBRATORIOS (EDS Y HDS)

El viento da lugar a diversos fenómenos de tipo oscilatorio en las líneas aéreas eléctricas. De éstos, el más conocido es la denominada vibración eólica, por ser el más extendido. Si no se adoptan las medidas de protección adecuadas, la vida útil de los conductores puede reducirse considerablemente. También puede afectar a herrajes, aisladores y accesorios. Estos fenómenos son producidos por la vibración eólica entre los puntos de engrape y en el caso de conductores en haz (duplex, triples,...), además, tiene lugar la vibración del subvano (entre separadores).

Consideremos un viento horizontal incidiendo sobre la superficie rugosa del cable. Debido al rozamiento del aire con el cable se produce régimen de fluido turbulento (régimen de Venturi) y forma unos torbellinos en la parte posterior del conductor de sentidos contrarios, que origina la vibración en el conductor (vórtices de Von Karman). Las turbulencias mueven al conductor verticalmente, a una frecuencia del orden de una decena a varias decenas de Hz , y con una amplitud del orden del diámetro del conductor.

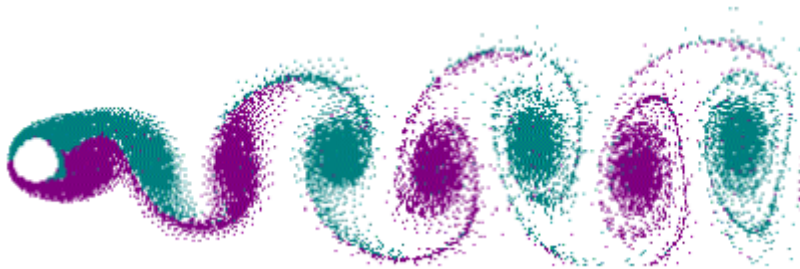


Figura 2. 5 Vórtices de Von Karman

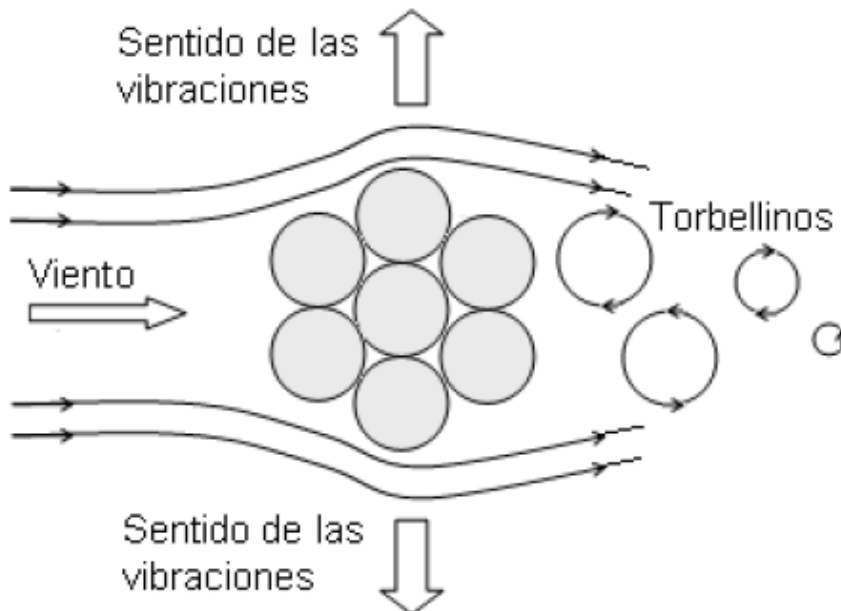


Figura 2. 6 Vibración eólica del conductor

Cuando el aire rebasa al conductor, el rozamiento no es exactamente igual en todos los puntos del mismo, con lo que se presentan velocidades distintas por encima y por debajo del conductor que provocan presiones desiguales, encontrándose la superficie de menor presión en el sitio en que la velocidad es mayor. El flujo de aire que procede del extremo opuesto tiende a hacer desaparecer esta diferencia de presiones mediante la formación de torbellinos en el lado posterior del conductor. Gracias a estos torbellinos, queda acelerada, por ejemplo, la velocidad en la parte superior y retardada en la inferior, pero este desequilibrio provoca, a su vez, un nuevo torbellino, teniéndose en definitiva una serie periódica de torbellinos alternados, estando el conductor sometido a fuerzas de sentidos ascendente y descendente alternativamente, que originan la oscilación del conductor.

La vibración se produce con vientos moderados, aproximadamente entre 4 y 10 km/h. Para vientos superiores a 18 km/h no se produce movimiento de vibración, ya que los torbellinos son arrastrados por la fuerte corriente de aire.

Con la experiencia adquirida durante la explotación y mantenimiento, por las compañías eléctricas de transporte y distribución, se ha llegado a la conclusión de que cuanto mayor es la tensión mecánica del cable mayor es la probabilidad de que aparezcan vibraciones en el mismo.

Estas oscilaciones pueden dar lugar a la rotura por fatiga de los alambres de los cables en las proximidades de las grapas de amarre y suspensión.

Las oscilaciones se producen con mucha frecuencia en líneas aéreas con haces múltiples de conductores (dúplex, tríplex, cuádruplex), sobre todo cuando estos están en un mismo plano horizontal. Son debidas a un acoplamiento aerodinámico de los conductores sometidos a vientos del orden de 14 a 65 km/h. Estas oscilaciones someten a los separadores del haz y a los conductores a fuertes solicitaciones.

a) Tensado al límite elástico.

Viene definida por el apartado 3.2.2 de la ITC-LAT-07 del Reglamento de 2008, quedando limitada la tensión máxima a la carga de rotura del cable afectada por los coeficientes de 2,5 ó 3 según sean cables ó alambres.

b) Tensado al límite dinámico. Tensión de cada día (T.C.D. o E.D.S)

Por la experiencia adquirida en la explotación de las líneas aéreas, se ha llegado a la conclusión de que cuanto mayor sea la tensión mecánica de un cable mayor es la probabilidad de que en el aparezca el fenómeno de vibraciones.

En base a ello se han definido unos órdenes de magnitud límites para mitigar en lo posible el fenómeno de las vibraciones en los conductores. Se definió el concepto

“tensión de cada día” (T.D.C.) en inglés "every day stress" (E.D.S.). La tensión de cada día se puede definir de dos formas equivalentes:

- I. La tensión a que está sometido el cable la mayor parte del tiempo correspondiente a la temperatura media, o temperaturas próximas a esta sin que exista sobrecarga.
- II. La tensión máxima admisible en un cable durante el período más largo del año sin que experimente vibraciones eólicas.

El valor representativo de la “tensión de cada día”, se suele expresar mediante el coeficiente E.D.S. en porcentaje con respecto a la carga de rotura del cable, el cual esta indicado en la ecuación 2.34.

$$EDS = \frac{\text{Tensión de cada día}}{\text{Carga de rotura del cable}} \times 100 \quad (2.34)$$

El valor del coeficiente EDS debe ser menor o igual al considerado como admisible. La ITC-LAT-07 3.2.2, recomienda, de forma general, que la tracción a temperatura de 15º no supere el 22% de la carga de rotura, si se realiza el estudio de amortiguamiento y se instalan dichos dispositivos, o bien que no supere el 15% de la carga de rotura si no se instalan dispositivos amortiguadores de la vibraciones.

La Comisión Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRÉ) indica los límites de EDS, establecidos de forma general, para diversos conductores en función de su composición.

Tabla 4 Límites E.D.S. según CIGRÉ

LÍMITES DE E.D.S. (%)				
Tipo de conductor	Lineas sin protección	Protección del tipo		
		Varillas de protección	Amortiguadores	Varillas de protección y amortiguadores
Cobre	26	-	-	-
	18	22	24	24
Aluminio	17	-	-	-
	18	-	26	-
Acero con grapa rígida	11	-	-	-
Acero con grapa oscilante	13	-	-	-

Generalmente, para conductores aluminio-acero, que son los más utilizados actualmente, y en ausencia de elementos antivibradores, se recomienda un valor de E.D.S. ≤ 18%, y es habitual adoptar en la práctica el valor de 15%. En España el cálculo se realiza considerando una temperatura de 15ºC y sin sobrecarga en los conductores.

c) Tensado al límite dinámico. Tensión de horas frías (THF), en inglés “cold hour stress” (CHS)

Las condiciones del coeficiente EDS no son suficientes con los mismos conductores en vanos muy cortos a bajas temperaturas. Por ello es recomendable (aunque el reglamento no lo exija) para minimizar las vibraciones, aplicar el coeficiente de “tensión de horas frías”.

$$CHS = \frac{\text{Tensión en horas frías}}{\text{Carga de rotura del cable}} \times 100 \quad (2.35)$$

El coeficiente CHS es el que tiene en cuenta el fenómeno vibratorio eólico del cable, en condiciones de temperaturas mínimas frecuentes sin sobrecarga. La tensión a -5°C no debe exceder del 20 % de la carga de rotura del cable, para cables de aluminio acero. En el caso de cables de acero (cables de tierra) no se debería superar el 14%. Es recomendable utilizar la experiencia adquirida por las compañías de transporte y de distribución, aplicando sus normas particulares para cada zona y tipo de conductor.

## 2.6. VANO DE REGULACIÓN EN VANOS INCLINADOS:

El vano de regulación para vanos inclinados quedará como sigue a continuación:

$$a_r = \frac{\sum \frac{b^3}{a^2}}{\sum \frac{b^2}{a}} \sqrt{\frac{\sum a^3}{\sum \frac{b^2}{a}}} \quad (2.36)$$

Cuando el desnivel es pequeño (<14%) podemos simplificar esta fórmula en:

$$a_r = \frac{\sqrt{\sum a_i^3}}{\sum a_i} \quad (2.37)$$

Donde b sería la hipotenusa del triángulo rectángulo formado por la diferencia de altura entre los apoyos y la distancia entre estos, y a sería la distancia más corta entre los apoyos.

## 2.7. DISTANCIAS MINIMAS

Aunque en el RLAT vienen definidas muchas de las distancias entre las diferentes partes que componen una línea, nosotros solo vamos a tener en cuenta la distancia entre el conductor y tierra, y las distancias entre conductores no entraran en

nuestro software para el cálculo, ya que suponemos que esto estará determinado por la cruceta elegida.

### 2.7.1. Distancia de los conductores al Terreno

La distancia entre terreno y conductor, la distancia mínima al terreno será de 6 metros, establecidos por el RLAT, en la ITC-LAT-07, en el punto 5.5.

$$D_{min} = 5,3 + D_{el} \quad (2.38)$$

Los valores de  $D_{el}$ , en función de la tensión más elevada de la línea  $U_s$ , serán los indicados en la tabla 5.

Tabla 5 Valores de  $D_{el}$

TENSIÓN MAS ELEVADA PARA LA RED $U_s$ KV	$D_{el}$ (m)
3,6	0,08
7,2	0,09
12	0,12
17,5	0,16
24	0,22
30	0,27
36	0,35
52	0,6
72,5	0,7
123	1
145	1,2
170	1,3
245	1,7
420	2,8

Por ejemplo para una tensión nominal de la red de 132 kV, la tensión más elevada de la red es 145kV (según RLAT). Por tanto para el caso seleccionado, la distancia mínima de los conductores al terreno es:

$$D_{el} = 1,2m$$

$$D_{min} = 5,3 + 1,2 = 6,5m$$

Como la distancia mínima es mayor que los seis metros mínimos permitidos, podemos aceptarla.

Cuando las líneas atraviesen explotaciones ganaderas cercadas o explotaciones agrícolas la altura mínima será de 7 metros, con objeto de evitar accidentes por



proyección de agua o por circulación de maquinaria agrícola, camiones y otros vehículos.

En la hipótesis del cálculo de flechas máximas bajo la acción del viento sobre los conductores, la distancia mínima anterior se podrá reducir en un metro, considerándose en este caso el conductor con la desviación producida por el viento.

## 2.8. TABLA DE TENDIDO

Las Tablas de Tensiones y Flechas constituyen una herramienta que ha sido tradicionalmente utilizada en el cálculo y construcción de líneas eléctricas aéreas. En la confección de las Tablas de Tensiones y Flechas se ha de partir de lo siguiente:

- Zona por donde discurre la línea.
- Tipo y características del conductor; material, sección, carga de rotura, módulo de elasticidad, coeficiente de dilatación lineal y diámetro.
- Componente horizontal máxima de la tensión en las condiciones más desfavorables, en función de la zona. Esta componente horizontal máxima debe adoptarse de forma que en el punto en el que el conductor esté sometido a su máxima tracción, en función de la longitud y desnivel de los vanos, el coeficiente de seguridad no resulte inferior al reglamentario o adoptado.
- Valor máximo del E.D.S. a la temperatura que se determine.

Para cada longitud de vano la componente horizontal máxima vendrá definida por el valor máximo fijado considerando el coeficiente de seguridad y el valor que haga que, en su caso, se cumplan las condiciones impuestas para el E.D.S.

Partiendo de la componente horizontal máxima de la tensión en las condiciones extremas, se calculan para cada longitud de vano las componentes horizontales de las tensiones y las flechas que corresponden a cada condición de equilibrio.

En la última columna de la tabla se suele incluir el valor correspondiente del E.D.S.

- Cálculo de tensiones

Si se trata de un solo vano, la tabla nos facilita para la longitud del mismo los valores de las componentes horizontales de las tensiones en las distintas condiciones.

Si se trata de un tramo comprendido entre apoyos de anclaje, hemos de calcular el valor del vano regulador, lo que se hace por medio de la ecuación 2.39.

$$a_r = \sqrt{\frac{\Sigma a^3}{\Sigma a}} \quad (2.39)$$

Para una longitud de vano igual a la del vano regulador, la tabla nos proporciona las componentes horizontales de las tensiones en las distintas condiciones de equilibrio.

En virtud de las desviaciones de las cadenas de suspensión, cuando se producen variaciones en las condiciones de equilibrio, todas las tensiones en los distintos vanos del tramo varían por igual, de la misma forma que lo haría en el caso de considerar un vano único de longitud igual a la del vano regulador.

- Cálculo de flechas

Una vez conocidas las componentes horizontales de las tensiones para cada condición de equilibrio, correspondientes bien a un vano o a un tramo, se deben calcular las flechas de cada uno de los vanos mediante la ecuación 2.40:

$$f = \frac{pab}{8T} \left( 1 + \frac{a^2 p^2}{48T^2} \right) \quad (2.40)$$

Donde:

a = Longitud proyectada del vano

b = Longitud real del vano =  $\sqrt{a^2 + h^2}$

T = Componente horizontal de la tensión en las condiciones consideradas.

p = Peso por metro lineal de conductor

# **SOFTWARE PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE L.A.T. SUBTERRANEA Y AÉREA**

**CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE CONDUCTORES**

**CAPÍTULO 3**

### 3. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE CONDUCTORES:

La determinación de los conductores adecuados para la línea de alta y media tensión que se pretende diseñar se realizará mediante los criterios:

- Caída de tensión en la línea.
- Pérdida de potencia.
- Densidad máxima admisible en los conductores.

Pero primero vamos a pasar los parámetros eléctricos que definirán nuestra línea, para luego pasar a explicar los métodos de cálculos de la misma.

#### 3.1. PARAMETROS ELÉCTRICOS

Para realizar los cálculos eléctricos de caída de tensión y pérdida de potencia de una línea se precisará determinar primeramente los parámetros eléctricos por unidad de longitud correspondientes a la resistencia  $R_L$ , e inductancia  $L_L$  serie, así como a la capacidad  $C_L$  y resistencia de aislamiento paralelo  $R_{al}$ . Para lo cual será preciso disponer de los datos propios del conductor (resistencia por unidad de longitud, diámetro y sección eléctrica) y de la disposición geométrica entre los conductores que componen la línea. Las ecuaciones utilizadas para determinar los parámetros eléctricos  $R$ ,  $L$ , y  $C$  de las líneas aéreas son los siguientes

##### 3.1.1. Resistencia eléctrica

La resistencia total de la línea se determina conocida la resistencia por unidad de longitud  $R_L$  y de la longitud  $L$  de la línea:

$$R = R_L \cdot L \ (\Omega) \quad (3.1)$$

La resistencia eléctrica a la temperatura  $T$  de funcionamiento de la línea se deberá tener en cuenta el coeficiente  $\alpha$  de variación de la resistencia con la temperatura:

$$R_T = \frac{R_{20}(1 + \alpha(T - 20))}{n} \ (\Omega) \quad (3.2)$$

Dónde:

- $R_{20}$  es la resistencia a 20°C del conductor
- $\alpha$  es el coeficiente de dilatación
- $T$  es la temperatura a la cual queremos hallar el valor de la resistencia.
- $n$  es el número de conductores por fase.

El valor de la resistencia en corriente continua en un conductor es inferior al de corriente alterna debido al efecto pelicular  $Y_s$  y en su caso, el efecto de proximidad  $Y_p$ .

El efecto pelicular  $Y_s$  provoca una reducción efectiva de la sección del conductor debido al desplazamiento corriente hacia la periferia del mismo, lo cual contribuirá en

incrementar la resistencia eléctrica en un orden de magnitud, normalmente no superior al 4%. Además, si se trata de un haz de conductores existe el efecto de proximidad creado por la influencia de la corriente de conductores del haz que también provocan una reducción efectiva de la sección. Este efecto es normalmente despreciable en las líneas aéreas:

$$R_{ca} \approx R_{cc}(1 + Y_s) (\Omega) \quad (3.3)$$

### 3.1.2. Inductancia

La inductancia de la línea da origen a una reactancia inductiva en serie con la resistencia:

$$X = \omega L_L L (\Omega/km) \quad (3.4)$$

Donde:

$$L_L = 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{DMG}{RMG'} (H/km) \quad (3.5)$$

— DMG es la distancia media geométrica entre las tres fases  $d_{12}$ ,  $d_{21}$  y  $d_{31}$ .

$$DMG = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} \quad (3.6)$$

— RMG' es el radio medio geométrico para la inductancia de una fase compuesta por un haz de n conductores separados una distancia d.

$$RMG' = \sqrt[n]{e^{-1/4} r n \left( \frac{d}{2 \operatorname{sen}(\pi/n)} \right)^{n-1}} \quad (3.7)$$

### 3.1.3. Capacidad

La capacidad de una línea conduce a una reactancia capacitiva que es la inversa de la susceptancia B:

$$B = -\omega C_L L (S) \quad (3.8)$$

Donde

$$C_L = \frac{0,0242}{\log \left( \frac{DMG}{RMG} \right)} (\mu F/km) \quad (3.9)$$

— DMG es la distancia media geométrica entre las tres fases  $d_{12}$ ,  $d_{21}$  y  $d_{31}$ .

$$DMG = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} \quad (3.10)$$

- RMG es el radio medio geométrico para la capacidad de una fase compuesta por un haz de  $n$  conductores separados una distancia  $d$ , siendo  $r$  el radio de cada conductor.

$$RMG = \sqrt[n]{rn \left( \frac{d}{2 \operatorname{sen}(\pi/n)} \right)^{n-1}} \quad (3.11)$$

### 3.1.4. Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento de la línea se expresa por su inversa, que se denomina perditancia  $G$ .

Para que exista perditancia la tensión más elevada de la red deber ser mayor que la tensión crítica disruptiva. La conductancia viene definida por la siguiente ecuación, la cual vendrá en Ohmios.

$$G = 3 \cdot \frac{P}{U_N} \cdot 10^3 \quad (3.12)$$

Dónde:

- $P$  son las pérdidas por Efecto Corona en kW/km.
- $U_N$  es la tensión nominal de la línea en kV.

## 3.2. CÁLCULOS DE CAIDA DE TENSIÓN Y PÉRDIDA DE POTENCIA

A partir de la determinación de los parámetros eléctricos de la línea y conocida la potencia demandada por la carga podrán establecerse las ecuaciones en régimen permanente que relacionan la tensión y la corriente en cualquier punto de la línea. Estas ecuaciones se pueden plantear de forma simplificada, a través del equivalente serie de la línea, compuesto por: resistencia  $R$  y reactancia  $X$ , válido para líneas cortas (hasta 80 km). Se puede utilizar el equivalente en pi para líneas de longitud media larga (80-300 km), en el que se considera además el efecto de la capacidad de la línea. Para líneas de gran longitud se debe establecer la ecuación de la línea utilizando parámetros distribuidos, que tiene en cuenta la propagación de la onda de tensión y de corriente a lo largo de la línea, resultando una ecuación en senos y cosenos hiperbólicos.

Establecidas las ecuaciones de tensión e intensidad podrá determinarse la caída de tensión en la línea y la pérdida de potencia.

Seguidamente se establecen las ecuaciones para dos de los tres modelos de líneas descritos anteriormente, los que son de uso en el proyecto fin de carrera.

### 3.2.1. Línea corta (longitud < 80 km)

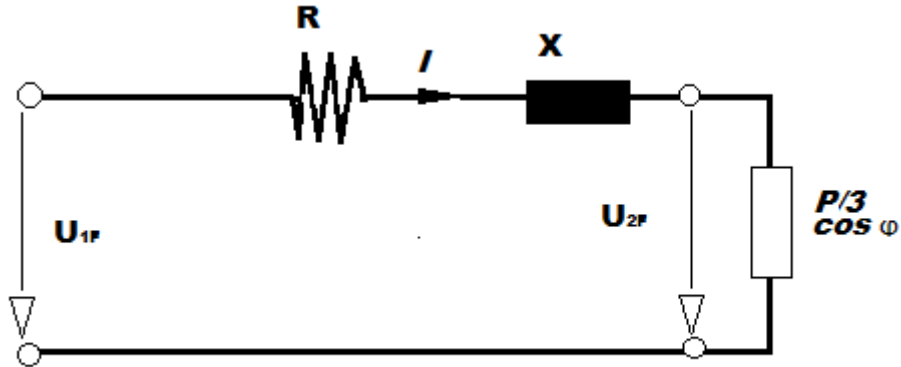


Figura 3. 1 Circuito monofásico equivalente

La caída de tensión a lo largo de la línea se calcula porcentualmente mediante la siguiente expresión:

$$\Delta U_{l(\%)} = \frac{\Delta U_l}{U_{2l}} \cdot 100 = \frac{P \cdot L \cdot (R_L + X_L \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U_{2l}^2} \cdot 100 \quad (3.13)$$

Y la pérdida de potencia porcentual por la ecuación

$$\Delta P_{(\%)} = \frac{3 \cdot I^2 \cdot R}{P} \cdot 100 = \frac{R_L \cdot P \cdot L}{U_{2l}^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100 \quad (3.14)$$

Donde:

$\Delta U_{l(\%)}$  = Caída de tensión en la línea expresada en %.

$\Delta P_{(\%)}$  = Pérdida de potencia en la línea expresada en %.

P = Potencia activa trifásica demandada por la carga (W).

$U_{2l}$  = Tensión de línea en el lado de carga Z(V).

$\varphi$  = Ángulo de la carga Z.

