

1. Proyecto de ejecución:

1.1. Memoria:

El proyecto que se define a continuación, trata sobre la distribución de una nueva red eléctrica de 20 KV de tensión con una longitud de 3 Km en zona B y zona C con un apoyo en ángulo.

Dicha línea estará ubicada en el monte Urkiola, cuyo terreno es normal.

♦ Se van a utilizar los siguientes materiales:

- ◇ Apoyos de tipo P-400-12 y P-400-18 (ver **Tabla 5**).
- ◇ La cruceta será de tipo plana BH-40 (ver **Tabla 4**).
- ◇ El cable será de tipo LA-30 (ver **Tabla 1**).

♦ La duración de ejecución de dicha red está prevista en dos fases:

- ◇ Fase 1: 1mes Colocación de materiales a utilizar en la zona de instalación.
- ◇ Fase 2: 2meses Instalación de los componentes de dicha red eléctrica.

Por consiguiente la duración de ejecución estimada es de 3 meses, dependiendo de las condiciones climáticas que se den.

Los cálculos que se detallan a continuación están totalmente de acuerdo con el ministerio de industria.

La bibliografía consultada es la siguiente:

- Ed. ITP Paraninfo.
- Internet.
- Fotocopias suministradas por el profesor.

• **DEFINICIONES:**

♦ **Cálculos eléctricos:**

◇ ***Reactancia media por Km:***

$$Dm = \sqrt[3]{(D1^2 \cdot D2 \cdot D3)} \text{ [mm]}$$

$$Dm = \sqrt[3]{(2^2 \cdot 4)}$$

$$Dm = \sqrt[3]{2^2 \cdot 4} = 2.52 \text{ m} = 2520 \text{ mm}$$

$$Mk = [(K + 4.605 \cdot (\log(2 \cdot Dm/d))) \cdot 10^{-4}] \text{ [H/Km]}$$

$$Mk = [(0.64 + 4.605 \cdot (\log(2 \cdot 2520/7.14))) \cdot 10^{-4}]$$

$$Mk = 0.0014 \text{ H/Km}$$

◇ ***Impedancia de línea por Km:***

$$Z_k = R_k + jX_k$$

$$X_k = w \cdot M_k = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot M_k = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0.0014$$

$$X_k = 0.44 \text{ /Km}$$

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} \text{ [/Km]}$$

$$Z_k = \sqrt{1.0749^2 + 0.44^2}$$

$$Z_k = 1.161 \text{ /Km}$$

$$I = S / (\sqrt{3}) \cdot V \text{ [A]}$$

$$I = 630000 / (\sqrt{3}) \cdot 20000$$

$$I = 18.18 \text{ A}$$

$$V = \sqrt{3} \cdot (I \cdot L \cdot (R \cos \phi + X \sin \phi)) \text{ [V]}$$

$$V = \sqrt{3} \cdot (18.18 \cdot 3 \cdot (1.0749 \cdot 0.8 + 0.44 \cdot 0.6))$$

$$V = 106.2 \text{ V}$$

LEYENDA:

X_k Reactancia [/Km]

f Frecuencia [Hz]

D_m Separación media geométrica entre conductores [mm]

$d\emptyset$ del conductor [mm]

K Constante: Conductores masivos 0.5

Conductores cableados (7)=0.64; (37)=0.53

Z_k Impedancia de la línea [/Km]

R_k Resistencia de la línea [/Km]

X_k Reactancia de la línea [/Km]

– *Caida de tensión:*

$$V\% = 106.2 \cdot 100 / 20000 \quad \underline{V\% = 0.531 \text{ V} < 5\%}$$

La caída de tensión máxima no debe exceder del 5%.

