



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR.

DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.

PROYECTO FIN DE CARRERA

**INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL
ELECTRICIDAD**

**“PROGRAMA INFORMÁTICO PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE
CONDUCTORES Y CÁLCULO DE TABLAS DE TENDIDO DE LÍNEAS
AÉREAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU APLICACIÓN PARA EL
DISEÑO DE LÍNEAS AÉREAS”**

**AUTOR: Sergio Pardo García
DIRECTOR: Víctor Julián Hernández Jiménez**

LEGANÉS, SEPTIEMBRE 2010

<u>Agradecimientos</u>	<u>1</u>
<u>1.- Introducción</u>	<u>2</u>
<u>2.- Transporte y distribución de energía eléctrica</u>	<u>3</u>
<u>3.- Proyecto de una línea eléctrica</u>	<u>5</u>
3.1.- Introducción	5
3.2.- Documentación	6
3.2.1.- Memoria	6
3.2.2.- Pliego de condiciones técnicas	20
3.2.3.- Presupuesto	20
3.2.4.- Planos	20
3.2.5.- Estudio de seguridad y salud	20
<u>4.- Aplicación informática</u>	<u>21</u>
4. 1.- Reglamento de Líneas eléctricas de Alta Tensión	21
4. 2.- Herramienta informática	23
4. 3.- Ec. de cambio de condiciones. Método de Newton Raphson	24
4. 4.- Método para resolver el cálculo mecánico del conductor	26
4. 5.- Método para obtener tablas de tendido	28
4. 6.- Manual de usuario	29
4. 6. 1.- Cálculo mecánico de conductores	30
4. 6. 2.- Tabla de tendido	32

<u>5.- Utilidades</u>	33
5. 1.- Cálculo mecánico de conductores _____	33
5. 2.- Tabla de tendido _____	33
<u>6.- Estructura de proyectos</u>	34
<u>7.- Presupuesto</u>	43
<u>8.- Anexos</u>	44
8. 1.- Cálculo mecánico de conductores _____	45
8. 2.- Tabla de tendido _____	47
8. 3.- Catenarias _____	49
<u>9.- Conclusión</u>	50
<u>10.- Bibliografía</u>	50

Agradecimientos:

Hay una frase muy conocida que es esta: “Dale un pez a una persona y comerá un día, enséñale a pescar y no pasará hambre nunca”, bueno pues quiero dar las gracias a mis padres por enseñarme a valerme por mi mismo, porque me lo han dado todo y, tanto en lo bueno como en lo malo, soy igual que ellos, me han enseñado todos los valores y los principios que me guían y en los que me baso a la hora de tomar mis decisiones. También les quiero dar las gracias por todo el apoyo y la confianza que han aportado a lo largo de todos estos años y aquí también quiero incluir a mis hermanos que tampoco han dejado que baje los brazos.

También les quiero dar las gracias a mis amigos por esos buenos ratos, en especial a Mariajo por ser como es, que me ha ayudado más de lo que ella cree y a Rafa que con su ayuda este proyecto empezó a tener forma.

Y por último a mi tutor por toda la ayuda que me prestado en todo este tiempo.

1.- Introducción:

Las líneas eléctricas son una parte fundamental del sistema eléctrico, permiten transportar la energía eléctrica desde los centros de generación hasta los consumidores. En una línea eléctrica los conductores son sustentados por los apoyos a través de los aisladores, hay dos tipos de apoyo en función de la forma que tienen de sustentar al conductor, en primer lugar los de alineación, en los que el aislador simplemente sujeta al conductor y no ejerce tracción mecánica sobre él, en segundo lugar el apoyo que ejerce tracción mecánica sobre el conductor. Esta tracción variará con la temperatura por el efecto de dilatación, cuando aumente la temperatura, o contracción, cuando la temperatura disminuya; también variará cuando se modifique el peso debido a la formación de manguitos de hielo en el conductor o por la presión del viento que incide sobre él.

Se llama “vano” a la distancia entre dos apoyos consecutivos, sobre los cuales van sustentados los conductores. La es “flecha” a la distancia vertical máxima entre un punto de la curva adoptada por el conductor en una determinada situación de equilibrio, y la recta imaginaria que une los dos puntos de sujeción del conductor.

Los distintos Reglamentos Electrotécnicos de instalaciones eléctricas establecen una serie de hipótesis en la que se intenta contemplar las peores condiciones a las que va a estar expuesto el conductor. En esta ocasión este trabajo se centrará en las hipótesis que atañen a las líneas eléctricas de alta tensión, en estos supuestos se aplican unos esfuerzos sobre los conductores debidos al viento, al hielo o a la combinación de ambos fenómenos y a unas temperaturas mínimas coincidentes con los máximos esfuerzos o por el contrario unas temperaturas donde el conductor reduce su tracción. Estas hipótesis tienen por objeto predecir, en las peores condiciones, la tracción máxima que tendrá que soportar el conductor y la flecha máxima que alcanzará. Esto permitirá dimensionar correctamente el conductor, apoyo, aisladores, etc... y también comprobar que no sobrepase las distancias mínimas de seguridad exigidas con otros elementos del terreno como carreteras u otras líneas cercanas. Todo ello en función de la zona geográfica por donde discurre la línea. La tensión máxima no debe superar una fracción determinada de la carga de rotura del conductor.

El cálculo mecánico de conductores tiene por objeto:

- Determinar la tensión mecánica con la que debe ser tendido un conductor, según la longitud del vano y el valor de la temperatura en el momento del tendido, de forma que, al variar ésta última y sobrecargarse el conductor por efecto del viento o del hielo, la tensión del mismo en las condiciones más desfavorables no llegue a sobrepasar una fracción determinada de la carga de rotura.
- Obtener las flechas máximas en las diferentes hipótesis reflejadas en los Reglamentos, con el fin de prever la distancia necesaria entre conductores, y la mínima exigida de estos al suelo y, en su caso, a otros elementos o instalaciones.

Las tablas de tendido constituyen una herramienta a la hora de construir una línea, ya que los operarios pueden acudir a ella para consultar la tensión mecánica que hay que aplicar al conductor en cualquier momento para cualquier vano y temperatura. En la confección de una tabla de tendido se ha de partir de lo siguiente:

- Zona por donde discurre la línea.
- Características del conductor: sección, diámetro, peso, carga de rotura, modulo de elasticidad y coeficiente de dilatación.
- 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 el punto en el que el conductor esté soportando su máxima tracción, el coeficiente de seguridad no resulte inferior al reglamentario o al adoptado.
- Valor máximo del E.D.S. a la temperatura que se determine.

El objetivo de este proyecto es diseñar una aplicación que nos ayude a obtener tanto el estudio mecánico de un conductor como las tablas de tendido.

2.- Transporte y distribución de energía eléctrica:

El sistema eléctrico es el conjunto de elementos que hacen llegar la energía eléctrica a cualquier parte para su consumo. Desde las centrales generadoras que se encargan de transformar distintos tipos de energía en energía eléctrica hasta los consumidores en baja tensión. Se divide en cuatro actividades: generación, transporte, distribución y consumo. Este capítulo se centrará en las actividades de transporte y distribución.

La red de transporte consta de las líneas de 400 y 220 kV, a través de estas líneas se lleva la energía producida en las centrales hasta los centros de distribución, esta red tiene una estructura mallada para proporcionar continuidad en el suministro aportando fiabilidad y robustez al sistema. En la red de transporte también se incluyen las líneas de interconexión con el extranjero (Francia, Portugal y Marruecos).

A lo largo de los años tanto la red de 400 kV como la de 220 kV han ido aumentando tanto en longitud como en capacidad para poder mejorar la calidad del suministro. En 2009 la longitud de la red de 400 kV llegaba a los 17.977 km y la de 220 kV a los 16.777 km. La capacidad como es lógico también ha aumentado hasta los 66.259 MVA en 2009. A continuación se muestra en las tablas 1 y 2 y en la figura 1 estos datos.

Evolución de la red de transporte						
⁽¹⁾ Los datos del 2004 y 2005 reflejan adquisiciones de activos por Red Eléctrica a otras empresas.						
Km de circuito	2004⁽¹⁾	2005⁽¹⁾	2006	2007	2008	2009
400 kV	16.548	16.808	17.004	17.134	17.686	17.977
220 kV y menor	11.461	16.288	16.498	16.535	16.636	16.777
Total	28.009	33.096	33.502	33.669	34.322	34.754

Tablal: Evolución de la red de transporte desde 2004 hasta 2009

Capacidad de transformación

⁽¹⁾ Los datos del 2004 y 2005 reflejan adquisiciones de activos por Red Eléctrica a otras empresas.

Potencia (MVA)	2004 ⁽¹⁾	2005 ⁽¹⁾	2006	2007	2008	2009
Total	37.216	54.209	56.009	58.459	62.859	66.259

Tabla2: Capacidad de transformación desde 2004 hasta 2009

Gráfico de evolución de la red de 400 y 220 kV (km)

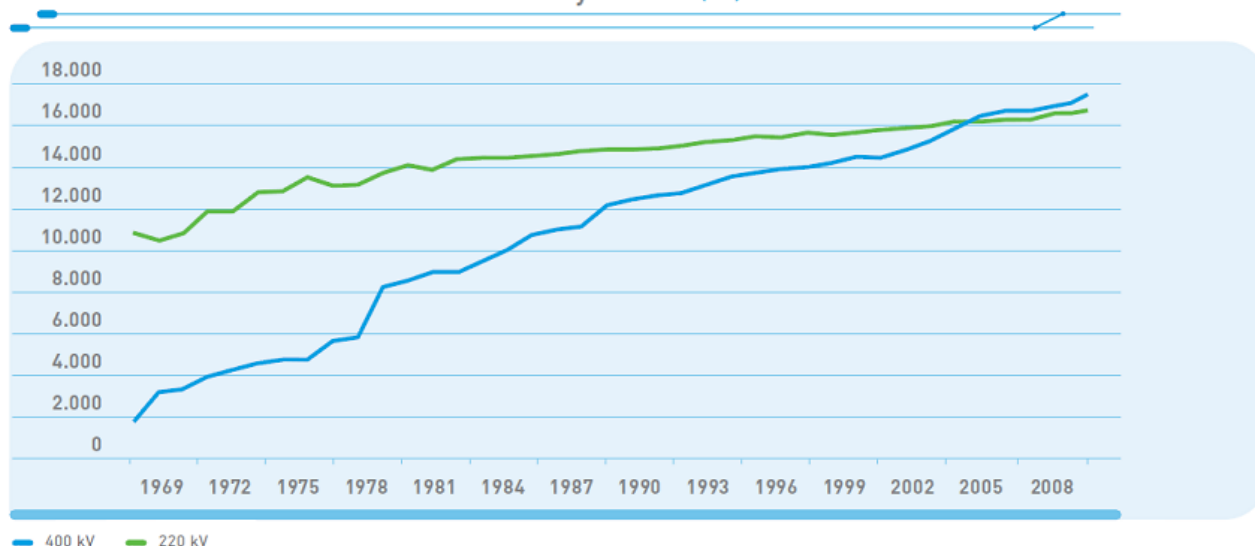


Figura1: Evolución de la red de 400 kV y 220 kV desde 1969 hasta 2008

A través de subestaciones transformadoras se disminuyen los valores de tensión propios de la red de transporte hasta niveles más bajos para poder suministrar a los núcleos urbanos o centros industriales, el sector que se encarga de este trabajo es el de la distribución, que a su vez se divide en red de reparto, que enlaza la red de transporte con la de distribución, y la de distribución, que es a la que se conectan los usuarios. Los niveles de tensión que se manejan están entre 132 kV y 66 kV para la red de reparto, aunque algunas distribuidoras tengan alguna línea de 220 kV, y entre 66 kV y 220 V para las redes de distribución.

El proceso de acondicionamiento de la energía desde las subestaciones transformadoras hasta el consumo es el siguiente:

1. Las subestaciones transformadoras reducen la tensión de 400 o 220 kV hasta la tensión de reparto 132, 110 o 66 kV.
2. La energía es conducida a través de la red de reparto hacia las subestaciones de distribución, ahí se reduce la tensión a los niveles de la red de distribución de media tensión, 66 y entre 45 y 20kV.
3. Esta red puede suministrar a los grandes consumidores de energía eléctrica o a través de los centros de transformación, que la reducen a niveles menores de 1 kV, al resto de consumidores.

La actividad de la distribución está regulada ya que se trata de un monopolio natural, esto atiende a motivos económicos pero sobretodo prácticos porque de no ser así tendría que haber en cada punto de consumo, un punto de acceso de cada una de las empresas distribuidoras.



