

	Longitud de Vano (m)	Vano de regulación (m)	-5°C		0°C		5°C		10°C		15°C		20°C		25°C		30°C		35°C		40°C		45°C		50°C	
			Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)	Tensión (daN)	Flecha (m)
Apoyo 58 a Apoyo 59	271,18	270,8	1619,1	4,31	1570,58	4,44	1524,4	4,58	1480,56	4,71	1439,07	4,85	1399,95	4,98	1363,22	5,12	1327,65	5,25	1294,49	5,39	1262,5	5,53	1232,94	5,66	1203,95	5,79
Apoyo 59 a Apoyo 60PAS	89,53	89,46	1848,65	0,41	1745,25	0,44	1643,8	0,46	1544,31	0,49	1449,26	0,52	1353,77	0,56	1262,78	0,6	1176,34	0,65	1094,51	0,69	1017,34	0,75	946,13	0,8	880,95	0,86
Apoyo 61PAS a Apoyo 62	261,74	261,71	1637,41	3,96	1585,29	4,09	1536,71	4,22	1490,45	4,35	1446,54	4,49	1405,6	4,62	1366,42	4,75	1329,01	4,88	1294,62	5,01	1261,4	5,15	1229,37	5,28	1199,76	5,41
Apoyo 62 a Apoyo 63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Apoyo 63 a Apoyo 64	305,47	305,3	1599,82	5,53	1558,56	5,67	1519,05	5,82	1482,52	5,97	1446,54	6,11	1412,94	6,26	1380,52	6,41	1349,89	6,55	1321,07	6,7	1292,81	6,84	1266,38	6,98	1241,14	7,13
Apoyo 64 a Apoyo 65	359,5	359,5	1559,45	7,85	1527,86	8,01	1498,05	8,17	1469,41	8,33	1441,36	8,5	1415,1	8,65	1389,42	8,81	1364,94	8,97	1341,66	9,13	1319,59	9,28	1297,8	9,44	1277,22	9,59
Apoyo 65 a Apoyo 66	294,69	294,6	1604,22	5,13	1560,54	5,27	1519,81	5,41	1480,23	5,56	1443,63	5,7	1408,2	5,84	1374,54	5,99	1342,68	6,13	1312,61	6,27	1283,12	6,41	1256,05	6,55	1229,57	6,69
Apoyo 66 a Apoyo 67	218,15	218,02	1681,48	2,68	1618,57	2,79	1557,9	2,89	1500,72	3	1445,83	3,12	1395,71	3,23	1346,69	3,35	1301,25	3,47	1259,41	3,58	1218,73	3,7	1181,68	3,82	1145,8	3,94
Apoyo 67 a Apoyo 68PAS	197,84	197,82	1705,85	2,17	1635,74	2,27	1569,04	2,36	1505,8	2,46	1446,04	2,56	1389,79	2,67	1335,84	2,78	1286,69	2,88	1239,89	2,99	1195,45	3,1	1154,64	3,21	1116,24	3,32
Apoyo 69PAS a Apoyo 70	295,18	294,91	1603	5,15	1560,53	5,29	1519,2	5,44	1480,23	5,58	1443,02	5,72	1408,19	5,87	1373,92	6,01	1342,06	6,16	1311,99	6,3	1283,11	6,44	1256,05	6,58	1229,56	6,72
Apoyo 70 a Apoyo 71	395,42	354,02	1554,67	9,53	1523,07	9,73	1492,64	9,93	1463,39	10,13	1435,32	10,33	1408,45	10,52	1382,15	10,73	1357,66	10,92	1334,37	11,11	1311,68	11,3	1289,57	11,5	1268,67	11,69
Apoyo 71 a Apoyo 72	304,46	354,02	1554,67	5,65	1523,07	5,77	1492,64	5,88	1463,39	6	1435,32	6,12	1408,45	6,24	1382,15	6,35	1357,66	6,47	1334,37	6,58	1311,68	6,7	1289,57	6,81	1268,67	6,92
Apoyo 72 a Apoyo 73	345,11	354,02	1554,67	7,27	1523,07	7,42	1492,64	7,57	1463,39	7,72	1435,32	7,87	1408,45	8,02	1382,15	8,18	1357,66	8,33	1334,37	8,47	1311,68	8,62	1289,57	8,77	1268,67	8,91
Apoyo 73 a Apoyo 74	412,45	412,41	1536,56	10,49	1512,24	10,66	1487,89	10,84	1464,74	11,01	1442,79	11,18	1421,43	11,34	1400,66	11,51	1380,49	11,68	1361,21	11,85	1342,53	12,01	1324,76	12,17	1307,29	12,34
Apoyo 74 a Apoyo 75PAS EMF	36,68	35,23	229,7	0,58	217,43	0,61	206,79	0,64	197,44	0,67	189,07	0,7	181,68	0,73	175,1	0,76	169,17	0,78	163,72	0,81	158,77	0,84	154,31	0,86	150,17	0,88
Apoyo 101 a Apoyo Pórtico Set Guadarrama	41,33	39,11	224,44	0,76	214,61	0,8	206,09	0,83	198,37	0,86	191,31	0,89	185,05	0,92	179,29	0,95	174,01	0,98	169,22	1,01	164,76	1,04	160,46	1,07	156,65	1,09

