

CURSO DE POSGRADO

**DISEÑO, PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE
SISTEMAS DE TRANSMICIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA**

MODULO I: CALCULO LAT 132kV

Profesor: Ing.MARIO GOS

ALUMNO:

Ing. Jorge Adrián Nocino

Setiembre de 2009

Memoria Descriptiva:

El siguiente proyecto corresponde a una línea de 132kV del tipo rural, que tiene como objetivo alimentar la futura ET " Chovet " partiendo de la "ET Firmat ". La línea de 132 kv existente y la proyectada son propiedad de la EPE de Santa Fe. Se proyecta una simple terna en disposición Triangular, que discurrirá a través de terrenos rurales y llanos desde la ET Firmat en línea recta, prácticamente sin accidentes, salvo sortear la Ruta Nacional 33. La longitud de la traza será de 27 Km. La línea será construida con postación de hormigón y conductor Al-Ac 300/50 e hilo de guardia de 50mm²,

Dado que la ET Firmat está emplazada sobre el lateral este de la ruta Nac. 33, se prevé que la Estructura Terminal posea seguridad aumentada, con el objetivo de servir de retención al cruce de la misma. Se plantean cuatro tramos con vanos de 280 metros. Superados los cuatro tramos, la traza evoluciona hacia la localidad de Chovet después de un quiebre de 27° que posibilita el acceso a la "ET Chovet ", después de discurrir 6000 metros en 21 vanos de 285 mts. La aislación a utilizar será cadena aisladores de vidrio templado tanto para suspensiones como para retenciones.

Estructuras terminales: **2**

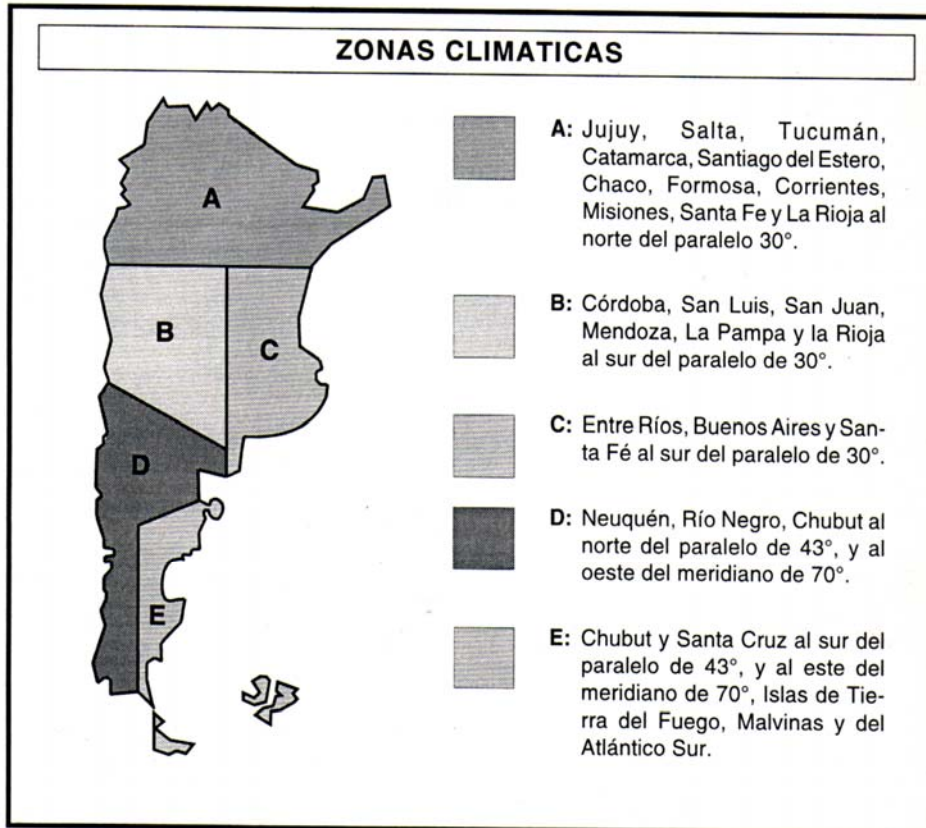
Estructuras de suspensión: **91**

Retenciones ángulo 0°: **3**

Retención angular (27°): **1**

LAT CHOJET	Entre Retenciones	Long. Vano (mts)	Cantidad Vanos	Long. Tramo(mts)	Cant. Postes Suspensión
Tramo 1	RT" Firmat" - RA 0°	280	20	5600	19
Tramo 2	RA0° - RA0°	280	20	5600	19
Tramo 3	RA0° - RA0°	280	20	5600	19
Tramo 4	RA0° - RA27°	280	15	4200	14
Tramo 5	RA27°-RT" Chovet"	285	21	6000	20
Totales			96	21000	91

Si bien la línea está emplazada en la zona climática C, se utilizarán los estados climáticos definidos por la **EPE SUR**, proporcionados por el software **CAMELIA**



Los estados atmosféricos para esta **zona EPE SUR** son los siguientes:

Estado 1:	Temp. Máx. : +45 °C	V. Viento: 0 km/h
Estado 2:	Temp. Mín. : -10 °C	V. Viento: 0 km/h
Estado 3:	Temp. : +15 °C	V. V. Máx: 140 km/h
Estado 4:	Temp. : -5 °C	V. Viento: 30 km/h
Estado 5:	T. Media Anual: +16 °C	V. Viento: 0 km/h

Datos del Conductor de energía

aluminio acero ,300/50mm², relación de alambres 26/7- Norma: IRAM 2187

Diámetro: 24,5 mm

Sección real: 353,5 mm²

Masa aproximada: 1227 Kg/Km

Carga de rotura: 10500 Kg

Módulo de elasticidad lineal: 7,7.10⁵ Kg/cm²

Coefficiente de dilatación lineal: 18,9.10⁻⁶ 1/°C

Tensión mecánica máxima: 6,5 Kg/mm² para el estado básico 5. (Se utilizará varillas preformadas)

Cable de Protección

acero 50 mm², de 19 alambres

Diámetro: 9,00 mm

Sección real: 48,26mm²

Masa aproximada: 394 Kg/Km

Carga de rotura: 5429 Kg

Módulo de elasticidad lineal: 18,5.10⁵ Kg/cm²

Coefficiente de dilatación lineal: $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$

CALCULO MECÁNICO DEL CONDUCTOR DE ENERGÍA

Operaciones efectuadas en el Software CaMeLiA:

- (*) F2 (Cálculo Mecánico del Conductor de Línea)
- (*) Normativa: 2 –EPE SUR. (Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe)
- (*) Tipo de Cálculo: 1 – Cálculo de Tiro y Flecha
- (*) Tipo de Conductor: 2 – Aluminio Acero
- (*) Conductor: L – Sección Nominal 300/50
- (*) Zona sin hielo
- (*) Zona Climática: C
- (*) Estado Climático a Modificar: F8 Continuar
- (*) Longitud del Vano (m): 280 y 285
- (*) Estado Básico: 5
- (*) Tipo de Cálculo: Tiro
- (*) Tensión Mecánica Máxima (kg/mm²): para el Estado Básico seleccionado, Temperatura Media Anual, 6,5 kg/mm²
- (*) F8 (Cálculo)

CALCULO TIRO Y FLECHA DE CONDUCTORES DE ENERGIA									
Vano de 280 mts.									
ESTADO CLIMATICO	TEMPERARURA GRADOS °C	VIENTO Km/h	HIELO mm	TENSION Kg/mm ²	TIRO Kg	FLECHA (mts)			
						TOTAL	HORIZONTAL	VERTICAL	
I	45	0	0	5.42	1916	6.28	0	6.28	
II	-10	0	0	7.93	2803	4.29	0	4.29	
III	15	140	0	9.03	3192	6.04	4.72	3.77	
IV	-5	30	0	7.02	2693	4.47	0.26	4.46	
V	16	0	0	6.50	2297	5.23	0	5.23	

- ✚ Estado Básico: V (TENSIÓN MAX. ADMISIBLE 6.50 KG7 mm²)
- ✚ Flecha Máxima: 6.28 mts. a 45°
- ✚ Tiro Máximo: 3192 Kg. (Estado III)

TABLA DE TENDIDO

TEMP C°	TENSION Kg/mm ²	TIRO Kg	FLECHA m
-10	7.93	2.803	4.29
-5	7.63	2696	4.46
0	7.37	2604	4.62
5	7.14	2524	4.76
10	6.94	2454	4.90
15	6.77	2392	5.03
20	6.61	2337	5.14
25	6.47	2288	5.25
30	6.35	2244	5.36
35	6.24	2204	5.45
40	6.13	2168	5.55
45	6.04	2135	5.63

CALCULO TIRO Y FLECHA DE CONDUCTORES DE ENERGIA Vano de 285mts.								
ESTADO CLIMATICO	TEMPERATURA GRADOS °C	VIENTO Km/h	HIELO mm	TENSION Kg/mm ²	TIRO Kg	FLECHA (mts)		
						TOTAL	HORIZONTAL	VERTICAL
I	45	0	0	5.44	1924	6.47	0	6.47
II	-10	0	0	7.89	2790	4.47	0	4.47
III	15	140	0	9.04	3194	6.23	4.86	3.90
IV	-5	30	0	7.59	2683	4.65	0.27	4.64
V	16	0	0	6.50	2297	5.42	0	5.42

- ⚡ Estado Básico: V (TENSIÓN MAX. ADMISIBLE 6.50 Kg/ mm²)
- ⚡ Flecha Máxima: 6.47 mts. a 45°
- ⚡ Tiro Máximo: 3194 Kg. (Estado III)
- ⚡ Tensión Max. Admisible 12 Kg/mm² (Estados I al IV, zona rural, VDE 0210)

TABLA DE TENDIDO

TEMP C°	TENSION Kg/mm²	TIRO Kg	FLECHA m
-10	7.89	2.790	4.47
-5	7.60	2685	4.64
0	7.34	2595	4.80
5	7.12	2517	4.95
10	6.93	2448	5.09
15	6.76	2388	5.22
20	6.60	2333	5.34
25	6.47	2285	5.45
30	6.34	2241	5.56
35	6.23	2201	5.66
40	6.13	2165	5.75
45	6.03	2132	5.84

CALCULO MECÁNICO DEL CABLE DE GUARDIA

Operaciones efectuadas en el Software CaMeLiA:

(*) F2 (Cálculo Mecánico del Conductor de Línea)

(*) Normativa: 2 – EPE. (Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe)

(*) Tipo de Cálculo: 1 – Cálculo de Tiro y Flecha

(*) Tipo de Conductor: 1– Acero

(*) Conductor: L – Sección Nominal 50

(*) Zona sin hielo

(*) Zona Climática: C

(*) Estado Climático a Modificar: F8 Continuar

(*) Longitud del Vano (m): 280 y 285

(*) Estado Básico: II - Tensión Máx. Admisible 28 Kg/mm²

(*) Tipo de Cálculo: Tiro y Flecha

(*) Flecha: 90% de la flecha del conductor de energía para el Estado Básico

Seleccionado: $0,9 \cdot 4.29 \text{ m} = 3.861 \text{ mts.}$

(*) F8 (Cálculo)

CALCULO TIRO Y FLECHA DEL CABLE DE GUARDIA									
Vano de 280mts.									
ESTADO CLIMATICO	TEMPERATURA GRADOS °C	VIENTO Km/h	HIELO mm	TENSION Kg/mm ²	TIRO Kg	FLECHA (mts)			
						TOTAL	HORIZONTAL	VERTICAL	
I	45	0	0	20.63	995	3.88	0	3.88	
II	-10	0	0	28	1351	2.86	0	2.86	
III	15	140	0	32.58	1572	4.89	4.23	2.46	
IV	-5	30	0	27.25	1315	2.94	0.23	2.94	
V	16	0	0	24.21	1168	3.31	0	3.31	

- ✚ Estado Básico: II (TENSIÓN MAX. ADMISIBLE 28 Kg/ mm²)
- ✚ Flecha Máxima: 4.89 mts. A 15°
- ✚ Tiro Máximo: 1572 Kg. (Estado III)
- ✚ Tensión Max. Admisible 28 Kg/mm² (Estado II , zona rural, VDE 0210)

VERIFICACION DE FLECHA HILO DE GUARDIA

Todas las flechas obtenidas para el cable de protección son inferiores al 90% de las del conductor de energía para el mismo estado considerado, por lo que se verifica las buenas condiciones de cálculo.

TABLA DE TENDIDO

TEMP C°	TENSION Kg/mm ²	TIRO Kg	FLECHA m
-10	28	1351	2.86
-5	27.26	1315	2.93
0	26.60	1283	3.01
5	26	1254	3.08
10	25.45	1228	3.14
15	24.96	1204	3.21
20	24.50	1182	3.27
25	24.08	1162	3.32
30	23.69	1143	3.38
35	23.33	1125	3.43
40	23.00	1109	3.48
45	22.69	1094	3.53

CALCULO TIRO Y FLECHA DEL CABLE DE GUARDIA								
Vano de 285mts.								
ESTADO CLIMATICO	TEMPERATURA GRADOS °C	VIENTO Km/h	HIELO mm	TENSION Kg/mm ²	TIRO Kg	FLECHA (mts)		
						TOTAL	HORIZONTAL	VERTICAL
I	45	0	0	20.71	999	4	0	4
II	-10	0	0	28	1351	2.96	0	2.96
III	15	140	0	32.70	1577	5.03	434	2.54
IV	-5	30	0	27.26	1315	3.05	0.24	3.04
V	16	0	0	24.24	1170	3.42	0	3.42

- ✚ Estado Básico: II (TENSION MAX. ADMISIBLE 28 Kg/ mm2)
- ✚ Flecha Máxima: 5.03 mts. A 15°
- ✚ Tiro Máximo: 1577 Kg. (Estado III)
- ✚ Tensión Max. Admisible 28 Kg/mm2 (Estado II , zona rural, VDE 0210)

VERIFICACION DE FLECHA HILO DE GUARDIA

Todas las flechas obtenidas para el cable de protección son inferiores al 90% de las del conductor de energía para el mismo estado considerado, por lo que se verifica las buenas condiciones de cálculo.