L = Longitud de la línea (km).

$R_L$  = Resistencia óhmica por unidad de longitud ( $\Omega/\text{km}$ ).

$X_L$  = Reactancia inductiva por unidad de longitud ( $\Omega/\text{km}$ ).

### 3.2.2. Línea media (80km ≤ longitud ≤ 300km)

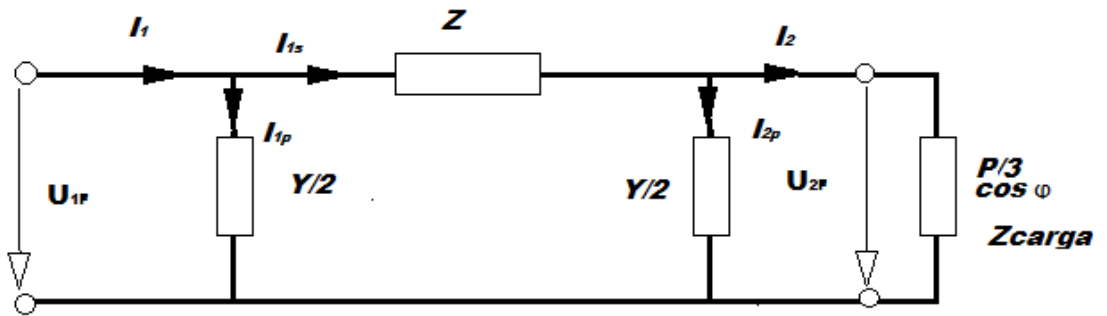


Figura 3. 2 Circuito monofásico equivalente en  $\pi$

Donde la impedancia  $\vec{Z}$  serie y la admitancia paralelo  $\vec{Y}$  vienen dadas por:

$$\vec{Z} = R + j \cdot X \quad (3.15)$$

$$\vec{Y} = G + j \cdot B \quad (3.16)$$

Siendo

R= Resistencia óhmica de la línea

X= Reactancia inductiva de la línea.

B= Susceptancia de la línea (inversa de la reactancia capacitiva,  $\omega c$ ).

G= Conductancia de la línea (inversa de la resistencia de aislamiento,  $1/Ra$ )

El proceso de cálculo fasorial debe efectuarse siguiendo la secuencia siguiente.

$$\vec{I}_2 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{2l} \cdot \cos\varphi} \angle\varphi \quad (3.17)$$

$$\vec{I}_{2p} = \vec{U}_{2f} \cdot \frac{\vec{Y}}{2} \quad (3.18)$$

$$\vec{I}_{1s} = \vec{I}_2 + \vec{I}_{2p} \quad (3.19)$$

$$\Delta\vec{U} = \vec{Z}\vec{I}_{1s} \quad (3.20)$$

$$\vec{U}_{1f} = \vec{U}_{2f} + \Delta\vec{U} \quad (3.21)$$

Resultando

$$\Delta\vec{U}_{l(\%)} = \frac{|U_{2f}| + |U_{1f}|}{|U_{2f}|} \quad (3.22)$$



$$\vec{I}_{1p} = \vec{U}_{1f} \cdot \frac{\vec{Y}}{2} \quad (3.23)$$

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_{1s} + \vec{I}_{1p} \quad (3.24)$$

Donde:

$U_{1f}$ = Tensión de fase en el inicio de la línea.

$U_{2f}$ = Tensión de fase en la carga (final de línea).

P= Potencia demandada por la carga.

$\varphi$ = Ángulo de la carga Z.

### 3.2.3. Línea larga (longitud >300 km).

No será visto para nuestro proyecto, pero sería usando el método de los parámetros distribuidos.

## 3.3. CÁLCULO DE INTENSIDAD NOMINAL

La intensidad nominal que atraviesa el conductor será calculada puesto que puede plantear una condicione suficiente para tener que aumentar el diámetro de conductor, para su cálculo que se aplicará la ley de ohm en líneas trifásicas.

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\theta} (A) \quad (3.25)$$

Donde:

P= Potencia transportada por la línea en kW

$U_N$ = Tensión nominal de la línea en kV

$\cos\theta$ = Factor de potencia

Como única peculiaridad para el cálculo en nuestro caso, como se puede dar el caso de tener un número de circuitos o de conductores superior a uno tendremos un número determinado de circuitos en paralelo, por ello para conocer la intensidad nominal por cada conductor usamos:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\theta \cdot N_{CI} \cdot N_{CO}} (A) \quad (3.26)$$

Donde:

$N_{CI}$  = El número de circuitos que componen la línea.

$N_{CO}$  = El número de conductores por fase.

# **SOFTWARE PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE L.A.T. SUBTERRANEA Y AÉREA**

**CÁLCULOS Y PARAMETROS EN LINEAS AÉREAS**

**CAPÍTULO 4**

## 4. CÁLCULOS Y PARAMETROS EN LINEAS AÉREAS

### 4.1. INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

Se realizará, mediante un sistema de cálculo, contrastado y conforme a la normativa vigente, el estudio de la intensidad máxima admisible que puede circular por los conductores de la línea. Este estudio se documentará en el proyecto, indicándose, si procede, las condiciones climatológicas consideradas en los cálculos y en el diseño

La sección de los conductores de fase deberá ser elegida de forma tal que no se exceda la temperatura máxima para la que se ha calculado el material del conductor, bajo unas condiciones específicas definidas en las especificaciones del proyecto.

Para ello disponemos de unas tablas con las densidades máximas admisibles establecidas según el reglamento que nos indicarán

#### 4.1.1. Densidad admisible

Las densidades de corriente máximas en régimen permanente no sobrepasarán los valores señalados en la tabla 6.

Tabla 6 Densidad máxima de corriente en distintos materiales

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Densidad de corriente A/mm <sup>2</sup>		
	Cobre	Aluminio	Aleación de aluminio
10	8,75		
15	7,6	6	5,6
25	6,35	5	4,65
35	5,75	4,55	4,25
50	5,1	4	3,7
70	4,5	3,55	3,3
95	4,05	3,2	3
125	3,7	2,9	2,7
160	3,4	2,7	2,5
200	3,2	2,5	2,3
250	2,9	2,3	2,15
300	2,75	2,15	2
400	2,5	1,95	1,8
500	2,3	1,8	1,7
600	2,1	1,65	1,55

Los valores de la tabla anterior se refieren a materiales cuyas resistividades a 20 °C son las siguientes: Cobre 0,017241  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ , Aluminio duro 0,028264  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ , Aleación de aluminio 0,03250  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ . Para el acero galvanizado se puede considerar una resistividad de 0,192  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  y, para el acero recubierto de aluminio, de 0,0848  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ .

Para cables de aluminio-acero se tomará en la tabla el valor de la densidad de corriente correspondiente a su sección total como si fuera de aluminio y su valor se multiplicará por un coeficiente de reducción que según la composición será: 0,916 para la composición 30+7; 0,937 para las composiciones 6+1 y 26+7; 0,95 para la composición 54+7; y 0,97 para la composición 45+7. El valor resultante se aplicará para la sección total del conductor.

Para los cables de aleación de aluminio-acero se procederá de forma análoga partiendo de la densidad de corriente correspondiente a la aleación de aluminio, empleándose los mismos coeficientes de reducción en función de la composición.

Para conductores de otra naturaleza, la densidad máxima admisible se obtendrá multiplicando la fijada en la tabla para la misma sección de cobre por un coeficiente igual a  $\sqrt{\frac{1,724}{\rho}}$ , siendo  $\rho$  la resistividad a 20 °C del conductor de que se trata, expresada en microohmios·centímetro.

NOTA: Se permitirán otros valores de densidad de corriente siempre que correspondan con valores actualizados publicados en las normas EN y CEI aplicables.

La corriente capaz de ser transportada por un conductor de alambres de aluminio y acero  $I_{Al-ac}$  es inferior a la corriente  $I_{Al}$  que puede transportar un conductor de la misma sección  $S$  constituido sólo por alambres de aluminio. La reducción de corriente puede determinarse bajo la consideración de que la potencia disipada por el efecto Joule en ambos casos deba ser la misma, con objeto de mantener constantes las pérdidas de energía en ambos conductores.

$$I_{Al}^2 \cdot R_{Al} = I_{Al-ac}^2 \cdot R_{Al-ac} \quad (4.1)$$

Donde  $R_{Al}$  y  $R_{Al-ac}$  son las resistencias por unidad de longitud de los conductores de aluminio y de aluminio-acero respectivamente.

Teniendo presente que la sección es la misma para ambos conductores la expresión anterior puede ponerse en la forma:

$$\delta_{Al}^2 \cdot \rho_{Al} = \delta_{Al-ac}^2 \cdot \rho_{Al-ac} \quad (4.2)$$

Donde  $\delta_{Al}$   $\delta_{Al-ac}$  son las densidades de corriente en los conductores de aluminio y de aluminio-acero respectivamente y  $\rho_{Al}$  y  $\rho_{Al-ac}$  sus correspondientes resistividades eléctricas.

Con lo cual la densidad de corriente del conductor de aluminio-acero resultará:

$$\delta_{Al-ac} = \delta_{Al} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{Al}}{\rho_{Al-ac}}} \quad (4.3)$$

En definitiva, si se conoce la densidad de corriente admisible para un material de referencia, por ejemplo el aluminio  $\delta_{Al}$  y se desea conocer la densidad de corriente de otro nuevo material, por ejemplo la del aluminio-acero  $\delta_{Al-ac}$ , basta con conocer las resistividades eléctricas de ambos materiales y aplicar la expresión anterior. Este razonamiento es generalizable para cualquier material de referencia.

La resistividad media de un conductor compuesto por dos tipos de alambres diferentes, tales como el aluminio y el acero  $\rho_{Al-ac}$ , se determina a través de la resistencia media equivalente del paralelo formado por la resistencia óhmica de ambos conjuntos de alambres, los de aluminio y los de acero:

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{R_{Al}} + \frac{1}{R_{ac}} \quad (4.4)$$

Considerando que la sección de los alambres de aluminio viene dada por  $S_{Al}$  la de los alambres de acero por  $S_{ac}$  y expresando las resistividades de ambos materiales por  $\rho_{Al}$  y  $\rho_{ac}$  respectivamente, se tendrá:

$$\frac{(S_{Al} + S_{ac})}{\rho_{Al-ac}} = \frac{S_{Al}}{\rho_{Al}} + \frac{S_{ac}}{\rho_{ac}} \quad (4.5)$$

Si en esta ecuación se denomina  $k$  al cociente entre la sección de los alambres de aluminio y la de los alambres de acero y se despeja la resistividad media  $\rho_{Al-ac}$  resulta

$$\rho_{Al-ac} = \frac{(k + 1)}{\frac{k}{\rho_{Al}} + \frac{1}{\rho_{ac}}} \quad (4.6)$$

## 4.2. TENSIONES NOMINALES NORMALIZADAS

Las tensiones nominales normalizadas de la red, así como los valores correspondientes de las tensiones más elevadas se incluyen en la tabla XX. Únicamente en el caso de que la línea objeto del proyecto sea extensión de una red ya existente, podrá admitirse la utilización de una tensión nominal diferente de las anteriormente señaladas. De entre ellas se recomienda la utilización de las tensiones siguientes:

20 kV, 66 kV, 132 kV, 220 kV Y 400 kV

La tensión de la línea, expresada en kV, se designará en lo sucesivo por la letra  $U_n$  para la tensión nominal y  $U_s$  para la tensión más elevada.

En la tabla 7 se indican las tensiones nominales normalizadas en redes trifásicas.

Tabla 7 Tensión más elevada de la red

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED ( $U_n$ ) kV	TENSIÓN MAS ELEVADA DE LA RED ( $U_s$ ) kV
3	3,6
6	7,2
10	12
15	17,5
20*	24
25	30
30	36
45	52
66*	72,5
110	123
132*	145
150	170
220*	245
400*	420

Las tensiones marcadas con un asterisco (\*) son las tensiones de uso preferente en redes eléctricas de transporte y distribución.

La tensión nominal de la línea establecerá la categoría de la línea, la cual puede ser clasificada en cuatro categorías:

- 3ª Categoría: Líneas con tensión nominal  $>1\text{kV}$  y  $\leq 30\text{kV}$ .
- 2ª Categoría: Líneas con tensión nominal  $>30\text{kV}$  y  $\leq 66\text{kV}$ .
- 1ª Categoría: Líneas con tensión nominal  $>66\text{kV}$  y  $<220\text{kV}$ .
- Categoría especial: Líneas con tensión nominal  $\geq 220\text{kV}$ .

#### 4.3. EFECTO CORONA Y PERTURBACIONES RADIOELÉCTRICAS

Será preceptiva la comprobación del comportamiento de los conductores al efecto corona en las líneas de tensión nominal, superior a 66kV. Asimismo, en aquellas líneas de tensión nominal entre 30kV y 66kV, ambas inclusive, que puedan estar próximas al límite inferior de dicho efecto, deberá realizarse la citada comprobación.

El proyectista justificará, con arreglo a los conocimientos de la técnica, los límites de los valores de la intensidad del campo en conductores, así como en sus accesorios, herrajes y aisladores que puedan ser admitidos en función de la densidad y proximidad de los servicios que puedan ser perturbados en la zona atravesada por la línea.

Si una línea adquiere una tensión lo suficientemente elevada para producir un campo eléctrico en la superficie de sus conductores igual o superior a la rigidez dieléctrica del aire, se producirán descargas incompletas en el aire denominadas descargas corona. Estas descargas producen pérdidas de potencia y perturbaciones radioeléctricas. Cuando la tensión aumenta las descargas corona se hacen visibles en la oscuridad en forma de resplandor blanco-azulado que rodea las zonas del conductor o herrajes de mayor gradiente de tensión.

Además, las descargas corona pueden provocar la degradación del aislamiento de los aisladores de material compuesto por la aparición de ozono y óxidos nítricos que con agua forma ácido nítrico. Este conduce al ennegrecimiento de la superficie aislante, la pérdida de elasticidad y la pérdida de sus propiedades hidrofóbicas, que son las que permiten el buen comportamiento frente a la contaminación.

El nivel de tensión para el cual el campo eléctrico de una línea es igual a la rigidez dieléctrica del aire se llama tensión crítica de inicio de corona  $U_c$  y el nivel al cual comienzan los efluvios visibles, tensión crítica visual, la cual es ligeramente superior.

Las pérdidas de potencia por el efecto corona empiezan cuando la tensión de la línea alcanza la tensión crítica de inicio de corona.

#### **Determinación de la tensión crítica de aparición de efecto corona:**

Para determinar el campo crítico de aparición del efecto corona en un conductor cilíndrico se emplea generalmente la fórmula empírica de Peek. El campo eléctrico crítico para el inicio del efecto corona  $E_c$  fue estudiado en 1920 por Peek para configuraciones cilíndricas coaxiales de radio  $r$ , a la presión atmosférica del nivel del mar (1,013 bar) y a la temperatura de referencia  $\theta_0$  de 25°C.

$$E_c = 31m \left[ 1 + \frac{0,308}{\sqrt{\delta_{25}r}} \right] \cdot \delta_{25} \quad (4.7)$$

Donde  $E_c$  está expresado en  $kV_{\text{cresta}}/\text{cm}$ ,  $r$  en centímetros y  $m$  es un factor que tiene en cuenta la irregularidad de la superficie del conductor y las condiciones ambientales  $m = m_c \cdot m_a$ . El factor  $m_c$  toma el valor unidad para conductores lisos y pulidos y está comprendido entre 0,83 y 0,73 para conductores compuestos por alambres. El factor  $m_a$  toma el valor unidad para tiempo seco y 0,8 para tiempo lluvioso. La variable  $\delta_{25}$  es el factor de corrección de la densidad relativa del aire con respecto a las condiciones de referencia.



Los trabajos de Peek fueron realizados para un rango de  $(\delta_{25} \cdot r) \leq 0,2\text{cm}$  pero su validez es aplicable hasta 1cm.

La densidad relativa del aire a las condiciones de referencia viene dada por:

$$\delta_{25} = \frac{298}{(273 + \theta)} \frac{p}{1,013} \quad (4.8)$$

Donde  $\theta$  es la temperatura ambiente local expresada en  $^{\circ}\text{C}$ , y  $p$  la presión atmosférica local expresada en bar.

Para tener en cuenta en la expresión anterior el efecto de la reducción de la presión atmosférica con la altitud  $h$  en lugar de la presión local  $p$  el término de corrección  $\delta_{25}$  se utiliza de la siguiente forma:

$$\delta_{25} = \frac{298}{(273 + \theta)} e^{-h/8.150} \quad (4.9)$$

Donde  $h$  está expresado en metros respecto al nivel del mar.

#### **Pérdidas debidas al efecto corona:**

El valor de la pérdida de potencia por el efecto corona viene dado según Peek:

$$P_{corona} = \frac{241}{\delta} (f + 25) \left( \frac{U_s}{\sqrt{3}} - \frac{U_c}{\sqrt{3}} \right)^2 \sqrt{\frac{r}{DMG}} \cdot 10^{-5} (kW/km) \quad (4.10)$$

Donde:

$\delta$  = Densidad relativa del aire.

$f$  = Frecuencia en ciclos/seg = 50Hz

$r$  = Radio del conductor en cm

$DMG$  = Distancia media geométrica entre fases en cm

$U_s$  = Tensión compuesta más elevada, definida en el apartado 1.2 de la ITC 07 del LAT.

$U_c$  = Tensión compuesta crítica disruptiva en kV para la cual el valor de pico de la intensidad de campo eléctrico en la superficie del conductor es igual o superior al campo crítico definido por Peek.

#### **4.4. CADENAS DE AISLADORES**

Los conductores empleados en líneas aéreas, en la mayor parte de los casos, son desnudos; por lo tanto, se necesita aislarlos de los soportes por medio de aisladores, fabricados generalmente con porcelana, vidrio o materiales sintéticos como la silicona. La sujeción del aislador al poste se realiza por medio de herrajes. Además,

un aislador debe tener las características mecánicas necesarias para soportar los esfuerzos a tracción a los que está sometido.

Las cadenas de aisladores deben presentar un grado de aislamiento adecuado de forma que presente valores elevados y por consiguiente no se produzcan descargas de contorno entre los conductores y el apoyo a través de los aisladores. La tensión de contorneamiento es la tensión a la que se ceba un arco a través del aire siguiendo la mínima distancia entre fase y tierra, es decir, el contorno del aislador. Esta distancia se llama línea de fuga. El grado de aislamiento se define como el cociente entre la línea de fuga y la tensión más elevada.

$$GA = \frac{n \cdot LF}{E} \quad (4.11)$$

Donde:

GA=grado de aislamiento

n=número de aisladores

LF=longitud de la línea de fuga

E=Tensión más elevada

#### **4.4.1. Materiales empleados en los aisladores**

##### Aisladores de vidrio:

Están fabricados por una mezcla de arena silíceo y de arena calcárea, fundidas con una sal de sodio a una temperatura de unos 1300 °C, obteniéndose por moldeo. Su color es verde oscuro. El material es más barato que la porcelana, pero tienen un coeficiente de dilatación muy alto, que limita su aplicación en lugares con cambios grandes de temperatura; la resistencia al choque es menor que en la porcelana. Sin embargo, debido a que el coste es más reducido y su transparencia facilita el control visual, hacen que se utilicen mucho más que los de porcelana. El aislador de vidrio viene siendo el más utilizado para líneas aéreas de alta tensión.

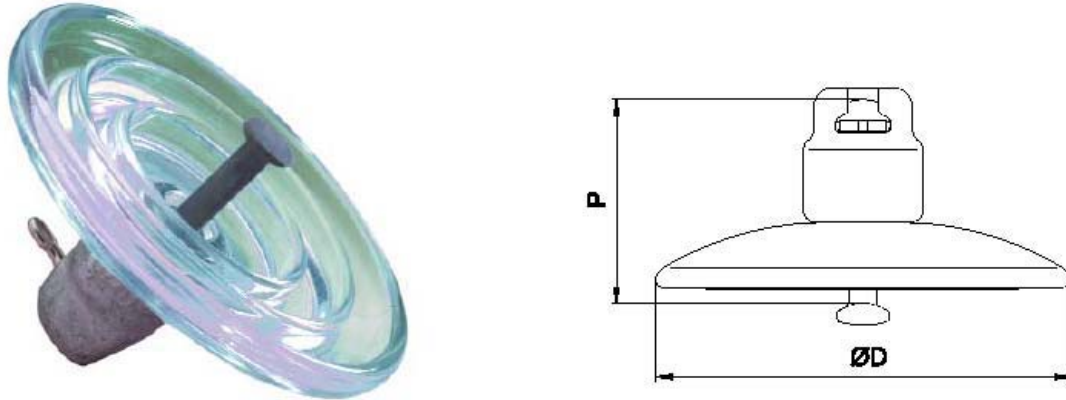


Figura 4. 1 Aislador de vidrio (D=diámetro, P=Paso)

Hemos introducido unos ejemplos de aisladores dados por las compañías distribuidoras

Tabla 8 Aisladores de vidrio

Aislador	Paso (mm)	Diametro(mm)
U40B	110	195
U70BS	127	320
U70BL	146	320
U100BS	127	320
U100BL	146	320
U120B	146	320

#### Aisladores de compuestos:

Los aisladores compuestos consisten en un núcleo aislante, que soporta la carga mecánica, protegidos por un revestimiento polimérico, siendo transmitida la carga al núcleo por los herrajes metálicos. Los materiales y detalles constructivos pueden variar de un fabricante a otro.

El núcleo consta habitualmente de fibras de vidrio impregnadas en resina. El revestimiento puede ser fabricado a partir de diversos materiales, incluso los elastómeros (por ejemplo: silicona, etileno-propileno), resinas (por ejemplo: epoxy cicloalifática) o fluorocarbonos, (por ejemplo: polietetrafluoretileno).

Estos aisladores tienen muy buenas propiedades mecánicas y eléctricas. No tienen el problema de la fragilidad del vidrio y la porcelana, pueden soportar grandes esfuerzos mecánicos, son más ligeros y algunos revestimientos son hidrófugos; sin embargo se han utilizado menos porque eran más caros, aunque en la actualidad tienen ya un precio competitivo.