7. CÁLCULO MECÁNICO DE APOYOS

Los cálculos mecánicos de apoyos se realizan de forma individual y para cada una de las distintas hipótesis de carga que establece la ITC-07 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión.

Estos cálculos incluyen para cada hipótesis los esfuerzos individuales que cada conductor y cable transmiten a la cruceta y a la cúpula de fibra óptica y el esfuerzo equivalente de todos ellos sobre el apoyo.

Los esfuerzos se referencian en un sistema de coordenadas cartesiano ortogonal a derechas (longitudinal, transversal, vertical).

Las distintas hipótesis de carga a considerar en el cálculo mecánico de apoyos serán las establecidas en las tablas 5 a 8 de la ITC-07 del RLAT siendo las siguientes:

- Hipótesis normales
- Hipótesis anormales

7.1. HIPÓTESIS NORMALES

Las hipótesis normales para considerar con las correspondientes sobrecargas a aplicar en cada una de ellas según la zona de aplicación B son las indicadas en la siguiente tabla:

Tipo de apoyo	Zona B	
	Viento	Viento + Hielo
Suspensión en alineación	Cargas permanentes Viento Temperatura -10°C	Cargas permanentes Viento + Hielo zona B Temperatura -15°C
Amarre en alineación	Cargas permanentes Viento Temperatura -10°C	Cargas permanentes Viento + Hielo zona B Temperatura -15°C
Amarre en ángulo	Cargas permanentes Viento Resultante del ángulo Temperatura -10°C	Cargas permanentes Viento + Hielo zona B Resultante del ángulo Temperatura -15°C
Anclaje en alineación	Cargas permanentes Viento Temperatura -10°C	Cargas permanentes Viento + Hielo zona B Temperatura -15°C
Anclaje en ángulo	Cargas permanentes Viento Resultante del ángulo Temperatura -10°C	Cargas permanentes Viento + Hielo zona B Resultante del ángulo Temperatura -15°C
Fin de línea	Cargas permanentes Viento	Cargas permanentes Viento + Hielo zona B

Tipo de apoyo	Zona B	
	Viento Des. de tracciones Temperatura -10°C	Viento + Hielo Des. de tracciones Temperatura -15°C

Se definen:

- V = Esfuerzo Vertical
- L = Esfuerzo Longitudinal
- T = Esfuerzo Transversal

El coeficiente de seguridad no será inferior a 1,5 en el caso de en apoyos y crucetas metálicas respecto al límite de fluencia.

Estos coeficientes de seguridad se aumentan un 25 % en aquellos apoyos que intervienen en cruzamientos según se describe en el apartado 5.3 de la ITC-LAT 07 del RLEAT

7.1.1. ESFUERZOS VERTICALES

Teoría del Gravivano

El cálculo de los esfuerzos verticales que conductores y cables transmiten a las crucetas y a la cúpula de fibra óptica se realiza mediante la teoría del Gravivano.

Se denomina gravivano a la longitud de vano que hay que considerar para determinar los esfuerzos verticales que debido a los pesos aparentes de conductores y cables se transmiten al apoyo.