Figura2: Reparto de las principales empresas distribuidoras

Empresa	Longitud de líneas (km)			Potencia instalada (MVA)
	A.T.	M.T.	B.T	
Iberdrola	19.238	88493	124813	102004
Unión Fenosa	8608	41908	65107	38327
HidroCantábrico	1403	5821	14132	6849

Tabla3: Datos de las principales empresas distribuidoras españolas. Datos 2009

3.- Proyecto de una línea eléctrica:

3.1.- Introducción:

El proyecto de una línea aérea se compone de los documentos necesarios para tramitar las autorizaciones necesarias para la ejecución del mismo. También se emplea como documento para la realización de las obras, por este motivo tiene que contener los datos necesarios de la instalación para que quede definida tanto técnica como económicamente.

El proyecto debe contener la información necesaria para:

- a) Exponer la finalidad de la línea, razonando la necesidad o conveniencia.
- b) Describir y definir la instalación así como los elementos que la componen y las características de funcionamiento.
- c) Demostrar que todas las decisiones tomadas están respaldadas por el Reglamento.
- d) Analizar la instalación al completo y los tramos en los que por diversas causas tengan que intervenir los Organismos de la Administración.

Todas las referencias a artículos que se realizan en este capítulo son de la ITC-LAT07 del Reglamento a no ser que se indique específicamente a que Instrucción se refiere.

3.2.- Documentación:

Según el Reglamento en la ITC-LAT09 todo proyecto de ejecución debe constar de los siguientes documentos:

3.2.1.- Memoria: En este documento está incluida toda la información para la correcta construcción de la línea.

Antes de iniciar los cálculos mecánicos y eléctricos se tiene que proceder a realizar una breve introducción, donde se explicarán las razones por las cuales es necesaria la construcción de la línea, una breve descripción del trazado detallando las provincias y municipios por las que atraviesa. El objetivo de esta sección es documentar el contexto de la línea, también se puede incluir información del terreno y de las condiciones climatológicas a las que va a estar sometida la línea.

En la sección de las soluciones adoptadas, se hará un breve resumen con las principales características de la línea y datos técnicos de los elementos que las componen que después habrá que justificar en anexos con los cálculos mecánicos y eléctricos.

En las características de la línea habrá que incluir información como:

- Tensión nominal y máxima.
- Zona: Según el artículo 3.
- Origen y Final.
- Longitud.
- Potencia de transporte y máxima admisible.
- N° de circuitos y conductores.
- Denominación del conductor.
- Separación mínima entre conductores: Según el artículo 5.
- Disposición.
- Apoyos.
- Cadenas de aisladores.
- Tipos de herrajes.

3.2.1.1.- *Cálculos Eléctricos*: Los cálculos eléctricos consisten en justificar la elección del conductor y de los aisladores utilizando las ecuaciones e hipótesis del Reglamento, concretamente del artículo 4.

Primero se tiene que determinar el material a utilizar en el conductor de la línea, principalmente se comercializan conductores de dos materiales de cobre y aluminio, aunque debido a los análisis de las ventajas e inconvenientes de cada uno, comparándolos por secciones, pesos, tensiones mecánicas y costes a igualdad de resistencias y longitudes, el material a utilizar es el aluminio. A continuación se iniciará la comprobación de que el conductor elegido cumple con el Reglamento. Para ello se tendrá que calcular la intensidad máxima admisible según marca el artículo 4.2 y la impedancia de la línea:

$$R_{ca} = K_{pel} \cdot R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T_c + T_0)) \qquad L = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \log \frac{D}{r}$$
$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon}{\ln \frac{D}{r}}$$

Donde:

R_{ca} : Resistencia del conductor en corriente alterna [Ω/km].

K_{pel} : Coeficiente por efecto pelicular.

R_0 : Resistencia del conductor a 20°C [Ω/km].

α : Coeficiente de dilatación del conductor [$\Omega/^\circ\text{C}$].

T_c : Temperatura del conductor [$^\circ\text{C}$].

T_0 : Temperatura ambiente = 20°C.

L : Inductancia de la línea [H/m].

μ : Permeabilidad magnética [H/m].

D : Distancia geométrica [mm].

r : Radio geométrico [mm].

C : Capacidad de cada fase al neutro [F/m].

ϵ : Permitividad eléctrica del medio.

Cuando ya se conozcan estos datos se comprobará que la intensidad máxima por límite térmico es superior al valor de la intensidad nominal para que no exista ningún problema respecto a la capacidad de transporte. El límite térmico del conductor estará condicionado por la cantidad de calor absorbido debido la radiación solar, al generado por el efecto Joule y al evacuado por convección y por radiación.

- Calor absorbido por radiación solar [W/m]:

$$Q_S = \beta \cdot W_S \cdot d$$

Donde:

β : Factor de absorción.

W_S : Radiación solar más elevada a la que se someterá al conductor [W/m²].

D: Diámetro del conductor [m].

- Calor evacuado por radiación [W/m].

$$Q_R = \epsilon \cdot \sigma \cdot \pi \cdot D \cdot (T_{max}^4 - T_a^4)$$

Donde:

ϵ : Factor de emisividad infrarroja = 0,5.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann = 5,66961x10⁻⁸ W/(m²K⁴).

T_{max} , T_a : Temperatura máxima del conductor y ambiente [K].

- Calor evacuado por convección [W/m].

$$Q_{C1} = [1,01 + 11,27 \cdot (DV)^{0,52}] \cdot 0,02723 \cdot (T_{max} - T_a)$$

$$Q_{C2} = 0,23714 \cdot (DV)^{0,6} \cdot (T_{max} - T_a)$$

$$Q_C = \max(Q_{C1}, Q_{C2})$$

Donde:

D: Diámetro del conductor [mm].

V: Velocidad del viento [m/s].

Una vez obtenidos estos valores se despejará la corriente máxima que circulará por el conductor por límite térmico de la siguiente ecuación.

$$R_{ca,T_{max}} \cdot I_{max}^2 = Q_R + Q_C - Q_S$$

La corriente obtenida de esta ecuación tendrá que ser mayor que la corriente nominal de la línea.

Por último se comprobará que la línea tiene las características necesarias para que el transporte de la energía eléctrica sea el adecuado, para ello se realizarán los cálculos de caída de tensión, pérdidas en la línea y efecto corona.

La caída de tensión debido a la impedancia de la línea viene determinada por la siguiente expresión:

$$\Delta U(\%) = \frac{\sqrt{3}I_N \cdot L \cdot (R\cos\varphi + (X_L - X_C)\text{sen}\varphi)}{U_N}$$

La pérdida de potencia en la línea solo dependerá de la resistencia:

$$p(\%) = \frac{3 \cdot R \cdot L \cdot I^2}{\sqrt{3}U \cdot I\cos\varphi} 100$$

Para evaluar el riesgo de aparición del efecto corona se utiliza la fórmula de *Peek* que calcula la tensión crítica disruptiva:

$$U_d = \sqrt{3} \cdot m_d \cdot m_t \cdot \delta \cdot \epsilon \cdot \frac{r}{\beta} \cdot \ln \frac{D}{r}$$

Donde:

m_d : Coeficiente de rugosidad del cable.

m_t : Coeficiente meteorológico.

δ : Factor de corrección de la densidad del aire.

ϵ : Rigidez dieléctrica del aire.

r : radio del conductor [cm].

β : factor que recoge el efecto de la disposición de los conductores en haces.

D : Distancia media geométrica entre fases [cm].

El valor resultante de esta ecuación tiene que ser siempre mayor que la tensión nominal de la línea.

Para garantizar que todas las partes accesibles no estén bajo tensión se tendrá que proceder a la coordinación de aislamiento. En el artículo 1.2 se encontrará la tensión más elevada para la línea en función de su tensión nominal con ese valor y con la tabla 12 del artículo 4.4 se obtiene el valor eficaz de la tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial, es decir, una sobretensión por maniobra, y el valor de cresta de la tensión soportada normalizada a impulsos tipo rayo denominadas sobretensiones atmosféricas. Esos valores tendrán que ser superiores a los obtenidos mediante las ecuaciones que se muestran a continuación corregidos a través de los factores de seguridad y de tasa de fallos además de la constante de altitud:

Sobretensión atmosférica

$$U_{base} = \frac{\sqrt{2}U_{max}}{\sqrt{3}}$$

Sobretensión por maniobra

$$U_{base} = \frac{U_{max}}{\sqrt{3}}$$

La línea de fuga se determina con la tabla 14 del artículo 4.4 en función del nivel de contaminación a la que esté expuesta la línea. Con los valores de tensiones máximas que hemos obtenido y con la línea de fuga mínima que nos imponga el Reglamento se procederá a la elección del tipo de aislador y al diseño de las cadenas de aisladores.

Por último se tendrá que definir una instalación de puesta a tierra que cumpla con los requisitos del artículo 7 donde se incluyen los criterios para el diseño, instalación y ensayo del sistema de p.a.t para que funcione de manera correcta y mantenga los niveles de tensión de paso y contacto dentro de niveles seguros.

3.2.1.2.- Cálculos mecánicos: Este apartado del proyecto consiste en predecir el comportamiento del conductor ante diversas situaciones que se establecen en el artículo 3. Esas situaciones a partir de ahora se llamarán hipótesis y el objetivo es comprobar que bajo las peores condiciones climatológicas, para la zona por la que discurra la línea, el conductor resistirá sin romperse.

La elección de la longitud de vano regulador es un cálculo importante ya que nos da una aproximación de la longitud de los vanos para realizar cálculos posteriores. Primero se realizan cálculos del número de apoyos, la altura de los conductores y el peso total de los apoyos en función de la longitud de distintos vanos y se establecerá un vano económico corto, entendido como el vano que resulta económicamente interesantes donde, por dificultades del terreno, no podemos utilizar el vano económico largo, entendido como el vano más económico donde el terreno no presente limitaciones.

Después de realizar las operaciones necesarias para determinar el vano regulador, se procederá a realizar los cálculos mecánicos sobre el conductor. Sobre el conductor se ejercen unas fuerzas permanentes debidas a su propio peso, presiones debidas al viento y sobrecargas motivadas por el hielo. Para el cálculo de la presión ejercida por el viento, el Reglamento en el artículo 3.1.2 establece unas ecuaciones para cada uno de los elementos de la línea (conductores, cadenas de aisladores, apoyos de celosía, superficies planas o cilíndricas), pero en este momento nos centraremos en las ecuaciones de la fuerza del viento sobre los conductores, que es la siguiente:

$$F_c = q \cdot d \text{ [kg/m]}$$

Donde:

$$q: \text{ presión de viento [kg/m}^2\text{]}. q = 60 \left(\frac{V_V}{120} \right)^2 \text{ para conductores de } d \leq 16 \text{ mm}^2.$$

$$q = 50 \left(\frac{V_V}{120} \right)^2 \text{ para conductores de } d > 16 \text{ mm}^2.$$

d: diámetro del conductor [m].

Para determinar la sobrecarga por hielo el territorio nacional se divide en 3 zonas:

- A: La situada a menos de 500 m de altitud sobre el nivel del mar. En ésta zona no se tendrán en cuenta los efectos del hielo sobre los conductores.

- B: La situada entre 500 y 1000 m de altitud sobre el nivel del mar. Se considerará una sobrecarga equivalente a un manguito de hielo de peso: $0,18\sqrt{d}$, [kg/m] donde “d” es el diámetro del conductor en mm.

- C: La situada a más de 1000 m de altitud sobre el nivel del mar. Se considerará una sobrecarga equivalente a un manguito de hielo de peso: $0,36\sqrt{d}$ [kg/m] donde “d” es el diámetro del conductor en mm.

La tracción máxima a la que serán sometidos los conductores nunca será mayor que la carga de rotura dividida por 2,5 aplicándoles las hipótesis que aparecen en el artículo 3.2.1, pero primero se tendrá que tomar un estado de referencia. A partir de este estado de referencia se calcularán las tracciones máximas para las hipótesis de tracción máxima y de flecha máxima, además de la comprobación de los fenómenos vibratorios en los conductores que pueden acortar la vida útil de los conductores, según aparece en el Reglamento.

Las hipótesis anteriores muestran la tracción y la flecha en un estado determinado. Para poder tender el cable se tiene que realizar un estudio más amplio para definir distintos valores de tensión y de flecha para los distintos vanos y temperaturas. A este estudio se le denomina tabla de tendido. Otro estudio de gran utilidad para facilitar las labores de tendido es la confección de unas plantillas con las catenarias que describen los cables. La ecuación de una catenaria es la siguiente:

$$y = h \cosh \frac{x}{h}, \quad h = \frac{T}{P}$$

Donde:

h es el parámetro en [m].

T es la tracción en [kg].