TABLA DE TENDIDO

TEMP C°	TENSION Kg/mm ²	TIRO Kg	FLECHA m
-10	28	1351	2.96
-5	27.27	1316	3.04
0	26.61	1284	3.11
5	26.02	1255	3.19
10	25.47	1229	3.25
15	24.98	1205	3.32
20	24.52	1183	3.38
25	24.11	1163	3.44
30	23.72	1144	3.49
35	23.36	1127	3.55
40	23.03	1111	3.60
45	22.72	1096	3.65

Poste de Suspensión. Diseño Geométrico

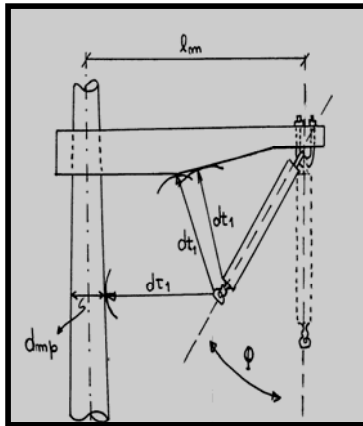
DISTANCIAS ELECTRICAS

Distancias mínimas del conductor a masas:

Se considera desde el punto extremo más comprometido de la morsa de suspensión, hasta el poste o ménsula

$$d_{i1} = \frac{U_n}{150} = \frac{132}{150}$$

$$d_{i1} = 0,88m$$



Longitud de la cadena de aisladores:

$$N^{\circ} \text{ aisladores} = \frac{U_n}{15}$$

Longitud del péndulo completo: 0,30 m

La cantidad de aisladores de la cadena, para una tensión determinada, esta dada según la ecuación arriba indicada. Para una tensión de 132 kV tendremos:

$$N^{\circ} \text{ aisladores} = \frac{132kV}{15} = 8,8 \Rightarrow 9 \text{ aisladores}$$

Por lo tanto se deben tomar 9 aisladores para cadenas de suspensión simples y, según recomendaciones de las VDE 210, se deberá sumar un aislador en las cadenas de retención.

En nuestro caso utilizaremos un aislador de vidrio templado marca FAPA 254mm±3% de diámetro y 150mm±3% de altura.

La longitud de la cadena de aisladores completa será:

$$l_c = 0,30m + (0,150m \times 9) = 1,65m$$

Distancia entre conductores en el centro del vano

$$d_c = k\sqrt{f_{\max} + l_c} + \frac{U_n}{150}$$

f_{\max} : flecha máxima (para el vano de 285 mts.) = 6,47 m

l_c : longitud de la cadena de aisladores = 1,65 m

k : coeficiente que depende de la disposición de los cables y su ángulo de inclinación con el viento (o el ángulo entre los cables en el poste). Según tabla I-5 del apunte, para un cable 300/50, un ángulo de declinación del cable entre 40,1° y 55° y en ángulo respecto de la vertical entre 0° y 30°, $k = 0,75$.

$$d_c = 0,75 \times \sqrt{6,47 + 1,65} + \frac{132}{150}$$

$$d_c = 3,01m$$

Distancia entre Ménsulas (d_m)

$$d_m = l_p + l_c + 1,26$$

$$d_m = 0,30m + 1,65m + 1,26m = 3,21m$$

$$d_m = 3,21m$$

De la comparación entre d_m y d_c adoptamos como la separación entre ménsulas el mayor valor de ambos, en este caso se toma 3,21m; garantizando así el cumplimiento de la separación de los cables en el medio del vano.

$$d_m = 3,21m$$

Definición de la Altura del poste de H°A°

Altura de la Ménsula inferior:

$$h_{mi} = h_l + f_{\max} + l_c + l_p$$

h_l : altura libre para zona rural o urbana. Tomaremos zona rural: 7m

f_{\max} : flecha máxima=6,47 m

l_c : longitud de cadena de aisladores=1,65m

l_p : longitud del péndulo=0,30m

$$h_{mi} = 7m + 6,47m + 1,65m + 0,30m$$

$$h_{mi} = 15,42m$$

Altura de la Ménsula Superior
:

$$h_{ms} = h_{mi} + d_m$$

$$h_{ms} = 15,42m + 3,21m$$

$$h_{ms} = 18,63m$$

Altura de la Ménsula Intermedia

$$h_{mm} = \frac{h_{ms} + h_{mi}}{2}$$

$$h_{mm} = \frac{18,63m + 15,42m}{2}$$

$$h_{mm} = 17,025m$$

Calculo de la Altura de los Conductores

Conductor Superior

$$h_{cs} = h_{ms} - l_c - l_p$$

$$h_{cs} = 18,63m - 1,65m - 0,30m$$

$$h_{cs} = 16,68m$$

Conductor Intermedio

$$h_{cm} = h_{mm} - l_c - l_p$$

$$h_{cm} = 17,025m - 1,65m - 0,30m$$

$$h_{cm} = 15,07m$$

Conductor Inferior

$$h_{ci} = h_{mi} - l_c - l_p$$

$$h_{ci} = 15,42m - 1,65m - 0,30m$$

$$h_{ci} = 13,47m$$

Determinación del ángulo (θ) de declinación de una cadena de aisladores de suspensión por acción del viento

$$\theta = \arctg \frac{F_{vc} + \frac{F_{va}}{2}}{G_c + \frac{G_a}{2}}$$

Donde:

F_{vc}: fuerza del viento sobre el conductor en ambos semivanos adyacentes de la estructura.

F_{va}: fuerza del viento sobre la cadena de aisladores, incluidos elementos móviles de morsetería.

G_c: peso del conductor gravante sobre la cadena de aisladores.

G_a: peso de la cadena de aisladores, incluidos elementos móviles de morsetería.

Fuerza del Viento sobre el Cable (**F_{vc}**) (En dirección del eje de las ménsulas) Para **1 metro** de conductor

$$F_{vc} = C.k.\frac{V^2}{16}.(80/a + 0,6).Dc$$

Donde:

V: velocidad del viento = 140 km/h = 38,8m/s

D_c: diámetro del conductor = 24,5 mm

a: vano = 285 m

K: factor que contempla la desigualdad del viento a o largo del vano = 0,75 (para 140 km/h según VDE 0210)

C: coeficiente aerodinámico = 1 (para conductores mayores a 15,8 mm de diámetro según VDE 0210)

$$F_{vc} = (1).(0,75).\frac{(38,88)^2}{16}.(80/285 + 0,6).(0,0245)$$

$$F_{vc} = 1.52kg$$

Fuerza del Viento sobre la Cadena de Aisladores:

Se adopta debido a la forma irregular de la cadena 1.4 kg por elemento para vientos iguales o superiores a 130 km/ hora, teniendo en cuenta además que la fuerza sobre toda la morsetería para esa velocidad del viento es de 1,4kg.

$$F_{va} = \left(1,40 \frac{kg}{aislador} \cdot 9aisladores\right) + 1,40kg$$

$$F_{va} = 14kg$$

Peso del Cable

$$G_c = 1,227 \frac{kg}{m} \times 285m$$

$$G_c = 348,46 kg$$

Peso de la Cadena de Aisladores:

El peso de cada aislador componente de la cadena incluida toda la morsetería de la cadena se estima en 5.8 Kg .

$$G_a = 5.8 \frac{kg}{aislador} \cdot 9aisladores$$

$$G_a = 52.2kg$$

Con todos estos valores estamos en condiciones de calcular la inclinación del conjunto cadena de aisladores y cable:

$$\theta = \arctg \frac{F_{vc} + \frac{F_{va}}{2}}{G_c + \frac{G_a}{2}}$$

$$\theta = \arctg \frac{285 * 1.52 + \frac{14}{2}}{348,46 + \frac{52.2}{2}}$$

$$\theta = 49.6^\circ$$

Cálculo de la longitud de la Ménsula

$$l_m = l_c \times \text{sen } \theta + d_{t1} + \frac{d_{mp}}{2} + 0,02$$

$$d_{t1}: \text{distancia mínima a masa} = \frac{Un}{150}$$

d_{mp} : diámetro medio del poste

Cálculo de d_{mp}

Considerando una carga de rotura superior a 2000 Kg, de la tabla de Tipo de Postes de Mastil SA podemos obtener el diámetro que corresponde a su cima. En nuestro caso el diámetro del poste en la cima es de 30.5 cm = 0,305 m.
Sabiendo que el aumento del diámetro es 1.5 cm*mt

$$d_{mp} = d_{cp} + c \times d_A$$

Donde:

d_{cp} : diámetro en la cima del poste

c : conicidad del poste = 1,5 cm/m

d_A : distancia desde la cima hasta posición de la ménsula inferior

Nota 1: la medida de las 3 ménsulas son iguales ya que se fabrican con el orificio del diámetro del poste a la ménsula inferior. En definitiva la longitud de la ménsula se calculara con el diámetro de la ménsula inferior dado que es el mayor valor que representa el caso más desfavorable.

Nota 2: como la h_p aún no se sabe con certeza se la supone, a efectos de cálculo, 1 metro por encima de la ménsula superior (18,63 m). Se supone este valor por ser un valor que en la experiencia se acerca a valores cercano a los definitivos.. Se predetermina un poste de 20 Mts libre

$$d_{mp} = 30.5cm + 1,5 \frac{cm}{m} \times 4.58m = 37.4$$

Adopto $d_{mp} = 0,38m$

Con d_{mp} estamos en condiciones de calcular la longitud de la ménsula, la cual será:

$$l_m = 1,65 \times \text{sen}(49.6^\circ) + \frac{132}{150} + \frac{0,38}{2} + 0,02$$

$$l_m = 1,25 + 0,88 + 0,19 + 0,02$$

$$l_m = 2,34m$$

Nota:

Como las ménsulas de hormigón armado se construyen en diferentes medidas, aumentando su longitud cada 5 cm, en nuestro caso se deberá adoptar una **ménsula de 2,40 m** de longitud.

$$l_m = 2,40m$$

Ubicación del cable de Protección- Hilo de Guardia

Dadas las dimensiones y alturas calculadas, debemos calcular la posición del cable de protección, conforme la expresión:

$$h_{cp} = \frac{1}{3} \left\{ 2 \times h_{cs} + \sqrt{3} \times (l_m - l_{mcp}) + \sqrt{h_{cs}^2 + 4 \times \sqrt{3} \times (l_m - l_{mcp}) \times h_{cs}} \right\}$$

Donde: h_{cp} : es la altura del cable de protección

h_{cs} : es la altura del cable superior

l_{mcp} : es la longitud de la ménsula del cable de protección si la hubiere.

En principio consideraremos que no tienen ménsula de hilo de guardia, de esta manera veremos cual sería la altura de cable de guardia para cubrir al conductor superior, según la ecuación:

$$h_{cp} = \frac{1}{3} \left\{ 2 \times h_{cs} + \sqrt{3} \times (l_m - l_{mcp}) + \sqrt{h_{cs}^2 + 4 \times \sqrt{3} \times (l_m - l_{mcp}) \times h_{cs}} \right\}$$

$$h_{cp} = \frac{1}{3} \left\{ 2 \times 16,68m + \sqrt{3} \times (2,40m - 0m) + \sqrt{(16,68m)^2 + 4 \times \sqrt{3} \times (2,40m - 0m) \times 16,68m} \right\}$$

$$h_{cp} = 20,36m$$

Verificación de la protección para el cable medio

$$h_{cp} = \frac{1}{3} \left\{ 2 \times h_{cm} + \sqrt{3} \times (l_m + l_{mcp}) + \sqrt{h_{cm}^2 + 4 \times \sqrt{3} \times (l_m + l_{mcp}) \times h_{cm}} \right\}$$

$$h_{cp} = \frac{1}{3} \left\{ 2 \times 15,07m + \sqrt{3} \times (2,40m + 0m) + \sqrt{(15,07m)^2 + 4 \times \sqrt{3} \times (2,40m + 0m) \times 15,07m} \right\}$$

$$h_{cp} = 20,08m$$

Es decir que si ubicamos el conducto por encima de los 20,36 mts, ambos conductores, superior y medio están protegidos

Cálculo de la altura total del poste

$$H = h_p - h_e = \frac{h_{cp} - 0,1}{0,9} = \frac{20,36 - 0,1}{0,9} = 22,51m \text{ con } h_e = \text{profundidad de empotramiento } 10\%$$

Adoptamos un poste de H= 22.50 mts.

Fuerza del Viento sobre el Cable de Protección F_{vCP}
En la dirección del eje de las ménsulas

$$F_{vCP} = K \times C \times \frac{V^2}{16} \times (80 + 0,6 \times a) \times D_{CP}$$

Donde:

C: coeficiente aerodinámico ,1,2 para diámetros \leq a 12.5 mm.