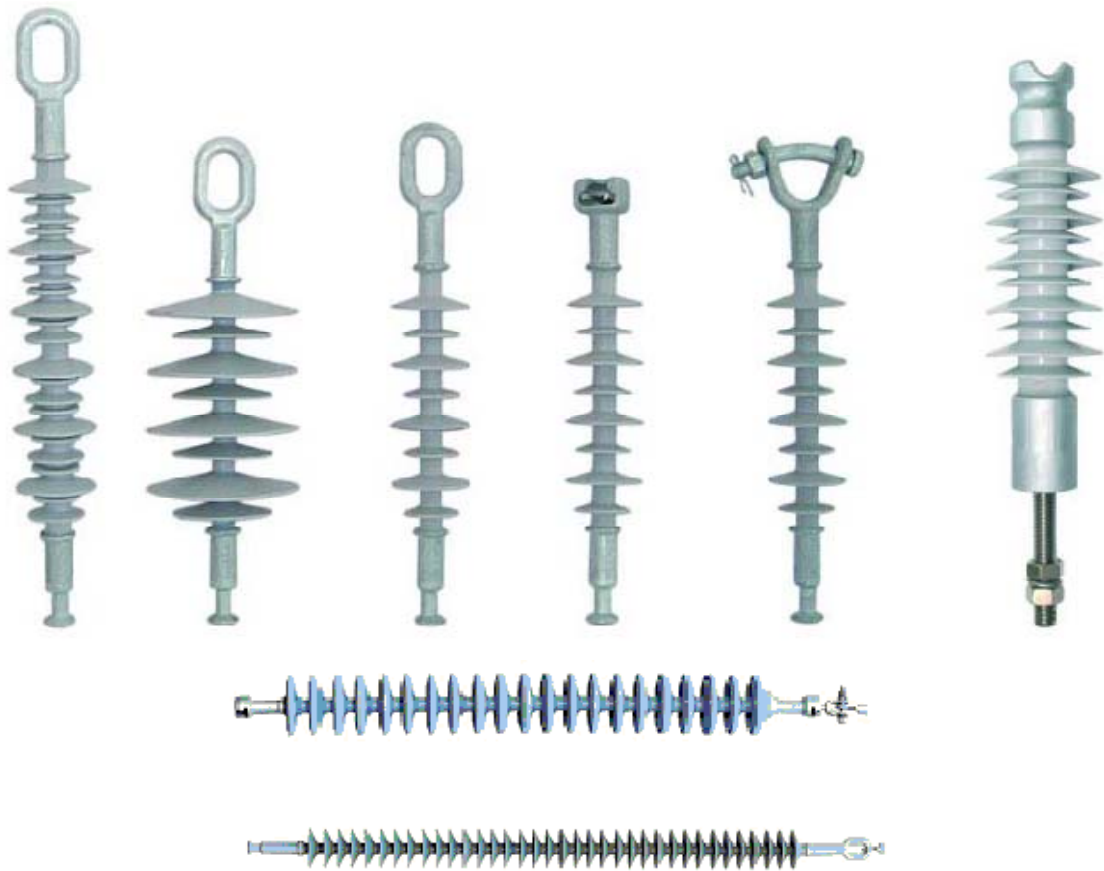


Figura 4. 2 Aisladores compuestos

Tabla 9 Aisladores compuestos

Aislador compuesto	Tensión Máxima (kV)	Línea de fuga (mm)
U160RB220+AR2	220	4900
U160RB380+2AR2	380	8400
U120AAR132	132	2900
U120AAR220+AR1	220	4900
U40RB20P	20	740
U70PP20P	20	740
U70RB20P	20	740
U70YB20P	20	740
U70AB30P	30	1120
U70AB45P	45	1610
U70AB66P	66	2250
U120AB132P	132	4500
U120AB220P+AR1	220	7600
U160AB220P+AR2	220	7600
U160AB380P+2AR2	380	13000
U120RB132P	132	4500
U120RB220P+AR1	220	7600
U160RB220P+AR2	220	7600
U160RB380P+2AR2	380	13000

#### 4.4.2. Líneas de fugas recomendadas

Las líneas de fuga recomendadas son:

Tabla 10 Niveles de contaminación y líneas de fuga recomendadas

Nivel de contaminación	Ejemplos de entornos típicos	Línea de fuga específica nominal mínima mm/kV <sup>1)</sup>
I  Ligero	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas sin industrias y con baja densidad de viviendas equipadas con calefacción.</li> <li>- Zonas con baja densidad de industrias o viviendas, pero sometidas a viento o lluvias frecuentes.</li> <li>- Zonas agrícolas <sup>2</sup></li> <li>- Zonas montañosas</li> <li>- Todas estas zonas están situadas al menos de 10 km a 20 km del mar y no están expuestas a vientos directos desde el mar <sup>3</sup></li> </ul>	16,0
II  Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zona con industrias que no producen humo especialmente contaminante y/o con densidad media de viviendas equipadas con calefacción.</li> <li>- Zonas con elevada densidad de viviendas y/o industrias pero sujetas a vientos frecuentes y/o lluvia.</li> <li>- Zonas expuestas a vientos desde el mar, pero no muy próximas a la costa (al menos distantes bastantes kilómetros)<sup>3</sup>.</li> </ul>	20,0
III  Fuerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas con elevada densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con elevada densidad de calefacción generando contaminación.</li> <li>- Zonas cercanas al mar o en cualquier caso, expuestas a vientos relativamente fuertes provenientes del mar 3).</li> </ul>	25,0
IV  Muy fuerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas, generalmente de extensión moderada, sometidas a polvos conductores y a humo industrial que produce depósitos conductores particularmente espesos.</li> <li>- Zonas, generalmente de extensión moderada, muy próximas a la costa y expuestas a pulverización salina o a vientos muy fuertes y contaminados desde el mar.</li> <li>- Zonas desérticas, caracterizadas por no tener lluvia durante largos periodos, expuestas a fuertes vientos que transportan arena y sal, y sometidas a condensación regular.</li> </ul>	31,0

<sup>1</sup> Línea de fuga mínima de aisladores entre fase y tierra relativas a la tensión más elevada de la red (fase-fase)

<sup>2</sup> Empleo de fertilizantes por aspiración o quemado de residuos, puede dar lugar a un mayor nivel de contaminación por dispersión en el viento.

<sup>3</sup> Las distancias desde la costa marina dependen de la topografía costera y de las extremas condiciones del viento.

#### 4.4.3. Número de aisladores

El proceso de elección del número de aisladores es el siguiente:

1. El primer paso consiste en elegir el nivel de contaminación acorde con la zona por la que transcurrirá la línea. En la tabla 14 del reglamento se muestran los cuatro niveles de contaminación recogidos en la norma UNE 60071-2 <<Guía de Aplicación de la Coordinación de Aislamiento>> para distintas zonas con más o menos polución.
2. A partir de la selección del nivel de contaminación se establece la longitud de la línea de fuga de los aisladores  $l_e$  (fase-tierra) por unidad de kV de la tensión más elevada de la red (tensión fase-fase), llamada línea de fuga específica.
3. La línea de fuga total,  $l_t$  de la cadena de aisladores fase-tierra se obtiene como el producto entre la tensión más elevada de la red y la longitud de la línea de fuga específica por kV (o grado de aislamiento) establecida en el paso anterior, es decir

$$l_t = U_S \cdot l_e. \quad (4.12)$$

4. Se elige el tipo aislador (elemento de la cadena) en función de las características mecánicas y geométricas del mismo.
5. El número de elementos ( $n$ ) que componen la cadena es el número entero redondeado al alza, es decir el resultante de sumar una unidad a la parte entera del cociente entre la línea de fuga total ( $l_t$ ) y la línea de fuga individual de un aislador ( $l_a$ ), es decir:

$$n = \text{PARTE ENTERA} \frac{l_t}{l_a} + 1 \quad (4.13)$$

6. Se comprueba con los datos del catálogo del fabricante o mediante ensayos que el número de elementos obtenidos en el paso anterior soporta el nivel de aislamiento normalizado elegido para la línea en cuestión (tablas 12 y 13 ITCLAT- 07). De lo contrario, será preciso aumentar el número de elementos de la cadena para cumplir el nivel de aislamiento requerido.
7. La longitud total,  $L$ , de la cadena se determina como el producto del número de elementos,  $n$ , por el paso,  $p$ , de uno de ellos, es decir,

$$L = n \cdot p \quad (4.14)$$

8. En líneas de media tensión es posible que con el número de aisladores obtenido, según el procedimiento antes expuesto, no se consigan las distancias mínimas de seguridad exigidas en las normas de protección de la avifauna. En este caso se podría optar por alguna de estas soluciones:
  - a) Aumentar el número de aisladores hasta obtener la distancia mínima necesaria.
  - b) Utilizar herrajes que permitan alcanzar dicha mínima distancia exigida, sin necesidad de aumentar el número de aisladores por encima del número obtenido en el cálculo eléctrico antes explicado.



# **SOFTWARE PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE L.A.T. SUBTERRANEA Y AÉREA**

**CÁLCULOS Y PARAMETROS EN LINEAS SUBTERRÁNEAS**

**CAPÍTULO 5**

## 5. CÁLCULOS Y PARAMETROS EN LINEAS SUBTERRÁNEAS

En los cálculos eléctricos para líneas subterráneas se van a seguir al igual que en las líneas aéreas, el modelo monofásico equivalente, puesto que como seguimos las recomendaciones del RLAT este no habla de tensiones superiores a 18/30kV, con este método podemos calcular las caídas de tensión y pérdida de potencia. Hay que tener especial cuidado para redes de más de 18/30kV, pues el LAT no da datos para estos, ni factores de corrección a aplicar.

### 5.1. INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE PARA CONDUCTORES ENTERRADOS:

A los efectos de determinar la intensidad máxima admisible, se considerará una instalación tipo con cables de aislamiento seco hasta 18/30 kV formada por un terno de cables unipolares directamente enterrado en toda su longitud a 1 metro de profundidad (medido hasta la parte superior del cable), en un terreno de resistividad térmica media de 1,5 K.m/W, con una temperatura ambiente del terreno a dicha profundidad de 25 °C y con una temperatura del aire ambiente de 40 °C.

Tabla 11 Intensidad máxima admitida en conductores enterrados

Sección (mm <sup>2</sup> )	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	125	96	130	100	135	105
35	145	115	155	120	160	125
50	175	135	180	140	190	145
70	215	165	225	170	235	180
95	255	200	265	205	280	215
120	290	225	300	235	320	245
150	325	255	340	260	360	275
185	370	285	380	295	405	315
240	425	335	440	345	470	365
300	480	375	490	390	530	410
400	540	430	560	445	600	470

Las intensidades de esta tabla se han calculado teniendo en cuenta también las condiciones siguientes:

- El cable tiene la pantalla metálica puesta a tierra en ambos extremos de cada tramo longitudinal, con lo cual existen pérdidas de potencia activa por corrientes de circulación, y por tanto las intensidades admisibles resultan algo

menores que para el caso de pantallas puestas a tierra en un único extremo o regularmente transpuestas en tramos múltiplos de tres.

- Los cables son no armados. Para cables armados las intensidades admisibles se reducirían ligeramente, debido a las pérdidas adicionales de potencia activa, siendo la reducción poco importante para secciones pequeñas, pero llegando al orden del 10% para secciones de 400mm<sup>2</sup>.

La intensidad admisible de un cable, determinada por las condiciones de instalación enterrada cuyas características se han especificado en la tabla 11, deberá corregirse teniendo en cuenta cada una de las magnitudes de la instalación real que difieran de aquéllas, de forma que el aumento de temperatura provocado por la circulación de la intensidad calculada no dé lugar a una temperatura, en el conductor, superior a la prescrita. A continuación, se exponen algunos casos particulares de instalación, cuyas características afectan al valor máximo de la intensidad admisible, indicando los coeficientes de corrección a aplicar.

## 5.2. FACTORES DE CORRECCION CABLES ENTERRADOS DIRECTAMENTE

### 5.2.1. Cables enterrados directamente en terrenos cuya temperatura sea distinta de 25°C.

En la tabla 12 se indican los factores de corrección F, de la intensidad admisible para temperaturas del terreno  $\theta_t$ , distintas de 25 °C, en función de la temperatura máxima asignada al conductor  $\theta_s$  (tabla 5).

Tabla 12 Factor de corrección, F, para temperatura del terreno distinta de 25 °C

Temperatura °C									
Servicio	Temperatura del terreno, $\theta_t$ , en °C								
Permanente $\theta_s$	10	15	20	25	30	35	40	45	50
105	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,9	0,87	0,83
90	1,11	1,07	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
70	1,15	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67
65	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61

El factor de corrección para otras temperaturas del terreno distintas de las de la tabla será:

$$F = \sqrt{\frac{\theta_s - \theta_t}{\theta_s - 25}} \quad (5.1)$$

### 5.2.2. Cables enterrados directamente en terrenos de resistividad térmica distinta de 1,5 K·m/W

En la tabla 13 se indican, para distintas resistividades térmicas del terreno, los correspondientes factores de corrección de la intensidad admisible.

**Tabla 13 Factores de corrección Cables enterrados directamente en terrenos de resistividad térmica distinta de 1,5 K·m/W**

Tipo de instalación	Sección del conductor mm <sup>2</sup>	Resistividad térmica del terreno, K.m/W						
		0,8	0,9	1	1,5	2	2,5	3
Cables directamente enterrados	25	1,25	1,2	1,16	1	0,89	0,81	0,75
	35	1,25	1,21	1,16	1	0,89	0,81	0,75
	50	1,26	1,26	1,16	1	0,89	0,81	0,74
	70	1,27	1,22	1,17	1	0,89	0,81	0,74
	95	1,28	1,22	1,18	1	0,89	0,8	0,74
	120	1,28	1,22	1,18	1	0,88	0,8	0,74
	150	1,28	1,23	1,18	1	0,88	0,8	0,74
	185	1,29	1,23	1,18	1	0,88	0,8	0,74
	240	1,29	1,23	1,18	1	0,88	0,8	0,73
	300	1,3	1,24	1,19	1	0,88	0,8	0,73
Cables en interior de tubos enterrados	400	1,3	1,24	1,19	1	0,88	0,79	0,73
	25	1,12	1,1	1,08	1	0,93	0,88	0,83
	35	1,13	1,11	1,09	1	0,93	0,88	0,83
	50	1,13	1,11	1,09	1	0,93	0,87	0,83
	70	1,13	1,11	1,09	1	0,93	0,87	0,82
	95	1,14	1,12	1,09	1	0,93	0,87	0,82
	120	1,14	1,12	1,1	1	0,93	0,87	0,82
	150	1,14	1,12	1,1	1	0,93	0,87	0,82
	185	1,14	1,12	1,1	1	0,93	0,87	0,82
	240	1,15	1,12	1,1	1	0,92	0,86	0,81
400	1,16	1,13	1,1	1	0,92	0,86	0,81	

La resistividad térmica del terreno depende del tipo de terreno y de su humedad, aumentando cuando el terreno esté más seco.

La consideración de la resistividad térmica del terreno es un factor muy importante a la hora de determinar la intensidad admisible por un cable enterrado. Por ejemplo, si en lugar de utilizar 1,5 K·m/W se utiliza 1 K·m/W, la intensidad admisible aumenta un 18%.

### 5.2.3. Cables tripolares o ternos de calves unipolares agrupados bajo tierra

En la tabla 14 se indican los factores de corrección que se deben aplicar, según el número de cables tripolares o de ternos de cables unipolares y la distancia entre ternos o cables tripolares.

Tabla 14. Factor de corrección por distancia entre ternos o cables tripolares

		Factor de corrección									
Tipo de instalación	Separación de los ternos	Número de ternos de la zanja									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cables directamente enterrados	En contacto (d=0 cm)	0,76	0,65	0,58	0,53	0,5	0,47	0,45	0,43	0,42	
	d = 0,2 m	0,82	0,73	0,68	0,64	0,61	0,59	0,57	0,56	0,55	
	d = 0,4 m	0,86	0,78	0,75	0,72	0,7	0,68	0,67	0,66	0,65	
	d = 0,6 m	0,88	0,82	0,79	0,77	0,76	0,74	0,74	0,73	-	
	d = 0,8 m	0,9	0,85	0,83	0,81	0,8	0,79	-	-	-	
Cables bajo tubo	En contacto (d=0 cm)	0,8	0,7	0,64	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,49	
	d = 0,2 m	0,83	0,75	0,7	0,67	0,64	0,62	0,6	0,59	0,58	
	d = 0,4 m	0,87	0,8	0,77	0,74	0,72	0,71	0,7	0,69	0,68	
	d = 0,6 m	0,89	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	-	
	d = 0,8 m	0,9	0,86	0,84	0,82	0,81	-	-	-	-	

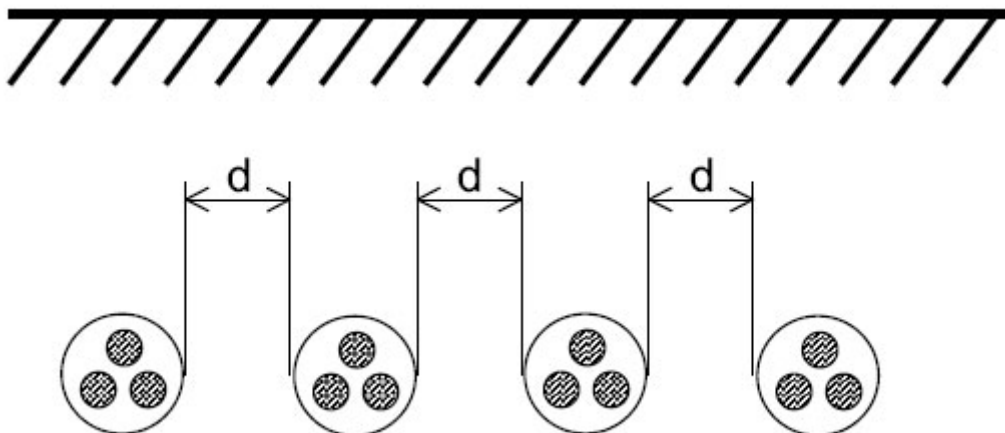


Figura 5. 1

#### 5.2.4. Cables directamente enterrados en zanja a diferentes profundidades.

En la tabla 15 se indican los factores de corrección que deben aplicarse para profundidades de instalación distintas de 1 metro (cables con aislamiento seco hasta 18/30 kV).

Tabla 15 Factores de corrección para profundidades de la instalación distintas de 1 metro

Profundidad (m)	Cables enterrados de sección		Cables bajo tubo de sección	
	$\leq 185 \text{ mm}^2$	$> 185 \text{ mm}^2$	$\leq 185 \text{ mm}^2$	$> 185 \text{ mm}^2$
0,5	1,06	1,09	1,06	1,08
0,6	1,04	1,07	1,04	1,06
0,8	1,02	1,03	1,02	1,03
1	1	1	1	1
1,25	0,98	0,98	0,98	0,98
1,5	0,97	0,96	0,97	0,96
1,75	0,96	0,94	0,96	0,95
2	0,95	0,93	0,95	0,94
2,5	0,93	0,91	0,93	0,92
3	0,92	0,89	0,92	0,91

#### 5.3. INTENSIDADES MAXIMAS ADMISIBLES EN ZANJA EN EL INTERIOR DE TUBOS O SIMILARES

Se utilizaran valores de intensidad indicados en la tabla 16, calculados para una resistividad térmica del tubo de 3,5 K·m/W y para un diámetro interior del tubo superior a 1,5 veces el diámetro equivalente de la terna de calves unipolares

No deberá instalarse más de un cable tripolar por tubo o más de un sistema de tres unipolares por tubo.

**Tabla 16 Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y con corriente alterna. Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV bajo tubo**

Sección (mm <sup>2</sup> )	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	115	90	120	90	125	95
35	135	105	145	110	150	115
50	160	125	170	130	180	135
70	200	155	205	160	220	170
95	235	185	245	190	260	200
120	270	210	280	215	295	230
150	305	235	315	245	330	255
185	345	270	355	280	375	290
240	400	310	415	320	440	345
300	450	355	460	365	500	390
400	510	405	520	415	565	450

Si se trata de una agrupación de tubos, la intensidad admisible dependerá del tipo de agrupación empleado y variará para cada cable o terno según esté colocado en un tubo central o periférico. Cada caso deberá estudiarse individualmente por el proyectista. Además se tendrán en cuenta los coeficientes aplicables en función de la temperatura y resistividad térmica del terreno y profundidad de la instalación.

#### **5.4. INTENSIDADES MAXIMAS ADMISIBLES EN CONDICIONES DE INSTALACIÓN AL AIRE**

A los efectos de determinar la intensidad máxima admisible, se considerará una instalación tipo con cables de aislamiento seco hasta 18/30 kV, formada por un terno de cables unipolares, agrupados en contacto, con una colocación tal que permita una eficaz renovación de aire, protegidos del sol, siendo la temperatura del medio ambiente de 40 °C. Por ejemplo, con el cable colocado sobre bandejas o fijado a una pared, etc.

**Tabla 17. Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y con corriente alterna. Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV instalados al aire**

Sección (mm <sup>2</sup> )	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	140	110	155	120	160	125
35	170	130	185	145	195	150
50	205	155	220	170	230	180
70	255	195	275	210	295	225
95	310	240	335	255	355	275
120	355	275	385	295	410	320
150	405	315	435	335	465	360
185	465	360	500	385	535	415
240	550	425	590	455	630	495
300	630	490	680	520	725	565
400	740	570	790	610	840	660

## 5.5. FACTORES DE CORRECCION CABLES INSTALADOS AL AIRE

### 5.5.1. Cables instalados al aire en ambientes de temperatura distinta de 40°C

En la tabla 18 se indican los factores de corrección, F, de la intensidad admisible para temperaturas del aire ambiente,  $\theta_a$ , distintas de 40 °C, en función de la temperatura máxima de servicio,  $\theta_s$  (tabla 18).

**Tabla 18 Factor de corrección F, para temperaturas del aire distinta de 40°C.**

Temperatura de servicio, $\theta_s$ , en °C	Temperatura ambiente, $\theta_a$ , en °C										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
105	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83
90	1,27	1,23	1,18	1,14	1,1	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,78
70	1,41	1,35	1,29	1,23	1,16	1,08	1	0,91	0,82	0,71	0,58
65	1,48	1,41	1,34	1,27	1,18	1,1	1	0,89	0,78	0,63	0,45

El factor de corrección para otras temperaturas del aire distintas de la tabla, será:

$$F = \sqrt{\frac{\theta_s - \theta_t}{\theta_s - 40}} \quad (5.2)$$

La temperatura ambiente considerada  $\theta_a$  se obtendrán los factores de corrección de la tabla en función del tipo de aislamiento. Para galerías visitables el



sistema de ventilación debe garantizar que la temperatura ambiente no sobrepasa en ningún caso los 50°C, lo cual permite calcular también los correspondientes factores de corrección.

**Tabla 19. Factores de corrección para distintos tipos de instalación en canales o galerías**

Tipo de instalación	Temperatura ambiente considerada $\theta_a$	Tipo de aislamiento	$\theta_s$ (°C)	Factor de corrección de la intensidad admisible, F
Canal o galería en general	55 °C	EPR,XLPE	90	0,84
		HEPR (con $U_0/U \leq 18/30$ kV)	105	0,88
Galería visitable	50°C	EPR,XLPE	90	0,89
		HEPR (con $U_0/U \leq 18/30$ kV)	105	0,92

### 5.5.2. Cables tripolares o ternos de cables unipolares instalados al aire y agrupados

En las tablas 20 a 25, los ternos de cables unipolares se refieren a tres cables juntos. En las tablas 26 a 29, los ternos de cables unipolares se refieren a tres cables separados un diámetro entre sí.