P es la resultante en [kg/m]

x e y son las coordenadas espaciales

Un aspecto importante que se realiza en los cálculos mecánicos es el análisis de las distancias de seguridad, es tan importante porque hay que evitar en todo momento que los conductores entren en contacto con otros conductores, ya sean de la misma línea o de otra línea, o con elementos ajenos a la red eléctrica como los vehículos que circulan por las carreteras, personas que transiten por las inmediaciones de las líneas o con zonas boscosas, ya que se podría originar un incendio o un contacto indirecto que podría hacer disparar las protecciones, interrumpiendo el suministro eléctrico.

La distancia mínima de seguridad entre el conductor y el terreno establece una altura mínima de los apoyos para que los conductores, con la máxima flecha obtenida en los cálculos anteriores, queden por encima de los 6 metros, aunque el Reglamento permite reducir ésta distancia en un metro para lugares de difícil acceso y aumenta ésta altura mínima hasta los 7 metros para líneas que atraviesen explotaciones ganaderas para evitar accidentes por proyección de agua o por la circulación de maquinaria agraria. También se tendrá en cuenta para determinar la altura del apoyo la longitud de la cadena de aisladores en el caso de que sea de suspensión.

$$D_{C-T} = 5,3 + D_{el} \text{ [m]}$$

Donde:

D_{el} : Distancia eléctrica, previene descargas entre partes en tensión y objetos a potencial de tierra [m]. Se obtiene de la tabla 15.

Tabla 15. Distancias de aislamiento eléctrico para evitar descargas

Tensión más elevada de la red U_s (kV)	D_{ei} (m)	D_{pp} (m)
3,6	0,08	0,10
7,2	0,09	0,10
12	0,12	0,15
17,5	0,16	0,20
24	0,22	0,25
30	0,27	0,33
36	0,35	0,40
52	0,60	0,70
72,5	0,70	0,80
123	1,00	1,15
145	1,20	1,40
170	1,30	1,50
245	1,70	2,00
420	2,80	3,20

La distancia entre conductores asegura que no se produzca ningún cortocircuito por el contacto directo entre fases o fase y tierra y es la resultante de aplicar la ecuación del artículo 5.4:

$$D_{CC} = K\sqrt{F + L} + K' \cdot D_{pp} \text{ [m]}$$

Donde:

D_{cc} : Distancia entre conductores.

K: Coeficiente de oscilación de los conductores, se obtiene de la tabla 16.

F: Flecha máxima [m].

L: Longitud de la cadena de aisladores, en caso de que los conductores estén unidos por cadenas de amarre o aisladores rígidos $L=0$.

K': Coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea, $K' = 0,85$ para líneas de categoría especial y $K' = 0,75$ para el resto.

D_{pp} : Distancia eléctrica, previene descargas entre fases durante maniobras o sobretensiones debidas a rayos. Se obtiene de la tabla 15.

Tabla 16. Coeficiente K en función del ángulo de oscilación

Angulo de oscilación	Valores de K	
	Líneas de tensión nominal superior a 30 kV	Líneas de tensión nominal igual o inferior a 30 kV
Superior a 65°	0,7	0,65
Comprendido entre 40° y 65°	0,65	0,6
Inferior a 40°	0,6	0,55

Los ángulos de oscilación se calculan mediante la arcotangente del cociente de la sobrecarga por viento y el peso del conductor.

La distancia mínima entre los conductores y los apoyos será D_{el} y nunca menor de 0,2 m.

En muchas ocasiones el trazado de las líneas coincide con otras ya construidas en este caso el Reglamento obliga al propietario de la línea que se va a cruzar a enviar un escrito con las características de la línea, si se le solicita. Se aplicarán las prescripciones generales del apartado 5.3 modificando las condiciones a, b y c. En los cruces siempre se situará la línea de mayor tensión a mayor altura y se procurará que se lleve a cabo lo más cerca posible del apoyo de la línea más alta, pero la distancia mínima entre los conductores y el apoyo no será menor de:

$$D_{A-C} = 1,5 + D_{el} \text{ [m]}$$

Con unos valores mínimos que se especifican en el artículo 5.6.1 en función de la tensión nominal de las líneas y con los conductores con la mayor desviación posible según la hipótesis de viento.

La distancia mínima entre los conductores de las líneas no será inferior a:

$$D_{C-C} = D_{add} + D_{pp} \text{ [m]}$$

Donde D_{add} es la distancia de aislamiento adicional según la tabla 17 del reglamento.

Tabla 17. Distancias de aislamiento adicional D_{add} a otras líneas eléctricas aéreas o líneas aéreas de telecomunicación

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED (kV)	D_{add} (m)	
	Para distancias del apoyo de la línea superior al punto de cruce ≤ 25 m	Para distancia del apoyo de la línea superior al punto de cruce > 25 m
De 3 a 30	1,8	2,5
45 o 66	2,5	
110, 132, 150	3	
220	3,5	
400	4	

La distancia entre conductores en el caso de existir paralelismos no será inferior a 1,5 veces la altura del apoyo más alto y en ningún momento la distancia de los conductores de las líneas estarán a una distancia menor que la marcada por el artículo 5.4, explicado anteriormente.

En el caso de que el cruzamiento sea con una carretera de la Red de Carreteras del Estado, la distancia a la que se instalarán los apoyos será superior a la línea límite de edificación, es decir a 50 m para autovías, autopistas o vías rápidas y a 25 m para el resto de vías, y a una distancia superior a 1,5 veces la altura del apoyo de la arista de la calzada. Si la carretera no pertenece a dicha red se aplicarán las normas de la comunidad a la que pertenezca, en cualquier caso siempre habrá que pedir los permisos correspondientes y si se diera el caso de no poder cumplir con las distancias se procederá a la solicitud de los permisos correspondientes a la Administración. La distancia mínima vertical no será inferior a:

$$D_{C-V} = D_{add} + D_{el} \text{ [m]}$$

Siendo:

$$D_{add} = 7,5 \text{ para líneas de categorías especiales [m].}$$

$$D_{add} = 6,3 \text{ para el resto de las líneas [m].}$$

En caso de producirse algún paralelismo no se aplicarán las prescripciones generales del artículo 5.3.

El reglamento contempla otros casos como cruzamientos con líneas de ferrocarriles, tanto electrificadas como no electrificadas, zonas boscosas, zonas urbanas, proximidades a aeropuertos o cruzamientos con ríos y canales en las que especifica las distancias mínimas de seguridad para evitar posibles accidentes.

Para el cálculo de los apoyos se tienen que tener en cuenta los esfuerzos verticales longitudinales y transversales. El Reglamento en el artículo 3.5.2 especifica las características que deben cumplir los materiales que se pretenden utilizar para su fabricación, así como las características de las estructuras y de los elementos con los cuales están formados. En el artículo 3.5.3 aparecen las tablas que indican que hipótesis hay que aplicar en los cálculos de los apoyos, además de las condiciones que hacen justificable su uso.

Tabla 5. Apoyos de líneas situadas en zona A (I)

TIPO DE APOYO	TIPO DE ESFUERZO	1.ª HIPÓTESIS (Viento)	3.ª HIPÓTESIS (Desequilibrio de tracciones)	4.ª HIPÓTESIS (Rotura de conductores)
Suspensión de Alineación o Suspensión de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	
	L	No aplica.	Desequilibrio de tracciones (apdo 3.1.4.1)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.1)
Amarre de Alineación o Amarre de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	
	L	No aplica	Desequilibrio de tracciones (apdo 3.1.4.2)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.2)

Para la determinación de las tensiones de los conductores y cables de tierra se considerarán sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea y a la temperatura de -5 °C.

V = Esfuerzo vertical

L = Esfuerzo longitudinal

T = Esfuerzo transversal

Tabla 6. Apoyos de líneas situadas en zona A (II)

TIPO DE APOYO	TIPO DE ESFUERZO	1.ª HIPÓTESIS (Viento)	3.ª HIPÓTESIS (Desequilibrio de tracciones)	4.ª HIPÓTESIS (Rotura de conductores)
Anclaje de Alineación o Anclaje de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.		
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)		ALINEACIÓN: No aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)
	L	No aplica	Desequilibrio de tracciones (apartado 3.1.4.3)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.3.)
Fin de línea	V	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.	No aplica	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo.		No aplica
	L	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.4).		Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.4)

Para la determinación de las tensiones de los conductores y cables de tierra se considerarán sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea y a la temperatura de -5 °C.

V = Esfuerzo vertical L = Esfuerzo longitudinal T = Esfuerzo transversal

Tabla 7. Apoyos de líneas situadas en zonas B y C (I)

TIPO DE APOYO	TIPO DE ESFUERZO	1.ª HIPÓTESIS (Viento)	2.ª HIPÓTESIS		3.ª HIPÓTESIS (Desequilibrio de tracciones)	4.ª HIPÓTESIS (Rotura de conductores)
			(Hielo)	(Hielo+Viento)		
Suspensión de Alineación o Suspensión de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3) y a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2)	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3). Para las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de hielo, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).	
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 60 km/h y sobrecarga de hielo (apdo. 3.1.3) sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	
	L	No aplica.	No aplica.	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.1)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.1.)	
Amarre de Alineación o Amarre de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3) y a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2)	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3). Para las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de hielo, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).	
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 60 km/h y sobrecarga de hielo (apdo. 3.1.3) sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	
	L	No aplica.	No aplica.	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.2)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.2.)	

Para la determinación de las tensiones de los conductores y cables de tierra se considerará:

1.ª Hipótesis: Sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea y a la temperatura de -10 °C en zona B y -15 °C en zona C.

Resto hipótesis: Sometidos a una sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3) y a la temperatura de -15 °C en zona B y -20 °C en zona C. En las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de hielo, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2). La 2ª Hipótesis (Hielo+Viento) será de aplicación exclusiva para las líneas de categoría especial.

Tabla 8. Apoyos de líneas situadas en zonas B y C (II)

TIPO DE APOYO	TIPO DE ESFUERZO	1.ª HIPÓTESIS (Viento)	2.ª HIPÓTESIS		3.ª HIPÓTESIS (Desequilibrio de tracciones)	4.ª HIPÓTESIS (Rotura de conductores)
			(Hielo)	(Hielo+Viento)		
Anclaje de Alineación o Anclaje de Ángulo	V	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3) y a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3). Para las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de hielo, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).	
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.).	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 60 km/h y sobrecarga de hielo (apdo. 3.1.3) sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo. SÓLO ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	ALINEACIÓN: No se aplica. ÁNGULO: Resultante de ángulo (apdo. 3.1.6.)	
	L	No aplica.			Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.3)	Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.3.)
Fin de línea	V	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea.	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3) y a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).	Cargas permanentes (apdo. 3.1.1) considerando los conductores y cables de tierra sometidos a la sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3). Para las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de hielo, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2).	
	T	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea, sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo.	No aplica.	Esfuerzo del viento (apdo. 3.1.2) para una velocidad mínima de 60 km/h y sobrecarga de hielo (apdo. 3.1.3) sobre: - Conductores y cables de tierra. - Apoyo.	No aplica.	
	L	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.4).	Desequilibrio de tracciones (apdo. 3.1.4.4).		Rotura de conductores y cables de tierra (apdo. 3.1.5.4.)	
<p>Para la determinación de las tensiones de los conductores y cables de tierra se considerará:</p> <p>1.ª Hipótesis: Sometidos a una sobrecarga de viento (apdo. 3.1.2) correspondiente a una velocidad mínima de 120 ó 140 km/h según la categoría de la línea y a la temperatura de -10 °C en zona B y -15 °C en zona C.</p> <p>Resto hipótesis: Sometidos a una sobrecarga de hielo mínima (apdo. 3.1.3) y a la temperatura de -15 °C en zona B y -20 °C en zona C. En las líneas de categoría especial, además de la sobrecarga de hielo, se considerarán los conductores y cables de tierra sometidos a una sobrecarga de viento mínima correspondiente a 60 km/h (apdo. 3.1.2). La 2ª Hipótesis (Hielo+Viento) será de aplicación exclusiva para las líneas de categoría especial.</p>						

V = Esfuerzo vertical

L = Esfuerzo longitudinal

T = Esfuerzo transversal

El Reglamento también especifica los valores de los coeficientes de seguridad en función del tipo de apoyo y de las hipótesis en el artículo 3.5.4.

Después se procederá a calcular los pesos (el propio del apoyo, el de las cadenas de suspensión y el de las de amarre) y sobrecargas de acuerdo a las hipótesis que nos ha marcado el Reglamento, con estos valores y con los del eolovano, gravivano y desnivel se calcularán los esfuerzos máximos por fase a los que se ve sometido el apoyo. Con motivo de economizar recursos se hará con el caso más desfavorable de los apoyos de alineación, para cada uno de los apoyos en los que exista un cruzamiento, en los de amarre y en los de ángulo.

Se deberá incluir en el proyecto una tabla con toda la información relevante, así como una relación de todos los apoyos y cruzamientos con su definición y localización que servirá de resumen, con todas las características de los apoyos y así facilitar la tarea de construcción de la línea eléctrica.