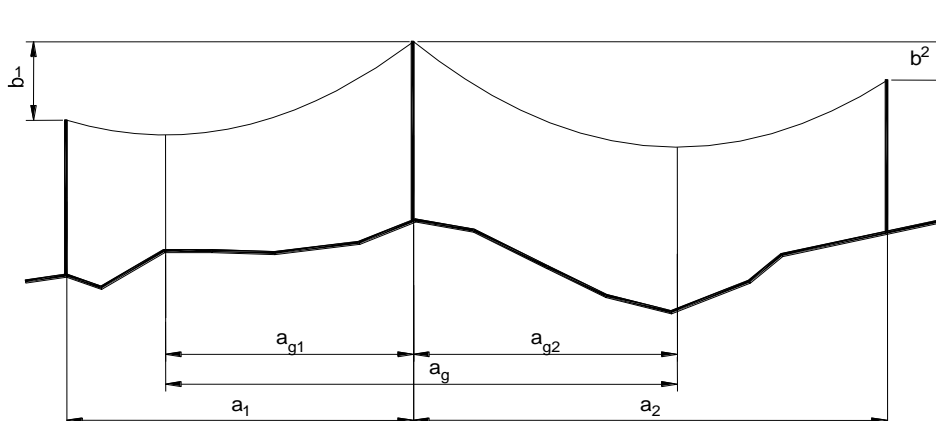
Dicha longitud viene determinada por la distancia horizontal que existe entre los vértices de las catenarias de los vanos contiguos al apoyo (ag).

El vértice de la catenaria modifica su situación con respecto a cada apoyo en función del parámetro de la catenaria, que varía con la temperatura y con el coeficiente de sobrecarga de cada hipótesis.

Para cada hipótesis normal y para cada apoyo se determina el valor del gravivano del conductor y cable de fibra óptica.

Adicionalmente también se calcula el gravivano del conductor para la hipótesis de mínima flecha con el objeto de evitar el posible ahorcamiento en las cadenas de suspensión.

En el dibujo se pueden observar los tramos de la catenaria que intervienen en la determinación del gravivano de un apoyo.



En los apoyos de anclaje se tendrá presente la diferencia del parámetro de la catenaria en cada semigravivano.

$$a_g = a_{g1} + a_{g2} \text{ (m)}$$

$$a_{g1} = a_1 - H_1 \left(\operatorname{argtanh} \frac{\left(ch \frac{a_1}{H_1} \right) - 1}{sh \frac{a_1}{H_1}} - \operatorname{argsh} \frac{\frac{b_1}{H_1}}{\sqrt{sh^2 \frac{a_1}{H_1} - \left(\left(ch \frac{a_1}{H_1} \right) - 1 \right)^2}} \right)$$

$$a_{g2} = H_2 \left(\operatorname{argtanh} \frac{\left(ch \frac{a_2}{H_2} \right) - 1}{sh \frac{a_2}{H_2}} - \operatorname{argsh} \frac{\frac{b_2}{H_2}}{\sqrt{sh^2 \frac{a_2}{H_2} - \left(\left(ch \frac{a_2}{H_2} \right) - 1 \right)^2}} \right)$$

Siendo el criterio de signos para b_1 y b_2 el siguiente:

- $b_1 > 0$ si $y_{b1} - y_{a1} > 0$
- $b_1 < 0$ si $y_{b1} - y_{a1} < 0$
- $b_2 > 0$ si $y_{b2} - y_{a2} > 0$
- $b_2 < 0$ si $y_{b2} - y_{a2} < 0$

Conocido el gravivano se determinan los esfuerzos verticales que el conductor y el cable transmiten sobre cruceta y cúpula de fibra óptica respectivamente.

$$P = P_A + P_B \quad (\text{daN})$$

$$P = p_a \left(H_1 sh \frac{a_{g1}}{H_1} + H_2 sh \frac{a_{g2}}{H_2} \right) \quad (\text{daN})$$

siendo:

- P Esfuerzo vertical que el cable o conductor transmite a la cruceta o cúpula de fibra óptica (daN)
- P_A Esfuerzo vertical que el cable o conductor del vano anterior al apoyo transmite a la cruceta o cúpula de fibra óptica (daN)

- P_B Esfuerzo vertical que el cable o conductor del vano posterior al apoyo transmite a la cruzeta o cúpula de fibra óptica (daN)
- p_a Peso aparente del cable o conductor (daN/m)
- a_g Gravivano del cable o conductor (m)
- H_1 Parámetro de la catenaria del cable o conductor en el vano anterior al apoyo (m)
- H_2 Parámetro de la catenaria del cable o conductor en el vano posterior al apoyo (m)

Cargas Permanentes

De acuerdo con el apartado 3.1.1 de la ITC-07 del RLEAT se consideran como cargas permanentes las cargas verticales debidas al peso propio de conductores, cables de fibra óptica, aisladores y herrajes, apoyos y cimentaciones.