K: factor de desigualdad del viento a lo largo del vano = 0,75

V: velocidad del viento = 140 km/h

D_{CP}: diámetro del cable de protección.

$$F_{vCP} = 0,75 \times 1,2 \times \frac{(38,88)^2}{16} \times (80 + 0,6 \times 285) \times 0,009 = 189,87 \text{ kg}$$

$$F_{vCP} = 192 \text{ kg}$$

Fuerza del Viento Sobre el Conductor de Energía (F_{vc})

Ya calculado, para 285 mts.

$$F_{vc} = 433.2 \text{ kg}$$

Fuerza del Viento sobre Cadena de Aisladores (F_{va})

De lo calculado anteriormente:

$$F_{va} = 14 \text{ kg}$$

Fuerza del Viento sobre el Poste (F_{vp})

Se calcula según la siguiente ecuación: (fuerza del viento sobre el poste referida a la cima)

$$F_{vp} = C \times \frac{V^2}{16} \times \frac{1}{6} \times h_p \times (2 \times d_0 + d_b)$$

C: coeficiente aerodinámico (tabla VDE 0210/12.85) = 0,7

V: velocidad del viento = 140 km/h

h_p=altura libre del poste **20.5 Mts.** (**h_e = 2 M_{ts.}**)

d₀=diámetro en la cima. 0.305 mts.

d_b=diámetro en la base

$$d_b = 30.5 \text{ cm} + 1,5 \frac{\text{cm}}{\text{m}} \times 20.5 \text{ m} = 61.25 \text{ cm} = 0,612 \text{ mts.}$$

$$F_{vp} = 0,7 \times \frac{(38,88)^2}{16} \times \frac{1}{6} \times 20.5 \times (2 \times 0,305 + 0,612)$$

$$F_{vp} = 276,12 k\vec{g}$$

Fuerza del Viento sobre la Ménsula (F_{vm})
(viento actuando normal al conductor)

$$F_{vm} = C \times \frac{V^2}{16} \times S_m$$

C: coeficiente aerodinámico (tabla VDE 0210/12.85) = 1.4

S_m: sección de la ménsula expuesta a la fuerza del viento

$$S_m = 2 \times (0,07 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}) = 0,035 \text{ m}^2$$

$$F_{vm} = 1,4 \times \frac{(38,88)^2}{16} \times 0,035 = 4,6 k\vec{g}$$

$$F_{vm} = 4,6 k\vec{g}$$

Peso del Conductor de Energía
Ya calculado :

$$G_c = 348,46 k\vec{g}$$

Peso del Cable de Protección

$$G_{cp} = a \times g_{cp} = 285 \text{ m} \times 0,394 \frac{kg}{m} = 112,29 \text{ kg}$$

$$G_{CP} = 112,29 kg$$

Peso de la Cadena de Aisladores
Ya calculado:

$$G_a = 52,2 k\vec{g}$$

Peso de la Ménsula del Conductor de Energía (G_m)

Considerando que el volumen aproximado es de $0,17 \text{ m}^3$, y teniendo en cuenta la densidad del hormigón armado (2200 kg/m^3) su peso será:

$$G_m = 2200 \frac{kg}{m^3} \times 0,17 m^3 = 374,4 kg$$

$$G_m = 374,4 kg$$

Cálculo del Tiro en la Cima

Para el cálculo del tiro en la cima del poste de suspensión, se comenzará calculando la hipótesis normal, luego se verificara para la hipótesis extraordinaria. De las hipótesis normales se elije la que se considera que provoca las solicitaciones máximas. Las cargas se consideran que actuan simultaneamente. Se entiende como *cargas permanente* al peso de los conductores aisladores y accesorios

Hipótesis Normales

FN. 1

- 1 Cargas Permanentes.
- 2 Cargas Adicionales. (si existiesen)
- 3 Cargas del viento máximo en dirección del eje de los travesaños (mensuras y/o crucetas) sobre el poste, los elementos de cabecera y sobre cables de las semilongitudes adyacentes.

FN. 2

- 1 Cargas Permanentes
- 2 Cargas del viento máximo en dirección perpendicular al eje de los travesaños (mensuras y/o crucetas) sobre el poste, los elementos de cabecera.

FN. 3

- 1 Cargas Permanentes
- 2 Cargas del viento máximo en dirección oblicua sobre el poste, los elementos de cabecera y la proyección de los cables.

FN. 4

- a. Cargas Permanentes
- b. Cargas Adicionales. (si existiesen)
- c. Cargas del viento del estado que contempla manguito de hielo, en la dirección del eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre poste, los elementos de cabecera y los cables.

La hipótesis normal considerada para el cálculo se selecciona en función de la condición más desfavorable, a saber:

FN. 2: se desprecia porque el viento actuando longitudinalmente a la línea provoca un esfuerzo despreciable comparado con la FN1

FN. 3: se desprecia ya que esta hipótesis de carga se utiliza para postes de sección cuadrada o rectangular

FN. 4: se desprecia ya que en nuestros estados climáticos no existe hielo.

Conclusión: se utilizará la **FN. 1** por ser la hipótesis de mayor solicitación sobre el poste, cables y accesorios.

Cálculo del Tiro en la Cima para **FN. 1**

- 1 Cargas Permanentes
 - a. Peso de la ménsula, de los aisladores, de la morsetería y del conductor de energía.
 - b. Peso del poste (no se tiene en cuenta en los cálculos de momento)
 - c. Peso del conductor de protección.

Datos:

- G_m : peso de la ménsula = 374.4 kg
- G_a : peso de la cadena de aisladores = 52.2 kg
- G_c : peso del conductor = 348,46kg
- G_{cp} : peso del cable de protección = 112.3 kg
- h_p : altura libre del poste (sin empotramiento) = 20.5 m
- l_m : longitud de la ménsula = 2,40m

El Tiro en la Cima (T_{cp}) debido a las cargas permanentes; por traslación de momentos, se obtiene con la siguiente expresión:

$$T_{cp} = \frac{(G_a + G_c) \times l_m + G_m \times \frac{l_m}{3}}{h_p}$$

$$T_{cp} = \frac{(52.2 + 348.46) \times 2.4 + 374.4 \times \frac{2.4}{3}}{20.5}$$

$$T_{cp} = 61,5k\bar{g}$$

2 Cargas Adicionales (no existen)

3 Cargas del Viento Máximo (estado III)

- a. Fuerza del viento sobre la ménsula $F_{vm} = 4,6$ kg
- b. Fuerza del viento sobre la cadena de aisladores $F_{va} = 14$ kg
- c. Fuerza del viento sobre el cable de protección $F_{vcp} = 192$ kg
- d. Fuerza del viento sobre el conductor $F_{vc} = 433,2$ kg
- e. Fuerza del viento sobre el poste $F_{vp} = 276.2$ kg

El Tiro en la Cima (T_{cv}) debido a las cargas del viento, por traslación de momentos, se obtiene con la siguiente expresión:

$$T_{cv} = F_{vp} + \frac{F_{vm} \times (h_{ms} + h_{mm} + h_{mi}) + F_{CP} \times h_{CP} + \frac{F_{vc} \times (h_{cs} + h_{cm} + h_{ci})}{h_p} + \frac{F_{va} \times \left[\left(h_{ms} - \frac{l_c}{2} \right) + \left(h_{mm} - \frac{l_c}{2} \right) + \left(h_{mi} - \frac{l_c}{2} \right) \right]}{h_p}$$

$$T_{cv} = 276,2 + \frac{4,6 \times (18,63 + 17,02 + 15,42) + 192 \times 20,6}{20,5} + \frac{433,2 \times (16,68 + 15,02 + 13,47)}{20,5} + \frac{14 \times \left[\left(18,63 - \frac{1,65}{2}\right) + \left(17,02 - \frac{1,65}{2}\right) + \left(15,42 - \frac{1,65}{2}\right) \right]}{20,5} =$$

$$T_{cv} = 1209,37 \vec{k}g$$

El tiro total en la cima para la hipótesis normal, teniendo en cuenta las cargas permanentes y las cargas debido al viento, vale:

$$T_{cFN} = T_{cp} + T_{cv} = 61,5 \text{kg} + 1209,37 \text{kg}$$

$$T_{cFN1} = 1270,87 \vec{k}g$$

Se selecciona el poste inmediato superior al valor obtenido en el cálculo. En nuestro caso será un poste de **1300 kg** de tiro en la cima.

Teniendo en cuenta un coeficiente de seguridad de 2,5 para la hipótesis normal y recordando que el tiro en la cima de poste es de 1600kg, la carga de rotura es:

$$C_{rot} = 2,5 \times 1300 \vec{k}g = 3250 \vec{k}g$$

Entonces nuestro poste es : **1300/22.5/2.5**

Debemos verificarlo a través de la hipótesis excepcional.

Hipótesis Excepcionales

FE. 1

1. Cargas Permanentes
2. Cargas Adicionales
3. El 50% del tiro máximo de un cable de transporte de energía (aquel que provoque la solicitud más desfavorable) o 65% del tiro máximo del cable de protección, por reducción unilateral del tiro del cable respectivo en el vano adyacente.

FE. 2

1. Cargas Permanentes
2. Cargas Adicionales
3. El 20% de los tiros en el Estado que contempla manguito de hielo, unilaterales de todos los cables de transporte de energía más el 40% del tiro unilateral del cable de protección, considerando que existe carga desigual del hielo en los vanos contiguos.

La hipótesis excepcional considerada para el cálculo se selecciona en función de la condición más desfavorable.

FE. 2: se desprecia ya que en nuestros estados climáticos no existe hielo.

Cálculo del Tiro en la Cima para FNE. 1

1. Cargas permanentes:

Ídem **FN.1** $T_{cp} = 61,5k\vec{g}$

2. Cargas adicionales: (no se consideran)

3. El 50% del tiro máximo de un cable de transporte de energía (por cálculos preliminares se comprueba que este es caso es el que provoca la solicitud más desfavorable):

En este caso la solicitud más desfavorable la produce el corte del cable superior. Éste producirá un momento flexotorsor sobre la ménsula,

Cálculo del Momento Flexotorsor debido a las cargas producidas por el corte del conductor superior

Según lo especificado en el ítem 3. de la hipótesis excepcional; se tomará el 50% del tiro máximo en la cima:

T_{max} : tiro máximo en la cima = 3194 kg (dato obtenido del software Camelia)

$T_{50\%}$: 50% del tiro máximo en la cima = 1597 kg

El Momento Torsor provocado por $T_{50\%}$ será:

$$M_t = T_{50\%} \times l_m = 1597kg \times 2,40m = 3832,8kgm$$

$$M_t = 3832,8k\vec{g}m$$

El Momento Flector provocado por $T_{50\%}$ será:

$$M_f = T_{50\%} \times h_{ms} = 1597kg \times 1,863m = 29752kgm$$

$$M_f = 29752 k\vec{g}m$$

El Momento Flexotorsor Resultante (según fórmula de Rankine) será:

$$M = \frac{1}{2} \left\{ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right\}$$

$$M = \frac{1}{2} \left\{ 29752 + \sqrt{29752^2 + 3832,8^2} \right\}$$

$$M = 29875 k\vec{g}m$$

Entonces el esfuerzo en la cima será

$$T = \frac{29875k\vec{g}m}{20,5m} = 1457k\vec{g}m$$

$$T = 1457 \text{ k}\bar{g}m$$

El tiro total en la cima para la hipótesis excepcional será:

$$T_{cex} = T + T_{cp}$$

$$T_{cex} = 1457 \text{ k}\bar{g} + 61,5 \text{ k}\bar{g}$$

$$T_{cex} = 1518,5 \text{ k}\bar{g}$$

Verificación del Poste para La Hipótesis Excepcional

Se debe cumplir que:

$$\frac{C_{rot}}{T_{cex}} \geq 2$$

Donde:

C_{rot}: carga de rotura del poste seleccionado

T_{cex}: tiro en la cima para la hipótesis excepcional

2: coeficiente de seguridad para la hipótesis excepcional.

:

$$\frac{3250 \text{ kg}}{1518,5 \text{ kg}} = 2,1 \geq 2 \quad \Leftrightarrow \quad \text{verifica}$$

Conclusión:

Según los cálculos realizados, el poste de **1300 kg** de tiro en la cima verifica tanto para la hipótesis normal como para la hipótesis excepcional. Por lo tanto la estructura del poste de suspensión se especifica en:

22.5/1300/2.5

Poste de Retención Angular 0°. Cálculo Mecánico.

Consideraciones particulares:

Los postes serán dispuestos en el sentido longitudinal de la línea. Las ménsulas de los conductores de los postes de retención que analizaremos serán desplazadas “hacia abajo” 1,65 metros (que corresponde a la longitud de la cadena de aisladores mas la longitud del péndulo). Esto se realiza para que el tendido de los conductores resulte visualmente correcto. Por ello hay que redefinir la altura de montaje de las ménsulas.