**Tabla 20 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre bandejas continuas (la circulación del aire es restringida), con separación entre cables igual a un diámetro d**

Factor de corrección					
Número de Bandejas	Número de cables tripolares o ternos unipolares				
	1	2	3	6	9
1	0,95	0,9	0,88	0,85	0,84
2	0,9	0,85	0,83	0,81	0,8
3	0,88	0,83	0,81	0,79	0,78
6	0,86	0,81	0,79	0,77	0,76

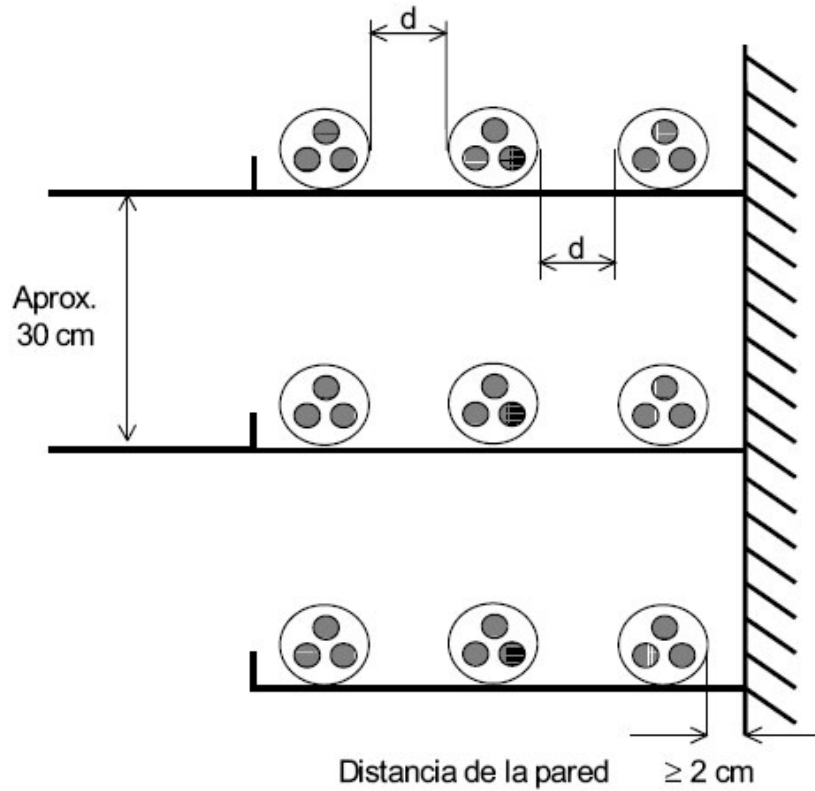


Figura 5. 2 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre bandejas continuas (la circulación del aire es restringida), con separación entre cables igual a un diámetro  $d$

Tabla 21 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas, con separación entre cables igual a un diámetro  $d$

Número de Bandejas	Factor de corrección				
	Número de cables tripolares o ternos unipolares				
	1	2	3	6	9
1	1	0,98	0,96	0,93	0,92
2	1	0,95	0,93	0,9	0,73
3	1	0,94	0,92	0,89	0,69
6	1	0,93	0,9	0,87	0,86

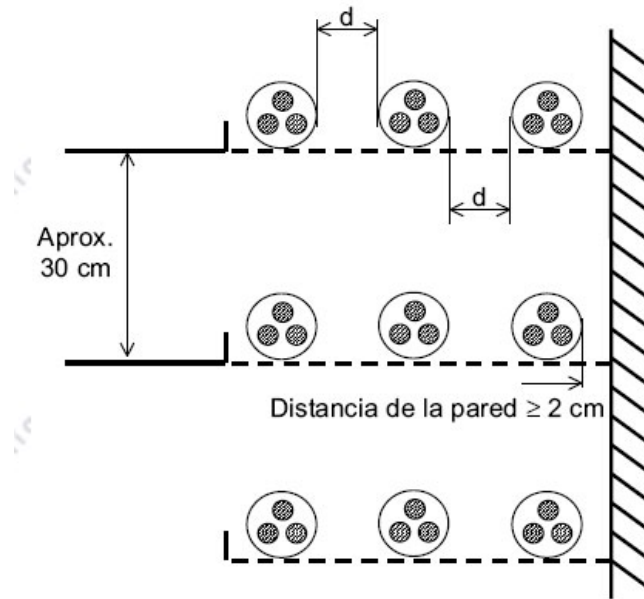


Figura 5. 3 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas, con separación entre cables igual a un diámetro  $d$

Tabla 22 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre estructuras o sobre la pared, con separación entre cables igual a un diámetro  $d$

N° de cables o ternos	Factor de Corrección
1	1
2	0,93
3	0,9
6	0,87
9	0,86

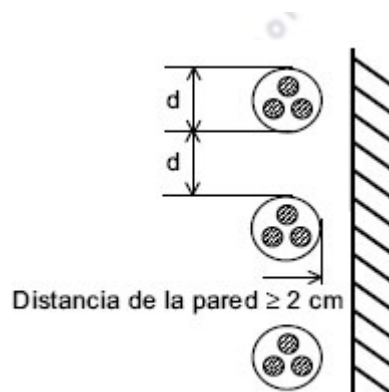
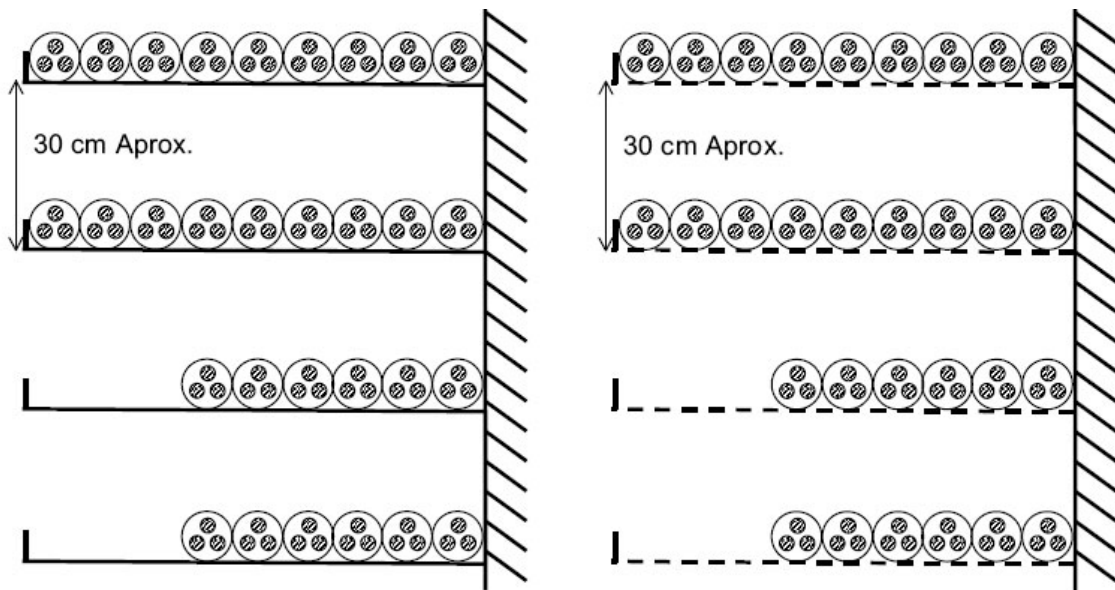


Figura 5. 4 Cables tripolares o ternos de cables unipolares tendidos sobre estructuras o sobre la pared, con separación entre cables igual a un diámetro  $d$

**Tabla 23 Cables tripolares o ternos de cables unipolares en contacto entre sí y con la pared, tendido sobre bandejas continuas o perforadas (la circulación de aire es restringida)**

Factor de corrección				
Número de bandejas	Número de cables o ternos			
	2	3	6	9
1	0,84	0,8	0,75	0,73
2	0,8	0,76	0,71	0,69
3	0,78	0,74	0,7	0,68
6	0,76	0,72	0,68	0,66



**Figura 5. 5 Cables tripolares o ternos de cables unipolares en contacto entre sí y con la pared, tendido sobre bandejas continuas o perforadas (la circulación de aire es restringida)**

**Tabla 24 Cables secos, tripolares o ternos de cables unipolares, en contacto entre sí, dispuestos sobre estructura o sobre pared**

N° de cables o ternos	Factor de Corrección
1	0,95
2	0,18
3	0,13
6	0,68
9	0,66

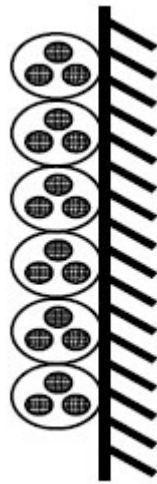


Figura 5. 6 Cables secos, tripolares o ternos de cables unipolares, en contacto entre sí, dispuestos sobre estructura o sobre pared

Tabla 25 Agrupación de cables tripolares o ternos de cables unipolares, con una separación inferior a un diámetro y superior a un cuarto de diámetro, suponiendo su instalación sobre bandeja perforada (el aire puede circular libremente entre los cables)

Número de Bandejas	Factor de corrección			
	Número de cables colocados en horizontal			
	1	2	3	>3
1	1	0,93	0,87	0,83
2	0,89	0,83	0,79	0,75
3	0,8	0,76	0,72	0,69
>3	0,75	0,7	0,66	0,64

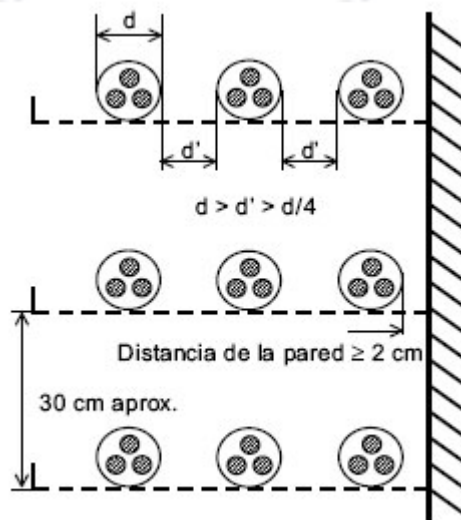
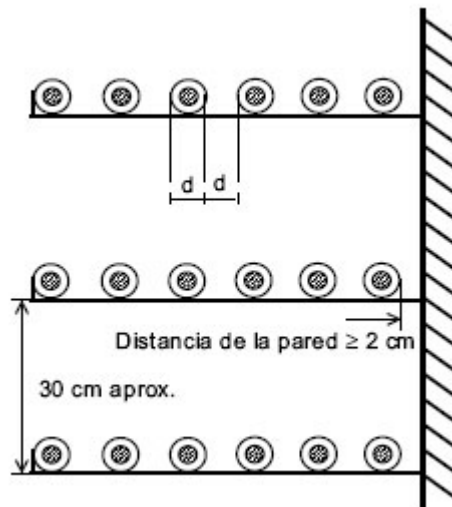


Figura 5. 7 Agrupación de cables tripolares o ternos de cables unipolares, con una separación inferior a un diámetro y superior a un cuarto de diámetro, suponiendo su instalación sobre bandeja perforada (el aire puede circular libremente entre los cables)

**Tabla 26 Cables unipolares, tendidos sobre bandejas continuas (la circulación de aire es restringida) con separación entre cables igual a un diámetro d**

Factor de corrección			
Número de Bandejas	Número de ternos		
	1	2	3
1	0,92	0,89	0,88
2	0,87	0,84	0,83
3	0,84	0,82	0,81
6	0,82	0,8	0,79



**Figura 5. 8 Cables unipolares, tendidos sobre bandejas continuas (la circulación de aire es restringida) con separación entre cables igual a un diámetro d**

**Tabla 27 Cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas con separación entre cables igual a un diámetro d**

Factor de corrección			
Número de Bandejas	Número de ternos		
	1	2	3
1	1	0,97	0,96
2	0,97	0,94	0,93
3	0,96	0,93	0,92
6	0,94	0,91	0,9

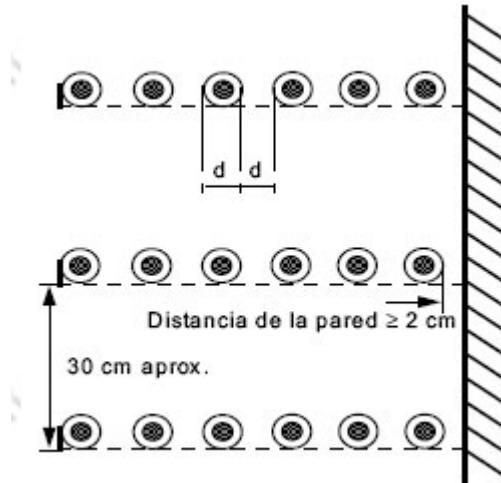


Figura 5. 9 Cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas con separación entre cables igual a un diámetro  $d$

Tabla 28 Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro  $d$

N° de ternos	Factor de Corrección
2	0,91
3	0,89

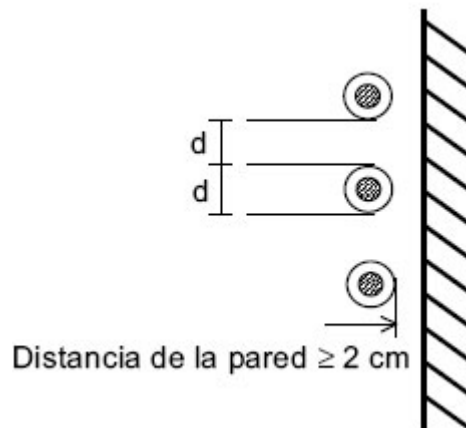


Figura 5. 10 Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro  $d$

Tabla 29 Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro  $d$

N.º de ternos	Factor de Corrección
2	0,86
3	0,84

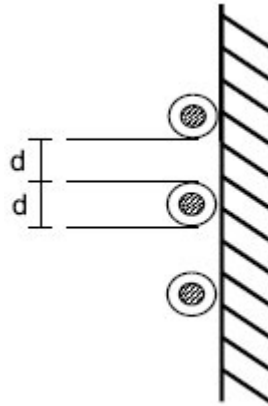


Figura 5. 11 . Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro  $d$

### 5.5.3. Cables expuestos directamente al sol

El coeficiente de corrección que deberá aplicarse en un cable expuesto al sol es muy variable. Se recomienda 0,9.



**SOFTWARE PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO  
Y MECÁNICO DE L.A.T. SUBTERRANEA Y  
AÉREA**

**CONDUCTORES**

**CAPÍTULO 6**

## 6. CONDUCTORES

### 6.1. CONDUCTORES DESNUDOS PARA LINEAS AEREAS:

Los conductores pueden estar constituidos por hilos redondos o con forma trapezoidal de aluminio o aleación de aluminio y pueden contener, para reforzarlos, hilos de acero galvanizados o de acero recubiertos de aluminio. Los cables de tierra se diseñarán según las mismas normas que los conductores de fase.

Los conductores deben cumplir la Norma UNE-EN 50182 Y serán de uno de los siguientes tipos:

- a. Conductores homogéneos de aluminio (AL1).
- b. Conductores homogéneos de aleación de aluminio (ALx).
- c. Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio o aleación de aluminio reforzados con acero galvanizado (AL1/STyz o ALx/STyz).
- d. Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio o aleación de aluminio reforzado con acero recubierto de aluminio (AL1/SAyz o ALx/SAyz).
- e. Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio reforzados con aleación de aluminio (AL1/ALx).
- f. Conductores de cobre(C).

Cuando sean utilizados materiales diferentes de aquéllos, sus características y su conveniencia para cada aplicación individual deben ser verificadas como se indique en las especificaciones del proyecto.

**a. Conductores homogéneos de aluminio (AL1).**

Tabla 30 Conductores homogéneos de aluminio

Código	Código antiguo	Sección (mm <sup>2</sup> )	Nº de Alambres	Masa por unidad de longitud (kg/km)	Resistencia a la tracción (kgf)	Resistencia en c.c. (Ω/km)	Díámetro conductor (mm)	Modulo elasticidad (kgf/mm <sup>2</sup> )
28-AL1	L 28	27,8	7	76,1	501	1,0268	6,75	6118,70
43-AL1	L 40	43,1	7	117,8	733	0,663	8,4	6118,70
55-AL1	L 56	54,6	7	149,1	900	0,5239	9,45	6118,70
76-AL1	L 80	75,5	19	207,6	1360	0,3804	11,3	5812,77
117-AL1	L 110	117	19	321,5	1989	0,2456	14	5812,77
148-AL1	L 145	148,1	19	407	2443	0,1941	15,8	5812,77
188-AL1	L 180	188,1	19	516,9	3009	0,1528	17,8	5812,77
279-AL1	L 280	279,3	37	770,2	4608	0,1033	21,7	5812,77
381-AL1	L 400	381	61	1054,1	6477	0,0759	25,4	5608,81
454-AL1	L 450	454,5	61	1257,5	7499	0,0637	27,7	5608,81
547-AL1	L 550	547,3	61	1514,4	9031	0,0529	30,4	5608,81
638-AL1	L 630	638,3	61	1766	10212	0,0453	32,9	5608,81

Como coeficiente de dilatación lineal cogemos  $23^{\circ}\text{C}\times 10^{-6}$ .

**b. Conductores homogéneos de aleación de aluminio (ALx).**

Tabla 31 Conductores homogéneos de aleación de aluminio (ALx)

Código	Código antiguo	Sección (mm <sup>2</sup> )	Nº de Alambres	Masa por unidad de longitud (kg/km)	Resistencia a la tracción (kgf)	Resistencia en c.c. (Ω/km)	Díámetro conductor (mm)	Modulo elasticidad (kgf/mm <sup>2</sup> )
28-AL3	D 28	27,8	7	76	821	1,1817	6,75	6118,7
43-AL3	D 40	43,1	7	117,7	1272	0,7631	8,4	6118,7
55-AL3	D 56	54,6	7	148,9	1609	0,6029	9,45	6118,7
76-AL3	D 80	75,5	19	207,4	2229	0,4378	11,3	5812,8
117-AL3	D 110	117	19	321,2	3451	0,2827	14	5812,8
148-AL3	D 145	148,1	19	406,5	4368	0,2234	15,8	5812,8
188-AL3	D 180	188,1	19	516,3	5548	0,1759	17,8	5812,8
279-AL3	D 280	279,3	37	769,3	8238	0,1188	21,7	5812,8
381-AL3	D 400	381	61	1053	11239	0,0874	25,4	5608,8
454-AL3	D 450	454,5	61	1256,1	13407	0,0733	27,7	5608,8
547-AL3	D 550	547,3	61	1512,7	16146	0,0608	30,4	5608,8
638-AL3	D 630	638,3	61	1764	18829	0,0522	32,9	5608,8

Como coeficiente de dilatación lineal cogemos  $23^{\circ}\text{C}\times 10^{-6}$ .

**c. Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio o aleación de aluminio reforzados con acero galvanizado (AL1/STyz o ALx/STyz).**

Tipo AL1/STyz

**Tabla 32 Conductores bimetálicos de aluminio con acero galvanizado AL1/STyz**

Código	Sección (mm <sup>2</sup> )	Nº de Alambres	Masa por unidad de longitud (kg/km)	Resistencia a la tracción (kgf)	Resistencia en c.c. (Ω/km)	Diámetro conductor (mm)	Modulo elasticidad (kgf/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de dilatación lineal (°Cx10 <sup>-6</sup> )
27-AL1/4-ST1A	31,1	7	107,9	974	1,0749	7,14	8053	19,1
47-AL1/8-ST1A	54,6	7	189,1	1629	0,6136	9,45	8053	19,1
67-AL1/11-ST1A	78,6	7	272	2312	0,4261	11,34	8053	19,1
94-AL1/22-ST1A	116,2	37	433	4317	0,3066	14	8155	17,8
119-AL1/28-ST1A	147,1	37	548	5403	0,2422	15,75	8155	17,8
147-AL1/34-ST1A	181,6	37	676	6494	0,1962	17,5	8155	17,8
242-AL1/39-ST1A	281,1	33	977	8489	0,1194	21,8	7645	18,9
337-AL1/44-ST1A	381	61	1275	10718	0,0857	25,38	7034	19,3
402-AL1/52-ST1A	454,5	61	1521	12375	0,0718	27,72	7034	19,3
485-AL1/63-ST1A	547,3	61	1832	14904	0,0596	30,42	7034	19,3
565-AL1/72-ST1A	636,6	73	2125	17414	0,0511	32,85	6830	19,4

Tipo AL3/ST1A

**Tabla 33 Conductores compuestos (bimetálicos) de aleación de aluminio reforzados con acero galvanizado (AL3/STyz).**

Código	Sección (mm <sup>2</sup> )	Nº de Alambres	Masa por unidad de longitud (kg/km)	Resistencia a la tracción (kgf)	Resistencia en c.c. (Ω/km)	Diámetro conductor (mm)	Modulo elasticidad (kgf/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de dilatación lineal (°Cx10 <sup>-6</sup> )
27-AL3/4-ST1A	31,1	7	107,7	1295	1,2356	7,14	7750	18,6
47-AL3/8-ST1A	54,6	7	188,6	2237	0,7054	9,45	7750	18,6
67-AL3/11-ST1A	78,6	7	271,6	3221	0,4898	11,3	7750	18,6
94-AL3/22-ST1A	116,2	37	432,2	5353	0,353	14	8158	17,9
119-AL3/28-ST1A	147,1	37	547	6775	0,2789	15,8	8158	17,9
147-AL3/34-ST1A	181,6	37	675,3	8261	0,2259	17,5	8158	17,9
226-AL3/53-ST1A	279,3	37	1038,4	12491	0,1469	21,7	8158	17,9

**d. Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio o aleación de aluminio reforzado con acero recubierto de aluminio (AL1/SAyz o ALx/SAyz) (antiguo LARL).**

**Tabla 34 Conductores compuestos de aluminio o aleación de aluminio reforzado con acero recubierto de aluminio(Antiguo LARL)**

Código	Sección (mm <sup>2</sup> )	Nº de Alambres	Masa por unidad de longitud (kg/km)	Resistencia a la tracción (kgf)	Resistencia en c.c. (Ω/km)	Diámetro conductor (mm)	Modulo elasticidad (kgf/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de dilatación lineal (°Cx10 <sup>-6</sup> )
27-AL1/4-20SA	31,1	7	102,5	1020,00	1,0175	7,14	7600	19,3
47-AL1/8-20SA	54,6	7	179,7	1720,00	0,5808	9,45	7600	19,3
67-AL1/11-20SA	78,6	7	259	2300,00	0,4033	11,34	7600	19,3
119-AL1/28-20SA	147,1	37	514	5510,00	0,2244	15,75	7600	18
147-AL1/34-20SA	181,6	37	634	6630,00	0,1818	17,5	7600	18
242-AL1/39-20SA	281,1	33	929	8760,00	0,1131	21,8	7300	19,1
337-AL1/44-20SA	381	61	1222	10960,00	0,082	25,38	6700	19,5
402-AL1/52-20SA	454,5	61	1457	12940,00	0,0688	27,72	6700	19,5
485-AL1/63-20SA	547,3	61	1755	15320,00	0,0571	30,42	6700	19,5
565-AL1/72-20SA	636,6	61	2037	17750,00	0,049	32,85	6500	19,6
107-AL1/18-20SA	125,1	7	411,6	3500,00	0,253	14,3	7600	19,3
117-AL1/31-20SA	148,1	19	529,3	5670,00	0,2268	15,8	8158,27	18,4