CARACTERÍSTICAS	DESIGNACIÓN	LA-30

Sección aluminio, mm².	26.7
Sección acero, mm².	4.4
Sección total, mm².	31.1
Resistencia eléctrica a 20°C, /Km.	1.0749
Composición alambres aluminio + acero.	6+1
Diámetro aparente del cable mm.	7.14
Carga mínima de rotura Kp.	1010
Módulo de elasticidad Kp/mm².	8100
Coefficiente de dilatación °C-1.	19.1*10-6
Peso Kp/Km.	107.9

Tabla 1

CONDICIONES	ZONA B		ZONA C		
MÁXIMA Tensión	Tª	SOBRECARGA	Tª	SOBRECARGA	
		-15°C	Hielo	-20°C	Hielo

Tabla 2

CONDICIONES	ZONA B		ZONA C		
FLECHA MÁXIMA	Tª	SOBRECARGA	Tª	SOBRECARGA	
		0°C	Hielo	0°C	Hielo
		15°C	Viento	15°C	Viento
		50°C	Ninguna	50°C	Ninguna

Tabla 3

♦ Cálculo mecánico de cables:

◇ *Ecuación cambio de condiciones:*

$$l_1 - l_2 = [(a^3 \cdot p_1^2) / (24 \cdot T_1^2) - (a^3 \cdot p_2^2) / (24 \cdot T_2^2)]$$

La variación de longitud es debida a los efectos de la dilatación debida a la diferencia de temperaturas y diferencia de tensiones mecánicas debidas a la elasticidad del cable.

$$l_1 - l_2 = [(a \cdot (-))]$$

Coefficiente de dilatación lineal [°C-1]

$$l_1 - l_2 = [(a / (s \cdot E)) \cdot (-)]$$

EMódulo de elasticidad del cable [Kp/mm²]

sSección del cable [mm²]

$$[(a^3 \cdot p_1^2)/(24 \cdot T_1^2) - (a^3 \cdot p_2^2)/(24 \cdot T_2^2)] = [(a^3 \cdot (T_1 - T_2)) + (a^3 \cdot E) \cdot (T_1 - T_2)]$$

SIMPLIFICADO:

$$T_2^2 \cdot (T_2 + A) = B \text{ nuevas condiciones}$$

$$A = [(s \cdot E \cdot a^2 \cdot p_1^2)/(24 \cdot T_1^2)] - (T_1^2) - [s \cdot E \cdot (T_1 - T_2)]$$

$$B = [(s \cdot E \cdot a^2 \cdot p_2^2)/24]$$

T1Tensión inicial [Kp]

T2Tensión final [Kp]

Temperatura inicial [°C]

Temperatura final [°C]

p1Carga mecánica inicial [Kp/m]

p2Carga mecánica final [Kp/m]

aVano [m]

sSección del conductor [mm²]

EMódulo de elasticidad [Kp/mm²]

Coeficiente de dilatación [°C⁻¹]

◇ Cálculo de la flecha:

A B

f

fig. 1

$$f = [(p \cdot a^2)/(8 \cdot T)]$$

pPeso del conductor [Kp/m]

aVano [m]

TTensión horizontal [Kp]

fFlecha [m]

$$l=[(a+((8*f^2)/(3*a)))]=[(a+((a^3*p^2)/(24*T)))]$$

Longitud del cable [m]

Son válidas solo para vanos menores a 300m y con apoyos con desnivel menor del 10%.

Para los que no cumplan la condición de arriba:

$$f=[p*a*b]/(8*T)$$

a

B

f

A

fig. 2

bDistancia entre apoyos

• **Presiones debidas al hielo:**

Sobrecarga del hielo:

- **ZONA B:** 500m÷1000m
- **ZONA C:** >1000m

$$Ph=K*d \text{ [Kp/m]}$$

Kcte; ZONA B=0.18, ZONA C=0.36

dØ del cable [mm]

P

$$Pt=P+Ph \text{ [Kp/m]}$$

Ph

fig. 3

• **Presiones debidas al viento:** Supone un viento de 120Km/h.

Cable de diámetro inferior a 16 mm, 60Kp.

Sobrecarga del viento:

$$PT="P^2+ Pv^2 \text{ [Kp/m]}$$

$$Pv=pv*d \text{ [Kp/m]}$$

p_v Presión del viento [Kp/m]

$d\varnothing$ del cable [m]

P_v Sobrecarga del viento [Kp/m]

P_v

P_{PT}

fig. 4

◇ *Cálculo de apoyos:*

Se va a dimensionar una línea que va a estar constituida por 31 apoyos, de los cuales uno va a ser un apoyo en ángulo que estará situado en la ZONA B y otros dos de ellos van a ser unos apoyos de fin de línea que estarán situados al principio y al final de la línea aérea, todos ellos contarán con cruceta tipo plana BH-40 cuyas dimensiones son las siguientes:

Dimensiones de la cruceta

Designación	L1(m)	B(m)
BH-40	4.00	1.20

Tabla 4

$$h_e = [(H_t/15) + 0.5]$$

Apoyos de alineación

- Esfuerzos transversales: es el esfuerzo perpendicular a la dirección de la línea que el apoyo soporta debido a la acción del viento sobre los conductores, aisladores y sobre el propio apoyo.
- Eolovano es la semisuma de las longitudes a_1 y a_2 de los vanos que concurren en el apoyo.

$$a_e = \frac{1}{2} * (a_1 + a_2)$$

$$a_e = E_{olovano}(m)$$

a_1 a_2

fig. 5

El esfuerzo en la punta despreciando la acción del viento sobre los aisladores y cruceta.

$$F_v = p_v * a_e * d$$

F_v Fuerza del viento [Kp]

p_v Presión del viento [Kp/m²]

a_e Eolovano [m]

$d\emptyset$ [m]

$$F_t = [(F_v * (2h_1 + h_2)) / H]$$

$$F_t * H = [(2F_v * h_1) + (F_v * h_2)]$$

F_v

F_v F_t F_v

h_2 h_1 H

fig. 6

◆ Esfuerzo longitudinal:

$$F_l = [(8 * T_{max} * (2 * h_1 + h_2)) / (100 * H)]$$

Apoyos de ángulo

P_v P_v

$/2$ a_2 T_{max}

$/2$ $/2$

F

a_1

fig. 7

$$F = [(2 * T_{max} * (\cos \theta / 2))]$$

F Esfuerzo resultante en el apoyo [Kp]

T_{max} Tensión máxima según hipótesis considerada [Kp]

Ángulo que forman los vanos que concurren en el apoyo.

La fuerza máxima horizontal que soportará el apoyo será:

• Esfuerzo transversal:

$$F_v = [(p_v * \frac{1}{2} (a_1 + a_2) * d * \sin \theta / 2)] = [(p_v * a_e * d * \sin \theta / 2)]$$

$$F_t = [((2 * T_{max} * \cos \theta / 2) + (p_v * a_e * d * \sin \theta / 2))]$$

$$F * H = [((f_1 * h_1) + (f_2 * h_2) + (f_3 * h_3))]$$

fig. 8

- Esfuerzo longitudinal:

$$Fl = [(8 \cdot T_{max} \cdot 3 \cdot h) / (100 \cdot H)]$$

$$Fl = [(8 \cdot (T_{max} \cdot h_1) + (T_{max} \cdot h_2) + (T_{max} \cdot h_3)) / (100 \cdot H)]$$

Apoyos de fin de línea

- Esfuerzo transversal:

Es el mismo que en el apoyo en alineación teniendo en cuenta que el viento solo actúa sobre uno de los semivanos.

$$ae = \frac{1}{2} \cdot a_1$$

- Esfuerzo longitudinal:

$$Fl = [(T_{max} \cdot 3h) / (H)]$$

◊ **Cálculo de la longitud de cable a utilizar:**

Este cálculo se realizará con la ecuación cambio de condiciones anteriormente definida en el correspondiente apartado.

$$L = [a \cdot (1 + ((a \cdot p^2) / (24 \cdot T^2)))]$$

a Vano [m]

p Peso del conductor [Kp/m]

T Tense del cable [Kp] 25° C

Propio peso del cable

***Nota:** El número de vanos a utilizar viene definido por los cálculos abajo indicados.

1.1.2. CÁLCULOS:

Flecha con tensión máxima:

$$= -15^\circ\text{C}$$

p1 = Hielo

$$T1 = T_{max} / 3$$

$$T1 = 1010 / 3 = 336.67 \text{ Kp}$$

$$f = (0.1079 \cdot 100^2) / (8 \cdot 336.67) = 0.4 \text{ m}$$

ZONA B

Flecha con cambio de condiciones:

Condición 1

$$=-15^{\circ}\text{C}$$

p1=Hielo

$$T1=336.67\text{Kp}$$

p2=Hielo

$$=0^{\circ}\text{C}$$

Sobrecarga debida al hielo:

$$Ph=0.18 \cdot 7.14=0.481\text{Kp/m}$$

$$Pt=0.1079+0.481=0.5889\text{Kp/m}$$

$$A=[(31.1 \cdot 8100 \cdot 100^2 \cdot 0.5889^2)/(24 \cdot 336.67^2)]-(336.67)-$$

$$[((19.1 \cdot 10^{-6}) \cdot 31.1 \cdot 8100 \cdot (-15-0))]$$

$$A=56.65$$

$$B=[(31.1 \cdot 8100 \cdot 100^2)/24]$$

$$B=36401333$$

$$313.5^2(313.5+56.65)=36401333$$

$$f1=[(0.1079 \cdot 100^2 \cdot 0.5889^2)/(8 \cdot 313.5)]$$

$$f1=0.43\text{m}$$

Condición 2

$$=-15^{\circ}\text{C}$$

p1=Hielo

$$T1=336.67\text{Kp}$$

p2=Viento

$$=15^{\circ}\text{C}$$

Sobrecarga debida al viento:

$$Pv=60 \cdot 0.00714=0.43\text{Kp/m}$$

$$PT=(0.1079^2+0.43^2)=0.44\text{Kp/m}$$

$$A=[(31.1*8100*100^2*0.5889^2)/(24*336.67^2)]-(336.67)-$$

$$[((19.1*10^{-6})*31.1*8100*(-15-15))]$$

$$A=128.82$$

$$B=[(31.1*8100*100^2*0.44^2)/24]$$

$$B=203200740$$

$$236^2(236+128.82)=20320740$$

$$f2=[(0.1079*100^2)/(8*236)]$$

$$f2=0.57\text{m}$$

Condición 3

$$=-15^{\circ}\text{C}$$

p1=Hielo

$$T1=336.67\text{Kp}$$

$$p2=\text{Propio peso del cable}=0.1079\text{Kp/m}$$

$$=50^{\circ}\text{C}$$

$$A=[(31.1*8100*100^2*0.5889^2)/(24*336.67^2)]-(336.67)-$$

$$[((19.1*10^{-6})*31.1*8100*(-15-50))]$$

$$A=297.23$$

$$B=[(31.1*8100*100^2*0.1079^2)/24]$$

$$B=1222016$$

$$58.5^2(58.5+297.23)=1222016$$

$$f3=[(0.1079*100^2)/(8*58.5)]$$

$$f3=2.3\text{m}$$

ZONA C

Flecha con cambio de condiciones:

Condición 1

$$=-20^{\circ}\text{C}$$

$$p_1=\text{Hielo}$$

$$T_1=336.67\text{Kp}$$

$$p_2=0^{\circ}\text{C}$$

$$=\text{Hielo}$$

$$P_h=0.36 \cdot 7.14=0.962\text{Kp/m}$$

$$P_t=0.1079+0.962=1.07\text{Kp/m}$$

$$A=[(31.1 \cdot 8100 \cdot 100^2 \cdot 1.07^2)/(24 \cdot 336.67^2)]-(336.67)-$$

$$[((19.1 \cdot 10^{-6}) \cdot 31.1 \cdot 8100 \cdot (-20-0))]$$

$$A=820$$

$$B=[(31.1 \cdot 8100 \cdot 100^2 \cdot 1.07^2)/24]$$

$$B=120171566$$

$$324^2(324+820)=120171566$$

$$f_1=[(0.1079 \cdot 100^2)/(8 \cdot 324)]$$

$$f_1=0.42\text{m}$$

Condición 2

$$=-20^{\circ}\text{C}$$

$$p_1=\text{Hielo}$$

$$T_1=336.67\text{Kp}$$

$$p_2=15^{\circ}\text{C}$$

$$=\text{Viento}$$

$$P_v=60 \cdot 0.00714=0.4284\text{Kp/m}$$

$$P_t=0.1079+0.4284=0.5363\text{Kp/m}$$

$$A=[(31.1 \cdot 8100 \cdot 100^2 \cdot 0.5363^2)/(24 \cdot 336.67^2)]-(336.67)-$$