En los postes de suspensión teníamos:

Altura de montaje de la ménsula superior **hms**: 18,63 m

Altura de montaje de la ménsula media **hmm**: 17,02 m

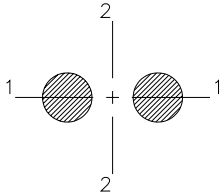
Altura de montaje de la ménsula inferior **hmi**: 15,42 m

$$hms = 18,63 - 1,65 = 16,98$$

$$hmm := 17,02 - 1,65 = 15,37$$

$$hmi = 15,42 - 1,65 = 13,77$$

Dado que la estructura estudiada estará constituida por postes dobles de hormigón armado vibrado, se tiene que la resistencia de estos postes vinculados será igual a ocho veces la resistencia de un poste simple, según el eje de resistencia máxima (eje 1-1) y dos veces según el eje normal al anterior (eje 2-2).



Los postes simples del conjunto estructural así definido estarán separados en la cima 300 mm medidos entre sus generatrices o caras más próximas y en la base 300 mm más 40 mm por cada metro de longitud del poste, medidos en igual forma. Comenzaremos los cálculos suponiendo que el poste sea el mismo que el elegido para la estructura de suspensión es decir un poste de 22.5 metros de largo, diámetro en la cima de 305. mm, La cantidad de vínculos a colocar entre la cara inferior de la ménsula inferior y la sección de empotramiento será: de **2** cuando **hmi** < 10, de **3** cuando **10 < hmi** < 12, de **4** cuando **12 < hmi** < 15, de **5** cuando **15 < hmi** < 18 y de **6** cuando **18 < hmi** < 22. En nuestro caso, **hmi**= 13,77 metros. **Adoptaremos 4 vínculos.**

La altura o espesor del primer vínculo, numerando desde la cima hacia la base, será igual al diámetro del poste en la cima más 50 mm. Los siguientes vínculos aumentarán su espesor de 50 en 50 mm.

En nuestro caso, teniendo en cuenta que el diámetro del poste simple en la cima es, en principio, de 305 mm, las alturas o espesores de los vínculos serán los siguientes:


Vínculo 1: 355 mm

Vínculo 2: 405 mm

Vínculo 3: 455 mm

Vínculo 4: 505 mm

Los vínculos se repartirán en tal forma que la distancia entre la cruceta o ménsula inferior y el primer vínculo, entre cada vínculo y el siguiente y entre el último vínculo y la sección de empotramiento sean, respectivamente, y según el número de vínculos:

	EMPRESA PROVINCIAL DE ENERGIA DE CORDOBA		ET4		Hoja N°: 4		
	POSTES Y CRUCETAS DE HORMIGÓN ARMADO		Emisión: 12-12-1997 Oficina de Normalización		Cantidad: 15		
NÚMERO DE VÍNCULOS							
2		3		4		5	
3		4		5		6	
DISTANCIAS EXPRESADAS EN VECES LA ALTURA (x H)							
0,300		0,220		0,170		0,150	
0,335		0,240		0,185		0,150	
0,365		0,260		0,200		0,160	
		0,280		0,215		0,170	
				0,230		0,180	
						0,190	
						0,172	

Por lo tanto, las distancias serán:

$$d1 = \text{Ménsula inferior - Vínculo 1} = 0,170 * 13,77 \text{ metros} = 2,34 \text{ metros.}$$

$$d2 = \text{Vínculo 1 - Vínculo 2} = 0,185 * 13,77 \text{ metros} = 2,54 \text{ metros}$$

$$d3 = \text{Vínculo 2 - Vínculo 3} = 0,2 * 13,77 \text{ metros} = 2,75 \text{ metros}$$

$$d4 = \text{Vínculo 3 - Vínculo 4} = 0,215 * 13,77 \text{ metros} = 2,96 \text{ metros}$$

$$d5 = \text{Vínculo 4 - Sección de empotramiento} = 0,23 * 13,77 \text{ metros} = 3,16 \text{ metros}$$

Con estos datos calculo las alturas de montaje de los 4 vínculos:

$$h_{v4} = 3,16$$

$$h_{v3} = h_{v4} + d4 = 3,16 + 2,96 = 6,12$$

$$h_{v2} = h_{v3} + d3 = 6,12 + 2,75 = 8,87$$

$$h_{v1} = h_{v2} + d2 = 8,87 + 2,54 = 11,41$$

Cálculo del Tiro en la Cima

Para el cálculo del tiro en la cima del poste de retención recta, se comenzará calculando la hipótesis normal, luego se verificara para la hipótesis extraordinaria. De las hipótesis normales se elijen las que se considera que provoca las solicitaciones máximas. Las cargas se consideran que actuan simultaneamente. Se entiende como *cargas permanente* al peso de los conductores aisladores y accesorios

Hipótesis Normales.- (VDE – 0210)

FN. 1

- a. Cargas Permanentes.
- b. Cargas Adicionales. (si existiesen)
- c. Cargas del viento máximo en dirección del eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre la estructura, , los elementos de cabecera y sobre cables de las semilongitudes adyacentes.
- d. Resultante de los tiros máximos de todos los cables para el estado de mayor viento.

FN. 2

- a. Cargas Permanentes
- b. Cargas del viento máximo en dirección perpendicular al eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre la estructura, los elementos de cabecera y sobre cables de las semilongitudes adyacentes.
- c. Resultante de los tiros máximos de todos los cables para el estado de mayor viento

FN. 3

- a. Cargas Permanentes
- b. Cargas Adicionales. (si existiesen)
- c. Cargas del viento máximo en dirección del eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre la estructura, los elementos de cabecera y sobre cables de las semilongitudes adyacentes.
- d. Dos tercios de los tiros unilaterales máximos de todos los cables.

FN. 4

- a. Cargas Permanentes
- b. Cargas del viento máximo en dirección oblicua sobre el poste, los elementos de cabecera y la proyección de los cables.
- c. Resultante de los tiros máximos de todos los cables para el estado de mayor viento

FN. 5

- a. Cargas Permanentes
- b. Cargas Adicionales. (si existiesen)
- c. Tiros máximos de todos los cables para el estado de manguito de hielo.
- d. Cargas del viento del estado que contempla manguito de hielo, en la dirección del eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre poste, los elementos de cabecera y los cables.

La hipótesis normal considerada para el cálculo se selecciona en función de la condición más desfavorable, a saber:

FN. 2 y FN. 4 no se desarrollan las hipótesis normales , por considerarlas poco influyentes

FN. 5: se desprecia ya que en nuestros estados climáticos no existe hielo.

se determinan a priori como más desfavorables las hipótesis normales **FN.1 y FN.3**

Sabemos que si los postes de retención están colocados de manera longitudinal a la línea tendremos que:

$$F=T_c= Fl/8 + Ft/2$$

Mientras que, si los postes de retención están colocados de manera transversal a la línea:

$$F=T_c=Fl/2+Ft/8$$

Además, si por alguna razón los tiros en la cima resultaran demasiado grandes, puedo contemplar la posibilidad de montar tres postes de retención, con lo que:

$$F=T_c=\frac{1}{9}\sqrt{Fl^2 + Ft^2}$$

Donde F_l (fuerzas de vientos longitudinales a la línea + tiro de los cables) y F_t (fuerzas de viento transversales a la línea), y $F = T_c$ es el tiro en la cima que debe asumir cada uno de los poste que conforman la estructura.

La experiencia indica que siempre es conveniente colocar los postes de manera longitudinal. Si acordamos que los tiros máximos de los cables son iguales a ambos lados de los postes, éstos se descartan (no habrá fuerzas longitudinales a considerar), quedando:

$$F = T_c = F_t / 2$$

Donde F_t resulta ser la fuerza debida al viento más la fuerza de desequilibrio.

FN.1

Cargas Permanentes

Datos:

Vano 285 mts.

G_m : peso de la ménsula conductores de energía = 374.4 kg

G_a : peso de la cadena de aisladores (se agrega un aislador) = 58 kg

G_c : peso del conductor = 348,46kg

G_{cp} : peso del cable de protección = 112.3 kg

h_p : altura libre del poste (sin empotramiento) = 20.5 m

l_m : longitud de la ménsula = 2,40m

El Tiro en la Cima (T_{cp}) debido a las cargas permanentes; por traslación de momentos, se obtiene con la siguiente expresión:

$$T_{cp} = \frac{(G_a + G_c) \times l_m + G_m \times \frac{l_m}{3}}{h_p}$$

$$T_{cp} = \frac{(52.2 + 348.46) \times 2.4 + 374.4 \times \frac{2.4}{3}}{20.5}$$

$$T_{cp} = 61,5 k\vec{g}$$

La fuerza del viento sobre el poste (aplicada directamente en la cima) es (ya calculado)

$$F_{vp} = 276,12 k\vec{g}$$

La fuerza del viento sobre la ménsula del cable de energía:

$$F_{vm} = 4,6 k\vec{g}$$

La fuerza del viento sobre los vínculos:

Coefficiente de presión dinámica (C): 1,4 (superficies planas– Ver tabla 6 VDE-0210/85 Hoja 19)

Área del vínculo expuesta al viento S_m : 0,35 m²

$$F_{vv} = C \times \frac{V^2}{16} \times S_m$$

$$F_{vv} = 1.4 \times \frac{(38.88)^2}{16} \times 0.35 = 46.29 \text{ kg}$$

$$F_{vv} = 46.29 \text{ kg}$$

- Fuerza del viento sobre la ménsula $F_{vm} = 4.6 \text{ kg}$
- Fuerza del viento sobre la cadena de aisladores (Se agrega uno) $F_{va} = 15.40 \text{ kg}$
- Fuerza del viento sobre el cable de protección $F_{vcp} = 192 \text{ kg}$
- Fuerza del viento sobre el conductor $F_{vc} = 433.2 \text{ kg}$
- Fuerza del viento sobre el poste $F_{vp} = 276.2 \text{ kg}$

El Tiro en la Cima (T_{cv}) debido a las cargas del viento, por traslación de momentos, se obtiene con la siguiente expresión (vientos actuando normalmente al eje de la línea):

f.

$$T_{cv} = 2 F_{vp} + \frac{F_{vm} \times (h_{ms} + h_{mm} + h_{mi})}{h_p} + \frac{F_{CP} \times h_{CP}}{h_p} + \frac{F_{vc} \times (h_{cs} + h_{cm} + h_{ci})}{h_p} + \frac{F_{va} \times [(h_{ms}) + (h_{mm}) + (h_{mi})]}{h_p} + \frac{F_{vv} (h_{v1} + h_{v2} + h_{v3} + h_{v4})}{h_p} =$$

$$T_{cv} = 2 * 276.2 + \frac{4.6 \times (16.98 + 15.37 + 13.77)}{20.5} + \frac{192 \times 20.6}{20.5} + \frac{433.2 \times (16.98 + 15.37 + 13.77)}{20.5} + \frac{15.40 \times [(18.98) + 15.37 + 13.77]}{20.5} + \frac{46.29 (11.41 + 8.87 + 6.12 + 3.16)}{20.5} = 1833.15$$

$$T_{cv} = 1833.15 \text{ Kg}$$

Los momentos flectores producidos por los cables inferior y medio, por ser de igual magnitud y sentido opuesto se anulan entre sí, por lo que debemos tener en cuenta solamente el momento flector originado por el cable de energía superior y por el cable de protección.

$$Mf = (Ga + Gc)lm + 1/3 Gm \times lm \quad Mf = (58 + 348.46) \times 2.40 + 1/3 \times 374.4 \times 2.40$$

$$Mf = 1272.36 \text{ Kg}$$

Estos momentos hay que trasladarlos a la cima del poste (obteniendo la fuerza de desequilibrio Td), por lo que:

$$Td = Mf / Hp = 1272.36 / 20.5 = 62 \text{ Kg}$$

El punto d. , (resultante de los tiros máximos de todos los cables para el estado de máximo viento),en este caso en particular, donde se supone que los semivanos a ambos lados del poste de retención son iguales, tendrá una resultante nula, ya que los tiros hacia uno u otro lado son similares.

Por lo tanto, la fuerza total sobre la estructura (referida a la cima) para la hipótesis FN1 (o tiro en la cima), en la dirección del eje de los travesaños (es decir, en dirección transversal a la línea) es:

$$T_{cFN1} = \frac{Ft}{2} = \frac{Td + T_{cv}}{2} = \frac{62kg + 1833.15kg}{2} = 947.5Kg$$

Si planteamos un Coeficiente de seguridad de 2,5. la C_{rot} (carga de rotura del poste seleccionado) deberá ser:

$$C_{rot} = 2,5 * 947,5 = 2368 Kg.$$

Del catalogo de Mástil SA cada uno de los postes deberá ser: **2x22.5/960/2.5**

FN.3

Teniendo en cuenta que el viento, en dirección transversal a la línea (o longitudinal al eje de los travesaños) ejerce una fuerza mayor a la que imprime en sentido longitudinal (recordar además que en la expresión de cálculo en el primer caso dividimos por 2 y en el segundo por 8 es muy difícil que se superen las solicitudes consideradas en FN.1. De todas formas esta hipótesis vale la pena ser verificada a partir de que la misma es conocida como HIPÓTESIS DE TENDIDO, donde tendremos momentos flectores y momentos torsores., generados durante el montaje de la línea. (d.)

Los momentos flectores producidos por los cables inferior y medio, por ser de igual magnitud y sentido opuesto se anulan entre sí, por lo que debemos tener en cuenta solamente el momento flector originado por el cable de energía superior y por el cable de guardia si corresponde.

La hipótesis a. y c. son iguales que las planteadas para FN.1. b. no se considera.