El Reglamento en el artículo 3.6 atiende a los requisitos mínimos que deben cumplir las cimentaciones de los apoyos y las comprobaciones a diversos esfuerzos.

El cálculo mecánico de los herrajes consiste en comprobar que los cocientes de seguridad están por encima de los valores que impone el Reglamento en los artículos 3.3 y 3.4.

3.2.1.3.- *Declaración de impacto medioambiental*: Es un documento técnico en el que se deben identificar, describir y valorar de manera apropiada, los efectos que la realización de un determinado proyecto puede producir sobre distintos aspectos ambientales. En caso de tener que realizar un estudio de impacto medioambiental se deberá incluir:

- Descripción del proyecto y sus acciones.
- Descripción del medio que puede ser afectado, mediante un inventario ambiental y las interacciones que se producirán en el entorno.
- Estudio de las alternativas y justificación de la elegida.
- Registro de los posibles impactos.
- Plan de medidas protectoras y correctivas así como un programa de vigilancia.

El estudio que incluya la información citada anteriormente se puede realizar en varias fases:

- Fase preliminar: Se realizarán estudios previos, determinando la necesidad de una línea nueva y definiendo el área de acción que será lo más amplia posible, los límites serán espacios como costas, reservas naturales o núcleos de población.

- Fase 1: Recopilación de información. Se realizarán estudios de planificación que justifican la línea y sus características básicas, atendiendo a las leyes y normativas existentes. A continuación se procederá a la descripción del entorno registrando las características del suelo, del clima y localizando cualquier elemento hidrológico. Cualquier especie de la fauna y la flora será registrada poniendo especial atención las protegidas, también se recogerá información de los hábitos migratorios de la aves. Por último se estudiará el contexto socioeconómico de las poblaciones afectadas.

- Fase 2: Trazados alternativos y elección del trazado óptimo. Se deben elaborar varios trazados teniendo en cuenta la dificultad técnica, la longitud total, perturbación del entorno, etc. y elegir uno de ellos como el trazado definitivo, en función de los aspectos que consideremos más importantes.

- Fase 3: Evaluación del impacto medioambiental. Después de estudiar toda la información recogida en las fases precedentes se procederá a evaluar el impacto de la obra en el entorno calificándose como nulo, compatible (la recuperación es inmediata sin aplicar medidas), moderado (la recuperación requiere tiempo pero no se aplicarán medidas), severo (se aplicarán medidas protectoras o correctoras durante un tiempo prolongado) y crítico (las condiciones ambientales se perderán permanentemente).

3.2.2.- Pliego de condiciones técnicas: Es el documento más importante desde el punto de vista legal, ya que tiene carácter contractual, regula las relaciones entre el propietario, promotor y los contratistas, es decir señala los derechos, obligaciones y las responsabilidades de cada una de las partes. En él también se especifican las características de los materiales, los métodos de trabajo, el equipo y los requisitos mínimos de los trabajadores que ejecuten la obra.

3.2.3.- Presupuesto: Es la valoración económica del proyecto. En este documento se incluirá todos los gastos que se prevean para la obra. Tendrán que aparecer los gastos derivados del suministro, montaje e instalación de los elementos de la línea, contando con el sueldo de los trabajadores implicados, y todo ello aparecerá en valores unitarios y totales.

Las mediciones, que se realicen antes o durante la ejecución de la obra también se incluirán en este documento así como sus costes.

Por último se realizará un presupuesto general donde se reflejen todos los conceptos anteriormente descritos y añadiendo el beneficio industrial (porcentaje que se marca el empresario o contratista), y el I.V.A si en los costes anteriores no se incluyeron

3.2.4.- Planos: Este documento muestra gráficamente el trazado completo a escala de la línea. El Reglamento en el artículo 3.3.4 obliga a incluir un plano de la situación de la línea. En el plano deberán aparecer datos y cotas topográficas con el mayor detalle posible para que la línea y el terreno queden totalmente definidos.

En el caso de una línea aérea también obliga a incluir un plano del perfil longitudinal y la planta a una escala mínima horizontal de 1:2000 y vertical de 1:500. En dicho plano se incluirán todos los servicios y accidentes geográficos en una franja de 50 m de anchura a cada lado de la línea. Además se añadirán los planos correspondientes a cada tipo de apoyo con sus cimentaciones y cada uno de los herrajes.

Los planos deberán ir con el mayor detalle, se incluirán los números de parcelas, límites autonómicos y provinciales, distancias de seguridad con otras líneas, carreteras, ángulos de la línea, numeración de cada apoyo y longitud de vano, etc.

3.2.5.- Estudio de seguridad y salud: Este documento pretende localizar y evitar los posibles accidentes que pudieran ocurrir en la obra. Primero se recopilan todos los materiales y equipos con los que se va a trabajar y después se enumeraran los posibles accidentes y las recomendaciones y soluciones que se toman para evitarlos.

4.- Aplicación informática:

4. 1.- Reglamento de Líneas eléctricas aéreas de Alta Tensión:

El Reglamento de Líneas eléctricas aéreas de Alta Tensión es un documento con recomendaciones técnicas y administrativas sobre la construcción y diseño de las líneas aéreas, que se tendrán que cumplir si se quiere que un proyecto sea aprobado para la construcción. Este apartado se centrará en las recomendaciones sobre el cálculo mecánico y en especial sobre los conductores.

En la ITC-LAT 07 que hace referencia a la terminología del reglamento, divide el Estado español en tres zonas geográficas atendiendo a la altitud del terreno, son las siguientes:

- Zona A: La situada a menos de 500 m de altitud sobre el nivel del mar.
- Zona B: La situada a una altitud entre 500 y 1000 m sobre el nivel del mar.
- Zona C: La situada a una altitud superior a 1000 m sobre el nivel del mar.

En la ITC-LAT 07 se recogen las prescripciones técnicas que deberán cumplir las líneas aéreas de alta tensión. Las sobrecargas que deben soportar los conductores están incluidas en el apartado 3.1.2., para el caso de las producidas por el viento, y en el apartado 3.1.3, para el caso de las producidas por el hielo.

Como es obvio el conductor ofrece una resistencia al aire, esta resistencia genera unas fuerzas perpendiculares a la dirección del conductor que hacen aumentar la tensión mecánica que tiene que soportar el conductor. Para el cálculo de esas fuerzas el reglamento en el apartado 3.1.2.1 establece unas velocidades mínimas que serán de 120 km/h, excepto en líneas de categoría especial en las que la velocidad mínima será de 140 km/h, como se verá después en la hipótesis de tracción máxima por la acción del viento más el hielo la velocidad mínima a tener en cuenta será de 60 km/h. Según el reglamento esta fuerza se calcula de la siguiente manera:

$$F_v = q \cdot d \cdot \frac{a_1 + a_2}{2}$$

Siendo:

d es el diámetro del conductor en [m].

a₁, a₂ son longitudes de los vanos adyacentes, en [m].

q es la presión de viento.

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

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

También dice que en el caso de que haya conductores en haz, la fuerza será la suma de cada una de fuerzas sobre cada conductor sin atender a posibles efectos pantalla.

En cuanto a sobrecargas debidas al peso de los manguitos de hielo que se forman en las líneas las diferencia por las zonas antes comentadas:

- 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 $0,18\sqrt{d}$ daN por metro lineal, siendo “d” el diámetro del conductor cable de tierra en mm.

-Zona C: Se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor $0,36\sqrt{d}$ daN por metro lineal, siendo “d” el diámetro del conductor cable de tierra en mm. Para altitudes superiores a 1500 m, el proyectista deberá establecer las sobrecargas de hielo mediante estudios pertinentes, no pudiéndose considerar sobrecarga de hielo inferior a la indicada anteriormente.

El reglamento también establece una serie de hipótesis de tracción máxima para cada una de las zonas geográficas, en la tabla4 se muestran esas hipótesis:

ZONA A			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción máxima viento	-5	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 120 ó 140 km/h según la tensión de líneas	No se aplica
ZONA B			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción máxima viento	-10	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 120 ó 140 km/h según la tensión de líneas	No se aplica
Tracción máxima de hielo	-15	No se aplica	Según el apartado 3.1.3
Tracción máxima hielo + viento (1)	-15	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 60 km/h	Según el apartado 3.1.3
ZONA C			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción máxima viento	-15	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 120 ó 140 km/h según la tensión de líneas	No se aplica
Tracción máxima de hielo	-20	No se aplica	Según el apartado 3.1.3
Tracción máxima hielo + viento (1)	-20	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 60 km/h	Según el apartado 3.1.3

Tabla4: Condiciones de las hipótesis que limitan la tracción máxima admisible

También se exige comprobar los posibles fenómenos vibratorios (E.D.S. siglas que en ingles significan Every Day Stress, esta hipótesis refleja los esfuerzos que aparecen en el conductor en condiciones de uso normales) que aparecen cuando el viento incide sobre el conductor, aunque no ejerza demasiada presión sobre el conductor puede hacer que éste vibre. El reglamento recomienda instalar dispositivos en la línea que suavicen este efecto como amortiguadores y separadores para que a una temperatura de 15 °C la tracción no supere el 22% de la carga de rotura o el 15% si no se realiza un estudio de amortiguamiento ni se instalan dicho dispositivos.

Por último quedan las hipótesis de flecha máxima de los conductores para los valores de sobrecarga definidos anteriormente. Por tanto para las zonas A, B y C:

- Hipótesis de viento: Sometidos a la acción de su propio peso y a una sobrecarga de viento, según el apartado 3.1.2, para una velocidad de viento de 120 km/h a la temperatura de 15 °C.

- Hipótesis de temperatura: Sometidos a la acción de su propio peso, a la temperatura máxima previsible, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y de servicio de la línea. Para las líneas de categoría especial, esta temperatura no será en ningún caso inferior a 85 °C para los conductores de fase ni inferior a 50 °C para los cables de tierra. Para el resto de líneas, tanto para los conductores de fase como para los cables de tierra, esta temperatura no será en ningún caso inferior a 50 °C.

- Hipótesis de hielo: Sometidos a la acción de su propio peso y a la sobrecarga de hielo correspondiente a la zona, según el apartado 3.1.3, a la temperatura de 0 °C.

4. 2.- Herramienta informática:

Esta aplicación está programada como una macro de Excel con lenguaje VBA (Visual Basic for Applications). Microsoft Office Excel 2007 es una herramienta de análisis de datos, más conocidas como hojas de cálculo, es una herramienta muy útil para trabajar con grandes cantidades de datos, ya que permite crear gráficos que después podrán ser utilizados en Word 2007 y PowerPoint 2007, otros productos de la familia Office de Microsoft. Este programa tiene incluidas funciones matemáticas, estadísticas, ingenieriles, etc. que son muy útiles en el campo de la ciencia. Aparte viene incluida una herramienta llamada *Solver* que busca un valor óptimo para una ecuación de una celda. También te permite trabajar con tablas que gracias a las diversas funciones del programa las puedes crear, aplicar formatos o filtrarlas.

El lenguaje VBA es el lenguaje Visual Basic para crear macros en Windows y que vienen incluidas en algunas aplicaciones de Microsoft. Este lenguaje permite crear aplicaciones que no aparecen en los programas originales y que el usuario puede hacer a medida, son muy útiles, por ejemplo, para realizar tareas repetitivas en las que se emplea demasiado tiempo y que con este lenguaje se pueden realizar pulsando un botón. Con Microsoft VBA se puede programar prácticamente lo mismo que con Visual Basic, lo único que no se puede compilar como un ejecutable separado y la aplicación programada queda como una macro del archivo donde fue creada.

4. 3.- Ecuación de cambio de condiciones. Método de Newton-Raphson:

La ecuación de estado nos permite conocer cómo se va a comportar un conductor cuando esta tendido a partir de unas condiciones iniciales y finales.

$$t_2^2 \cdot [t_2 - (K - \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1))] = \frac{a^2 \cdot p_2^2 \cdot E}{24 \cdot s^2}$$

Siendo:

$$K = t_1 - \frac{a^2 p_1^2 E}{24 s^2 t_1^2}$$

Donde:

a es el vano en [m].

E es el módulo de elasticidad en [kg/mm²].

s es la sección del conductor en [mm²].

α es el coeficiente de dilatación en [(°C)⁻¹].

t_1 y t_2 son las tensiones unitarias en [kg/mm²].

θ_1 y θ_2 son las temperaturas en [°C].

p_1 y p_2 son las resultantes de los conductores en [kg/m].

Los subíndices 1 y 2 hacen referencia a las condiciones, inicial y final, en las que se aplica la ecuación.

El método de Newton-Raphson es una herramienta que nos permite resolver ecuaciones lineales, como es nuestro caso la ecuación de cambio de estado.