$$[((19.1 \cdot 10^{-6}) \cdot 31.1 \cdot 8100 \cdot (-20-15))]$$

$$A=98.07$$

$$B=[(31.1*8100*100^2*0.5363^2)/24]$$

$$B=30189072$$

$$282^2(282+98.07)=30189072$$

$$f2=[(0.1079*100^2)/(8*282)]$$

$$f2=0.49m$$

Condición 3

$$=-20^{\circ}C$$

p1=Hielo

$$T1=336.67Kp$$

$$p2=Ninguna=Propio\ peso\ del\ cable=0.1079Kp/m$$

$$=50^{\circ}C$$

$$A=[(31.1*8100*100^2*1.07^2)/(24*336.67^2)]-(336.67)-$$

$$[((19.1*10^{-6})*31.1*8100*(-20-50))]$$

$$A=1060$$

$$B=[(31.1*8100*100^2*0.1079^2)/24]$$

$$B=1222016$$

$$33^2(33+1060)=1222016$$

$$f3=[(0.1079*100^2)/(8*33)]$$

$$f3=4.1m$$

ZONA B

Apoyos de alineación y de ángulo cuyo cambio de dirección tiene un ángulo de 30° (ángulo de la línea 150°) con cruceta tipo BH-40 tienen vanos contiguos de 100m (ver **Tabla 4**).

Las dimensiones son para un tipo de terreno normal como se ha dicho anteriormente.

El apoyo son de tipo P-400-12 cuyas dimensiones se pueden observar en la tabla expresamente descrita anteriormente (ver **Tabla 5**).

Altura total (HT)		12	18		
P-400	<i>h</i>	1.50	1.50		
		<i>HP</i>	12.70	16.70	

		a	0.90	1.10
--	--	----------	------	------

Tabla 5

$$h_e = (12/15) + 0.5$$

$$h_e = 1.3\text{m}$$

Apoyo de alineación:

Fuerza transversal:

$$a_e = \frac{1}{2} * 100$$

$$a_e = 50\text{m}$$

$$F_v = 60 * 50 * (7.14 * 10^{-3})$$

$$F_v = 21.420\text{Kp}$$

$$F_t = [(21.420 * 3 * 11.8) / (10.5)]$$

$$F_t = 72.216\text{Kp}$$

Fuerza longitudinal:

$$F_l = [(8 * 336.67 * 3 * 11.8) / (100 * 10.5)]$$

$$F_l = 90.8\text{Kp}$$

Apoyo en ángulo:

Fuerza transversal:

$$F_v = [(60 * 50 * (7.14 * 10^{-3}) * (\sin 150/2))] = 20.690\text{Kp}$$

$$F_t = [(2 * 336.67 * (\cos 150/2) + (60 * 50 * (7.14 * 10^{-3}) * (\sin 150/2)))]$$

$$F_t = 194.96\text{Kp}$$

Fuerza longitudinal:

$$F_l = [(8 * 336.67 * 3 * 11.8) / (100 * 10.5)]$$

$$F_l = 90.8\text{Kp}$$

***NOTA:** Los apoyos de alineación serán los mismos para toda la ZONA B, es decir los cálculos efectuados en los apoyos de alineación son iguales en toda la ZONA B.

ZONA C

Apoyos de alineación con cruceta tipo BH-40 tiene vanos contiguos de 100m (ver **Tabla 4**).

Las dimensiones son para un tipo de terreno normal como se ha dicho anteriormente.

El apoyo son de tipo P-400-18 cuyas dimensiones se pueden observar en la tabla expresamente descrita anteriormente (ver **Tabla 5**).

$$h_e = (18/15) + 0.5$$

$$h_e = 1.7\text{m}$$

Apoyo de alineación:

Fuerza transversal:

$$F_t = [(21.420 \cdot 3 \cdot 18.2) / (16.5)]$$

$$F_t = 70.88\text{Kp}$$

Fuerza longitudinal:

$$F_l = [(8 \cdot 336.67 \cdot 3 \cdot 18.2) / (100 \cdot 16.5)]$$

$$F_l = 89.13\text{Kp}$$

****NOTA: Los apoyos de alineación serán los mismos para toda la ZONA C, es decir los cálculos efectuados en los apoyos de alineación son iguales en toda la ZONA C.***

Los apoyos de la ZONA B son de 12 m de altura y los apoyos de la ZONA C son de 18m de altura, tanto los de alineación como el de ángulo.