El momento flector debido a los dos tercios de los tiros unilaterales máximos de los conductores superior y de protección:

T_{cmax} : tiro máximo del conductor de energía= 3194 kg (dato obtenido del software Camelia)

T_{cpmax} : tiro máximo del cable de protección = 1577 kg

$$Mf = 2 / 3 (T_{cmax} \times hms + T_{cpmax} \times hcp)$$

$$Mf = 2 / 3 (3194 \times 16,98 + 1577 \times 20,60) = 57813,5 Kgm$$

El momento torsor debido a los dos tercios de los tiros unilaterales máximos de los conductores superior y de protección:

$$Mt = 2 / 3 (T_{cmax} \times lms + T_{cpmax} \times lmcp)$$

$$Mt = 2 / 3 (3194 \times 2.40 + 1577 \times 0) = 5110,4 Kgm$$

El Momento Flexotorsor Resultante (según fórmula de Rankine) será:

$$M = \frac{1}{2} \left\{ Mf + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right\}$$

$$M = \frac{1}{2} \left\{ 57813,5 + \sqrt{57813,5^2 + 5110,4^2} \right\} = 57926 \text{ Kg}$$

A este momento hay que trasladarlo a la cima del poste, por lo que:

$$Td = M / Hp = 57926 / 20.5 = 2825,7 \text{ Kg}$$

Además tendremos la fuerza longitudinal debida al tiro de los tres conductores (referida a la cima del poste):

$$fl = \frac{2}{3} \left\{ T_{cMAX} \times \frac{(h_{mm} + h_{mi} + h_{mis})}{Hp} + \frac{T_{cpMAX} \times h_{cp}}{Hp} \right\} =$$

$$fl = \frac{2}{3} \left\{ 3194 \times \frac{(1537+1377+1698)}{205} + \frac{1577 \times 206}{205} \right\} = 5847 \text{ Kg}$$

Sumando las fuerzas calculadas tenemos que:

$$T_{cFN3} = \frac{Ft}{8} = \frac{Td + fl}{8} = \frac{2825,7 \text{ kg} + 5847 \text{ kg}}{8} = 1084 \text{ Kg}$$

$$T_{cFN1} < T_{cFN3}$$

Es decir que la hipótesis más solicitante es la **FN.3**. Como con esta hipótesis no verifica el poste elegido, se deberá redimensionar

Si planteamos un Coeficiente de seguridad de 2,5. la **C_{rot}** (carga de rotura del poste seleccionado) deberá ser:

C_{rot} = 2,5*1084=2710 Kg. Se adopta un poste que tiene una **C_{rot}** de 2750 Kg. Entonces del catálogo de Mástil SA cada uno de los postes deberá ser: **2x22.5/1100/2.5**

Ahora verificaremos ante condiciones excepcionales

Hipótesis Excepcionales .- (VDE – 0210)

FE.1

- a) Cargas permanentes.
- b) Cargas adicionales (si existen) – En este caso no
- c) El 100% del tiro máximo de un cable de energía (aquel que provoque la sollicitación más desfavorable) o 100% del tiro máximo del cable de protección, por reducción unilateral del tiro del cable respectivo del vano adyacente
- d) La resultante de los tiros máximos de los demás cables.

FE.2

- a) Cargas permanentes
- b) Cargas adicionales
- c) Resultante de los tiros de todos los cables en el estado que contempla manguito de hielo, con el tiro reducido unilateralmente un 40%, considerando que existe carga desigual del hielo en los vanos contiguos.

Esta Hipótesis no aplica porque el lugar de emplazamiento de esta L.A.T. no corresponde a una zona geográfica en la cual pueda existir presencia de hielo.

FE.1

Considerando el 100% del tiro máximo del cable superior (el que, en caso de cortarse, generaría la mayor sollicitación):

T_{cmax}: tiro máximo del conductor de energía= 3194 kg

$$Mf = Tc_{MAX} \times h_{ms}$$

$$Mf = 3194 \times 16,98 = 54234 \text{ Kgm}$$

El momento torsor debido al conductor superior.

$$Mt = (Tc_{max} \times lms)$$

$$Mt = (3194 \times 2.40) = 7665,6 \text{ Kgm}$$

El Momento Flexotorsor Resultante (según fórmula de Rankine) será:

$$M = \frac{1}{2} \left\{ Mf + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right\}$$

$$M = \frac{1}{2} \left\{ 54234 + \sqrt{54234^2 + 7665,6^2} \right\} = 54503,5 \text{ Kg}$$

$$Td = M / Hp = 54503,5 / 20.5 = 2658,7 \text{ Kg}$$

$$T_{cFE.1} = \frac{fl}{8} = \frac{2658,7 \text{ kg}}{8} = 332.25 \text{ Kg}$$

Ahora verificaremos el coeficiente de seguridad Cs (que en la hipótesis excepcional es de 2

Tiro en la cima del poste para la hipótesis normal **FN.3** 1084 Kg

Tiro en la cima del poste para la hipótesis excepcional **FE1**: 332.5 Kg

Coeficiente de seguridad para la hipótesis excepcional (Cs): 2

Sin necesidad de cálculo se observa que el Cs, es mucho mayor a dos con lo que se verifica admitido como elección del poste.

Por lo tanto, el poste apropiado para retención recta será:

2x22.5/1100/2.5

Poste de Retención Angular 27°. Cálculo Mecánico

Tal como definimos cuando calculamos los postes de retención angular recta, las ménsulas de los conductores de la estructura serán desplazadas 1,65 metros hacia abajo esto se realiza con el mismo concepto estético que se empleo para la estructura anterior. Es idéntica además la cantidad y altura de montaje de los vínculos La estructura de retención angular de 27 ° estará conformada por tres postes. Como sabemos que el comportamiento del hormigón es mucho mejor a la compresión que a la tracción, siempre hay que ubicar los postes de manera que queden dos cargados a la tracción y uno a la compresión. Los postes estaran orientados conforme a la bisectriz del ángulo de quiebre. Los postes simples del conjunto estaran separados en la cima 300 mm medidos entre sus generatrices o caras más próximas y en la base 300 mm más 40 mm por cada metro de longitud del poste, medidos en igual forma. Comenzaremos los cálculos suponiendo un poste de 22.5 metros de largo, diámetro en la cima de 305 mm, Recordemos que las cargas permanentes de la estructura son:

Peso de la cadena de aisladores **Ga**=58 Kg.

Peso del cable de energía en ambos semivanos **Gc**: 348,46 Kg

Peso del cable de protección en ambos semivanos **Gcp**: 112,3 Kg

Peso de la ménsula del conductor de energía **Gm**: 374.4 Kg

Fuerza del viento sobre la ménsula **F_{vm}** = 4,6 kg

Fuerza del viento sobre la cadena de aisladores (Se agrega uno) **F_{va}**= 15.40kg

Fuerza del viento sobre el cable de protección **F_{vcp}**= 192 kg

Fuerza del viento sobre el conductor **F_{vc}**= 433,2 kg

Fuerza del viento sobre el poste **F_{vp}**= 276.2 kg(referida a la cima

Tiro máximo del conductor de energía **Tc_{max}** = 3194 kg (dato obtenido del software Camelia)

Tiro máximo del cable de protección **Tcp_{max}** = 1577 kg

Hipótesis normales

FN.1

- Cargas Permanentes.
- Cargas Adicionales. (si existiesen)
- Cargas del viento máximo en dirección del eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre la estructura, , los elementos de cabecera y sobre cables de las semilongitudes adyacentes.
- Resultante de los tiros máximos de todos los cables para el estado de mayor viento.

FN. 2

- Cargas Permanentes
- Cargas del viento máximo en dirección perpendicular al eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre la estructura, los elementos de cabecera y sobre cables de las semilongitudes adyacentes.
- Resultante de los tiros máximos de todos los cables para el estado de mayor viento

FN. 3

- Cargas Permanentes
- Cargas Adicionales. (si existiesen)
- Cargas del viento máximo en dirección del eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre la estructura, los elementos de cabecera y sobre cables de las semilongitudes adyacentes.
- Dos tercios de los tiros unilaterales máximos de todos los cables.

FN. 4

- Cargas Permanentes
- Cargas del viento máximo en dirección oblicua sobre el poste, los elementos de cabecera y la proyección de los cables.
- Resultante de los tiros máximos de todos los cables para el estado de mayor viento

FN. 5

- Cargas Permanentes
- Cargas Adicionales. (si existiesen)
- Tiros máximos de todos los cables para el estado de manguito de hielo.
- Cargas del viento del estado que contempla manguito de hielo, en la dirección del eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre poste, los elementos de cabecera y los cables.

FN.1

Calculamos los esfuerzos transversales

$$T_{cv} = 3F_{vp} + \frac{F_{vm} \times (h_{ms} + h_{mm} + h_{mi}) + F_{CP} \times \cos(\alpha/2) \times h_{CP}}{h_p} + \frac{(F_{vc} + F_{va}) \cos(\alpha/2) \times (h_{cs} + h_{cm} + h_{ci})}{h_p} + \frac{F_v(hv1 + hv2 + hv3 + hv4)}{h_p} =$$

$$T_{cv} = 3 * 276,2 + \frac{4,6 \times (16,98 + 15,37 + 13,77)}{20,5} + 192 \times \cos 13,5 \times 20,6 + \frac{(433,2 + 15,40) \times \cos 13,5 \times (16,98 + 15,37 + 13,77)}{20,5} + \frac{46,29(11,41 + 8,87 + 6,12 + 3,16)}{20,5} = 2089,7 Kg$$

$$Mf = (Ga + Gc)lm + 1/3 Gm \times lm \quad Mf = (58 + 348,46) \times 2,40 + 1/3 \times 374,4 \times 2,40$$

$$Mf = 1272,36 Kgm$$

Estos momentos hay que trasladarlos a la cima del poste (obteniendo la fuerza de desequilibrio Td, por lo que:

$$Td = Mf / Hp = 1272,36 / 20,5 = 62 Kg$$

A estos valores hay que sumarle la proyección de los tiros máximos

$$fl = 2 * \text{sen}(\alpha / 2) \left\{ Tc_{MAX} \times \frac{(h_{mm} + h_{mi} + h_{mis})}{Hp} + \frac{Tcp_{MAX} \times h_{CP}}{Hp} \right\} =$$

$$fl = 2 \times \text{sen}13.5 \left\{ 3194 \times \frac{(15,37 + 13,77 + 16,98)}{20.5} + \frac{1577 \times 20,6}{20.5} \right\} = 3046 \text{Kg}$$

Por lo tanto, la fuerza total sobre la estructura (referida a la cima) para la hipótesis **FN1** (o tiro en la cima), en la dirección del eje de los travesaños (es decir, en dirección transversal a la línea) es:

$$T_{cFN1} = \frac{Ft}{9} = \frac{T_{CV} + Td + fl}{9} = \frac{2089 \text{kg} + 62 \text{Kg} + 3046 \text{kg}}{9} = 577,4 \text{Kg}$$

Crot= 2.5*577.4=1443 Kg

Elegimos un poste de Crot=2400 Kg (por ser el primero para la altura seleccionada)

3*22.5/960/2.5

FN.2

Lo mismo que para el poste de retención recto, esta hipótesis no tiene influencia en nuestro caso particular.

FN.3

Calculamos los esfuerzos longitudinales

$$T_{cv} = 2F_{vp} + \frac{F_{vm} \times (h_{ms} + h_{mm} + h_{mi}) + (F_{CP} \times \text{sen}(\alpha/2) + F_{vm}) \times h_{CP}}{h_p} + \frac{[(F_{vc} + F_{va}) \text{sen}(\alpha/2) + F_{vm}] \times (h_{cs} + h_{cm} + h_{ci})}{h_p} + \frac{F_{vv}(hv1 + hv2 + hv3 + hv4)}{h_p} =$$

$$T_{cv} = 2 * 276,2 + \frac{4,6 \times (16,98 + 15,37 + 13,77) + (192 \times \text{sen}13.5 + 4.6) \times 20.6}{20.5} + \frac{(433,2 + 15.40) \times \text{sen}13.5 \times (16.98 + 15,37 + 13,77)}{20,5} + \frac{46.29(11.41 + 8.87 + 6.12 + 3.16)}{20.5} = 859,5 \text{Kg}$$

Tc_{max}: tiro máximo del conductor de energía= 3194 kg (dato obtenido del software Camelia)

Tcp_{max}: tiro máximo del cable de protección = 1577 kg

Los momentos flectores producidos por los cables inferior y medio, por ser de igual magnitud y sentido opuesto se anulan entre sí, por lo que debemos tener en cuenta solamente el momento flector originado por el cable de energía superior y por el cable de guardia.