Fuerzas del Viento sobre los Componentes de las Líneas Aéreas

De acuerdo con el apartado 3.1.2 de la ITC-LAT 07 del RLEAT se considera un viento de 120km/h que se supone horizontal actuando perpendicularmente a las superficies sobre las que incide.

Sobrecargas motivadas por el viento

De acuerdo con el apartado 3.1.2 de la ITC-LAT 07 del RLEAT los conductores y cables se consideran sometidos a una sobrecarga horizontal transversal por viento por unidad de longitud, cuyo valor será:

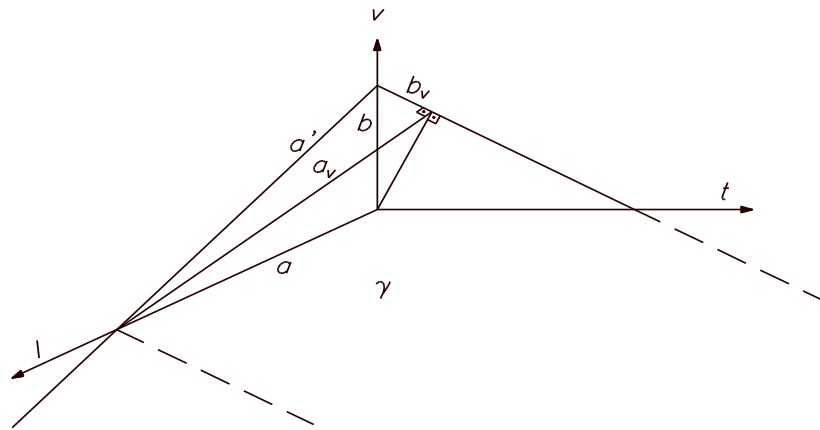
$$p_v = q d 10^{-3} \quad (\text{daN/m})$$

siendo:

- d Diámetro del conductor o cable (mm)
- q Presión de viento
- $q = 60 \left(\frac{v}{120}\right)^2$ para conductores $d < 16\text{mm}$
- $q = 50 \left(\frac{v}{120}\right)^2$ para conductores $d > 16\text{mm}$

Al no ser las fuerzas debidas al viento por unidad de longitud coplanarias con el plano vertical, la catenaria se sitúa en el plano resultante de las fuerzas (γ).

Para poder aplicar la teoría del gravivano habrá que considerar las proyecciones de a y b sobre el plano que contiene a la catenaria (γ).



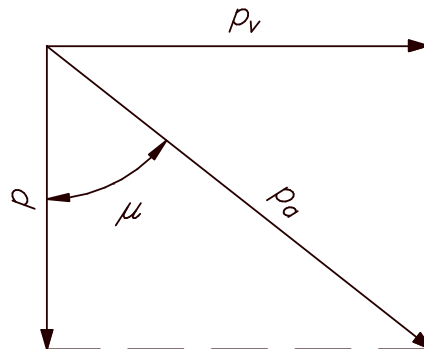
$$b_v = b \cos(\mu) \quad (\text{m})$$

$$a_v = \sqrt{a'^2 - b_v^2} = \sqrt{a^2 + b^2 \sin^2(\mu)} \quad (\text{m})$$

$$\mu = \text{tag}^{-1}\left(\frac{p_v}{p}\right)$$

$$a' = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (\text{m})$$

Siendo:



- b_v Proyección de b sobre el plano que contiene la catenaria (m)
- a_v Proyección de a sobre el plano que contiene la catenaria (m)

Una vez aplicada la teoría del gravitavo para referenciar el valor del esfuerzo vertical en el sistema de coordenadas principal se proyecta el valor del mismo sobre el plano vertical.

$$P = P' \cos(\mu) \quad (\text{daN})$$

donde:

- P' Esfuerzo vertical que el conductor o cable transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica referido al sistema de coordenadas secundario (plano que contiene la catenaria) (daN).
- P Esfuerzo vertical que el conductor o cable transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica referido al sistema de coordenadas principal (plano vertical) (daN).

7.1.2. ESFUERZOS HORIZONTALES, LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

Teoría del Eolovano

Para el cálculo de los esfuerzos horizontales transversales (F_t) que los conductores y cables transmiten a las crucetas y a la cúpula de fibra óptica se emplea la teoría del eolovano.