Este método consiste en aproximar una función $y=h(x)$, de la que se quiere conocer el valor de x que la anule, a su recta tangente en un punto, y hallar el valor para la que ésta recta se anula, que es más sencillo porque es la resolución de una ecuación lineal. Es indispensable que las ecuaciones se planteen de la forma $h(x)=0$.

Para aplicar este método se tiene que dar un valor inicial a x, x^m , con ese valor se obtiene $h(x^m)$, se calcula la recta tangente al punto $(x^m, h(x^m))$ con la derivada de la función, es decir $h'(x^m)$, esto es:

$$y - h(x^m) = h'(x^m)(x - x^m)$$

El punto de corte con el eje de las abscisas da una estimación de la solución final, x^{m+1} .

$$0 - h(x^m) = h'(x^m)(x^{m+1} - x^m)$$

Despejando se obtiene el valor de x^{m+1} .

$$x^{m+1} = x^m - \frac{h(x^m)}{h'(x^m)}$$

Este proceso se tiene que repetir hasta que el valor absoluto de la diferencia entre x^{m+1} y x^m este en un valor aceptable.

A continuación se muestra una interpretación grafica del proceso.

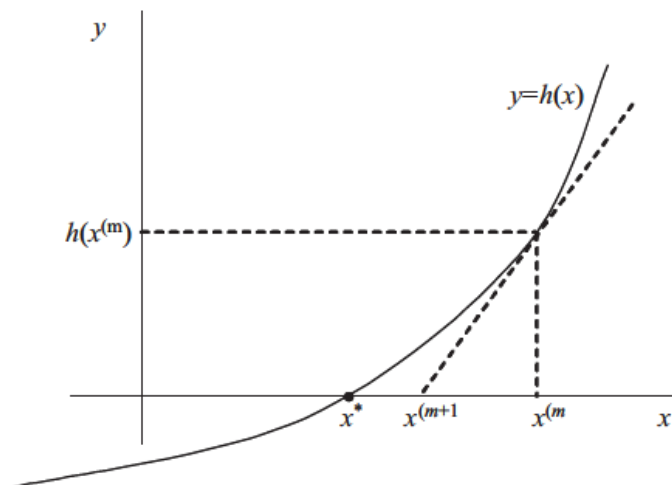


Figura3: Interpretación gráfica del método de Newton-Raphson

En el caso de la ecuación de cambio de condiciones será:

$$h(t_2) = t_2^3 - (K - \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1)) \cdot t_2^2 - \left(\frac{\alpha^2 \cdot p_2^2 \cdot E}{24 \cdot s^2} \right) = 0$$

$$h'(t_2) = 3t_2^2 - 2(K - \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1)) \cdot t_2$$

Donde t_2 es el valor que tendrá la tensión unitaria del conductor en las condiciones finales.

Otros datos necesarios para el diseño de una línea eléctrica que calcula la aplicación son la flecha y el parámetro. La flecha es la distancia vertical entre el punto más bajo del conductor y el punto de sujeción del mismo.

$$f = \frac{a^2 p}{8st}$$

El parámetro interviene en la ecuación de la catenaria y es la relación que hay en la tensión y la resultante del conductor.

$$y = h \cosh \frac{x}{h}, \quad h = \frac{T}{P}$$

Donde:

h es el parámetro en [m]

T es la tracción en [kg]

P es la resultante en [kg/m]

x e y son las coordenadas espaciales

4. 4.- Método para resolver el cálculo mecánico del conductor:

Cuando el usuario introduce los datos del conductor y de la línea, la aplicación los usa para calcular las sobrecargas y con ellas los datos necesarios para realizar el cálculo mecánico. Cuando se elige la zona la aplicación calcula el espesor del manguito y las condiciones iniciales para cada una de las hipótesis, estas condiciones las calcula con las ecuaciones vistas anteriormente en el apartado 3. 1.- Reglamento de líneas eléctricas aéreas de alta tensión, salvo en las sobrecargas debidas al hielo, la aplicación considera que todos los vanos son iguales entonces la ecuación $F_v = q \cdot d \cdot \frac{a_1 + a_2}{2}$ se simplifica y queda de la siguiente manera $F_v = q \cdot d$ al dividir por el vano para que resulte un peso por unidad de longitud [kg/m], que es en lo que se mide las sobrecargas. La sobrecarga total o resultante se calcula a través de la ecuación:

$$R = \sqrt{(P_c + P_h)^2 + P_v^2}$$

Donde:

R es la resultante en [kg/m].

P_c es el peso del conductor en [kg/m].

P_h es el peso debido a la sobrecarga por hielo en [kg/m].

P_v es el peso debido a la sobrecarga por viento en [kg/m].

El espesor del manguito se calcula a partir de la masa de hielo y la densidad del hielo, que está fijada en el Reglamento, al final obtenemos esta ecuación:

$$h = \left[\frac{\left(\sqrt{\frac{4m}{\rho\pi}} + d^2 - d \right)}{2} \right] \cdot 1000$$

Siendo:

h es el espesor del manguito en [mm].

m es el peso del hielo en [kg/m]. Dependiendo de la zona en la que se encuentre la línea será $m = 0,18\sqrt{d}$ para la zona B ó $m = 0,36\sqrt{d}$ para la zona C, aquí el diámetro tiene que estar en [mm].

d es el diámetro del conductor en [m].

ρ es el peso volumétrico del hielo fijado en el Reglamento, $\rho = 750 \text{ daN/m}^3$.

Cuando ya están calculados estos valores y el usuario inicia el cálculo de las condiciones finales la aplicación las obtiene a partir del método de Newton-Raphson. La ecuación a resolver tiene la siguiente forma:

$$t^{n+1} = t^n - \left(\frac{t^{n^3} - (A \cdot t^{n^2} - B)}{3t^{n^2} - 2A \cdot t} \right)$$

$$A = K - \alpha \cdot E(\theta_2 - \theta_1)$$

$$B = \frac{\alpha^2 \cdot p_2^2 \cdot E}{24 \cdot s^2}$$

Donde:

t es la tensión del cable en [kg/mm^2].

El resto de datos son los mismos que en la ecuación del cambio de estado.

La aplicación calcula la diferencia entre t^{n+1} y t^n , cuando sea menor de 0,0001 se detiene el bucle y guarda el ultimo valor de t^{n+1} , por motivos de estabilidad si no se llega a esta diferencia antes de 100 ciclos el programa saldrá automáticamente del bucle.

Con la tensión obtenida la aplicación calcula la tracción en kg, la flecha, el coeficiente de seguridad y el parámetro.

$$T = ts$$

$$f = \frac{a^2 p}{8st}$$

$$\text{Coef. de seguridad} = \frac{P_{max}}{T}$$

$$h = \frac{T}{P}$$

4. 5.- Método para obtener tablas de tendido:

Cuando el usuario rellena los datos necesarios, elige el conductor y la zona, la aplicación calcula el espesor del manguito y las sobrecargas de la misma forma que en el cálculo mecánico. Después, cuando el usuario pincha en el botón “Calcular”, la aplicación obtiene dos tensiones de referencia, T_1 y T_2 , usando la ecuación de cambio de estado, tomando como hipótesis inicial la de E.D.S., es decir el peso del conductor, 21% de la carga de rotura del mismo, 15 °C y el vano que corresponda en ese momento porque este proceso se hace para cada uno de los vanos y temperaturas. Las condiciones finales para calcular T_1 serán las propias de la hipótesis de tracción máxima debida al viento, es decir el peso del conductor más la sobrecarga por viento, la temperatura que corresponda a la zona (si es zona A será de -5 °C, si es zona B será de -10 °C y si es zona C será de -15 °C), y el vano que corresponda. Para calcular T_2 las condiciones finales serán las de la hipótesis de tracción máxima por hielo, el peso final corresponderá al peso del conductor más el de la sobrecarga por hielo, la temperatura dependerá de la zona (en la zona B se tomará una temperatura de -15 °C y en la zona C una de -20 °C). Como es obvio en la zona A no se calculará T_2 porque no se tienen en cuenta efectos de hielo sobre la línea.

Una vez calculadas estas dos tensiones hay que analizar 3 posibles casos:

T_{max} es el valor que el usuario a elegido como “Tracción máxima” en el recuadro “Tense admisible” de la aplicación.

- T_1 y $T_2 < T_{max}$: Obtenemos la tensión, la flecha y el parámetro tomando como hipótesis inicial E.D.S. y como final E.D.S. para cada temperatura y vano.
- $T_1 > T_2 > T_{max}$ ó $T_1 > T_{max} > T_2$ } Obtenemos la tensión, la flecha y el parámetro tomando como hipótesis inicial Tracción máxima por viento y como final E.D.S. para cada temperatura y vano.
- $T_2 > T_1 > T_{max}$ ó $T_2 > T_{max} > T_1$ } Obtenemos la tensión, la flecha y el parámetro tomando como hipótesis inicial Tracción máxima por viento y como final E.D.S. para cada temperatura y vano.

En el caso de que la línea se encuentre en la zona A, la aplicación solo calculara T1 y se tendrán en cuenta los dos primeros casos. Este proceso se repetirá cada vez que el vano o la temperatura cambien.

4. 6.- Manual de usuario:

Tanto para realizar el cálculo mecánico de conductores como para hacer la tabla de tendido primero se tiene que ejecutar el archivo “Estudio Mecánico De Conductores”. En la pantalla aparecerá una tabla con los nombres y los correspondientes datos los conductores de los que disponen las aplicaciones para trabajar, en el caso de que el conductor que queremos usar no estuviera en dicha tabla se pueden agregar nuevos conductores simplemente escribiendo el nombre y las características del conductor en las columnas correspondientes, las aplicaciones los reconocerán automáticamente. A la derecha de la tabla habrá dos cuadros de texto en uno estará escrito “CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES” y en el otro “TABLA DE TENDIDO”.

Es posible que debido a las opciones de seguridad que tenga seleccionadas Microsoft Excel no le permita ejecutar las macros. En este caso tendrá que permitir la ejecución de éstas, para ello tendrá que pinchar en el “Botón de Office” y después en “Opciones de Excel”, seleccione la pestaña “Centro de confianza” y pinche en “Configuración de Centro de confianza”, después seleccione la pestaña “Configuración de macros” y elija la opción “Deshabilitar todas las macros con notificación” esto le permitirá controlar las macros que permite que se ejecuten, aunque es más tedioso porque cada vez que quiera hacer ejecutarlas las tendrá que habilitar pero no tendrá que hacer todo este proceso porque cuando inicie el programa le aparecerá en la primera hoja una advertencia de seguridad. Pinche en “Opciones” y elija la opción “Habilitar este contenido”, después acepte y estará listo para usar las aplicaciones.

NOTA: Recuerde que tendrán que elegir la opción “Habilitar este contenido” cada vez que abra el archivo, si no quiere tener que hacerlo elija la opción “Habilitar todas las macros” en la pestaña “Configuración de macros”, lo cual no es recomendable porque podría ejecutar algún archivo malintencionado.

4. 6. 1.- Cálculo mecánico de conductores:

Pinche en el cuadro de texto en el que está escrito: “CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES” y aparecerá la siguiente ventana:

	Temperatura (°C)	Sobrecarga por hielo (kg/m)	Sobrecarga por viento (kg/m)	Resultante (kg/m)
Tracción máxima por viento				
Tracción máxima por hielo				
Tracción máxima por hielo + viento				
EDS				
Flecha máxima por viento				
Flecha máxima por temperatura				
Flecha máxima por temperatura (cat. especial)				
Flecha máxima por hielo				

Figura4: Ventana de inicio de la aplicación “CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES”

Seleccione el conductor en el desplegable de los conductores, después elija la zona por la que discurrirá la línea y rellene los datos necesarios para el cálculo (vano, temperatura, resultante y tracción), El cuadro del espesor del manguito se rellenará automáticamente, según las especificaciones del RLAT, en el momento que elija la zona, también puede modificar la velocidad del viento para la hipótesis de tracción máxima por viento y para la de hielo más viento.

NOTA: Es de suma importancia que use como separador decimal la coma (,), porque si usa el punto (.) la aplicación lo tomará como un separador de miles y los resultados serán erróneos.