El momento flector debido a los dos tercios de los tiros unilaterales máximos de los conductores superior y de protección:

$$Mf = 2 / 3 (Tc_{\text{max}} \times hms + Tcp_{\text{max}} \times hcp) \cos (\alpha / 2)$$

$$Mt = 2 / 3 (3194 \times 16,98 + 1577 \times 20.6) \cos 13.5 = 56216 \text{ Kgm}$$

El momento torsor debido al conductor superior

$$Mt = (Tc_{\max} \times lms) \cos(\alpha / 2)$$

$$Mt = (3194 \times 2.40) \cos 13.5 = 7453.8 \text{ Kgm}$$

El Momento Flexotorsor Resultante (según fórmula de Rankine) será:

$$M = \frac{1}{2} \left\{ Mf + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right\}$$

$$M = \frac{1}{2} \left\{ 56216 + \sqrt{56216^2 + 7453.8^2} \right\} = 56462, \text{ Kg}$$

$$Td = M / Hp = 56462 / 20.5 = 2754.2 \text{ Kg}$$

Consideramos ahora la proyección de la fuerza longitudinal producto del tiro de los conductores inferior y medio (referida a la cima del poste):

$$fl = 2/3 * \cos(\alpha/2) \left\{ Tc_{MAX} \times \frac{(h_{mm} + h_{mi})}{Hp} \right\} = 2/3 * \cos(13.5) \times 3194 \frac{15.37 + 13.77}{20.5}$$

$$fl = 2943 \text{ Kg}$$

La fuerza longitudinal actuante será:

$$Flt = 2943 + 2754 + 859.5 = 6556.5 \text{ Kg}$$

$$Mf = \left(Ga + \frac{Gc}{2} \right) lm + 1/3 Gm \times lm \quad Mf = \left(58 + \frac{348.46}{2} \right) \times 2.40 + 1/3 \times 374.4 \times 2.40$$

$$Mf = 856.8 \text{ Kgm}$$

$$Td = Mf / Hp = 856.8 / 20.5 = 41.8 \text{ Kg}$$

Componiendo estos esfuerzos obtengo la fuerza total:

$$F = \left\{ \frac{\sqrt{Td^2 + Flt^2}}{9} \right\} = \frac{\sqrt{41.8^2 + 6556.5^2}}{9} = 728.5 \text{ Kg}$$

Evidentemente el poste seleccionado **3*22.5/960/2.5** Verifica

FN4

Esta hipótesis carece de importancia en postes de H°A°, se utiliza en estructuras reticuladas metálicas.

FN5

Esta hipótesis no aplica ya que la zona de montaje de la traza es zona sin hielo.

Conclusión el poste elegido hasta el momento verifica las *hipótesis normales* de cálculo

Hipótesis Excepcionales .- (VDE – 0210)

FE.1

- a. Cargas permanentes.
- b. Cargas adicionales (si existen) – En este caso no
- c. El 100% del tiro máximo de un cable de energía (aquel que provoque la sollicitación más desfavorable) o 100% del tiro máximo del cable de protección, por reducción unilateral del tiro del cable respectivo del vano adyacente
- d. La resultante de los tiros máximos de los demás cables

Comenzaremos calculando los esfuerzos longitudinales, considerando el 100% del tiro máximo del cable superior que es el que generaría la mayor sollicitación, en caso de cortarse.

$$M_f = (T_{c_{\max}} \times h_{ms}) \cos(\alpha / 2)$$

$$M_f = (3194 \times 16,98) \cos 13,5 = 52735,6 \text{ Kgm}$$

El momento torsor debido al conductor superior

$$M_t = (T_{c_{\max}} \times l_{ms}) \cos(\alpha / 2)$$

$$M_t = (3194 \times 2,40) \cos 13,5 = 7453,8 \text{ Kgm}$$

El Momento Flexotorsor Resultante (según fórmula de Rankine) será:

$$M = \frac{1}{2} \left\{ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right\}$$

$$M = \frac{1}{2} \left\{ 52735,6 + \sqrt{52735,6^2 + 7453,8^2} \right\} = 53997,7 \text{ Kg}$$

$$T_d = M / H_p = 53997,7 / 20,5 = 2634 \text{ Kg}$$

Ahora calculamos los esfuerzos transversales:

$$M_f = \left(G_a + \frac{G_c}{2} \right) l_m + 1/3 G_m \times l_m \quad M_f = \left(58 + \frac{348,46}{2} \right) \times 2,40 + 1/3 \times 374,4 \times 2,40$$

$$M_f = 856,8 \text{ Kgm}$$

$$T_d = M_f / H_p = 856,8 / 20,5 = 41,8 \text{ Kg}$$

Consideramos ahora la proyección de la fuerza longitudinal producto del tiro de los conductores inferior y medio (referida a la cima del poste):

$$fl = 2 * \text{sen}(\alpha / 2) \left\{ Tc_{MAX} \times \frac{(h_{mm} + h_{mi})}{Hp} + \frac{Tcp_{MAX} \times h_{CP}}{Hp} \right\} =$$

$$fl = 2 \times \text{sen}13.5 \left\{ 3194 \times \frac{(15,37 + 13,77)}{20.5} + \frac{1577 \times 20,6}{20.5} \right\} = 2860Kg$$

Entonces, la fuerza total transversal (referida a la cima) es:

$$F_{Tt} = 2860 \text{ Kg} + 41.8 \text{ Kg} = 2902 \text{ Kg.}$$

Componiendo estos esfuerzos obtengo la fuerza total

$$F = \left\{ \frac{\sqrt{Td^2 + F_{Tt}^2}}{9} \right\} = \frac{\sqrt{2634^2 + 2902^2}}{9} = 435,5 \text{ Kg}$$

Con esta sollicitación es evidente que también verifica el poste que se venia trabajando, por lo que el poste integrante de la estructura definitivamente es:

3*22.5/960/2.5

Poste de Retención Terminal. Cálculo Mecánico

Se intentara verificar la aptitud de la estructura conformada por dos postes dispuestos en el sentido longitudinal de la línea, tal como definimos cuando calculamos los postes de retención recta. , las ménsulas de los conductores serán desplazadas hacia abajo 1.65 mts por idénticos motivos que en los casos anteriores.

Comenzaremos los cálculos suponiendo que la estructura es de **2x22.5/1100/2.5**

Hipótesis normales

FN1

- Cargas permanentes
- Cargas adicionales (si existen) – En este caso no
- Carga del viento máximo aplicado en la dirección del eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre los postes, los elementos de cabecera y sobre los cables
- Tiros máximos unilaterales de todos los cables, en el estado de máximo viento.
- Tiro de los cables correspondientes a la acometida a la Estación Transformadora.

Comenzamos calculando los esfuerzos longitudinales

$$T_{cv} = F_{vp} + \frac{F_{vm} \times (h_{ms} + h_{mm} + h_{mi})}{h_p} + \frac{F_{vv} (hv_1 + hv_2 + hv_3 + hv_4)}{h_p} =$$

$$T_{cv} = 2762 + \frac{4,6 \times (16,98 + 15,37 + 13,77)}{20,5} + \frac{46,29(11,41 + 8,87 + 6,12 + 3,16)}{20,5} = 3535 \text{Kg.}$$

El momento flector debido a los tiros máximos unilaterales de los conductores superior y de protección será:

$$Mf = (Tc_{\max} \times hms + Tcp_{\max} \times hcp)$$

$$Mf = (3194 \times 16,98 + 1577 \times 20,6) = 86720,3 \text{Kgm}$$

El momento torsor debido al conductor superior

$$Mt = (Tc_{\max} \times lms)$$

$$Mt = (3194 \times 2,40) = 7665,6 \text{Kgm}$$

El Momento Flexotorsor Resultante (según formula de Rankine) será:

$$M = \frac{1}{2} \left\{ Mf + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right\}$$

$$M = \frac{1}{2} \left\{ 86720,3 + \sqrt{86720,3^2 + 7665,3^2} \right\} = 86889 \text{Kg}$$

$$Td = M / Hp = 86889 / 20.5 = 4238.5 \text{ Kg}$$

Consideramos ahora la fuerza longitudinal producto del tiro de los conductores inferior y medio (referida a la cima del poste):

$$fl = \left\{ Tc_{MAX} \times \frac{(h_{mm} + h_{mi})}{Hp} \right\} = 3194 \times \left(\frac{13.77 + 15.37}{20.5} \right) = 4602.5 \text{ Kg}$$

Por lo tanto, la fuerza total longitudinal será:

$$F_{\pi} = 4602.5 \text{ Kg} + 4238 + 353.5 \text{ Kg} = 9194 \text{ Kg}$$

Verificamos el Coeficiente seguridad para el poste seleccionado:

$$Cs = \frac{2.5 \times 1100}{\frac{9194}{8}} = 2.40 \quad \text{No verifica para esta hipótesis}$$

Consecuentemente tomaremos otro poste de mayor **Crot**

$$Cs = \frac{2.5 \times 1200}{9194/8} = 2.61 \quad \text{Verifica bajo esta hipótesis,}$$

Entonces seguimos con **2x22.5/1200/2.5** 305 mm de diámetro en la cima, peso y 7410 Kg de peso

FN.2

- Cargas permanentes
- Cargas adicionales (si existen) – En este caso no
- Carga del viento máximo aplicado en la dirección perpendicular al eje de los travesaños (ménsulas y/o crucetas) sobre los postes, los elementos de cabecera y sobre los cables
- Tiros máximos unilaterales de todos los cables, en el estado de máximo viento.
- Tiro de los cables correspondientes a la acometida a la Estación Transformadora.

El momento flector debido a los tiros máximos unilaterales de los conductores superior y de protección será:

ya habíamos calculado para FN.1 el momento flector

$$Mf = (3194 \times 16.98 + 1577 \times 20.6) = 86720.3 \text{ Kgm}$$

Y el momento torsor debido al conductor superior

$$Mt = (3194 \times 2.40) = 7665.6 \text{ Kgm}$$

El Momento Flexotorsor Resultante (según fórmula de Rankine) será:

$$M = \frac{1}{2} \left\{ 86720.3 + \sqrt{86720.3^2 + 7665.6^2} \right\} = 86889 \text{ Kg}$$
 que trasladado a la cima será

$$Td = M / Hp = 86889 / 20.5 = 4238.5 \text{ Kg}$$

Consideramos ahora la fuerza longitudinal producto del tiro de los conductores inferior y medio (referida a la cima del poste):

$$fl = \left\{ Tc_{MAX} \times \frac{(h_{mm} + h_{mi})}{Hp} \right\} = 3194 \times \left(\frac{13.77 + 15.37}{20.5} \right) = 46025 \text{ Kg}$$

Por lo tanto la resultante longitudinal será:

$$F_{Tl} = 4602,5 \text{ Kg} + 4238 = 8840,7 \text{ Kg}$$

Verificando tenemos

$$Cs = \frac{2.5 \times 1200}{\frac{8840,7}{8}} = 2.71 \quad \text{verifica}$$

Ahora verificaremos la acción del viento en dirección longitudinal al eje de las ménsulas (o transversal a la línea) que como sabemos es más solicitante que en sentido longitudinal a la línea:

$$F_{vt} = 2F_{vp} + \frac{(F_{vm} + Fca + Fvc/2) \times (h_{ms} + h_{mm} + h_{mi}) + (F_{vcp}/2 + F_{vm}) \times h_{cp}}{h_p} + \frac{F_{vv}(hv1 + hv2 + hv3 + hv4)}{h_p} =$$

$$F_{vt} = 2 \times 276,2 + \frac{(4,6 + 15,40 + 433,2/2) \times (16,98 + 15,37 + 13,77) + (192/2 + 4,6) \times 20,6}{20,5} + \frac{(433,2 + 15,40) \times (16,98 + 15,37 + 13,77)}{20,5} + \frac{46,29(11,41 + 8,87 + 6,12 + 3,16)}{20,5} = 703,2 \text{ Kg}$$

Calculemos los esfuerzos transversales:

$$Mf = \left(Ga + \frac{Gc}{2} \right) lm + 1/3 Gm \times lm \quad Mf = \left(58 + \frac{348,46}{2} \right) \times 2,40 + 1/3 \times 374,4 \times 2,40$$

$$Mf = 856,8 \text{ Kgm}$$

$$Td = Mf / Hp = 856,8 / 20,5 = 41,8 \text{ Kg}$$

Por lo tanto la fuerza desequilibrante total transversal será

$$F_{tt} = 41,8 \text{ Kg} + 703,2 \text{ Kg} = 745 \text{ Kg}$$

Verificando tenemos

$$Cs = \frac{2.5 \times 1200}{745/2} = 8 \quad \text{verifica}$$

FN.3 y FN.5 no serán tenidos en cuenta por carecer de relevancia en este caso particular.

Hipótesis Excepcionales

FE1

a. Cargas permanentes

b. Cargas adicionales (si existen) – En este caso no

c. El 100% del tiro máximo unilateral de todos los cables menos uno, aquel que al anularse provoque la sollicitación más desfavorable.

Calcularemos el momento flector debido a los tiros máximos unilaterales de los conductores superior, inferior y de protección:

$$M_f = (Tc_{\max} (hms + hmi) + Tcp_{\max} \times hcp)$$

$$M_f = (3194 \times (16,98 + 13,77) + 1577 \times 20,6) = 130701,7 \text{ Kgm}$$

El momento torsor debido al conductor superior inferior, el de protección al no tener ménsula no interviene

$$M_t = 2 \times (Tc_{\max} \times lms)$$

$$M_t = 2 \times (3194 \times 2,40) = 15331,2 \text{ Kgm}$$

El Momento Flexotorsor Resultante (según fórmula de Rankine) será:

$$M = \frac{1}{2} \left\{ M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \right\}$$

$$M = \frac{1}{2} \left\{ 130701,7 + \sqrt{130701,7^2 + 15331,2^2} \right\} = 131149,4 \text{ Kg}$$

$$Td = M / Hp = 131149,4 / 20,5 = 6397,5 \text{ Kg}$$

Verificando tenemos

$$Cs = \frac{2,5 \times 1200}{6397,5/8} = 3,75 \quad \text{verifica}$$

Los esfuerzos transversales, serán muy inferiores, con lo que no vale la pena comprobarlos. Por lo tanto el poste apropiado para ser utilizado como estructura terminal será:

2x22.5/1200/2.5

Verificación de Fundaciones de Postes y Estructuras

Para el dimensionamiento de estas fundaciones utilizaremos el **Método de Sulzberger**, aplicado a una fundación tipo “bloque de hormigón”, de sección rectangular.