**e. Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio reforzados con aleación de aluminio (AL1/ALx).**

**Tabla 35 Conductores compuestos de aluminio reforzados con aleación de aluminio (AL1)**

Código	Sección (mm <sup>2</sup> )	Nº de Alambres	Masa por unidad de longitud (kg/km)	Resistencia a la tracción (kgf)	Resistencia en c.c. (Ω/km)	Diámetro conductor (mm)	Modulo elasticidad (kgf/mm <sup>2</sup> )	Coficiente de dilatación lineal (°Cx10 <sup>-6</sup> )
40-A1/S1A-6/1	46,7	7	162	14,4	0,7174	3,82	8056,3	19,1
63-A1/S1A-6/1	73,5	7	254	21,63	0,4555	3,24	8056,3	19,1
100-A1/S1A-6/1	116,7	7	404	34,33	0,2869	2,76	8056,3	19,1
160-A1/S1A-26/7	186,1	33	645	57,69	0,1805	2,38	7648,4	18,9
250-A1/S1A-22/7	274,6	29	881	68,72	0,1154	2,12	6832,6	20
250-A1/S1A-26/7	290,7	33	1008	87,67	0,1155	2,02	7648,4	18,9
400-A1/S1A-45/7	427,7	52	1320	98,36	0,0722	1,85	6730,6	20,9
400-A1/S1A-54/7	451,9	61	1510	123,04	0,0723	1,76	7036,5	19,3
500-A1/S1A-45/7	534,6	52	1650	119,41	0,0578	1,69	6730,6	20,9
500-A1/S1A-54/7	564,8	61	1888	153,8	0,0578	1,6	7036,5	19,3
630-A1/S1A-45/7	673,6	52	2079	150,45	0,0459	1,49	6730,6	20,9
630-A1/S1A-54/19	709,8	73	2366	191,77	0,0459	1,4	6832,6	19,4
800-A1/S1A-84/7	866,7	91	2733	205,33	0,0362	1,23	6730,6	20,5
800-A1/S1A-54/19	901	73	3005	243,52	0,0362	1,18	6832,6	19,4

**f. Conductores de cobre (C)**

Tabla 36 Conductores de cobre (C)

Código	Sección (mm <sup>2</sup> )	Nº de Alambres	Masa por unidad de longitud (kg/km)	Resistencia a la tracción (kgf)	Resistencia en c.c. (Ω/km)	Diámetro conductor (mm)	Modulo elasticidad (kgf/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de dilatación lineal (°Cx10 <sup>-6</sup> )
C 10	10	7	91	420	1,84	4,05	10707,73	17
C 16	15,3	7	144	658	1,16	5,1	10707,73	17
C 25	25,2	7	228	1011	0,734	6,42	10707,73	17
C 35	34,9	7	317	1342	0,529	7,56	10707,73	17
C 50	49,5	7	449	1902	0,372	9	10707,73	17
C 70	70,3	19	640	2735	0,264	10,85	10707,73	17
C 95	94,8	19	864	3525	0,196	12,6	10707,73	17
C 120	121,2	19	1104	4597	0,153	14,25	10707,73	17
C 150	147,1	37	1344	5710	0,126	15,75	10707,73	17
C 185	184,5	37	1687	6844	0,101	17,64	10707,73	17
C 235	236	61	2157	8754	0,0789	19,05	10707,73	17
C 300	304,2	61	2791	10899	0,0615	22,68	10707,73	17
C 400	389,1	61	3570	13940	0,048	25,65	10707,73	17
C 500	490,6	61	4501	16772	0,0374	28,8	10707,73	17

**6.2. CONDUCTORES AISLADOS:**

Los cables utilizados en las redes subterráneas tendrán los conductores de cobre o de aluminio y estarán aislados con materiales adecuados a las condiciones de instalación y explotación manteniendo, con carácter general, el mismo tipo de aislamiento de los cables de la red a la que se conecten. Estarán debidamente apantallados, y protegidos contra la corrosión que pueda provocar el terreno donde se instalen o la producida por corrientes erráticas, y tendrán resistencia mecánica suficiente para soportar las acciones de instalación y tendido y las habituales después de la instalación. Se exceptúan las agresiones mecánicas procedentes de maquinaria de obra pública como excavadoras, perforadoras o incluso picos. Podrán ser unipolares o tripolares.

# **SOFTWARE PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE L.A.T. SUBTERRANEA Y AÉREA**

**DESARROLLO DE SOFTWARE DE CÁLCULO**

**CAPÍTULO 7**



## 7. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CÁLCULO:

### 7.1. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN MATLAB:

La interfaz gráfica de usuario, conocida también como GUI (del inglés graphical user interface) es un programa informático que actúa de interfaz de usuario, utilizando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles en la interfaz. Su principal uso, consiste en proporcionar un entorno visual sencillo para permitir la comunicación con el sistema operativo de una máquina o computador.

Habitualmente las acciones se realizan mediante manipulación directa, para facilitar la interacción del usuario con la computadora. Surge como evolución de las interfaces de línea de comandos que se usaban para operar los primeros sistemas operativos y es pieza fundamental en un entorno gráfico.

Hoy en día con los sistemas operativos con los que estamos habituados a trabajar, en donde básicamente todo está ideado para que sea más fácil e intuitivo trabajar con él, es más, todos los software disponibles para nivel usuario llegan a nosotros por medio de una interfaz gráfica.

MATLAB dispone de una herramienta de programación en interfaz gráfica conocida como GUIDE (Graphical User Interface Development Environment) que permite crear un software más cómodo para el posterior uso del mismo. El programa ofrece múltiples posibilidades pero sin llegar al amplio conjunto de estas que presentan otros programas para la creación de software como Visual Basic o Visual C++.

En MATLAB podemos acceder a la herramienta GUIDE tecleando `guide` en la hoja de comandos de MATLAB. Encontraremos doce herramientas con las que podemos crear nuestra interfaz: Push Button, Toggle Button, Radio Button, CheckBox, Edit Text, Static Text, Slider, Table, Panel, ListBox, Popup Menu, Axes. Así mismo, encontraremos un formulario en blanco sobre el cual podemos empezar a construir el nuestro proyecto. El entorno de diseño y trabajo de MATLAB es muy gráfico, intuitivo y fácil de manejar.

### 7.2. INTRODUCCIÓN A LA CREACIÓN DE ARCHIVOS GUI.

Esto es una introducción a la creación de software con la herramienta GUIDE, en ella daremos los preludios para la programación en esta herramienta informática para tener una breve noción de la creación.

Como ya hemos visto, para abrir la herramienta introducimos el comando “`guide`” en la ventana de comandos.

Se presentará el siguiente cuadro de diálogo:

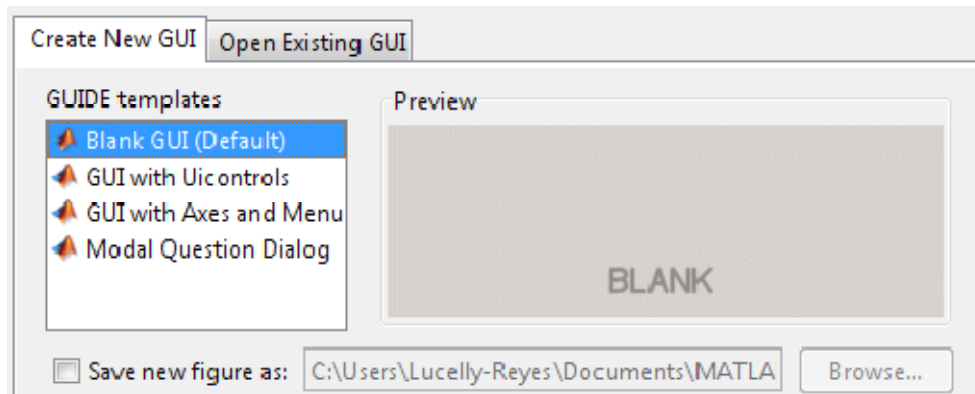


Figura 7. 1 Creación de un nuevo GUI

Se presentan las siguientes opciones:

- Blank GUI (Default): La opción de interfaz gráfica de usuario en blanco (viene predeterminada), nos presenta un formulario nuevo, en el cual podemos diseñar nuestro programa.
- GUI with Uicontrols: Esta opción presenta un ejemplo en el cual se calcula la masa, dada la densidad y el volumen, en alguno de los dos sistemas de unidades. Podemos ejecutar este ejemplo y obtener resultados.
- GUI with Axes and Menu: Esta opción es otro ejemplo el cual contiene el menú File con las opciones Open, Print y Close. En el formulario tiene un *Popup menu*, un *push button* y un objeto *Axes*, podemos ejecutar el programa eligiendo alguna de las seis opciones que se encuentran en el menú desplegable y haciendo click en el botón de comando.
- Modal Question Dialog: Con esta opción se muestra en la pantalla un cuadro de diálogo común, el cual consta de una pequeña imagen, una etiqueta y dos botones *Yes* y *No*, dependiendo del botón que se presione, el GUI retorna el texto seleccionado (la cadena de caracteres 'Yes' o 'No').

Una aplicación GUIDE consta de dos archivos uno `.m` (ejecutable) y otro `.fig` la parte grafica. Las dos partes están unidas a través de las subrutinas callback. Una vez que se graba los archivos desde la consola de emisión (si salvamos la `.fig` automáticamente lo hace el `.m` asociado) podemos ejecutar el programa en la ventana de comando de MATLAB solamente escribiendo el nombre del archivo solamente.

Una aplicación GUIDE consta de dos archivos `.m` y `.fig`.

- El archivo `*.m` es el que contiene el código con las correspondencias de los elementos de control de la interfaz gráfica. Cada vez que se introduzca un elemento gráfico en el panel de diseño de la interfaz (`*.fig`) se generará unas

líneas de programa automáticamente asociadas a ese tipo de control. Estas líneas de programas están vacías, es decir, es necesarios programar acciones a elementos de control para llevarlas a cabo durante la ejecución del programa.

- El archivo **\*.fig** es el que contiene los elementos gráficos así como las propiedades de la interfaz. Cada vez que se añada un nuevo elemento en la interfaz gráfica, se genera automáticamente código relacionado con el mismo en el archivo **\*.m**.

Si elegimos la primera opción, *Blank GUI* y tenemos:

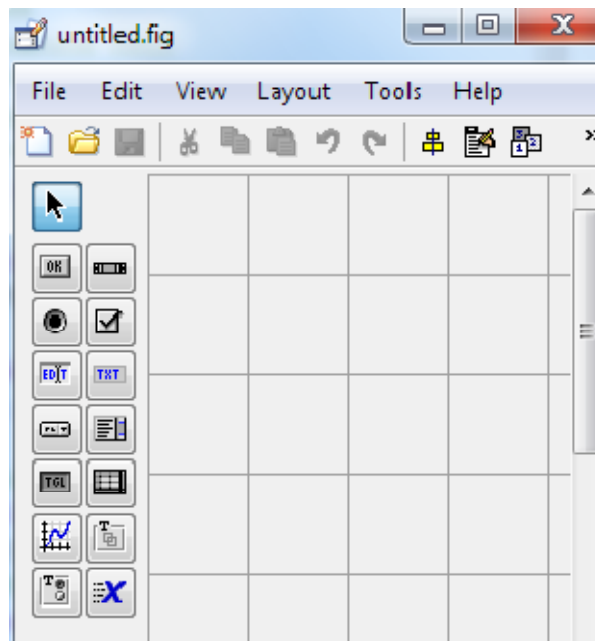
















Figura 7. 2 Hoja GUI en blanco

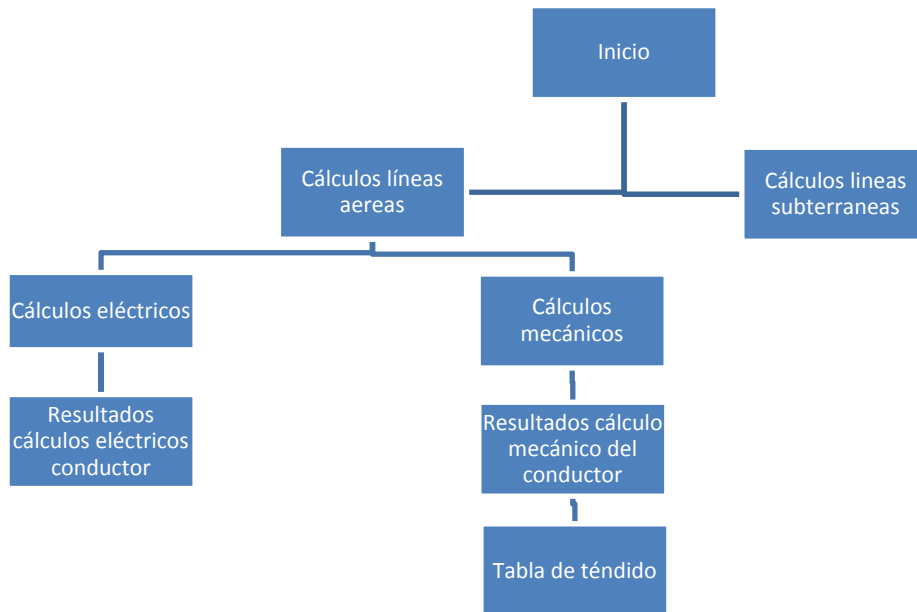
Como se puede observar esta ventana presenta una variedad de componentes importantes para el diseño de una interfaz grafica.

Tabla 37 Botones de diseño GUI de MATLAB

Push Button		Invoca un evento inmediatamente. Por ejemplo, un botón Aceptar podría aplicar la configuración y cerrar un cuadro de diálogo. Al hacer clic en un botón de comando, aparece deprimido; Cuando suelte el botón del ratón, el botón aparece elevado.
Slider		Usado para representar un rango de valores, permite al usuario mover una barra de deslizamiento.
Radio Button		Indica una opción que puede ser seleccionada.
Check Box		Indica el estado de una opción o atributo. Las casillas de verificación son útiles cuando se proporciona al usuario un número de opciones independientes.
Edit Text		Caja para editar texto, permite a los usuarios introducir o modificar las cadenas de texto. Los usuarios pueden introducir números pero debe convertirlos a sus equivalentes numéricos.
Static Text		Muestra un string de texto en una caja. Estos controles de texto estático se utiliza normalmente para etiqueta otros controles, proporcionan instrucciones para el usuario o indicar los valores asociados a un control deslizante. Los usuarios no pueden cambiar texto estático interactivamente
Pop-Up Menu		Menús emergentes abren para mostrar una lista de opciones cuando los usuarios hacen clic en la flecha.
List Box		Muestra una lista deslizablede elementos y permiten a los usuarios seleccionar uno o más elementos.
Toggle Button		Botones de solo dos estados, “on” o “off”, generan una acción e indican si está activadas o desactivada.
Table		Genera una tabla
Axes		Permiten mostrar gráficos e imágenes. Al igual que todos los objetos gráficos.
Panel		Paneles para organizar los componentes de la GUI en grupos. Al agrupar visualmente los controles relacionados, los paneles pueden hacer la interfaz de usuario más fácil de comprender.
Button Group		Permite exclusividad de selección con los radio button.
ActiveX® Component		Componentes Active X le permiten mostrar controles ActiveX en GUI. Solo están disponibles en la plataforma Microsoft ® Windows ®

### 7.3. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Primero vamos a ver unas breves consideraciones, el programa se compone de ocho interfaces gráficas diferentes, en el esquema que viene a continuación, vemos las diferentes ventanas que aparecen.



Una vez que hemos organizado las ventanas de datos, podemos pasar a explicar cada una, la forma de introducir los datos y varias indicaciones más sobre el funcionamiento de las mismas.

#### 7.3.1. Ventana de inicio

La página de inicio que podemos ver en la figura 7.3 nos permitirá elegir entre los diferentes cálculos que podemos realizar con la aplicación, como ya hemos dicho entre estos cálculos están:

- Cálculos eléctricos en líneas aéreas de alta y media tensión para conductores desnudos.
- Cálculos mecánicos en líneas aéreas de alta y media tensión para conductores desnudos.
- Cálculos eléctricos en líneas subterráneas para líneas de hasta 18/30 kV.

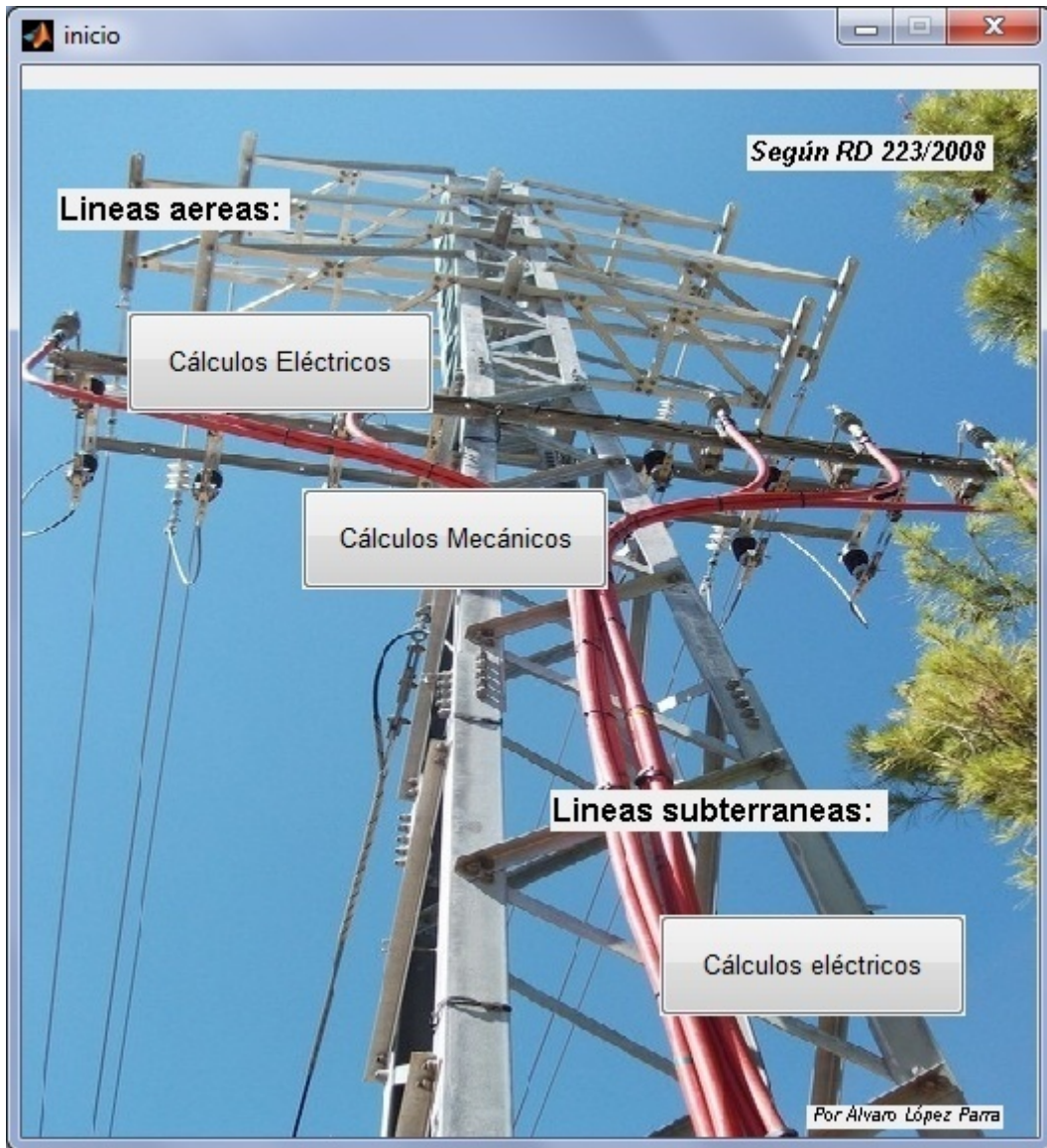


Figura 7. 3 Página de Inicio

Así seleccionaremos según el cálculo que queramos realizar a continuación y nos llevará a tres interfaces gráficas distintas.

### **7.3.2. Cálculos eléctricos en líneas aéreas de alta y media tensión para conductores desnudos.**

En la página de introducción de datos para líneas aéreas de alta y media tensión para conductores desnudos tenemos diferentes datos que introducir. Habrá que usar unas unidades determinadas, que aparecen en el programa, y en algún caso habrá que aplicar un orden de introducción de datos.

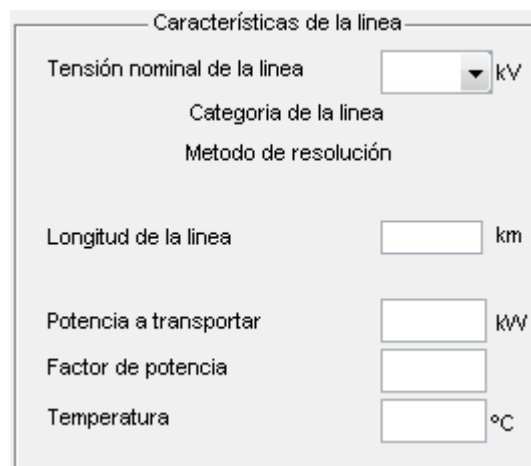
La ventana de introducción de datos para cálculos eléctricos en líneas aéreas con conductores desnudos se puede componer en seis menús de entrada de datos, estos menús son:

- Características de la línea
- Características del circuito
- Características del conductor
- Distancia entre conductores
- Aisladores
- Efecto corona

Podemos proceder ahora a ir explicando uno a uno y según orden aconsejable de introducción de datos.

#### A. Características de la línea

El panel Característica de la línea que podemos ver en la figura de la línea es seguramente el panel más importante de la ventana ya que será el panel que defina los parámetros de la línea.



Características de la línea

Tensión nominal de la línea  kV

Categoría de la línea

Método de resolución

Longitud de la línea  km

Potencia a transportar  kW

Factor de potencia

Temperatura  °C

Figura 7. 4 Características de la línea

- Tensión nominal de la línea: Aquí nos aparecerá una lista desplegable con las tensiones normalizadas, pudiendo elegir entre ellas la que queramos, las tensiones recomendadas por las empresas distribuidoras de energía eléctrica son:

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED ( $U_n$ ) kV
20
66
132
220
400

Al introducir la tensión de la línea los “*static text*” que aparecen como “*Método de resolución*” y “*Categoría de la línea*” tomarán los valores adecuados.