ZONA B

Longitud del cable entre apoyos:

$$A = [((31.1 \cdot 8100 \cdot 100^2 \cdot 0.5889^2) / (24 \cdot 336.67^2) - (336.67) - (19.1 \cdot 10^{-6}) \cdot 31.1 \cdot 8100 \cdot (-15 - 25))]$$

$$A = 177$$

$$B = [((31.1 \cdot 8100 \cdot 100^2 \cdot 0.1079^2) / (24))]$$

$$B = 1222016$$

$$70^2 \cdot (70 + 177) = 1222016$$

$$L = [(0.1 \cdot (1 + ((0.1 \cdot 0.1079^2) / (24 \cdot 70^2))))]$$

$$L = 100.000001\text{m} = 0.100000001\text{Km}$$

ZONA C

Longitud del cable entre apoyos:

$$A=[(((31.1*8100*100^2*1.07^2)/(24*336.67^2)-(336.67)-(19.1*10^{-6})*31.1*8100*(-20-25)))]$$

$$A=940$$

$$B=[(((31.1*8100*100^2*0.1079^2)/(24)))]$$

$$B=1222016$$

$$35^2*(35+940)=1222016$$

$$L=[(0.1*(1+((0.1*0.1079^2)/(24*35^2))))]$$

$$L=100.000004\text{m}=0.100000004\text{Km}$$

Nº de vanos totales:

Si la línea aérea mide 3Km y voy a poner apoyos cada 100m el nº de vanos es 90 porque entre apoyo y apoyo van 3 cables.

$$aT=3000\text{m}/100\text{m}=30*3=90 \text{ vanos}$$

Longitud total del cable a utilizar en la instalación:

ZONA B

$$L=100.000001\text{m}=0.100000001\text{Km}$$

$$\text{Nº de cables}=3$$

$$a=17$$

$$0.100000001*3*17=5.10000051\text{Km}$$

ZONA C

$$L=100.000004\text{m}=0.100000004\text{Km}$$

$$\text{Nº de cables}=3$$

$$a=13$$

$$0.100000004*3*13=3.900000156\text{Km}$$

$$L_t=5.10000051+3.900000156$$

$$L_t=9.000000666\text{Km}$$

• PLANOS:

--	--	--	--

NOMBRE DEL PLANO	Nº DE HOJA	Nº DE PLANO	PROGRAMA UTILIZADO PARA SU REALIZACIÓN
Curva de nivel 1 ZONA B Y C	1	1	Autocad 2000
Curva de nivel 2 ZONA B Y C	1	2	Autocad 2000
Cruceta BH-40	2	3	Autocad 2000
Apoyo P-400-12	3	4	Autocad 2000
Apoyo P-400-18	3	5	Autocad 2000
Cimentación apoyo P-400-12	4	6	Autocad 2000
Cimentación apoyo P-400-18	4	7	Autocad 2000

• **PRESUPUESTO:**

CANTIDAD	ELEMENTO	SECCIÓN (mm²)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	P.V.P. (PTAS)	P.V.P. TOTAL (PTAS)	EUROS (€)	TOTAL EUROS (€)
90	Vanos	/	/	/	/	/	/	/
9000.666m	Cable	31.1	7.14	Aluminio acero	/	/	/	/
18	Apoyo P-400-12	/	/	Metálico	/	/	/	/
13	Apoyo P-400-18	/	/	Metálico	/	/	/	/
31	Cruceta	/	/	Metálico	/	/	/	/
TOTAL+IVA 16%=//////////PTAS								
TOTAL+IVA 16%=//////////EUROS (€)								

• **PLIEGO DE CONDICIONES:**

La forma de pago de esta instalación se hará de la siguiente forma:

El 60% del presupuesto se cobrará cuando el contrato sea firmado por el interesado y lo restante se cobrará cuando se haya terminado la instalación.

Solo se permitirá la manipulación de dicha instalación a los correspondientes instaladores debido a que su mal debida manipulación es peligro de muerte.

El mantenimiento de dicha línea aérea será anual, si no se encuentra alguna anomalía en ella.

Todas estas condiciones están aplicadas por el Reglamento de Baja Tensión (RBT).

Si existe algún problema no olvide que estamos a su disposición con un servicio de 24h.

El presupuesto está reducido lo máximo posible de acuerdo a nuestras posibilidades.

Línea aérea de media tensión

12

b