Las dimensiones de dicho bloque serán:

t: profundidad desde el nivel de suelo [m]

a: ancho del bloque de hormigón [m]

b: espesor del bloque de hormigón [m]

d: diámetro del agujero

g: distancia entre centros

f: espesor del fondo (platea)

DATOS DE SUELO

- Categoría del terreno : C
- Naturaleza del terreno: Arcilla medio dura seca
- Coeficiente de compresibilidad: $C=7 \text{ kg/cm}^3$
- Coeficiente de fricción entre el terreno y el Hormigón: $\mu=0.5$
- Angulo de tierra gravante $\beta=8^\circ$
- Presión admisible del suelo $\sigma_s=1,7 \text{ kg/cm}^2$.
- Peso específico del suelo $\gamma_s=1700 \text{ kg/m}^3$

1. Fundación del poste de suspensión (22.5/1300/2.5)

Datos de la estructura:

- Peso de los 3 conductores de energía (sumando ambos semivanos) **Gc**: 1045.4 Kg
- Peso del conductor de protección (sumando ambos semivanos) **Gcp**: 112.3 Kg
- Peso de las 3 cadenas de aisladores + accesorios **Ga**: 156.6 Kg
- Peso del poste de hormigón **Gp**: 8154 Kg
- Peso de las 3 ménsulas de los conductores de energía **Gm**: 1123.2 Kg
- Con estos datos calculamos el peso total (**Gte**): 10592 Kg
- Altura libre del poste **hpl**: 20.5 m
- Empotramiento **he**: 2, m
- Diámetro del poste en la cima: **dcp**= 0.305
- Diámetro del poste en la base **dbp**: 0.642 m

Comenzaremos el cálculo predimensionando la base de empotramiento para luego verificarla:

Estimamos las dimensiones de la fundación, estas dimensiones deberán respetar estos parámetros

• Los valores de a y b deben ser tales que como mínimo exista 0,15 m de distancia entre el exterior de la fundación y la circunferencia de cualquier agujero, cabe señalar que el diámetro de los agujeros debe ser como mínimo el diámetro del poste en la base más 0,1m.

• El valor de t se toma de forma tal que f cumpla con $0,2m < f < t/5$: adopto $f = 0.3$

$$t = 0.3 \times 2 = 2.3 \text{ Mts}$$

$$\text{Diámetro del agujero} = 0.642 + 0.10 = 0.742 \text{ adopto } \mathbf{0.75}$$

$$a = b = 0.75 + 2 \times 0.15 = 1.05 \text{ Mts. .}$$

$$\mathbf{a = b = 1.05 \text{ Mt.}}$$

Volumen de la base de H°

$$V_b = a \times b \times t - \left[\frac{\pi - db^2}{4} \right] \times h_e = 1.05 \times 1.05 \times 2.3 - \left[\frac{\pi - 0.75^2}{4} \right] \times 2 = 1.25 [m^3]$$

$$\mathbf{P_b = \text{ peso de la base} = 2200 \text{kg/m}^3 \times 1.25 \text{ m}^3 = 2750 \text{ Kg}}$$

Volumen de tierra Gravante

$$V_{tg} = t/3 [a \times b + (a + 2t \times tg\beta)] \times (b + 2t \times tg\beta) + \sqrt{a \times b (a + 2t \times tg\beta) \times (b + 2t \times tg\beta)}] - (a \times b \times t)] =$$

$$V_{tg} = 2.3/3 [1.05 \times 1.05 + (1.05 + 2 \times 2.3 \times 0.14)] \times (1.05 + 2 \times 2.3 \times 0.14) + \sqrt{1.05 \times 1.05 (1.05 + 2 \times 2.3 \times 0.14) \times (1.05 + 2 \times 2.3 \times 0.14)}] - (1.05 \times 1.05 \times 2.3) = 1.85 m^3$$

$$\mathbf{P_{tg} = 1.85 \text{ m}^3 \times 1700 \text{ Kg/m}^3 = 3145 \text{ Kg}}$$

Tanto el peso total de la estructura (G_e) como el peso de la base de hormigón (P_b) y el de la tierra gravante (P_{tg}) son fuerzas verticales, por lo que las podemos sumar (G):

$$\mathbf{G = G_e + P_b + P_{tg} = 10592 + 2750 + 3145 = 16487 \text{ Kg.}} \text{ (sumatorias de todas fuerzas verticales)}$$

Vamos a calcular el momento de la base. Para ello necesitamos calcular el coeficiente de compresibilidad a los 2,30 metros de profundidad (fondo de la base), ya que el dato (C) es a 2 metros de profundidad, (recordar que C es función lineal de la profundidad) y también el valor de la tangente del ángulo α para saber cuál es la expresión que debo usar

$$C_b = 7 \times 2.3/2 = 8.05 \text{ Kg/ cm}^3$$

$$Tg\alpha = \frac{2 \times G}{b \times C_b \times a^2}$$

$$Tg\alpha = \frac{2 \times 16487}{105 \times 8.05 \times 105^2} = 0.0035$$

Por lo tanto, como $\mathbf{tang\alpha < 0,01}$ la expresión que debo usar para calcular el momento de la base es:

$$Mb = G \times \left[\frac{a}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{G}{b \times Cb \times Tg\alpha}} \right] \quad Mb = 16487 \times \left[\frac{105}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{16487}{105 \times 8.05 \times 0.01}} \right] = 523338 \text{kgcm}$$

Ahora calculemos el *Momento de Encastramiento Ms* para esto nuevamente debemos obtener el valor de $tg\alpha$ según esta fórmula:

$$Tg\alpha = \frac{6 \times \mu \times G}{b \times Ct \times t^2}$$

ct = Coeficiente de compresibilidad lateral, adoptaremos en nuestro caso adoptamos
 $ct = cb$

$$Tg\alpha = \frac{6 \times 0.5 \times 16487}{105 \times 8.05 \times 230^2} = 0.0011$$

Por lo tanto, como $\tan \alpha < 0,01$ la expresión que debo usar para calcular el momento de Encastramiento Ms es:

$$Ms = \frac{b \times t^3 \times Ct \times tg\alpha}{36} = \frac{105 \times 230^3 \times 8.05 \times 0.01}{36} = 2.856.710 \text{..Kgcm}$$

$$Ms/Mb = 2856710/523.338 = 5.45 \quad \text{Implica que } \mathbf{S = 1}$$

Se debe verificar según Sulzberger, que el coeficiente de estabilidad sea tal que:

$$\mathbf{Ms + Mb \geq s \times Mv}$$

Para calcular el momento de vuelco Mv necesito conocer el valor de la resultante de todas las fuerzas actuantes que tienden a volcar la estructura. Y eso ya lo calculamos en la hipótesis normal **FN1**:

El tiro total en la cima para la hipótesis normal, teniendo en cuenta las cargas permanentes y las cargas debido al viento, vale:

$$T_{cFN} = T_{cp} + T_{cv} = F = 61,5kg + 1209,37kg = 1270,9Kg$$

$$Mv = F \times \left[\frac{2}{3}t + hpl \right] = 12709 \times [2/3 \times 230 + 2050] = 2,800,216Kgcm$$

$$\frac{Ms + Mb}{Mv} \geq S = \frac{2856710 + 523338}{2800216} = 1.21$$

1,21 > 1, por lo que se verifican las dimensiones preseleccionadas para la base del poste de suspensión.

Ancho a: 1,05 m
Largo b: 1.05 m
Profundidad t: 2,30 m

Además, se debe verificar que el suelo soporte el esfuerzo realizado por las cargas verticales, es decir se debe verificar que:

$$\sigma_s = 1,7 \text{ kg/cm}^2. \quad \sigma_s \geq \frac{G}{a \times b} [\text{Kg/cm}^2] = 16487/105 \times 105 = 1.49 \text{ Por lo tanto verifica}$$

2. Fundación de la estructura Terminal (2x22.5/1200/2.5)

Datos de la estructura:

- Peso de los 3 conductores de energía (sumando un semivano) **Gc**: 522.7 Kg
- Peso del conductor de protección (sumando un semivano) **Gcp**: 56.15 Kg
- Peso de las 3 cadenas de aisladores + accesorios **Ga**: 156.6 Kg
- Peso del poste de hormigón **Gp**: 7410 Kg
- Peso de las 3 ménsulas de los conductores de energía **Gm**: 1123.2 Kg
- Peso de los cuatro vínculos: **Gv**: 600+750+1030+1550=3930 Kg
- Con estos datos calculamos el peso total (**Gte**): 17.129 Kg
- Altura libre del poste **hpl**: 20.5 m
- Empotramiento **he**: 2, m
- Separación entre ejes en la cima = 0.610 mts.
- Separación entre ejes en la base=1.5 mts
- Diámetro del poste en la cima: **dcp**= 0.305
- Diámetro del poste en la base **dbp**: 0.642 m

• El valor de *t* se toma de forma tal que *f* cumpla con $0,2m < f < t/5$: adopto el valor máximo $f = 0.4$
 $t = 0.4 \times 5 = 2.0 \text{ Mts}$

Diámetro del agujero = $0.642 + 0.10 = 0.742$ adopto **0.75**

$a = b = 0.75 + 2 \times 0.15 + 1.5 = 2.55 \text{ Mts.}$

Adopto a=b= 2.50 Mt. t = 2.4 mts

Volumen de la base de H°

$$Vb = a \times b \times t - \left[\frac{\pi - db^2}{4} \right] \times he = 2.5 \times 2.5 \times 2.4 - \left[\frac{\pi - 0.75^2}{4} \right] \times 2 \times 2 = 12.43 [m^3]$$

Pb= peso de la base = 2200kg/m³ x 12.43 m³ = 27343 Kg

Volumen de tierra Gravante

$$Vtg = t/3 [a \times b + (a + 2t \times tg\beta)] \times (b + 2t \times tg\beta) + \sqrt{a \times b (a + 2t \times tg\beta) \times (b + 2t \times tg\beta)}] - (a \times b \times t)] =$$

$$Vtg = 2.4/3 [2.5 \times 2.5 + (2.5 + 2 \times 2.4 \times 0.14)] \times (2.5 + 2 \times 2.4 \times 0.14) + \sqrt{2.5 \times 2.5 (2.5 + 2 \times 2.4 \times 0.14) \times (2.5 + 2 \times 2.4 \times 0.14)}] - (2.5 \times 2.5 \times 2.4) = 4.38 m^3$$

Ptg= 4.38 m³ * 1700 Kg/m³ = 7444.5 Kg

G= **Gte**+**Pb**+**Ptg** = 17129+27343+7444.5=51917 **Kg.**(sumatorias de todas fuerzas verticales)

Cb= 7 * 2.4/2 = 8.4 Kg/ cm³

$$Tg\alpha = \frac{2 \times G}{b \times Cb \times a^2} \quad Tg\alpha = \frac{2 \times 51917}{250 \times 8.4 \times 250^2} = 7.9 * 10^{-4}$$

Por lo tanto, como **tangα < 0,01** la expresión que debo usar para calcular el momento de la base es:

$$Mb = G \times \left[\frac{a}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{G}{b \times Cb \times Tg\alpha}} \right]$$

$$Mb = 51917 \times \left[\frac{205}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{51917}{250 \times 8.4 \times 0.01}} \right] = 4051262 [.kgcm]$$

Ahora calculemos el **Momento de Encastramiento Ms** para esto nuevamente debemos obtener el valor de tgα según esta formula:

$$Tg\alpha = \frac{6 \times \mu \times G}{b \times Ct \times t^2}$$

ct = Coeficiente de compresibilidad lateral, adoptaremos en nuestro caso adoptamos
ct = cb

$$Tg\alpha = \frac{6 \times 0.5 \times 51917}{250 \times 8.4 \times 240^2} = 0.00128$$

Por lo tanto, como tan α < 0,01 la expresión que debo usar para calcular el momento de Encastramiento Ms es:

$$M_s = \frac{b \times t^3 \times Ct \times tg\alpha}{36} = \frac{250 \times 240^3 \times 8.4 \times 0.01}{36} = 8.064.000. [Kgcm]$$

$$M_s/M_b = 8.064.000/4.051.262 = 1.99 \quad \text{Implica que } S = 1$$

Se debe verificar según Sulzberger, que el coeficiente de estabilidad sea tal que:

$$M_s + M_b \geq s \times M_v$$

Para calcular el momento de vuelco M_v necesito conocer el valor de la resultante de todas las fuerzas actuantes que tienden a volcar la estructura. Y eso ya lo calculamos en la hipótesis normal

FN1:

El tiro total en la cima para la hipótesis normal, teniendo en cuenta las cargas permanentes y las cargas debido al viento, vale:

$$F_{\pi} = 4602,5 \text{ Kg} + 4238 + 353.5 \text{ Kg} = 9194 \text{ Kg.}$$

$$M_v = F \times \left[\frac{2}{3}t + hpl \right] = 9194 \times [2/3 \times 240 + 2050] = 20.318.740 [Kgcm]$$

$$\frac{M_s + M_b}{M_v} \geq S = \frac{8.064.000 + 4.051.262}{20.318.740} = 0.60$$

Por lo que se no verifican las dimensiones preseleccionadas para la base de la estructura. Vamos a redimensionar la fundación..