- “*Método de Resolución*”, si la tensión nominal de la línea es menor o igual de 66kV el método de resolución empleado será el de circuito monofásico equivalente y el método de equivalente en pi en caso contrario.
- “*Categoría de la línea*”, las categorías de la línea ha sido explicada en el apartado 4.3 del presente proyecto.

- Longitud de la línea: La longitud de la línea debe ser mayor que cero y puede llegar hasta el valor que se desee, no habiendo ninguna limitación de longitud. El valor introducido estará en kilómetros.
- Potencia a transportar: La potencia de la línea debe ser mayor que cero y no hay límite superior para su valor, el valor introducido estará en kW.
- Factor de potencia: El factor de potencia no puede ser mayor que uno, y será mayor que cero.
- Temperatura: La temperatura estará en °C, esta deberá ser mayor que 0, la temperatura para la cual no afectará a la resistencia de los conductores de la línea será la de 20°C.

## B. Características del conductor

Este panel, que aparece en la figura 7.10, será el panel en el que seleccionemos el conductor que compone la línea.



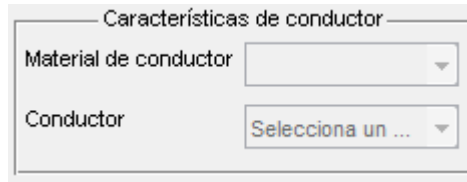


Figura 7. 5 Panel Características del Conductor

- **Material del conductor:** Te permitirá elegir entre los diferentes materiales conductores, te permitirá elegir entre los siguientes materiales.
  - Cobre (C)
  - Aluminio (AL1-L)
  - Aleación de aluminio (AL3-D)
  - Aluminio reforzado con acero (AL1/ST1A-LA)
  - Aleación de aluminio reforzado con acero (AL3/ST1A-DA)
  - Aluminio-acero recubierto de aluminio (LARL)
  - Aluminio/Acero (A1/S1A)
  
- **Conductor:** Se habilitará al seleccionar un material, los materiales estarán guardados en un Excel llamado “Da\_Con.xlsx” situado en la carpeta raíz del programa, esta base de datos puede ser modificado ajustando valores, el orden de introducción de los datos y las unidades será:

Código	Sección (mm <sup>2</sup> )	Nº de Alambres	Masa por unidad de longitud (kg/km)	Resistencia a la tracción (daN)	Resistencia en c.c. (Ω/km)	Diámetro conductor (mm)	Modulo elasticidad (kgf/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de dilatación lineal (°Cx10 <sup>-6</sup> )
--------	----------------------------	----------------	-------------------------------------	---------------------------------	----------------------------	-------------------------	---	--

### C. Características del circuito

El panel “Características del circuito” es el panel en el cual definimos el circuito específicamente.

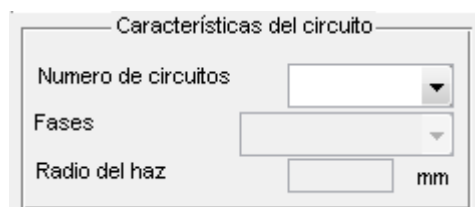


Figura 7. 6 Características del circuito

- **Número de circuitos:** Se podrá seleccionar uno o dos circuitos para nuestra línea, se habilitará su elección al elegir el material del conductor.

— Fases: nos indicará los conductores por fase, se habilitará al seleccionar el número de circuitos , se pueden elegir:

- Fases simplex: El haz por fase está formado por un conductor.

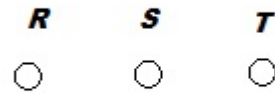


Figura 7. 7 Fases simplex

- Fases dúplex: El haz por fase está formado por dos conductores.

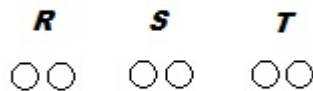


Figura 7. 8 Fases duplex

- Fases tríplex: El haz por fase está formado por tres conductores.

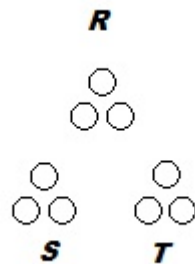


Figura 7. 9 Fases tríplex

- Fases cuádruplex: El haz por fase está formado por cuatro conductores.

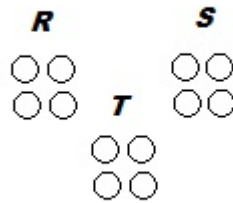


Figura 7. 10 Fases cuádruplex

— Radio del haz: Radio de la circunferencia entre los diferentes conductores que forman el haz, se introducirán los datos en milímetros, será habilitado al seleccionar el número de fases.

#### D. Distancia entre conductores

El panel se activará al seleccionar el número de conductores.

El panel de software muestra un formulario para introducir la posición de los conductores en metros. El título del panel es "Distancia entre conductores (m)".

Fase 1		Fase 2		Fase 3			
Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y	Eje X	Eje Y		
						D12	m
						D1	m
						D23	m
						D2	m
						D31	m
						D3	m

Debajo de los cuadros de entrada hay un botón que dice "Calcular Distancia".

Figura 7. 11 Panel Distancia entre conductores

Se introducirá la posición de los conductores en metros, pudiéndose tomar como referencia cualquiera de las tres fases y dejando estas como la posición 0,0. Al poner la posición de los conductores en metros se pulsará el botón "Calcular distancia"

#### E. Aisladores

Este panel es que determinará el número de aisladores a colocar, viene una base de datos de aisladores situada en el archivo Excel indicado anteriormente y llamado "Da\_Con.xlsx".

Panel Aisladores

Nivel de contaminación

Línea de Fuga  mm/kV L.F. Mínima  mm/kV

Tensión mas elevada de la red (Us)  kV

Material aislador

Aislador

Línea de fuga individual de un aislador  mm

Decreto protección avifauna

Distancia Mínima  mm Paso aislador  mm

Longitud apartamenta  mm

Figura 7. 12 Panel Aisladores

- Nivel de contaminación: dependiendo de la situación de la línea, deberemos elegir el nivel de contaminación adecuado, en el menú aparecerá una lista en la cual debemos elegir la opción más acorde a nuestro caso. Mediante estas opciones podemos establecer la línea de fuga mínima. Las opciones ofrecidas serán:
- Zonas sin industrias y con baja densidad de viviendas equipadas con calefacción.
  - Zonas con baja densidad de industrias o viviendas con lluvia y viento frecuentes.
  - Zonas agrícolas.
  - Zonas montañosas.
  - Zona con industrias que no producen humo especialmente contaminante y/o densidad media de viviendas equipadas con calefacción.
  - Zonas con elevada densidad de viviendas y/o industrias pero sujetas a vientos frecuentes y/o lluvia.
  - Zonas expuestas a vientos desde el mar, pero no muy próximas a la costa.
  - Zonas con elevada densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con elevada densidad de calefacción generando contaminación.
  - Zonas cercanas al mar o, en cualquier caso, expuestas a viento relativamente fuertes provenientes del mar.
  - Zonas, generalmente de extensión moderada, sometidas a polvos conductores y a humo industrial que produce depósitos conductores particularmente espesos.

- Zonas, generalmente de extensión moderada, muy próximas a la costa y expuestas a pulverización salina o a vientos muy fuertes y contaminados desde el mar.
- Zonas desérticas, caracterizadas por no tener lluvia durante largos periodos, expuestas a fuertes vientos que transportan arena y sal, y sometidas a condensación regular.

Se activará al elegir la tensión de la línea.

- Línea de fuga: Debemos establecerla en mm/kV y solo una vez que se ha elegido el nivel de aislamiento. Si queremos que sea más restrictivo que la línea de fuga mínima podemos establecer el valor de la línea de fuga que deseemos. Si no debemos establecer el indicado por el reglamento.
- Material aislador: La lista desplegable se activará cuando seleccionemos un valor de línea de fuga válido. Entre los materiales seleccionables están.
  - Vidrio
  - Composite
- Aislador: Será activado al seleccionar el material del aislador, al seleccionar vidrio o composite en la selección de material del aislador se desplegarán los datos de unos u otros.

En el archivo Da\_Con.xlsx tenemos dos hojas llamadas (aislectricos y aiscompuestos) en las cuales tenemos sendas listas de aisladores disponibles para el cálculo del número de aisladores, los datos los tenemos que introducir como sigue.

En el caso de aisladores de vidrio, la posición y unidades de los datos a introducir o modificar serán:

Tabla 38 Posición de introducción de datos en aisladores de vidrio

Nombre del aislador	Paso(mm)	Línea de fuga (mm)
---------------------	----------	--------------------

En el caso de aisladores compuestos, la posición a ingresar y sus unidades serán.

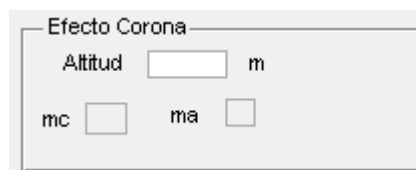
Tabla 39 Posición de introducción de datos en aisladores compuestos

Nombre del aislador	Tensión Máxima (kV)	Línea de fuga mínima(mm)
---------------------	---------------------	--------------------------

- Línea de fuga individual de un aislador: Indicamos la línea de fuga individual de un aislador, en esta caso por si no queremos usar uno de los guardados en la base de datos.
- Decreto de protección avifauna: En algunas comunidades autónomas hay decretos de protección de avifauna que nos indican una distancia mínima entre el conductor y el apoyo.
- Distancia Mínima: Distancia mínima establecido por el decreto de protección de avifauna en cada región. La distancia deberá ser introducida en milímetros.
- Paso de aislador: Es la distancia entre punta y punta en línea recta del aislador, deberá introducirse la distancia en milímetros.
- Longitud de aparamenta: Es la longitud en milímetros del resto de aparamenta que une la cruceta con el conductor.

#### F. Efecto corona:

Como su nombre indica, este será el panel de introducción de datos para el cálculo de efecto corona, si esta se va a producir o no, y las pérdidas de potencia debidas el efecto corona.



El panel de introducción de datos para el cálculo de efecto corona, titulado "Efecto Corona", contiene los siguientes elementos:

- Un campo de entrada para "Altitud" con la unidad "m".
- Un cuadro de selección para "mc".
- Un cuadro de selección para "ma".

Figura 7. 13 Panel Efecto Corona

- Altitud: Estableceremos la altitud en metros, la altitud indicada será la mayor altitud en la que este situada la línea.
- $m_c$ : Factor irregularidad de la superficie del conductor, estará situado entre 0,83 y 0,87 para conductores compuestos por alambres y 1 para conductores lisos.
- $m_a$ : Factor de condiciones ambientales. Toma el valor 1 para tiempo seco y 0,8 en condiciones de tiempo lluvioso/húmedo.

Pulsamos el botón Calcular para realizar todos los cálculos de acuerdo a los datos introducidos para la línea, esto nos llevará a otra ventana llamada "salelect" donde estarán los resultados obtenidos.

### 7.3.3. Ventana de salida de cálculos eléctricos:

La ventana de salida de cálculos eléctricos está distribuida en tres paneles claramente diferenciables.

- Parámetros eléctricos
- Efecto Corona
- Aisladores

Aparecerán además dos botones:

- El botón de “Inicio”, el cual nos llevará a la página de selección de cálculos a realizar,
- El botón de “Volver atrás”, si pulsamos este botón nos llevará a la ventana anterior en el cual podemos cambiar las especificaciones para realizar los cálculos otra vez.

#### A. Parámetros eléctricos:

En este panel aparecerán los datos referidos a los parámetros eléctricos, los datos más importantes y lo que condicionará si cumple o no de acuerdo a las características de la línea a calcular.

Parametros electricos					
Perdida de potencia	<input type="text"/>	%	Longitud	<input type="text"/>	km
Caida de tensión	<input type="text"/>	%	Tensión Nominal	<input type="text"/>	kV
Intensidad máxima del conductor	<input type="text"/>	A			
Intensidad nominal de la linea	<input type="text"/>	A			

Figura 7. 14 Panel Parámetros eléctricos

#### B. Efecto Corona

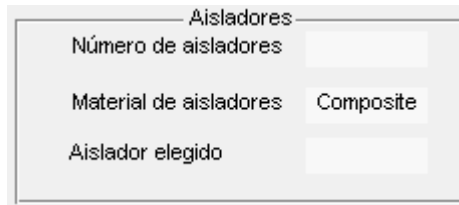
El panel referido al efecto corona, en este panel aparecerán los datos de Tensión Crítica Disruptiva y de Perdidas de Potencia.

Efecto Corona		
Tension crítica disruptiva	<input type="text"/>	kV
Perdida de potencia	<input type="text"/>	kW

Figura 7. 15 Panel salida Efecto Corona

### C. Aisladores

Aparecerán los datos del aislador elegido, y el número de aisladores.



El panel de salida Aisladores muestra tres campos de texto con sus respectivos valores:

Aisladores	
Número de aisladores	
Material de aisladores	Composite
Aislador elegido	

Figura 7. 16 Panel salida Aisladores

#### 7.3.4. Cálculos eléctricos en líneas subterráneas para líneas de hasta 18/30kV.

La ventana de cálculos para líneas subterráneas está dividida en cinco paneles y una ventana para mostrar la posición de los conductores, los paneles en los que está distribuida la ventana son:

- Características de la línea, según la selección que hagamos de la línea se activará un panel u otro.
- Conductores enterrados
- Conductores no enterrados
- Datos conductores
- Resultados

Este software no está pensado para una tensión mayor de 30kV puesto que al estar realizado el software tomando como base el RLAT, este no ofrece factores de corrección para tensiones superiores a este nivel tensión.

Aquí no se ha incluido una base de datos de los conductores puesto que no se establecen unos valores reglamentarios, si no que depende del fabricante se ha decidido que los valores de resistencia e inductancia sean introducidos manualmente para no estar sometidos a los datos proporcionados por ningún fabricante.

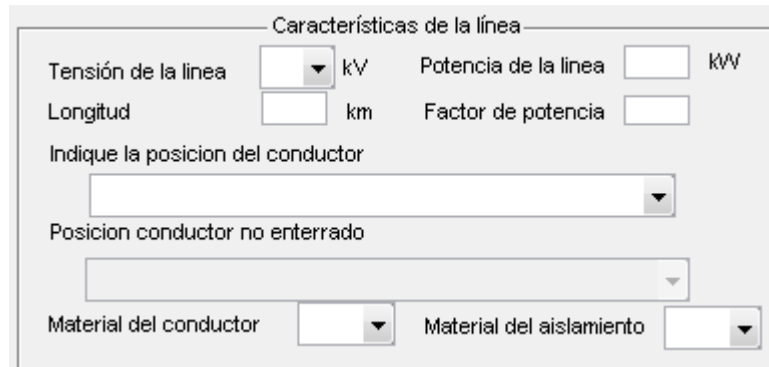
Disponemos de dos botones,

- El botón “calcular” que realizará los cálculos de acuerdo a los datos introducidos.
- El botón “inicio”, nos llevará a la ventana inicial.

### A. Características de la línea



En este panel elegiremos las características de la línea, y será el panel más importante de esta ventana, de acuerdo a los datos introducidos aquí se activará el panel para “Conductores enterrados” o “Conductores no enterrados”.



Características de la línea

Tensión de la línea  kV      Potencia de la línea  kW

Longitud  km      Factor de potencia

Indique la posición del conductor

Posición conductor no enterrado

Material del conductor       Material del aislamiento

Figura 7. 17 Panel Características de la línea

- Tensión de la línea: Podemos seleccionar un valor de tensión de hasta 30kV como ya hemos comentado, en el RLAT no ofrece valores de factor de corrección para una tensión superior.
- Potencia de la línea: Debemos introducir un valor de potencia en kW, empezando con una potencia superior a cero y no habiendo límite superior para la potencia.
- Longitud de la línea: Se introducirá en km, y tendrá que ser superior a cero.
- Factor de potencia: Un factor de potencia mayor que cero y menor o igual que uno.
- Posición del conductor: Se podrá elegir entre diferentes posiciones de conductor.
  - Cable directamente enterrado.
  - Cable enterrado bajo tubo.
  - Cable aislado instalado al aireSi se elige la opción de cable aislado instalado al aire, se activará la siguiente panel desplegable.
- Posición conductor no enterrado: La posición del conductor es muy importante puesto que cambiará la intensidad máxima que puede transportar el conductor, al tener unas posiciones del conductor mejor ventilación que otras.

- Cables tripolares o ternos de unipolares tendidos sobre bandejas continuas, separación igual a  $d$ .
  - Cables tripolares tendidos sobre bandejas perforadas con separación entre cables igual a un diámetro  $d$
  - Cables tripolares o ternos de unipolares tendidos sobre estructuras o sobre la pared, con separación igual a diámetro  $d$
  - Cables tripolares o ternos de unipolares tendidos sobre bandejas perforadas, con separación igual a un diámetro  $d$
  - Cables tripolares o ternos de unipolares en contacto entre si, y con pared, tendido sobre bandejas continuas o perforadas
  - Cables secos, tripolares o ternos de unipolares, en contacto entre si, dispuestos sobre estructura o sobre pared
  - Agrupación de cables tripolares o ternos de unipolares, con una separación inferior a un diámetro y superior a un cuarto de diámetro, sobre bandeja perforada
  - Cables unipolares, sobre bandejas continuas con separación entre cables igual a un diámetro  $d$
  - Cables unipolares sobre bandejas perforadas con separación entre cables igual a un diámetro  $d$
  - Cables unipolares tendidos sobre estructura o sobre pared, unos sobre otros, con separación entre cables igual a un diámetro  $d$
- Material del conductor: Podremos elegir entre dos materiales, que son cobre y aluminio, como sabemos cada uno de los dos tiene una conductividad distinta.
- Material del aislamiento: Podremos elegir entre diferentes materiales aislantes, los materiales que podemos elegir serán:
- Polietileno reticulado (XLPE)
  - Etileno propileno (EPR)
  - Etileno propileno de alto modulo (HEPR)

## **B. Conductores enterrados**

Se activará esta opción si se selecciona la posición del conductor enterrado, al ir rellenando los datos se irán abriendo más opciones habilitándose los diferentes “box” en el orden correcto.

Conductores enterrados

Sección del conductor <input type="text"/>	mm	Separación de los ternos <input type="text"/>	m
Temperatura del terreno <input type="text"/>	°C	Profundidad de la instalación <input type="text"/>	m
Resistividad del terreno <input type="text"/>	K·m/W	Número de ternos <input type="text"/>	

Figura 7. 18 Panel Conductores enterrados

- Sección del conductor: Te darán un número de opciones, serán ingresados en milímetros, las intensidades máximas admisibles para los diferentes materiales conductores y con diferentes aislamientos vienen definida por el RLAT, y las diferentes secciones son:

Tabla 40 Secciones del conductor en conductores aislados

Sección (mm)
25
35
50
70
95
120
150
185
240
300
400

- Temperatura del terreno: Se activará al introducir el número de ternos y será ingresada en °C, y se producirán cambios en la intensidad máxima admisible para temperaturas distintas de 25°, de acuerdo a la formula siguiente que aunque ya fue definida anteriormente la introducimos porque resulta interesante aquí:

$$F = \sqrt{\frac{\theta_S - \theta_T}{\theta_S - 25}} \tag{7.1}$$

Donde:

$\theta_S$  : Temperatura de servicio, estará determinada por el aislante del conductor.

$\theta_T$  : Temperatura del terreno

La intensidad máxima admisible será la obtenida de multiplicar este factor por la intensidad.

- Resistividad del terreno: Será ingresada en K·m/W, está producirá cambios para una resistividad del terreno distinta de 1,5 K·m/W, los datos que se pueden introducir variaran entre 0,9 y 3 K·m/W.
- Separación de los ternos: Será ingresada en m, es la separación entre ternos de cables unipolares o la separación entre cables tripolares, dependiendo del tipo de conductor, la separación aplicable entre ternos será de entre 0 y 0,8 metros.
- Profundidad de la instalación: Será introducida en metros, se aplicará un factor de corrección para una profundidad distinta de un metro, la profundidad que podemos elegir estará situada entre 0,5 y 3 metros.
- Número de ternos: Se introducirán el numero de ternos que vayamos a disponer en nuestra instalación, está permitido introducir desde un terno hasta diez, se aplicarán factores de corrección si se dispone de más de un terno.

### C. Conductores no enterrados

Este panel será activado cuando se seleccione como posición de conductor una no enterrada, tendremos que introducir los datos especificando más condiciones para nuestra instalación.

Conductores no enterrados

Sección del conductor  mm      Temperatura del aire  °C

Número de bandejas        Cable expuesto al sol

Número de ternos unipolares o cables tripolares

Figura 7. 19 Panel Conductores no enterrados

- Sección del conductor: El software te dará un número de opciones, serán ingresados en milímetros, las intensidades máximas admisibles para los diferentes materiales conductores y con diferentes aislamientos vienen definida por el RLAT, y las diferentes secciones son:

Tabla 41 Secciones normalizadas para conductores aislados expuestos

Sección (mm)
25
35
50
70
95
120
150
185
240
300
400

- Número de bandejas: Esta opción se activará si los conductores están situados sobre bandejas, ya sean estas perforadas o no.
- Número de ternos unipolares y cable tripolares: Se activará al introducir el número de bandejas si se dispone de estas o al elegir la posición de conductor sin bandeja. Si solo hay un terno y una bandeja el factor de corrección será uno.
- Temperatura del aire: Se activará al introducir el número de ternos y de bandejas. Se introducirá la temperatura en °C, se aplicará un factor de corrección para temperaturas distintas de 40 °C y de acuerdo a la formula.

$$F = \sqrt{\frac{\theta_S - \theta_T}{\theta_S - 40}} \quad (7.2)$$

Donde:

$\theta_S$  : Temperatura de servicio, estará determinada por el aislante del conductor.

$\theta_T$  : Temperatura del terreno

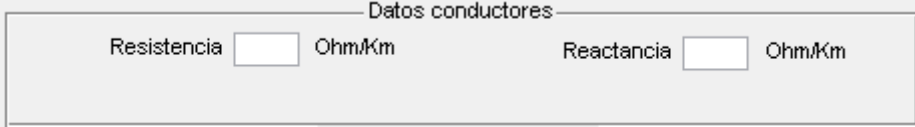
La intensidad máxima admisible será la obtenida de multiplicar este factor por la intensidad.

- Cable expuesto al sol: Se seleccionará si está el conductor expuesto al sol y si es así se aplicará un factor de corrección de 0,9.

#### D. Datos conductores

Al no haber como el caso de conductores desnudos, datos para la resistencia e inductancia, y al no querer vernos atados a ningún fabricante, decidimos que la resistencia e inductancia sea introducida manualmente.

Los cálculos eléctricos se realizarán por el método de “Modelo monofásico equivalente”. Puesto que al ser una tensión inferior, se supone que no se usará este software para calcular largas distancias.