Se define el eolovano como la longitud de vano horizontal a considerar para la determinación del esfuerzo transversal que, debido a la acción del viento, los conductores y cables transmiten al apoyo. Esta longitud queda determinada por la semisuma de los dos vanos contiguos al apoyo.

$$a_v = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (\text{m})$$

Siendo:

- a_v Longitud del eolovano medido en la dirección longitudinal (m)
- a_1 Longitud del vano anterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m)
- a_2 Longitud del vano posterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m)

Apoyos de alineación con cadena de suspensión y amarre

a) Hipótesis del viento:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_l) y transversales (F_t) que cada conductor o cable de fibra óptica, debido a la acción del viento, transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica, se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.2.1 y con la tabla 5 y 6, de la ITC-LAT 07 del RLEAT mediante las siguientes expresiones:

$$F_l = 0 \quad (\text{daN})$$

$$F_t = p_v \cdot a_v \quad (\text{daN})$$

siendo:

- a_v Longitud del eolovano medido en la dirección longitudinal (m)
- p_v Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor o cable (daN/m)

b) Hipótesis del hielo:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_l) y transversales (F_t) que cada conductor, cable de fibra óptica o cable de tierra, debido a la acción del manguito de hielo, transmiten a la cruceta o cúpula de tierra, serán nulos.

$$F_t = 0 \quad (\text{daN})$$

$$F_l = 0 \quad (\text{daN})$$

En líneas de categoría especial será preciso considerar el esfuerzo transversal creado por el viento sobre los conductores:

$$F_t = n \cdot P_{v60} \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (\text{daN})$$

$$F_t = 0 \quad (\text{daN})$$

siendo,

- P_{v60} : Presión del viento sobre los conductores a la velocidad 60 km/h (daN/m²)
- d : Diámetro del conductor (m)
- a_1 : Longitud del vano anterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m).
- a_2 : Longitud del vano posterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m).
- n : Número de subconductores del haz

A su vez, se tendrá en cuenta, el manguito de hielo, por lo que la acción del viento sobre el conductor rodeado de hielo es, para diámetros menores o iguales a 16 mm:

$$P_v = 60 \left(\frac{v_v}{120} \right)^2 (d + 2e) \quad (\text{daN/m})$$

Para conductores de mayores diámetros:

$$P_v = 50 \left(\frac{v_v}{120} \right)^2 (d + 2e) \quad (\text{daN/m})$$

Siendo v_v la velocidad del viento 60 km/h y “e” el espesor del manguito de hielo, que viene dado por:

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

donde:

- r : radio del conductor expresado en milímetros.

Apoyos de ángulo con cadena de amarre y anclaje,

a) Hipótesis del viento:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_l) y transversales (F_t) que cada conductor, cable de fibra óptica o cable de fibra óptica, debido a la acción del viento, transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica, se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.2.1 y con la tabla 5 y 6, de la ITC-LAT 07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_l = 0 \quad (\text{daN})$$

$$F_t = n \left(p_v \frac{a_1 + a_2}{2} \left| \cos \frac{\alpha}{2} \right| + 2 \max[T_{0v1}, T_{0v2}] \left| \sin \frac{\alpha}{2} \right| \right) \quad (\text{daN})$$

siendo:

- n Número de subconductores del haz
- T_{0v1}, T_{0v2} Componente horizontal de la tensión del conductor o cable para la hipótesis de viento en los vanos anterior y posterior al apoyo (daN).
- p_v Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor o cable (daN/m)
- a_1 Longitud del vano anterior al apoyo medida en la dirección longitudinal (m)
- a_2 Longitud del vano posterior al apoyo medida en la dirección longitudinal (m)
- α Ángulo en grados sexagesimales que forman las alineaciones

b) Hipótesis del hielo:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_l) y transversales (F_t) que cada conductor, cable de fibra óptica o cable de tierra, debido a la acción del manguito de hielo, transmiten a la cruceta o cúpula de tierra, se determinarán, de acuerdo con el apartado. 3.1.3 y 3.1.6 de la ITC 07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_l = 0 \text{ (daN)}$$

$$F_t = n \cdot 2 \max [T_{0h1}, T_{0h2}] \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} \text{ (daN)}$$

siendo:

- T_{0h1}, T_{0h2} Componente horizontal de la tensión del conductor o cable para la hipótesis de hielo en los vanos anterior y posterior al apoyo, a -15 °C en zona B y -20°C en zona C (daN/m).
- n Número de subconductores del haz

En líneas de categoría especial será preciso considerar el esfuerzo transversal creado por el viento sobre los conductores teniendo presente el manguito de hielo:

$$F_l = 0 \text{ (daN)}$$

$$F_t = n \cdot \left(2 \cdot \max [T_{0h+v1}, T_{0h+v2}] \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2} + P_{v60} \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) \text{ (daN)}$$

Siendo:

- T_{0h+v1}, T_{0h+v2} Componente horizontal de la tensión del conductor o cable para la hipótesis de hielo (según zona) más viento a 60 km/h en los vanos anterior y posterior al apoyo, a -15 °C en zona B y -20°C en zona C (daN/m).
- P_{v60} Presión del viento a 60 km/h sobre los conductores (daN/m²)
- a_1 Longitud del vano anterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m).