Adopto $a=2.50 \text{ mts}$ $b= 2.80 \text{ Mt.}$ $t = 3 \text{ mts}$

Recalculando

$$M_s = \frac{b \times t^3 \times Ct \times tg\alpha}{36} = \frac{280 \times 300^3 \times 8.4 \times 0.01}{36} = 17.640.000. [Kgcm]$$

$$M_b = 51917 \times \left[\frac{250}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{51917}{280 \times 8.4 \times 0.01}} \right] = 5343205 [.kgcm]$$

$$\frac{M_s + M_b}{M_v} \geq S = \frac{17640000 + 5343205}{20.318.740} = 1.13 \quad \text{Verifica}$$

Entonces las dimensiones de la fundación de la estructura doble poste terminal es

Ancho a: 2.50 mts.

Largo b: 2.80 mts.
Profundidad t: 3 mts.

En disposición romboidal

Además, se debe verificar que el suelo soporte el esfuerzo realizado por las cargas verticales, es decir se debe verificar que:

$$\sigma_s = 1,7 \text{ kg/cm}^2. \quad \sigma_s \geq \frac{G}{a \times b} [\text{Kg/cm}^2] = 51917/250 \times 280 = 0.73 \quad \text{Por lo tanto verifica}$$

3. Fundación de la Retención Angular 0° . . 2x22.5/1100/2.5

Datos de la estructura:

- Peso de los 3 conductores de energía (sumando ambos semivanos) **Gc**: 1045.4 Kg
- Peso del conductor de protección (sumando un semivanos) **Gcp**: 112.3 Kg
- Peso de las 3 cadenas de aisladores + accesorios **Ga**: 156.6 Kg
- Peso del poste de hormigón **Gp**: 7339 Kg (son dos postes)
- Peso de las 3 ménsulas de los conductores de energía **Gm**: 1123.2 Kg
- Peso de los cuatro vínculos: **Gv**: 600+750+1030+1550=3930 Kg
- Con estos datos calculamos el peso total (**Gte**): 21227 Kg
- Altura libre del poste **hpl**: 20.5 m
- Empotramiento **he**: 2, m
- Separación entre ejes en la cima = 0.610 mts.
- Separación entre ejes en la base=1.5 mts
- Diámetro del poste en la cima: **dcp**= 0.305
- Diámetro del poste en la base **dbp**: 0.642 m

- El valor de *t* se toma de forma tal que *f* cumpla con $0,2m < f < t/5$: adopto el valor máximo $f = 0.4$
 $t = 0.4 \times 5 = 2.0 \text{ Mts}$

Diámetro del agujero = $0.642 + 0.10 = 0.742$ adopto **0.75**

$a = b = 0.75 + 2 \times 0.15 + 1.5 = 2.55 \text{ Mts.}$.

Adopto $a = b = 2.50 \text{ Mt.}$ $t = 3 \text{ mts}$

Volumen de la base de H°

$$V_b = a \times b \times t - \left[\frac{\pi - db^2}{4} \right] \times he = 2.5 \times 2.5 \times 3 - \left[\frac{\pi - 0.75^2}{4} \right] \times 2 \times 2 = 16.2 [\text{m}^3]$$

Pb = peso de la base = $2200 \text{ kg/m}^3 \times 16.2 \text{ m}^3 = 35640 \text{ Kg}$

Volumen de tierra Gravante

$$V_{tg} = t/3 [a \times b + (a + 2t \times tg\beta)] \times (b + 2t \times tg\beta) + \sqrt{a \times b (a + 2t \times tg\beta) \times (b + 2t \times tg\beta)} - (a \times b \times t) =$$

$$V_{tg} = 3/3 [2.5 \times 2.5 + (2.5 + 2 \times 3 \times 0.14)] \times (2.5 + 2 \times 3 \times 0.14) + \sqrt{2.5 \times 2.5 (2.5 + 2 \times 3 \times 0.14) \times (2.5 + 2 \times 3 \times 0.14)} - (2.5 \times 2.5 \times 3) = 7 [m^3]$$

$$P_{tg} = 7 \text{ m}^3 \times 1700 \text{ Kg/m}^3 = 11900 \text{ Kg}$$

$$G = G_{te} + P_b + P_{tg} = 21127 + 35640 + 11900 = 68667 \text{ Kg. (sumatorias de todas fuerzas verticales)}$$

$$C_b = 7 \times 3/2 = 10.5 \text{ Kg/cm}^3$$

$$Tg\alpha = \frac{2 \times G}{b \times C_b \times a^2}$$

$$Tg\alpha = \frac{2 \times 68667}{250 \times 10.5 \times 250^2} = 8.7 \times 10^{-4}$$

Por lo tanto, como $\tan\alpha < 0,01$ la expresión que debo usar para calcular el momento de la base es:

$$M_b = G \times \left[\frac{a}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{G}{b \times C_b \times Tg\alpha}} \right]$$

$$M_b = 68667 \times \left[\frac{250}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{68667}{250 \times 10.5 \times 0.01}} \right] = 6932723 [kgcm]$$

Ahora calculemos el *Momento de Encastramiento Ms* para esto nuevamente debemos obtener el valor de $tg\alpha$ según esta fórmula:

$$Tg\alpha = \frac{6 \times \mu \times G}{b \times C_t \times t^2}$$

c_t = Coeficiente de compresibilidad lateral, adoptaremos en nuestro caso adoptamos $c_t = c_b$

$$Tg\alpha = \frac{6 \times 0.5 \times 68667}{250 \times 10.5 \times 300^2} = 8.7 \times 10^{-4}$$

Por lo tanto, como $\tan\alpha < 0,01$ la expresión que debo usar para calcular el momento de Encastramiento M_s es:

$$M_s = \frac{b \times t^3 \times C_t \times tg\alpha}{36} = \frac{250 \times 300^3 \times 10.5 \times 0.01}{36} = 19687500 [kgcm]$$

$$M_s/M_b = 19687500/6932723 = 2.89 \text{ Implica que } S = 1$$

Se debe verificar según Sulzberger, que el coeficiente de estabilidad sea tal que:

$$Ms + Mb \geq s \times Mv$$

Para calcular el momento de vuelco **Mv** necesito conocer el valor de la resultante de todas las fuerzas actuantes que tienden a volcar la estructura. Y eso ya lo calculamos en la hipótesis normal **FN3**:

El tiro total en la cima para la hipótesis normal, teniendo en cuenta las cargas permanentes y las cargas debido al viento, vale:

$$F_t = 8672 \text{ Kg.}$$

$$Mv = F \times \left[\frac{2}{3}t + hpl \right] = 8672 \times [2/3 \times 300 + 2050] = 19512000 [Kgcm]$$

$$\frac{Ms + Mb}{Mv} \geq S = \frac{19687500 + 6932723}{19512000} = 1.36 \text{ se verifican las dimensiones}$$

preseleccionadas

Entonces las dimensiones de la fundación de la estructura doble poste rectangular angular recta (0°)

**Ancho a: 2.50 mts.
Largo b: 2.50 mts.
Profundidad t: 3 mts.**

Además, se debe verificar que el suelo soporte el esfuerzo realizado por las cargas verticales , es decir se debe verificar que:

$$\sigma_s = 1,7 \text{ kg/cm}^2. \quad \left[\sigma_s \geq \frac{G}{a \times b} [Kg / cm^2] \right] = 68667/250 \times 250 = 1.09 \text{ Por lo tanto verifica}$$

4. Fundación de la Retención Angular 27° . . **3x22.5/960/2.5**

Datos de la estructura:

- Peso de los 3 conductores de energía (sumando ambos semivanos) **Gc**: 1045.4 Kg
- Peso del conductor de protección (sumando un semivanos) **Gcp**: 112.3 Kg
- Peso de las 3 cadenas de aisladores + accesorios **Ga**: 156.6 Kg
- Peso del poste de hormigón **Gp**: 7244 Kg (considerar tres postes)

- Peso de las 3 ménsulas de los conductores de energía **Gm**: 1123.2 Kg
- Peso de los cuatro vínculos: **Gv**: 1560+2140+2480+3670=9850 Kg
- Con estos datos calculamos el peso total (**Gte**): 34019 Kg
- Altura libre del poste **hpl**: 20.5 m
- Empotramiento **he**: 2, m
- Separación entre ejes en la cima = 0.610 mts.
- Separación entre ejes en la base=1.5 mts
- Diámetro del poste en la cima: **dcp**= 0.305
- Diámetro del poste en la base **dbp**: 0.642 m

Diámetro del agujero= 0.642+0.10=0.742 adopto **0.75**

$a=b= 0.75+2*0.15+1.5=2.55$ Mts. .

Adopto a=b= 2.5 Mt. t =3 mts

Volumen de la base de H°

$$Vb = a \times b \times t - \left[\frac{\pi - db^2}{4} \right] \times he = 2.5 \times 2.5 \times 3 - \left[\frac{\pi - 0.75^2}{4} \right] \times 2 \times 2 = 16.2 [m^3]$$

Pb= peso de la base = 2200kg/m³ x 16.2 m³ = 35640 Kg

Volumen de tierra Gravante

$$Vtg = t/3 [a \times b + (a + 2t \times tg\beta)] \times (b + 2t \times tg\beta) + \sqrt{a \times b (a + 2t \times tg\beta) \times (b + 2t \times tg\beta)} - (a \times b \times t)] =$$

$$Vtg = 3/3 [2.5 \times 2.5 + (2.5 + 2 \times 3 \times 0.14)] \times (2.5 + 2 \times 3 \times 0.14) + \sqrt{2.5 \times 2.5 (2.5 + 2 \times 3 \times 0.14) \times (2.5 + 2 \times 3 \times 0.14)} - (2.5 \times 2.5 \times 3) = 7. [m^3]$$

Ptg= 7 m³ * 1700 Kg/m³= 11900 Kg

G= **Gte+Pb+Ptg** =34019 +35640+11900=81559 **Kg.**(sumatorias de todas fuerzas verticales)

$Cb = 7 * 3/2 = 10.5$ Kg/ cm³

$$Tg\alpha = \frac{2 \times G}{b \times Cb \times a^2}$$

$$Tg\alpha = \frac{2 \times 81559}{250 \times 10.5 \times 250^2} = 9.9 * 10^{-4}$$

Por lo tanto, como **tangα < 0,01** la expresión que debo usar para calcular el momento de la base es:

$$Mb = G \times \left[\frac{a}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{G}{b \times Cb \times Tg\alpha}} \right]$$

$$Mb = 81559 \times \left[\frac{250}{2} - 0.47 \sqrt{\frac{81559}{250 \times 10.5 \times 0.01}} \right] = 8028187 [kgcm]$$

Ahora calculemos el *Momento de Encastramiento Ms* para esto nuevamente debemos obtener el valor de $tg\alpha$ según esta fórmula:

$$Tg\alpha = \frac{6 \times \mu \times G}{b \times Ct \times t^2}$$

ct = Coeficiente de compresibilidad lateral, adoptaremos en nuestro caso adoptamos
 $ct = cb$

$$Tg\alpha = \frac{6 \times 0.5 \times 81559}{250 \times 10.5 \times 300^2} = 0.001$$

Por lo tanto, como $\tan \alpha < 0,01$ la expresión que debo usar para calcular el momento de Encastramiento Ms es:

$$Ms = \frac{b \times t^3 \times Ct \times tg\alpha}{36} = \frac{250 \times 300^3 \times 10.5 \times 0.01}{36} = 19687500 [Kgcm]$$

$$Ms/Mb = 19687500/8028187 = 2.45 \quad \text{Implica que } S = 1$$

Se debe verificar según Sulzberger, que el coeficiente de estabilidad sea tal que:

$$Ms + Mb \geq s \times Mv$$

Para calcular el momento de vuelco Mv necesito conocer el valor de la resultante de todas las fuerzas actuantes que tienden a volcar la estructura. Y eso ya lo calculamos en la hipótesis normal

FN3:

El tiro total en la cima para la hipótesis normal, teniendo en cuenta las cargas permanentes y las cargas debido al viento, vale:

$$F = \left\{ \sqrt{Td^2 + Flt^2} \right\} = \sqrt{41.8^2 + 6556.5^2} = 6556.6 Kg$$

$$Mv = F \times \left[\frac{2}{3}t + hpl \right] = 6556.6 \times [2/3 \times 300 + 2050] = 14752350 [Kgcm]$$

$$\frac{Ms + Mb}{Mv} \geq S = \frac{19687500 + 8028187}{14752350} = 1.88 \text{ se verifican las dimensiones}$$

preseleccionadas

Entonces las dimensiones de la fundación de la estructura triple poste rectangular angular (27°)

**Ancho a: 2.50 mts.
Largo b: 2.50 mts.
Profundidad t: 3 mts.**

Además, se debe verificar que el suelo soporte el esfuerzo realizado por las cargas verticales , es decir se debe verificar que:

$$\sigma_s = 1,7 \text{ kg/cm}^2. \quad \sigma_s \geq \frac{G}{a \times b} \left[\text{Kg/cm}^2 \right] = 81559/250 \times 250 = 1.30 \text{ Por lo tanto verifica}$$