NOTA: la velocidades del viento que vienen por defecto para la hipótesis de tracción máxima por viento y para la de hielo más viento son de 120 km/h y 60 km/h respectivamente porque son el mínimo exigido por el RLAT, se pueden aumentar y reducir pero en este último caso el programa le avisará que no está cumpliendo con el Reglamento

Una vez elegido el conductor y rellenado los datos necesarios se cargarán los valores de sobrecarga para cada una de las hipótesis como se ve en la figura5:

The screenshot shows the 'Estudio Mecánico De Conductores' application. The 'Hipótesis Inicial' section contains the following data:

Conductor	Diametro (mm)	Seccion (mm ²)	Peso Del Conductor (kg/m)	Módulo Elástico (kg/mm ²)	Coef. de Dilatación (1/°C)	Carga De Rotura (kg)
LA-180	17,5	181,6	0,676	8200	0,0000178	6630

Initial Hypothesis Data:

Zona	Vano (m)	Temperatura (°C)	Resultante (kg/m)	Tracción (kg)
Zona C	100	-15	3,353	1300

Weather Conditions (Cond. Climatológicas):

Espeor del manguito (mm)	Velocidad del viento (km/h)	Vel. del viento hip. h+v (km/h)
18	120	60

Table of Initial Hypotheses (Hipótesis Finales):

	Temperatura (°C)	Sobrecarga por hielo (kg/m)	Sobrecarga por viento (kg/m)	Resultante (kg/m)
Tracción máxima por viento	-15	---	0,875	1,106
Tracción máxima por hielo	-20	1,506	---	2,182
Tracción máxima por hielo + viento	-20	1,506	0,669	2,282
EDS	15	---	---	0,676
Flecha máxima por viento	15	---	0,875	1,106
Flecha máxima por temperatura	50	---	---	0,676
Flecha máxima por temperatura (cat. especial)	85	---	---	0,676
Flecha máxima por hielo	0	1,506	---	2,182

Figura5: Ventana de la aplicación “Cálculo mecánico de conductores” con los valores de sobrecargas

Después pincharemos en el botón “Calcular” y se activará la pestaña de “Resultados” y en ella estarán los valores típicos (tracción, flecha, coeficiente de seguridad y parámetro) de un cálculo mecánico de un conductor para cada una de las hipótesis.

The screenshot shows the 'Estudio Mecánico De Conductores' application with the 'Resultados' tab active. The calculated values are as follows:

	Tracción (kg)	Flecha (m)	Coef. de seguridad	Parámetro (m)
Tracción máxima por viento	479,1	2,89	13,84	433,2
Tracción máxima por hielo	905,8	3,01	7,32	415,1
Tracción máxima por hielo + viento	942,5	3,03	7,03	413
EDS	269,9	3,13	24,56	399,2
Flecha máxima por viento	432,6	3,2	15,33	391,1
Flecha máxima por temperatura	243,2	3,47	27,26	359,8
Flecha máxima por temperatura (cat. especial)	223	3,79	29,73	329,9
Flecha máxima por hielo	851,3	3,2	7,79	390,1

Figura6: Ventana de la aplicación “Calculo mecánico de conductores” con los resultados del estudio mecánico

La aplicación nos da la opción de crear un informe en la hoja 2 del archivo que tenemos abierto para su posterior impresión, pinchando en el botón “Informe”.

NOTA: En cualquier momento el usuario puede cancelar el proceso pinchando en el botón “Salir” y de esta forma regresará al archivo Excel.

4. 6. 2.- Tabla de tendido:

Pinche en el cuadro de texto en el que está escrito: “TABLA DE TENDIDO” y aparecerá la siguiente ventana:

Figura7: Ventana inicial de la aplicación “Tabla de tendido”

El proceso es muy parecido al del estudio mecánico. Primero seleccione el conductor y luego la zona donde estará situada la línea. El usuario podrá seleccionar la tracción E.D.S y la máxima que tendrá que soportar el conductor, para ello tendrá que introducir el valor de tracción en (%), cuando lo haya introducido tendrá que pinchar en el cuadro correspondiente en kg para actualizar el valor. También se podrá seleccionar el rango de temperaturas, siempre con un incremento de 5 °C y el rango de vano, en este caso podrá determinar el incremento. Al igual que en el estudio mecánico el cuadro del espesor del manguito se rellenará automáticamente al elegir la zona al igual que los valores de sobrecarga para cada una de las hipótesis. Cuando estén todos los datos necesarios para calcular la tabla de tendido el usuario tendrá que pinchar en el botón “Calcular” para que la aplicación genere la tabla de tendido en la hoja 3 del archivo “Estudio Mecánico De Conductores”. Este es el aspecto de la aplicación después de introducir los datos necesarios:

The screenshot shows the 'Tabla De Tendido' application window. It contains several input fields and a table. The top section has a dropdown menu for 'LA-180' and fields for 'Diametro (mm)' (17,5), 'Seccion (mm2)' (181,6), 'Peso Del Conductor (kg/m)' (0,676), 'Módulo Elástico (kg/mm2)' (8200), 'Coef. de Dilatación (1/°C)' (0,000178), 'Carga De Rotura (kg)' (6630), and 'Zona C'. Below this is a 'Tense Admisible (%)' section with fields for 'E.D.S. (%)' (21), 'E.D.S. (kg)' (1392), 'Tracción máx. (%)' (40), and 'Tracción máx. (kg)' (2652). There are also 'Temperatura (°C)' fields for 'Desde:' (0) and 'Hasta:' (35), and 'Vano (m)' fields for 'Desde:' (100), 'Hasta:' (1000), and 'Incremento:' (10). An 'Espesor del manguito (mm)' field is set to 18. A table titled 'Hipótesis Inicial' is shown below, with columns for 'Temperatura (°C)', 'Sobrecarga por hielo (kg/m)', 'Sobrecarga por viento (kg/m)', and 'Resultante (kg/m)'. The table has three rows: 'E.D.S.' with values 15, ---, ---, 0,676; 'Tracción máxima por viento' with values -15, ---, 0,875, 1,106; and 'Tracción máxima por hielo' with values -20, 1,506, ---, 2,182. At the bottom right are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Figura8: Ventana de la aplicación “Tabla de tendido” con los valores de sobrecargas

NOTA: Es muy recomendable, que después de trabajar con la tabla generada en la hoja 3, el usuario la borre para que la siguiente tabla que se haga no se solape, si la segunda tabla es más grande no hay ningún problema pero si es más pequeña aparecerán las dos tablas.

5.- Utilidades:

La función que comparten las dos componentes de la aplicación es la de poder hacer plantillas de las catenarias de la línea ya que uno de los datos que calculan es el parámetro que introduciéndolo en la ecuación de la catenaria y con el vano obtenemos una gráfica como la del Anexo 6.3.

5. 1.- Cálculo mecánico de conductores:

Ésta parte de la aplicación es de gran utilidad en la fase de diseño de una línea aérea, para comprobar que cumplirá con las hipótesis del RLAT. Normalmente se introduce como hipótesis inicial la de E.D.S y después se comprueba, en función de la zona en la que este, por ejemplo que debido al frío la tensión no esté cerca de la carga de rotura o que por el calor aumente la flecha incumpliendo las distancias mínimas que se exigen.

5. 2.- Tabla de tendido:

La tabla de tendido se usa en la construcción de la línea, en el terreno, es una forma rápida de ver la tensión que hay que ejercer sobre el conductor según el vano y la temperatura a la que se está tendiendo. Otro empleo que se le puede dar a la tabla es en la repotenciación de líneas, cuando se cambia un conductor para aumentar la potencia de la línea, la flecha varía y en lugar de aumentar la tensión para corregirla, se suelen elevar los apoyos. Para conocer la distancia que hay que elevarlos, se haya la diferencia entre las flechas obtenidas en las dos tablas.

6.- Estructura de proyectos.

Un proyecto según el PMI (*Project Management Institute*) es el esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. Todo proyecto está definido en el tiempo, de ahí su carácter temporal, se considerará finalizado cuando se alcancen los objetivos o por diversos motivos no se pueda continuar con su ejecución.

Cualquier proyecto creará un producto, servicio o resultado único, aunque los procesos que se lleven a cabo para su realización sean similares a los de otros, debido a su naturaleza única se puede generar cierta incertidumbre en un equipo de proyecto que sea nuevo, al afrontar las tareas propias del proyecto, esto nos obliga a organizar y administrar todo con mayor precisión, para facilitar la tarea de organización los proyectos se estructuran en distintas etapas:

- Iniciación.
- Planificación.
- Ejecución.
- Supervisión y control.
- Cierre.

La dirección de procesos consiste en aplicar todas las habilidades y recursos disponibles de forma adecuada y atendiendo a las restricciones del proyecto, es decir un director de proyectos tiene que satisfacer las necesidades y los requisitos, llegando a una solución de compromiso entre la calidad, presupuesto, riesgo, alcance, recursos y cronograma. Normalmente los niveles de costes y personal es bajo en las etapas de iniciación y planificación, la dotación de recursos y personal, y por tanto el coste, aumentará durante la ejecución, la supervisión y el control, disminuyendo de forma drástica cuando el trabajo llegue a la etapa de cierre, tal y como se muestra en el siguiente gráfico:

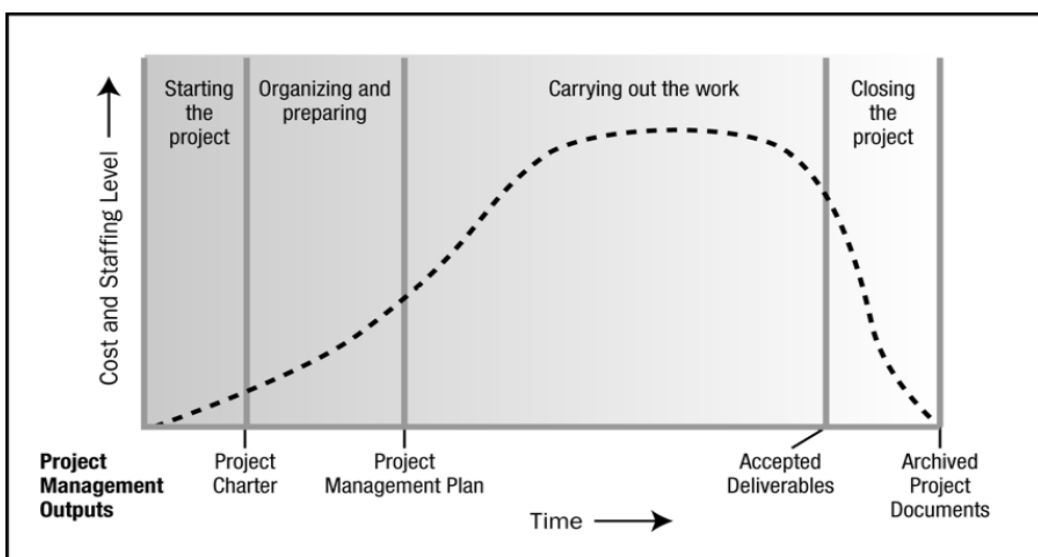


Gráfico 2-1. Niveles típicos de costo y dotación de personal durante el ciclo de vida del proyecto

Existen otras variaciones que ocurren a lo largo de la vida del proyecto, una de ellas es el aumento del coste de los cambios en el proyecto original con el paso del tiempo, esto es así porque un cambio que se produce en la fase de diseño es mucho menos costoso que un cambio en la fase en la que el proyecto ya ha tomado forma porque probablemente se tenga que rediseñar el trabajo, lo mismo ocurre con los errores detectados demasiado tarde. Todo lo contrario pasa con la influencia de los interesados, el riesgo o la incertidumbre que disminuyen a medida que se acerca el traspaso, lógico si pensamos que en los inicios esta todo por decidir y no hay nada confirmado. Todas estas dependencias se muestran claramente el siguiente gráfico:

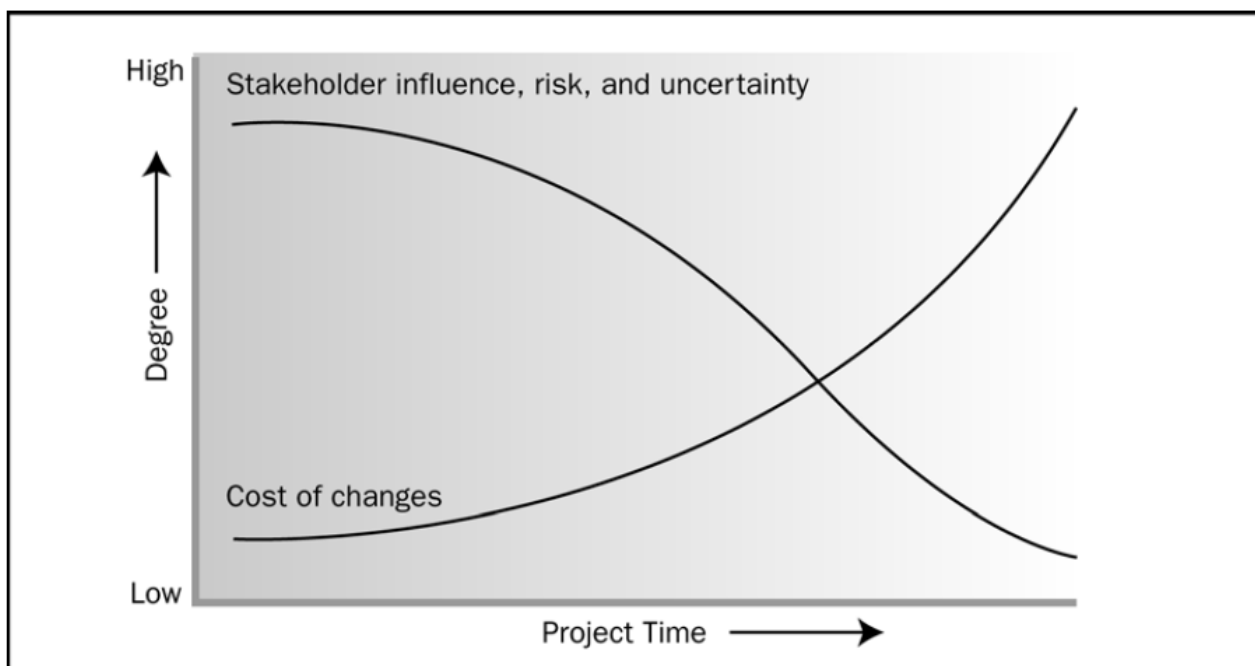


Gráfico 2-2. Impacto de la variable en función del tiempo del proyecto

Existen casos en los que se asocian varios proyectos a un mismo producto, en estos casos se pueden obtener mayores éxitos con la supervisión colectiva de todos ellos a través de un puesto de mayor escala jerárquica. En estos casos cada uno de los proyectos que trabajan para un entregable mayor se llama fase. Esta división facilita las labores de dirección, planificación y control. Dependiendo del tamaño, complejidad y la repercusión del proyecto se determinan el número de fases, la necesidad de dividirlo y el grado de control aplicado, lo que tienen en común todas las fases son las siguientes características:

- El objetivo de cada una de ellas es único.
- Si las fases son secuenciales, el final de una establece un entregable y se establece un punto donde, si es necesario, se modificará o terminará el proyecto éstos puntos se denominan salidas de fase, hitos, puertas de fase, puntos de decisión, puertas de etapa o puntos de cancelación.
- Se requiere un grado adicional de control para alcanzar el éxito de la fase.

No existe una forma perfecta de realizar un proyecto y normalmente esta responsabilidad puede recaer en la dirección de proyecto o una organización, que puede tener la estructura estandarizada, tampoco la necesidad de establecer fases ni el número de ellas, todos estos parámetros dependen de la naturaleza del proyecto, del estilo del equipo de dirección o como se ha dicho anteriormente, de la propia organización.

Si se opta por establecer fases para el desarrollo del proyecto, la relación entre ellas puede ser, principalmente, de tres tipos:

- Relación secuencial: Cada fase se inicia con el final de la anterior, permite tener un mayor control porque reduce la incertidumbre, pero tiene la desventaja de que no otorga la oportunidad de acortar los plazos de tiempo.



- Relación de superposición: Permite iniciar la fase siguiente sin necesidad de finalizar la anterior, reduce el tiempo de entrega pero obliga a prestar más atención a las fases que se inician porque podrían empezar sin la información necesaria de las fases anteriores aumentando el riesgo y la incertidumbre, si esto ocurriera se obligaría a replantear la situación aumentando los costes, como ya hemos visto.

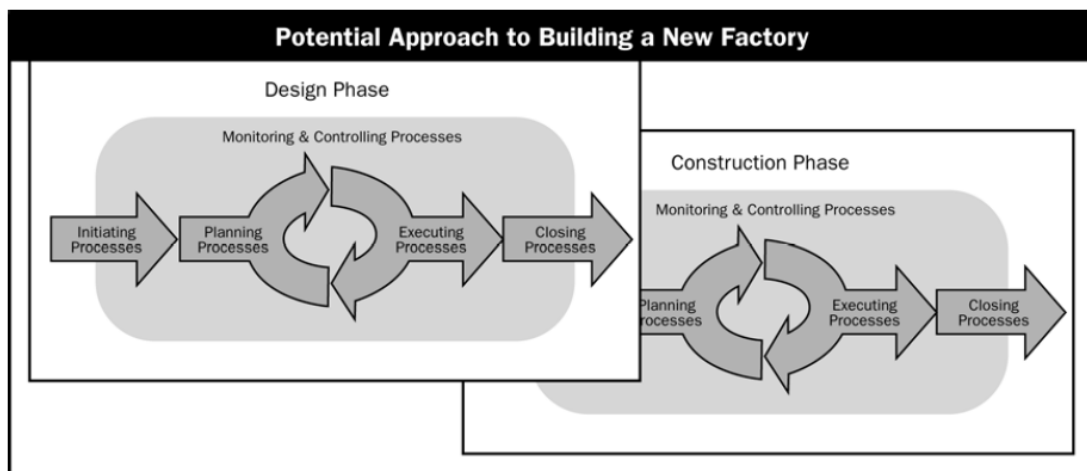


Gráfico 2-5. Ejemplo de proyecto con fases superpuestas

- Relación iterativa: Este tipo de relación es idóneo para situaciones poco estables, ya que solo se planifica una fase y según avanza el trabajo se inicia la planificación de la siguiente, la desventaja radica en que no permite la organización a largo plazo y la necesidad de que todos los miembros del equipo estén disponibles en todo momento, algo que no siempre se puede permitir.

Las personas u organizaciones que tienen alguna participación en el proyecto se llaman interesados y es necesario localizarlos para la buena ejecución del trabajo, la influencia que ejercen puede determinar el éxito o el fracaso, y normalmente pueden tener intereses positivos o negativos con la finalización del proyecto, los interesados con expectativas positivas se verán mejor satisfechos si contribuyen al éxito del proyecto, mientras que los interesados con expectativas negativas harán todo lo posible para que el trabajo no finalice. Un director de proyecto debe conocer todas sus necesidades para llegar a una solución entre todos los interesados y adaptar los requisitos, para satisfacerles. No tener en cuenta a los interesados negativos puede hacer que aumenten los costes y las probabilidades de fracaso. A continuación se muestran algunos de los interesados de un proyecto:

- Cliente/Usuario: Son las personas u organizaciones que usarán el producto, servicio o resultado del proyecto. En unos casos el cliente es el mismo que el usuario, pero en otros el cliente es el que encarga el proyecto y el usuario el que lo utiliza. También pueden ser internos o externos a la organización o haber distintos niveles como en el caso de un producto farmacéutico en el que se pueden considerar clientes a los doctores, a los pacientes y a las aseguradoras.

- Patrocinador: Proporciona los recursos financieros para llevar a cabo el proyecto, puede ser una persona o un grupo. El patrocinador se encarga de defender y promover los beneficios del proyecto ante la dirección de la organización. Cumple un papel importante en las fases iniciales del proyecto y es el que autoriza los cambios importantes o la modificación del alcance y cada vez que se finalice una fase decidirá si el proyecto continúa o finaliza si los riesgos son importantes.

- Directores del portafolio/Comité de revisión del portafolio: Los directores del portafolio se encargan de la gobernabilidad de proyectos que pueden ser interdependientes. El comité se forma por ejecutivos que analizan cada uno de los proyectos para determinar si se realiza atendiendo a los riesgos, el retorno de la inversión o cualquier aspecto que consideren importantes.

- Directores de programa: Los directores de programa se encargan de gestionar todos los proyectos relacionados entre sí, también están en contacto con los directores de cada proyecto para proporcionarles apoyo.

- Oficina de dirección de proyectos (PMO): Es un cuerpo o entidad dentro de una organización que se encarga de gestionar los proyectos que se encuentren bajo su responsabilidad. Puede prestar apoyo administrativo, actuar como asesoría o incluso ejercer la dirección de un proyecto, también coordina la comunicación entre el director del proyecto, los patrocinadores y otros interesados.

- Directores de proyecto: Son los responsables del éxito del proyecto, se encargan de planificar y dirigir de forma global cualquier aspecto relacionado con la ejecución proyecto. Deberán mantener el proyecto dentro de los límites establecidos por el cronograma, identificar y reducir, en la medida en que sea posible, los riesgos y elaborar informes detallados con el estado del proyecto. Los directores deben estar a la altura de este prestigioso cargo, se requiere flexibilidad, buen juicio, grandes conocimientos en las prácticas de dirección de proyectos y tener dotes de negociación. Son el enlace entre los interesados y el propio proyecto.

- Equipo de proyecto: Está formado por el director del proyecto, el equipo de dirección del proyecto y otros miembros que tienen conocimientos específicos de ciertas materias y que no necesariamente pertenecen a la dirección del proyecto.

- Gerentes funcionales: Gestionan un área administrativa de la empresa, como recursos humanos o contabilidad. A menudo pueden aportar su experiencia o su función para otorgar servicios al proyecto.

- Gerentes de operaciones: Se encargar de gestionar las áreas más técnicas de una empresa como la investigación, el mantenimiento o el diseño. En función del tipo de proyecto al finalizar éste, se entrega un documento con la información técnica del proyecto al gerente de operaciones que lo incluirá en las operaciones normales y le proporcionará apoyo a largo plazo.

- Vendedores/Socios de negocios: Los vendedores son compañías externas que proporcionan componentes o servicios para el proyecto, también se les denomina proveedores o contratistas. Los socios de negocios proporcionan una función al proyecto como una instalación, adecuación, capacitación o apoyo. También son externas y a veces se establece ésta relación por medio de la certificación.

Esto ha sido un breve resumen de algunos de los aspectos que engloban un proyecto en cualquier ámbito, pero a partir de este momento se intentará trasladar todos estos conceptos al proyecto del que este documento se encarga. Los interesados de este proyecto serían el autor y el tutor que aparecen en la portada del documento, los dos forman parte del equipo de dirección, el autor haría las veces de director de proyecto, mientras que el tutor sería el supervisor, no existe ningún otro miembro en el equipo de proyecto, aunque en ciertas ocasiones se solicitaba ayuda a personas externas. El proyecto se ha separado en dos fases, la redacción del proyecto y la programación de la aplicación, cuya relación a sido superpuesta, esto ha permitido que en los tiempos donde no se podía avanzar con el desarrollo de algunas partes de una de las fases, se pudiera continuar con la otra, reduciendo así la duración total del proyecto.

Los alcances u objetivos del proyecto fundamentalmente han sido el desarrollo de una aplicación informática que facilitara la elaboración de estudios mecánicos de conductores y tablas de tendido de líneas eléctricas, el otro es ampliar los conocimientos adquiridos durante la carrera sobre la dirección de proyectos y en concreto sobre los proyectos de líneas eléctricas y métodos de trabajo de las empresas que tienen relación con ellas.

Después de definir los objetivos del proyecto se procede a realizar la elaboración de la planificación, en esta etapa se sentarán las bases de cómo y cuando se continuará con la realización del trabajo, en este caso se decidió programar la aplicación mediante el uso de macros a través de la herramienta informática Excel que viene integrada en el paquete Office 2007, el lenguaje de programación que utiliza esta herramienta es VBA (*Visual Basic for Applications*), debido a la falta de conocimientos necesarios del autor para programar con este lenguaje se vió en la necesidad de iniciar un proceso de aprendizaje, mediante manuales y recursos electrónicos. Para superar el segundo objetivo se vió recomendable realizar un análisis general del procedimiento para realizar un proyecto de una línea eléctrica y estudiar los cambios introducidos en el nuevo Reglamento, además de investigar sobre las actividades de transporte y distribución de energía eléctrica.

Después de planificar los detalles del proyecto se inició la etapa de ejecución, como ya se ha mencionado el proyecto se dividió en dos fases. La primera que se inició fue la de la aplicación informática, ya que había partes en la fase de la redacción que no podían avanzar hasta que no se finalizaran otras de la otra fase, un ejemplo son los capítulos 4, 5 y el anexo que no se pudieron finalizar hasta haber terminado algunos aspectos de la aplicación. Para redactar los capítulos restantes se buscó información directamente en la fuente poniéndose en contacto con Red Eléctrica de España (*REE*), ya que es la que se ocupa del transporte de energía eléctrica en el territorio nacional, y con las principales empresas del sector de la distribución: Iberdrola, Endesa, Unión Fenosa, HidroCantábrico y Viesgo (Grupo Enel).

La ejecución de la aplicación informática comenzó con la programación de la ecuación de estado, una vez resuelto este paso se continuó adaptando el código de la ecuación al código del estudio mecánico, después se creó la segunda parte de la aplicación denominada “Tabla de tendido” usando como base la programación del estudio mecánico.

La supervisión y el control de la redacción se llevaron a cabo a través de reuniones donde el tutor revisaba el estado del trabajo realizado hasta el momento, en estas reuniones se proponían cambios, dudas y servían de guía para la redacción.