Datos conductores

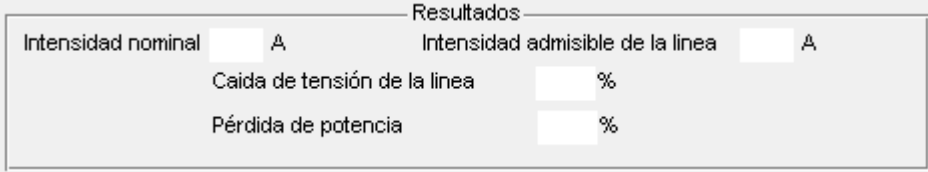
Resistencia  Ohm/Km      Reactancia  Ohm/Km

Figura 7. 20 Panel Datos de conductores

- Resistencia: El valor de la resistencia se introducirá en  $\Omega/\text{km}$ , y habrá que introducir un valor mayor que cero.
- Reactancia: El valor de la inductancia se introducirá en  $\Omega/\text{km}$ , teniendo que introducir un valor mayor o igual que cero.

#### E. Resultados

Al introducir todos los datos para los cálculos pulsamos el botón calcular y aparecerán los resultados en el panel de la figura .



Resultados

Intensidad nominal  A      Intensidad admisible de la línea  A

Caída de tensión de la línea  %

Pérdida de potencia  %

Figura 7. 21 Panel Resultados

Como vemos los resultados de la pérdida de potencia y la caída de tensión serán dados en porcentaje, mientras que los valores de intensidad se ofrecen en amperios.

- Cálculos mecánicos en líneas aéreas de alta y media tensión para conductores desnudos.
- Cálculos mecánicos en líneas aéreas de alta y media tensión para conductores desnudos.

#### 7.3.5. Cálculos mecánicos en líneas aéreas de alta y media tensión para conductores desnudos

La ventana de cálculos mecánicos para líneas aéreas de alta y media tensión ha sido la parte de más difícil programación de las que se ha entrado en este software. Está dividida en cinco cuatro paneles y una ventana gráfica donde se muestra la posición de los apoyos, con una imagen del perfil de la línea. Los paneles son:

- A. Datos de la línea
- B. Datos del terreno
- C. Opciones
- D. Introducción de cantones y vanos

Hay dos botones además, los cuales son:

- El botón “Calcular” el cual nos lleva a la ventana de “Cálculos mecánicos de conductores”, habiendo realizado todas las consideraciones precisas para el cálculo.
- El botón “Inicio” el cual nos lleva hasta la página de inicio, para poder seleccionar la opción de realizar otros de los cálculos disponibles en este software.

#### A. Datos de la línea:

En este panel vamos a introducir las características principales de la línea, será el panel más importante mecánicamente hablando.

The screenshot shows a software panel titled "Datos de la línea". On the left, there is a "Zona" section with three radio buttons labeled A, B, and C. The main area contains several input fields: "Tensión de la línea (kV)" with a dropdown menu, "Mat. Conductor" with a dropdown menu labeled "Seleccione...", "Conductor" with a dropdown menu labeled "Selecciona con...", "Coef. Seguridad" with a checkbox, "Velocidad viento" with a text input field and "km/h" unit, "V. viento(P+V+H)" with a text input field and "km/h" unit, and "Elegir distancia al terreno" with a checkbox and a text input field and "m" unit. At the bottom, there is a label "Categoría de la línea".

Figura 7. 22 Panel Datos de la línea

- Tensión de la línea: Se introducirán los valores en kV, aunque hay diferentes valores, las tensiones recomendadas por la compañía distribuidora serán:

Tabla 42 Tensiones nominales recomendadas por la compañía distribuidora

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED KV (Un)
20
66
132
220
400

— **Material de conductor:** Los materiales de los que se dispone para la realización de los cálculos mecánicos serán y los cuales aparecen en la lista desplegable son:

- Cobre (C)
- Aluminio (AL1-L)
- Aleación de aluminio (AL3-D)
- Aluminio reforzado con acero (AL1/ST1A-LA)
- Aleación de aluminio reforzado con acero (AL3/ST1A-DA)
- Aluminio acero recubierto de aluminio (LARL)
- Aluminio/Acero (A1/S1A)

— **Conductor:** Se habilitará al seleccionar un material, los materiales estarán guardados en un Excel llamado “*Da\_Con.xlsx*” situado en la carpeta raíz del programa, esta base de datos puede ser modificado ajustando valores, el orden de introducción de los datos y las unidades será:

Tabla 43 Posición de los datos y unidades de los conductores en la base de datos

Código	Sección (mm <sup>2</sup> )	Nº de Alambres	Masa por unidad de longitud (kg/km)	Resistencia a la tracción (daN)	Resistencia en c.c. (Ω/km)	Diámetro conductor (mm)	Modulo elasticidad (kgf/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de dilatación lineal (°Cx10 <sup>-6</sup> )
--------	----------------------------	----------------	-------------------------------------	---------------------------------	----------------------------	-------------------------	---	--

— **Zona:** Está compuesto por tres botones pulsadores y seleccionaremos la zona de la línea en la que está situada para las consideraciones mecánicas. Las indicaremos como aparecen aquí:

- Zona A: La situada a menos de 500 metros de altitud sobre el nivel del mar.



- Zona B: La situada a una altitud entre 500 y 1.000 metros sobre el nivel del mar.
  - Zona C: La situada a una altitud superior a 1.000 sobre el nivel del mar.
- Coeficiente de seguridad: El coeficiente de seguridad mínimo reglamentado será de 2,5, aunque el aconsejado por las compañías distribuidoras será un valor de 3. El programa te avisa si introduces un valor inferior a este.

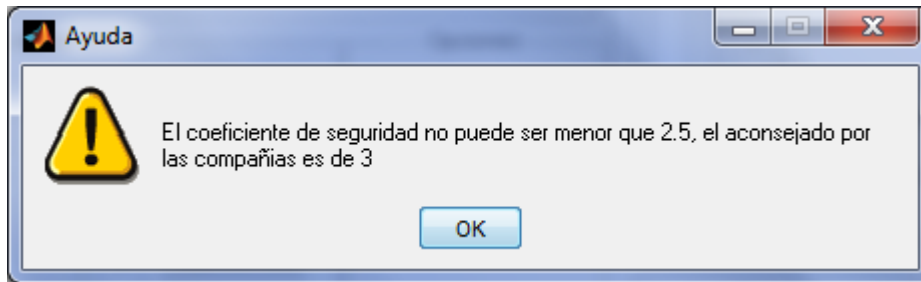


Figura 7. 23 Ventana de ayuda por coeficiente de seguridad mínimo

- Velocidad viento: Se activará al introducir el conductor elegido. Se introducirá el valor en km/h, para condiciones de peso propio y viento la mínima velocidad de viento será de 120 km/h o 140 km/h si la línea es de categoría especial y así lo denotara con una pantalla de error si le introduces un valor inferior. Si se introduce un valor inferior al obligatorio, aparecerá en la pantalla el siguiente mensaje.

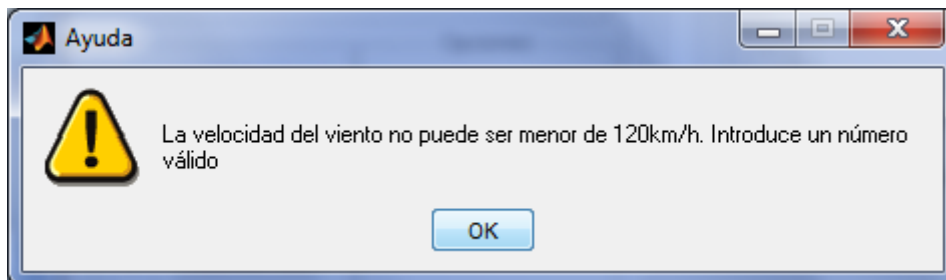


Figura 7. 24 Ventana de ayuda velocidad mínima

- Velocidad viento (P+V+H): Se introducirá el valor en km/h. Se activará o al introducir en el panel opciones la opción de "Hipótesis P+V+H" o en una línea de categoría especial. Significará la condición de peso propio, peso de hielo y del viento, la velocidad mínima será de 60 km/h, si le introduces un valor inferior aparecerá el mensaje en la pantalla.

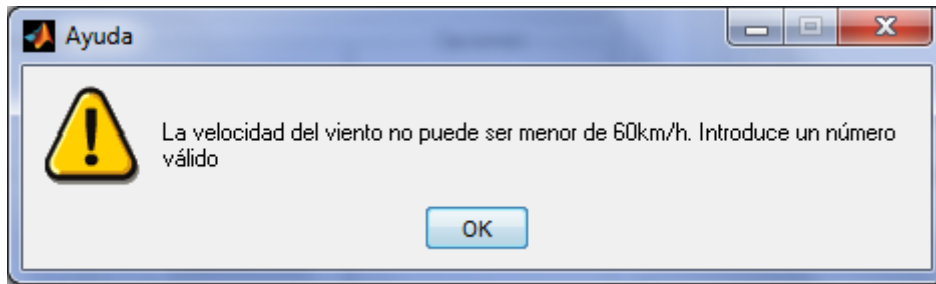


Figura 7. 25 Ventana de ayuda por velocidad mínima en caso de consideración de peso propio, hielo y viento

- Elegir distancia al terreno: Si no seleccionamos este botón la distancia mínima al terreno será la indicada por el reglamento, y el programa no permitirá un valor inferior a este, puesto que automáticamente se introducirá el valor mínimo. Se introducirá un valor mayor que cero y en metros.

## B. Introducir puntos del terreno

Este será el panel de introducción de datos del terreno, para la creación del perfil, al ir introduciendo los datos en la tabla, estos se actualizarán en el perfil de datos como se verá en la figura 7.28.

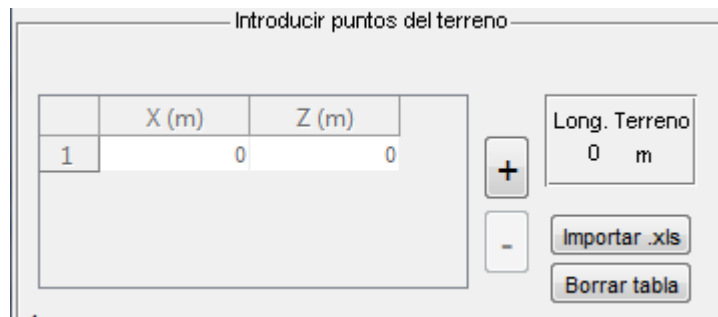


Figura 7. 26 Panel Introducción de puntos del terreno

El primer punto será establecido en 0, 0 y este no se debe cambiar para el correcto funcionamiento del programa.

Podemos establecer los puntos en el terreno por dos medios, o importando datos a través de un archivo Excel o introduciendo los puntos uno a uno. Vamos a poner un ejemplo de cada caso para que quede más claro.

- Importar .xls: Podemos importar datos de un archivo “.xls” o “.xlsx”, tal y como vemos en la figura 7. 26, pero los datos en Excel deben estar en la hoja1 y deben estar en una tabla poniendo en la primera columna los datos X, en este caso los de longitud y en la segunda columna los datos Z, es decir, los de

altitud. Los datos pueden estar en cualquier carpeta de nuestro ordenador, así como en cualquier disco portátil, tal y como se muestra en la figura 7.27.

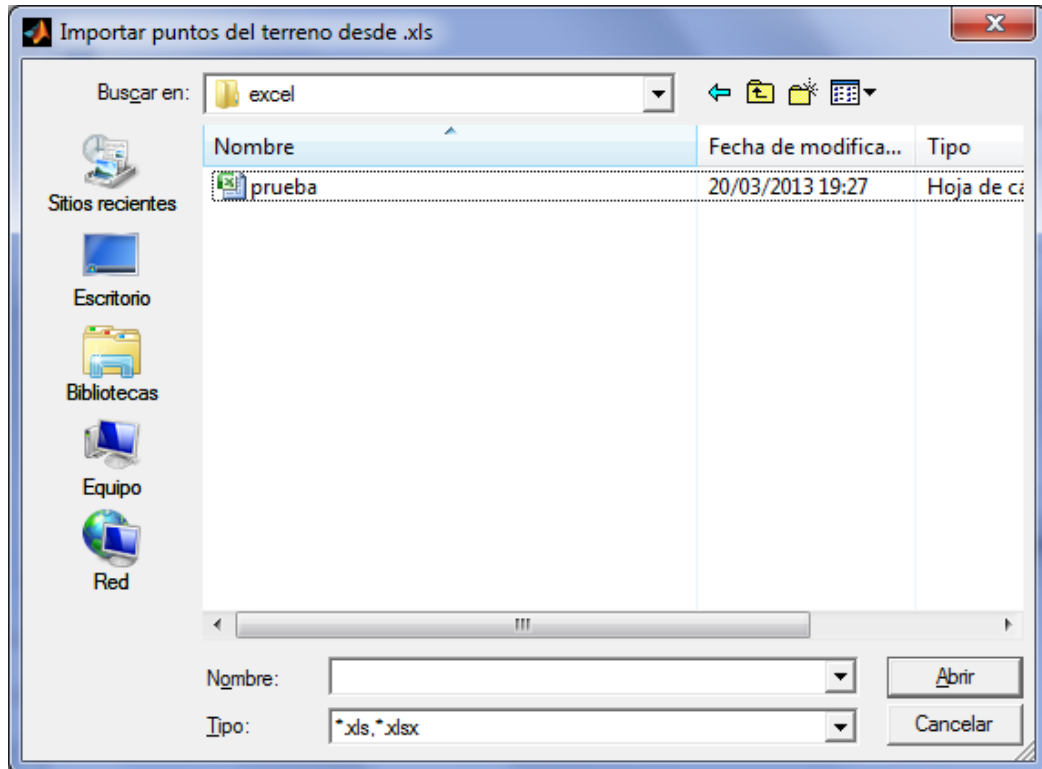


Figura 7. 27 Importar puntos del terreno

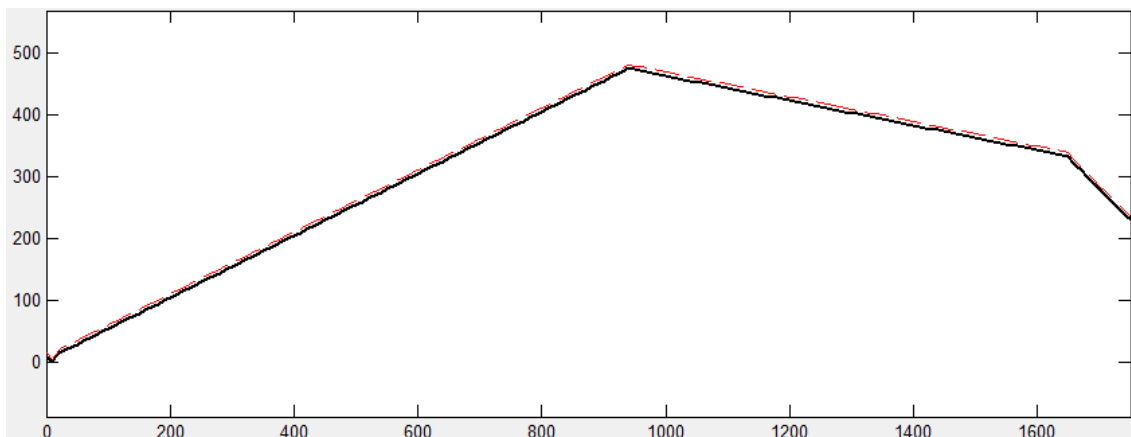


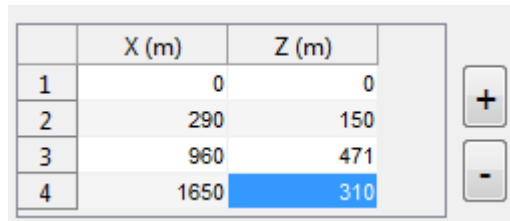
Figura 7. 28 Representación del perfil

La línea roja será la línea que indicará la distancia mínima al terreno, o la distancia al terreno marcada por nosotros.

- Introducción de puntos manualmente: Los puntos se introducen uno a uno, el primer punto será cero, obligatorio y no se puede modificar, así aparece en la figura 7.29. Los puntos deben ser introducidos en metros, y no es necesario

poner un número ilimitado de puntos, sino los puntos donde haya un cambio en la pendiente del terreno.

Para introducir los puntos pulsamos el botón y añadimos otro punto, si queremos eliminar un punto pulsaríamos el botón y aunque no desaparecería del perfil, al añadir otro punto se modificaría el perfil.



	X (m)	Z (m)
1	0	0
2	290	150
3	960	471
4	1650	310

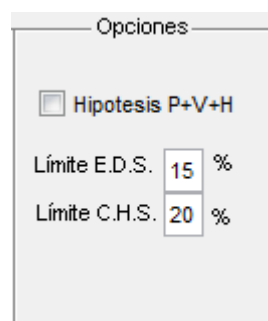
Figura 7. 29 Introducción de puntos manual

Como podemos ver en la figura 7.26 tenemos otro botón, “Borrar tabla” al pulsar este se borrarán los datos aunque no desaparezcan de la gráfica, si no que al introducir un nuevo punto la grafica salvará la posición de este punto.

En el apartado “Longitud del terreno” irá sumando las distancias al terreno en metros, para ver la longitud del perfil.

### C. Opciones:

En el panel opciones, el cual se observa en la figura 7.30 , se elegirán las hipótesis no reglamentarias y este panel es un panel opcional y que no se requiere para la resolución de los cálculos, aunque automáticamente se tendrán en cuenta y se realizarán los cálculos para EDS y CHS.



Opciones

Hipotesis P+V+H

Límite E.D.S.  %

Límite C.H.S.  %

Figura 7. 30 Panel Opciones

- Hipotesis P+V+H: Al seleccionar el botón se pueden incluir las condiciones de cálculo a peso propio, viento y hielo, y se activará en el panel “Datos de la línea” la “Velocidad de viento (P+V+H)”.

- Límite E.D.S.: Se introducirá el valor el % se refiere a tensión de cada día, que como hemos dicho es la tensión a la que está sometido el cable la mayor parte del tiempo y será la correspondiente a la temperatura media, o a temperaturas próximas a estas sin que exista sobrecarga. Los límites máximos serán:
  - Será del 15% si no se instalan dispositivos amortiguadores de las vibraciones a 15°C de temperatura.
  - Será del 22% si se realiza el estudio de amortiguamiento y se instalan dispositivos amortiguadores de las vibraciones.

Esta E.D.S. ha sido explicado en el apartado 2.4.

- Limite C.H.S.: Se introducirá en % y C.H.S. será el coeficiente de tensión de horas frías, y no deberá exceder del 20% del valor de rotura del cable. El C.H.S. se explica en el apartado 2.4.

#### D. Introducción de cantones y vanos

En este panel introduciremos los cantones que tenemos, y donde están situados los apoyos de los que se compone el cantón y la línea en metros, como podemos ver en la figura 7.31.

Canton	Long. Cantón (m)	Long. Total (m)	VIR (m)
1	0	1650	0

Vano (m)	Desnivel (m)
1	0

Figura 7. 31 Panel Introducción de cantones y vanos

El panel está compuesto por dos partes, una de las partes es la de introducción de cantones por medio de un subpanel llamado “Cantones” y la otra parte servirá para la introducción de vanos.

Lo primero que debes hacer es introducir el número de cantón, predeterminadamente se empezará en el cantón 1, introducimos pues el primer vano, y automáticamente nos dirá el desnivel, para seguir introduciendo vanos pulsamos el botón “+”, podemos eliminar un vano con el botón “-” al lado de la tabla de vanos, o

un cantón con el mismo botón situado en el subpanel “Cantones”, al eliminar un cantón o un apoyo no desaparecerán los puntos automáticamente de la gráfica si no que desaparecerán al introducir un nuevo apoyo.

Es muy importante saber que no se debe seleccionar un cantón anterior al cantón en el cual hemos ingresado el último vano e ingresar nuevos vanos, porque producirá que el programa no funcione, tal y como aparece en la figura 7.32 donde podemos ver que estamos introduciendo vanos en el último cantón.

Introducción de cantones y vanos

Canton	Long. Cantón (m)	Long. Total (m)	VIR (m)
2	394	744	213.157

CANTONES

	Vano (m)	Desnivel (m)
1	244	122
2	150	75

Distancia hasta ultimo punto (m) 1006

Distancia hasta punto mas elevado (m) 196

Figura 7. 32 Ejemplo introducción de cantones

Los datos se irán quedando de esta forma, arriba de las tablas de introducción de datos iremos viendo unos datos, como el cantón seleccionado, la longitud del cantón, la longitud total de la línea y el VIR que será el vano ideal de regulación del cantón.

La posición de los apoyos se dibujan en la gráfica junto a los perfiles, apareciendo estos en color azul tal y como aparece en la figura 7.33 .

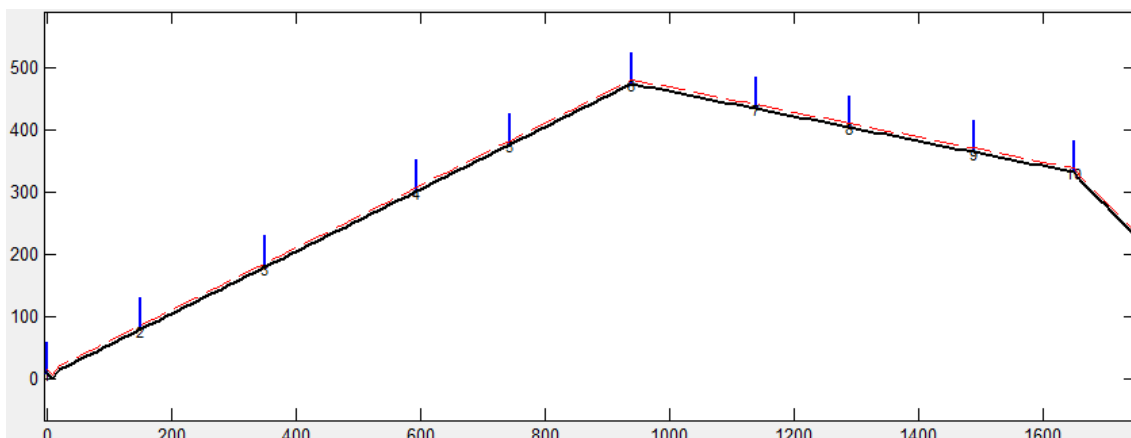


Figura 7. 33 Perfil de la línea y representación de los apoyos

Además debajo de las tablas de ingreso de datos, se podrá ver la “Distancia hasta el último punto” en metros y la “Distancia hasta el punto más elevado” en metros también, que podrán ayudarnos a diseñar nuestra línea, aunque son

meramente informativos no suponen una condición para el diseño. Tenemos que añadir que el diseño de la línea no tiene que usar todo el perfil.

### 7.3.6. Ventana Cálculos Mecánicos de Conductores

La ventana de “Cálculos mecánicos de conductores” será la hoja de salida de los resultados mecánicos, y estará distribuida en un único panel con la indicación de los datos resueltos, y una tabla donde aparecen los datos para las diferentes hipótesis, estas consideraciones para las hipótesis ya han sido explicadas en el Capítulo 2 del presente proyecto.

Vamos a dar los diferentes datos que nos aportarán el software y su forma de presentación, veremos esto por medio de un ejemplo, para que aparezcan los resultados tal y como aparecerán. Podemos separar estos en tres partes.

- I. Datos de la línea
- II. Pesos considerados
- III. Tabla de resultados

#### I. Datos de la línea:

En este panel vamos a indicar:

- Conductor elegido
- Material
- Tensión
- Zona en la que se encuentra
- Coeficiente de seguridad elegido

Todo esto vamos aparecerá para tener una ligera noción de lo que hemos elegido, a la hora de pasar los datos a otro archivo o apuntar estos datos manualmente, como podemos ver en la figura 7.34.

<b>Conductor elegido</b>	117-AL3		
<b>Material</b>	Aluminio reforzado con acero( AL1/ST1A-LA)		
<b>Tensión</b>	110 kV	<b>Zona</b>	B
		<b>Coeficiente de seguridad</b>	3

Figura 7. 34 Datos de la línea

#### II. Pesos considerados

Aparecerán los pesos considerados para cálculos en kg/m, entre los pesos que aparecerán se encuentran:

- Peso Propio
- Peso Propio + Viento
- Peso Propio + Hielo
- Peso Propio + Hielo + Viento

Los diferentes pesos a tener en cuenta aparecerán si son usados para el cálculo de las diferentes hipótesis, tal y como se muestra en la figura 7.35.

<b>Peso Propio</b>	0.3212	kg/m
<b>Peso Propio+Viento</b>	1.20931	kg/m
<b>Peso Propio+Hielo</b>	1.00798	kg/m
<b>Peso Propio+Hielo+Viento</b>		kg/m

Figura 7. 35 Pesos considerados

### III. Tabla de resultados:

En la tabla de resultados veremos lo realmente importante, los resultados que nos da el programa, estos resultados serán calculados de acuerdo a las hipótesis dadas por el reglamento, y de acuerdo también a las características de la línea, desnivel máximo, vano intermedio de regulación y el conductor elegido.

	Cantón	Vano	Desnivel	VIR (m)	Hip. Tracción Máxima				Hip. Flecha Máxima				EDS		CHS		Hip. Fl. Mínima					
					-15°C		-10°C		15°C		0°C		P	50°C	P	15°C	P	0°C	P	-15°C		
					Tensión (kg)	Flecha (m)	Tensión (kg)	Flecha (m)	Tensión (kg)	Flecha (m)	Tensión (kg)	Flecha (m)	Tensión (kg)	Flecha (m)	Tensión (kg)	% EDS	Tensión (kg)	%CHS	Tensión (kg)	Flecha (m)		
1	1	140.00	65.00	172.29	999.01	3.27	915.94	2.97	0.00	0.00	886.73	3.69	841.25	3.24	252.39	3.44	331.69	10.54	388.52	12.34	469.15	1.85
2	1	160.00	80.00	172.29	999.01	4.33	915.94	3.94	0.00	0.00	886.73	4.88	841.25	4.29	252.39	4.56	331.69	10.54	388.52	12.34	469.15	2.45
3	1	200.00	100.00	172.29	999.01	6.78	915.94	6.16	0.00	0.00	886.73	7.64	841.25	6.71	252.39	7.12	331.69	10.54	388.52	12.34	469.15	3.83
4	2	240.00	120.00	222.71	973.46	10.02	863.08	9.42	0.00	0.00	897.51	10.87	816.01	9.96	249.45	10.39	291.63	9.27	316.60	10.06	348.02	7.44
5	2	200.00	100.00	222.71	973.46	6.95	863.08	6.54	0.00	0.00	897.51	7.54	816.01	6.91	249.45	7.21	291.63	9.27	316.60	10.06	348.02	5.16
6	3	150.00	-30.00	155.24	1128.80	3.07	1054.64	2.74	0.00	0.00	982.28	3.53	954.49	3.03	285.35	3.23	407.12	11.80	501.03	14.52	632.51	1.46
7	3	160.00	-32.00	155.24	1128.80	3.50	1054.64	3.12	0.00	0.00	982.28	4.02	954.49	3.45	285.35	3.68	407.12	11.80	501.03	14.52	632.51	1.66

Figura 7. 36 Tabla de resultados

Las unidades resueltas serán la Tensión en kilogramos, y la flecha en metros. Estos resultados se pueden exportar a un archivo Excel mediante el botón exportar datos para un mejor tratamiento de los mismos.

Para exportar los datos en Excel pulsamos el botón "Exportar datos" nos aparecerá una ventana que aparece en la figura 7.37 donde podemos introducir el nombre de un archivo creado.



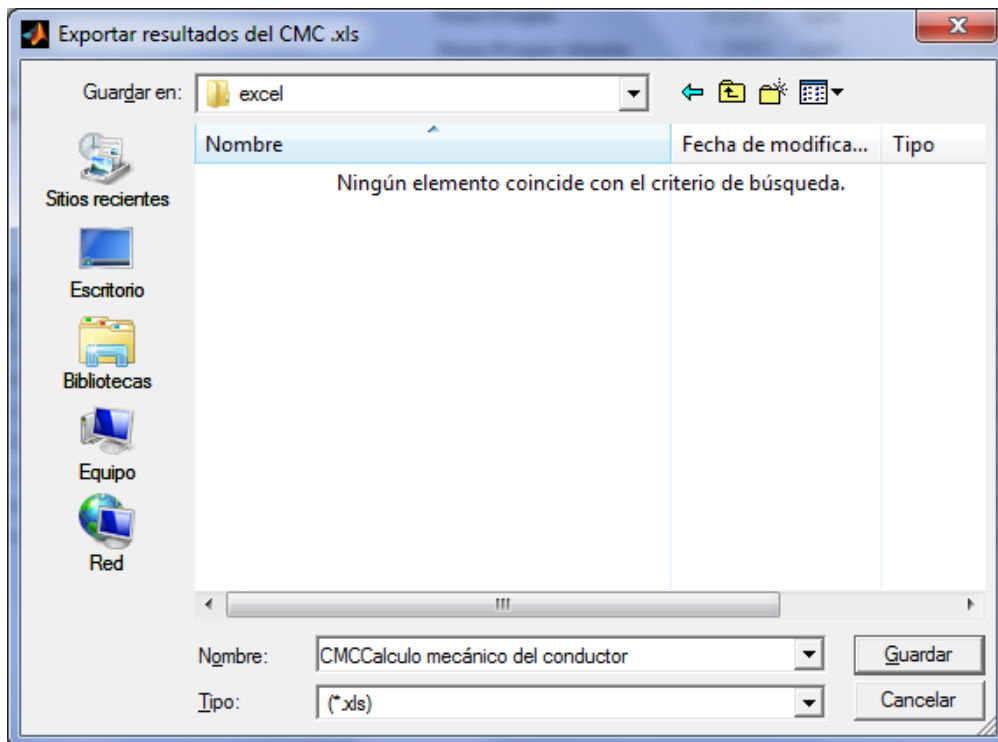


Figura 7. 37 Exportar resultados del CMC

Este archivo será creado en “.xls”, y tendrá los mismos datos que la hoja de resultados que aparezca en la ventana del software, si se guarda correctamente, aparecerá en la pantalla la figura 7.38.

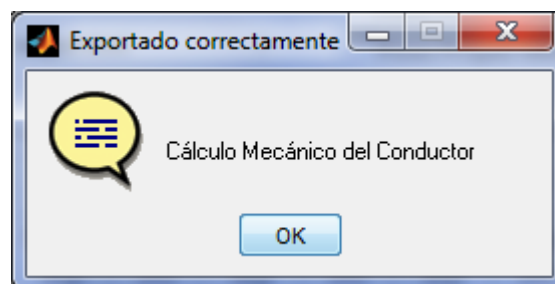


Figura 7. 38 Confirmación de exportación de resultados correcta

Los datos aparecerán en la tabla en la misma posición que en la ventana de cálculos mecánicos de conductores.

Volviendo a la ventana de “Cálculo Mecánico de Conductores” tendremos tres botones para posibles opciones para accionar.

- El botón de “Inicio”, el cual nos llevará a la página de selección de cálculos a realizar,
- El botón de “Tabla de Tendido”, el cual nos abrirá la ventana de “Tabla de tendido”, al pulsar este botón nos aparecerá en la pantalla la figura 7.39.

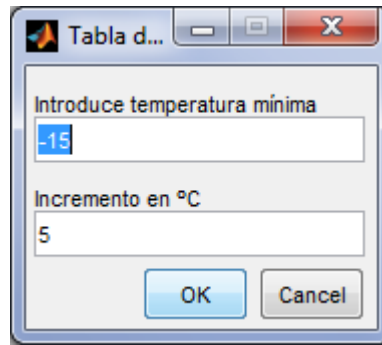


Figura 7. 39 Ventana de selección de temperatura mínima e incremento de temperatura

Podemos introducir una temperatura mínima en °C y el incremento de temperatura deseado, el software nos calculará X puntos con el incremento de temperatura que queramos.

### 7.3.7. Ventana Tabla de tendido

Ventana tabla de tendido es importante como hemos dicho para la realización de los proyectos de líneas aéreas, podemos separar la Ventana en tres partes, las cuales son:

- I. Datos de la línea
- II. Temperaturas elegidas e incremento de la temperatura.
- III. Tabla con los resultados para cada temperatura.

#### I. Datos de la línea:

En los datos de la línea tenemos la “Zona” en la que está situada la línea y “Tensión de la línea” como podemos ver en la figura 7.40.

<b>Zona</b>	B
<b>Tensión de la línea</b>	110 <b>kV</b>

Figura 7. 40 Datos de la línea

#### II. Temperaturas elegidas e incremento de la temperatura:

Esto es una indicación de las temperaturas elegidas para hacer el estudio, aunque luego se verá en la tabla, es mucho más rápido tenerlo a disposición y a primera vista del usuario del software. Las temperaturas son dadas en °C tal y como aparecen en la figura 7.41.

Temperatura inicial	-15	°C
Temperatura final	30	°C
Incremento de temperatura	5	°C

Figura 7. 41 Temperaturas elegidas

**III. Tabla con los resultados para cada temperatura:**

Realizará los cálculos para cada vano y para cada temperatura, con el incremento de temperatura elegido y lo hará para nueve temperaturas diferentes, que son para las que realiza el cálculo de las tensiones y las flechas, las tensiones estarán en kilogramos y las flechas en metros. En la figura 7.42 podemos ver un ejemplo de la tabla de resultados.

	Cantón	Vano	-15 °C		-10 °C		-5 °C		0 °C		5 °C		10 °C		15 °C		20 °C		25 °C		30 °C	
			Tensión	Flecha	Tensión	Flecha	Tensión	Flecha	Tensión	Flecha	Tensión	Flecha	Tensión	Flecha	Tensión	Flecha	Tensión	Flecha	Tensión	Flecha	Tensión	Flecha
1	1	140.00	599.04	1.31	557.86	1.41	520.77	1.51	487.59	1.61	458.03	1.72	431.73	1.82	408.36	1.93	387.54	2.03	368.97	2.13	352.34	2.23
2	1	160.00	599.04	1.72	557.86	1.84	520.77	1.97	487.59	2.11	458.03	2.24	431.73	2.38	408.36	2.52	387.54	2.65	368.97	2.79	352.34	2.92
3	1	200.00	599.04	2.68	557.86	2.88	520.77	3.08	487.59	3.29	458.03	3.51	431.73	3.72	408.36	3.93	387.54	4.15	368.97	4.36	352.34	4.56
4	2	240.00	455.69	5.08	437.33	5.29	420.61	5.50	405.33	5.71	391.35	5.91	378.50	6.12	366.67	6.31	355.74	6.51	345.62	6.70	336.22	6.89
5	2	200.00	455.69	3.53	437.33	3.67	420.61	3.82	405.33	3.96	391.35	4.11	378.50	4.25	366.67	4.38	355.74	4.52	345.62	4.65	336.22	4.78
6	3	150.00	678.45	1.33	626.61	1.44	579.07	1.56	535.99	1.69	497.36	1.82	463.00	1.95	432.60	2.09	405.79	2.23	382.15	2.36	361.28	2.50
7	3	160.00	678.45	1.52	626.61	1.64	579.07	1.78	535.99	1.92	497.36	2.07	463.00	2.22	432.60	2.38	405.79	2.53	382.15	2.69	361.28	2.85

Figura 7. 42 Tabla de tendido

Volviendo a la ventana de “Tabla de tendido” tendremos tres botones para posibles opciones para accionar.

- El botón de “Inicio”, el cual nos llevará a la página de selección de cálculos a realizar,
- El botón de “Exportar datos”, al pulsar este botón nos exportará los datos de la tabla de tendido a un archivo Excel. Al pulsarlo nos aparecerá la ventana de la figura 7.43 donde podemos introducir el nombre de un archivo creado.

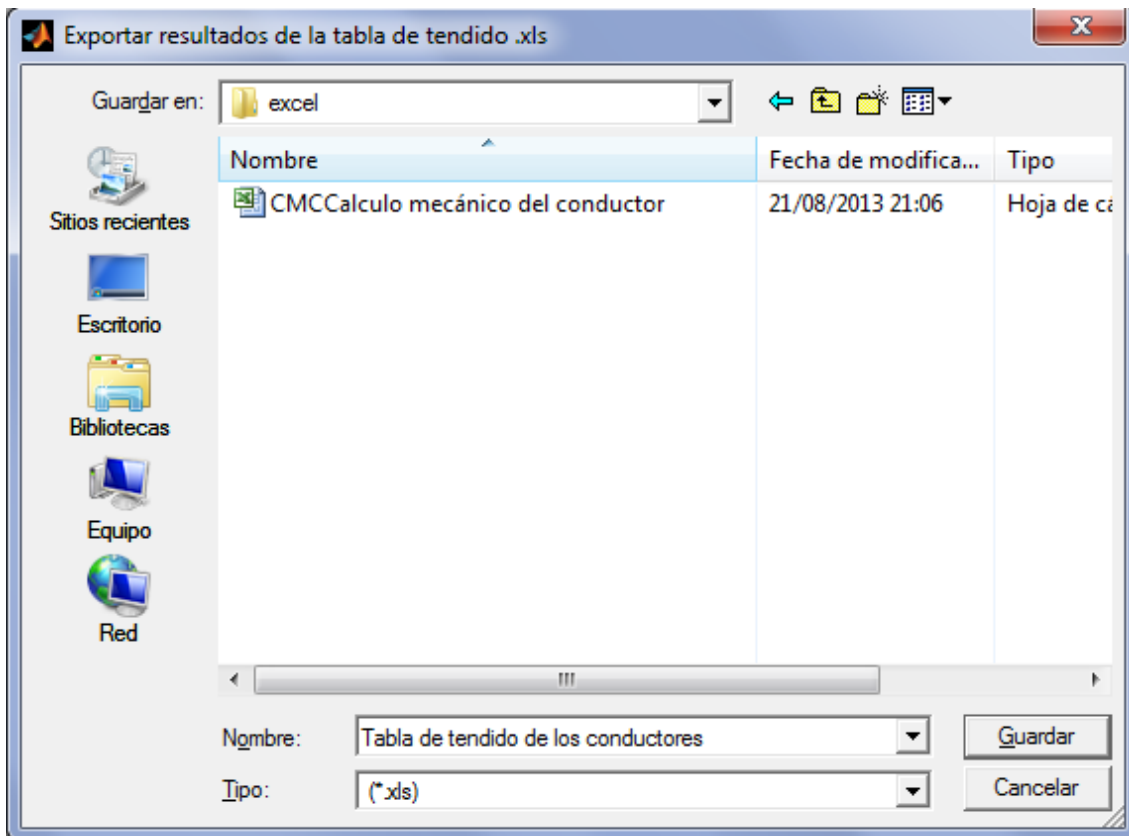


Figura 7. 43 Ventana de exportación de la tabla de tendido.

Este archivo será creado en “.xls”, y tendrá los mismos datos que la hoja de resultados que aparezca en la ventana del software, si se guarda correctamente, aparecerá en la pantalla la figura 7.44, que nos indica que los datos se han exportado correctamente.

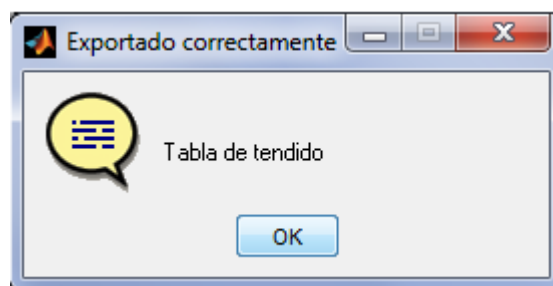


Figura 7. 44

Los datos aparecerán en la tabla en la misma posición que en la ventana de “Tabla de tendido”.

### 7.3.8. Otras opciones generales de las ventanas.

Con esto nos referimos a dos botones que aparecen en todas las ventanas de introducción de datos y de salida de resultados, estos dos botones serán:



Figura 7. 45 Iniciar nuevo proyecto

- Iniciar nuevo proyecto: Cierra el proyecto actual y abre de nuevo el programa con la hoja de introducción de datos vacía, al pulsar este botón habría que volver a introducir los datos de nuevo.



Figura 7. 46 Ayuda

- Ayuda: Abre el manual de funcionamiento del programa en formato PDF.

# **SOFTWARE PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE L.A.T. SUBTERRANEA Y AÉREA**

**CONCLUSIONES**

**CAPÍTULO 8**

## 8. CONCLUSIONES

Después del tiempo de trabajo que ha llevado realizar este proyecto se ha llegado a conseguir el software que queríamos, un software para cálculos mecánicos y eléctricos en líneas aéreas y subterráneas, y con las características que queríamos, que es un software gratuito, ya que para su creación si era necesario el software Matlab para su ejecución no es necesario, para cálculos eléctricos y sin estar supeditado a los datos de ningún fabricante.

Se ha conseguido además que el software sea fácilmente actualizable en cuanto a datos de conductores y aisladores de los distintos materiales establecidos por el reglamento, como estos se van actualizando periódicamente o se podrían actualizar sus valores, hemos llegado al objetivo de que el software tenga un base de datos fácilmente actualizable, mediante un paquete ofimático que se dispone en todos los ordenadores personales y de profesionales, que es el Microsoft Office Excel<sup>®</sup>.

Este software se ha intentado mediante el establecimiento de un orden para la introducción de datos el cual más que limitar al usuario, le aporta una robustez al programa ante errores por este motivo.

Por todos estos motivos opino que este es un software ideal para el uso académico, para el usuario inexperto pero con ciertos conocimientos sobre la materia, cosa necesaria para su utilización.

Para el caso de salida de datos en los cálculos mecánicos se ha optado por permitir la salida de los datos en formato .xls que permite el uso de los resultados más fácilmente para la realización de proyectos.

# **SOFTWARE PARA EL CÁLCULO ELÉCTRICO Y MECÁNICO DE L.A.T. SUBTERRANEA Y AÉREA**

**BIBLIGRAFÍA**

**CAPÍTULO 9**





## 9. BIBLIOGRAFÍA

### **Libros:**

- MORENO MOHÍNO, Jorge; GARNACHO VECINO, Fernando; SIMÓN COMÍN, Pascual; RODRÍGUEZ HERRERÍAS, José. *Reglamento de Líneas de Alta Tensión y sus fundamentos técnicos*. 1ª Edición. Madrid: Paraninfo, 2008.
- MUJAL ROSAS, Ramón María. *Cálculo de líneas y redes eléctricas*. Barcelona: Ediciones UPC, 2002.
- RODRÍGUEZ BENITO, Francisco, y Antonio Fayos Álvarez. *El transporte de la energía eléctrica en alta tensión*. Valencia: Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.
- GARCÍA DE JALÓN, Javier; RODRÍGUEZ, José Ignacio; VIDAL, Jesús. *Aprenda MATLAB como si estuviera en primero*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2005.
- MORENO MOHÍNO, Jorge; GARNACHO VECINO, Fernando; SIMÓN COMÍN, Pascual; GONZALEZ SANZ, Alberto. *Cálculo y diseño de líneas eléctricas de alta tensión, aplicación al reglamento de líneas de alta tensión (rlat) r.d. 223/2008 de 15 de febrero*. 1ª Edición. Madrid: Gas Natural-Unión Fenosa, 2011.
- Universidad de Oviedo, EPI de Gijón. *Manual de uso de MATLAB*. Gijón, 2010.
- FUENTES MORENO, Juan Álvaro. *Apuntes Tecnología Eléctrica*. Cartagena: Universidad Politecnica de Cartagena, 2010.

### **Sitios Web:**

- Ayuda al usuario de MATLAB. Actualizada 31-08-2013. Disponible en <http://www.mathworks.es>.
- Líneas Eléctricas. Actualizada 30-06-2012. Fecha de consulta 10-10-2012. Disponible en [www.lineaselectricas.net](http://www.lineaselectricas.net).
- Blog Make-a-Tronic. Actualizada 29-08-2013. Fecha de consulta: 21-12-2012. Disponible en: <http://blog.make-a-tronik.com/>.
- Procesamiento digital de imágenes. Actualizada 01-07-2011. Fecha de consulta: 09-09-2012. Disponible en: <http://dipuacj.blogspot.com.es/>.

- MATPIC.COM la web de MATLAB, SIMULINK, VHDL, MICROCONTROLADORES... Actualizada 01-12-2012. Fecha de consulta: 10-12-2012. Disponible en [www.matpic.com](http://www.matpic.com).
- La Web del Programador. Actualizada 01-09-2013. Disponible en [www.lawebdelprogramador.com](http://www.lawebdelprogramador.com).
- Boards5 foro pplweb. Actualizada 26-09-2009. Fecha de Consulta 24-07-2013. Disponible en [http://boards5.melodysoft.com/foro\\_pplweb/](http://boards5.melodysoft.com/foro_pplweb/)

**Normas:**

- IBERDROLA. Aisladores de vidrio de caperuza y vástago para líneas eléctricas aéreas de alta tensión. NI 48.10.01. 3ª edición. Madrid: 2002.
- IBERDROLA. Aisladores compuestos para cadenas de líneas eléctricas de alta tensión. NI 48.08.01. 6ª edición. Madrid: 2011.
- IBERDROLA. Cables unipolares con aislamiento seco de etileno propileno de alto modulo y cubierta de poliolefina(HEPRZ1) para redes de AT de hasta 30kV. NI 56.43.01. 3ª edición. Madrid: 2009.
- IBERDROLA. Cables unipolares con aislamiento seco depolietileno reticulado (XLPE) y cubierta de compuesto de poliolefina (Z1) para redes de AT hasta 30 kV. NI 56.43.02. 2ª edición. Madrid:2009.