La supervisión y el control de la aplicación se llevo a cabo por el autor, aunque sería más correcto llamarla, verificación y validación, ya que el proceso de obtención de datos y los propios datos era necesario comprobarlos. El proceso de verificación se inició después de la fase de diseño, cuando el programa pasó de las ideas a código en el PC, a medida que se iban añadiendo módulos y funciones al programa, éstos tenían que ser analizados para corroborar que los resultados obtenidos, por lo menos, eran coherentes, después para verificarlos se usaron dos métodos:

- Informes suministrados por mi tutor, estos informes son los utilizados por REE para los trabajos que están realizando. Las diferencias entre los resultados de estos informes y los que proporciona la aplicación son insignificantes, hay que decir que la velocidad del viento para la hipótesis de tracción máxima por viento que toma REE es de 140 km/h y para la hipótesis de flecha máxima debida al viento es de 120 km/h, mientras que la velocidad que toma la aplicación para estas dos hipótesis es siempre la misma. En cuanto a las cifras hay algunas diferencias en los últimos decimales solo en algunos casos, en otros son exactamente iguales.

- Calculadora científica *Casio fx-570 ES* que incorpora la función *Solve*, que permite resolver ecuaciones con el método de Newton-Raphson que es el mismo que utiliza la aplicación.

El proceso de verificación es un proceso intermedio, para comprobar realmente que la aplicación funciona se inició el proceso de validación, para ello se tomaron varios estudios y tablas de tendido de proyectos reales, ya comprobados, y se compararon con los informes que generaba la aplicación y la conclusión a la que se llegó es que la aplicación funciona sin errores.

El cierre del proyecto se produce cuando se pone en servicio y se traspasan las obligaciones, para el caso de la redacción esta etapa corresponde con la defensa del proyecto ante un tribunal, en el caso de la aplicación, como el objetivo de la aplicación no era la venta, se considera cierre la finalización del proceso de validación, comentado anteriormente.

Cronograma:

Tarea 1: Planificación de la redacción:

- Comparar las hipótesis del RLAT actual (19-03-2008) con el anterior.
- Buscar un proyecto de una línea eléctrica.
- Conseguir información sobre los sectores del transporte y la distribución de energía eléctrica.

Tarea 2: Planificación de la aplicación.

- Proceso de aprendizaje.
- Buscar características de conductores.
- Programar la ecuación del cambio de estado en lenguaje VBA.

Tarea 3: Programación:

- Diseñar y programar la aplicación “Estudio Mecánico De Conductores”.

Tarea 4: Programación y revisión:

- Diseñar y programar la aplicación “Tabla De Tendido”.
- Revisión de la aplicación “Estudio Mecánico De Conductores” y “Tabla De Tendido”.

Tarea 5: Redacción del PFC:

- Redacción del PFC.
- Supervisión de la redacción del PFC.

Tarea 6: Validación:

- Validación de la aplicación “Estudio Mecánico De Conductores”.
- Validación de la aplicación “Tabla De Tendido”.

7.- Presupuesto:

Formación	150 €
Horas de trabajo	
176 días x 6 horas/día x 30 €/hora	31680 €
Licencias	250 €
<u>Total</u>	<u>32080 €</u>

8.- Anexos

8. 1.- Cálculo mecánico de conductores:

Cálculo mecánico de conductores

Conductor	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Peso (kg/m)	Mód. Elást (kg/mm ²)	Coef. De Dilat (1/°C)	Carga De Rotura (kg)
Condor AW	27,72	454,5	1,457	6700	0,0000195	13200

Hipótesis inicial				
Zona	Vano (m)	Temperatura (°C)	Resultante (kg/m)	Tracción (kg)
Zona B	500	15	1,457	2508

Cond. Climáticas		
Espesor del manguito (mm)	Vel. viento (km/h)	Vel. viento h+v (km/h)
10,52	120	60

Hipótesis finales				
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrec. hielo (kg/m)	Sobrec. viento (kg/m)	Resultante (kg/m)
Tracción máx. viento	-10	---	1,386	2,011
Tracción máx. hielo	-15	0,948	---	2,405
Tracción máx. hielo + viento	-15	0,948	0,610	2,481
E.D.S.	15	---	---	1,457
Flecha máx. viento	15	---	1,386	2,011
Flecha máx. temperatura	50	---	---	1,457
Flecha máx. temp. (cat. esp)	85	---	---	1,457
Flecha máx. hielo	0	0,948	---	2,405

Cálculo mecánico de conductores

Resultados				
Hipótesis	Tracción (kg)	Flecha (m)	Coef. De Seguridad	Parámetro (m)
Tracción máx. viento	3537,6	17,76	3,73	1759,1
Tracción máx. hielo	4164,2	18,05	3,17	1731,5
Tracción máx. hielo + viento	4273,8	18,14	3,09	1722,6
E.D.S.	2508,0	18,15	5,26	1721,3
Flecha máx. viento	3335,2	18,84	3,96	1658,5
Flecha máx. temperatura	2312,8	19,69	5,71	1587,4
Flecha máx. temp. (cat. esp)	2154,4	21,13	6,13	1478,6
Flecha máx. hielo	4024,0	18,68	3,28	1673,2

8. 2.- Tabla de tendido:

Tabla de Tendido

Conductor	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Peso (kg/m)	Mód. Elástico (kg/mm ²)	Coef. De Dilatación (1/°C)	Carga De Rotura (kg)
Condor AW	27,72	454,5	1,457	6700	0,0000195	13200

Tense admisible				Zona
E.D.S. (%)	E.D.S. (kg)	Tracción (%)	Tracción (kg)	
19	2508	40	5280	Zona B

Condiciones iniciales				
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga hielo (kg/m)	Sobrecarga viento (kg/m)	Resultante (kg/m)
E.D.S.	15	---	---	1,457
Tracción máxima viento	-10	---	1,386	2,011
Tracción máxima hielo	-15	0,948	---	2,405

Condiciones finales
Resultante (kg/m)
1.457

Tabla de Tendido

Vano	Temperatura (°C)								
	0			5			10		
	Tracción (kg)	Flecha (m)	Parámetro (m)	Tracción (kg)	Flecha (m)	Parámetro (m)	Tracción (kg)	Flecha (m)	Parámetro (m)
100	3229	0,56	2216	2977	0,61	2044	2736	0,67	1878
110	3199	0,69	2196	2957	0,75	2029	2726	0,81	1871
120	3168	0,83	2175	2935	0,89	2015	2715	0,97	1863
130	3137	0,98	2153	2914	1,06	2000	2704	1,14	1856
140	3106	1,15	2132	2893	1,23	1986	2693	1,33	1849
150	3076	1,33	2111	2873	1,43	1972	2683	1,53	1842
160	3046	1,53	2090	2853	1,63	1958	2673	1,74	1835
170	3017	1,74	2070	2834	1,86	1945	2664	1,98	1828
180	2988	1,97	2051	2815	2,1	1932	2655	2,22	1822
190	2962	2,22	2033	2798	2,35	1920	2647	2,48	1817
200	2936	2,48	2015	2782	2,62	1909	2639	2,76	1811

NOTA: El informe que genera la aplicación no tiene este aspecto, la tabla de tendido hay que tratarla para que aparezca así. La primera hoja si esta copiada directamente del informe de la aplicación.

8. 3.- Catenarias:

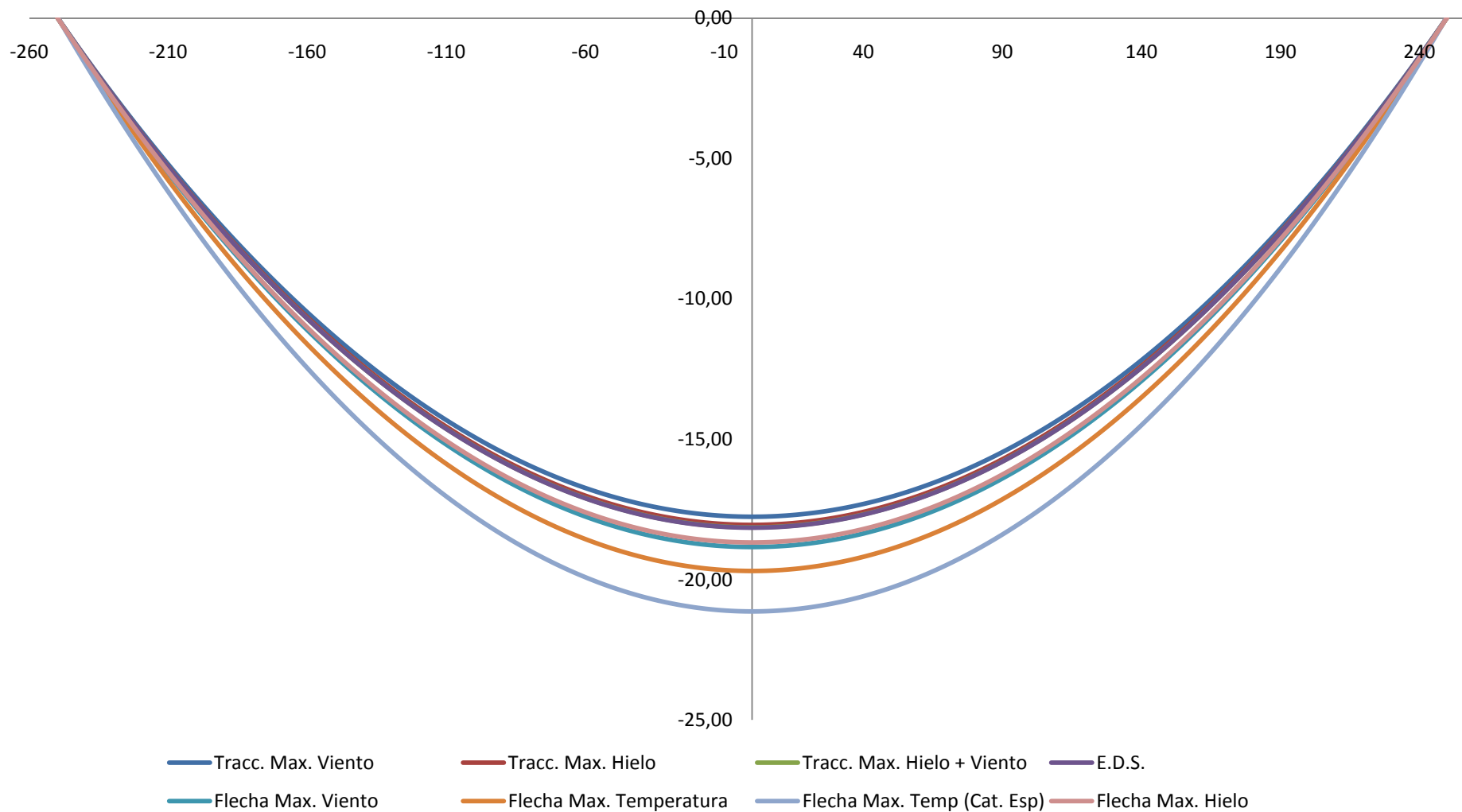


Figura9: Catenarias descritas por la línea aérea del Anexo 6.1

Programa informático para el cálculo mecánico de conductores y cálculo de tablas de tendido de líneas aéreas de energía eléctrica y su aplicación para el diseño de líneas aéreas

9.- Conclusión:

Este proyecto ha resultado ser, más que un trámite a superar para obtener el título, una preparación previa a la próxima etapa de mi vida. Me ha servido para aprender más cosas sobre el área de las líneas eléctricas, que es por el que más interés tengo, así como procedimientos de trabajo y sobre situaciones a las que me tendré que enfrentar en una empresa, como la organización de una reunión. También me ha servido para preparar documentos técnicos.

Tengo que decir que estoy orgulloso con el trabajo que he realizado, porque partía de unos conocimientos muy básicos en cuanto a programación y con esfuerzo y también gracias a la ayuda de mis compañeros he sacado adelante un proyecto, que en mi opinión es muy válido, aunque mejorable en cuanto a apariencia y manejo de datos en la parte de la aplicación.

10.- Bibliografía:

- Moreno Clemente, J.: *“Cálculo de líneas eléctricas aéreas de alta tensión”*.
- <http://www.ree.es>.
- Reglamento de Líneas eléctricas aéreas de Alta Tensión (BOE núm. 68 - 19 Marzo 2008).
- Unión Fenosa. María Pindado. Área de Negocios Regulados de Electricidad. Distribución de Electricidad – Secretaria de Unidad.
- Iberdrola. Alberto Gago. Negocio de Redes-Dirección de Sostenibilidad-Procesos Técnicos- Apoyo a la Implantación de Procesos.
- <http://www.hcenergia.com>.
- Pérez, C.: *“Domine Excel 2007”*.
- Project Management Institute, Inc. Guía de los fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)- Cuarta Edición