- a_2 Longitud del vano posterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m).
- n Número de subconductores del haz

Apoyos de Fin de Línea

a) Hipótesis del viento:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_l) y transversales (F_t) que cada conductor, cable de fibra óptica o cable de fibra óptica, debido a la acción del viento, transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica, se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.2.1 y con la tabla 6, de la ITC-LAT 07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_l = T_{0v} \quad (\text{daN})$$

$$F_t = p_v \frac{a_1}{2} \quad (\text{daN})$$

siendo:

- T_{0v} Componente horizontal de la tensión del conductor o cable para la hipótesis de viento (N)
- p_v Fuerza por unidad de longitud del viento sobre el conductor o cable (daN/m)
- a_1 Longitud del vano del apoyo medido en la dirección longitudinal (m)

b) Hipótesis del hielo:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_l) y transversales (F_t) que cada conductor, cable de fibra óptica o cable de tierra, debido a la acción del manguito de hielo, transmiten a la cruceta o cúpula de tierra, se determinarán, de acuerdo con el apartado 3.1.3 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_l = n \cdot T_{0h} \quad (\text{daN})$$

$$F_t = 0 \quad (\text{daN})$$

siendo:

- T_{0h} Componente horizontal de la tensión del conductor o cable para la hipótesis de hielo
- n Número de subconductores del haz

En líneas de categoría especial será preciso considerar el esfuerzo transversal creado por el viento sobre los conductores:

$$F_l = n \cdot T_{0h+v} \quad (\text{daN})$$

$$F_t = n \cdot P_{v60} \cdot a_l \quad (\text{daN})$$

siendo,

T_{0h+v} Componente horizontal de la tensión del conductor o cable para la hipótesis de hielo más viento a 60 km/h, a-15 °C (daN/m).

P_{v60} Presión del viento a 60 km/h sobre los conductores (daN/m²)

a_1 Longitud del vano anterior al apoyo medido en la dirección longitudinal (m).

n Número de subconductores del haz

7.1.3. ESFUERZOS EQUIVALENTE EN EL APOYO

Los distintos esfuerzos que los conductores y cables de fibra óptica transmiten al apoyo en las hipótesis normales pueden representarse mediante un único esfuerzo aplicado en un punto del mismo (x_{equi} , y_{equi}) en donde las distintas componentes de este esfuerzo se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$F_{l\ equi} = \frac{\sum_1^n F_{li} y_i}{y_{equi}} \quad (\text{daN})$$

$$F_{t\ equi} = \frac{\sum_1^n F_{ti} y_i + F_{vi} x_i}{y_{equi}} \quad (\text{daN})$$

$$F_{v\ equi} = \sum_1^n F_{vi} \quad (\text{daN})$$

donde:

- $F_{l\ equi}$: Componente longitudinal del esfuerzo equivalente (daN)
- $F_{t\ equi}$: Componente transversal del esfuerzo equivalente (daN)
- $F_{v\ equi}$: Componente vertical del esfuerzo equivalente (daN)

7.2. HIPÓTESIS ANORMALES

Las hipótesis anormales a considerar con las correspondientes sobrecargas a aplicar en cada una de ellas son las indicadas en la siguiente tabla:

Tipo de apoyo	Zona B	
	Desequilibrio de tracciones	Rotura de conductores
Suspensión en alineación	Cargas permanentes Hielo zona b Des. De tracciones Temperatura -15°C	Cargas permanentes Hielo zona b Rotura De conductores Temperatura -15°C
Amarre en alineación	Cargas permanentes Hielo zona b Des. De tracciones Temperatura -15°C	Cargas permanentes Hielo zona b Rotura De conductores Temperatura -15°C
Amarre en ángulo	Cargas permanentes Hielo zona b Des. De tracciones Resultante de ángulo Temperatura -15°C	Cargas permanentes Hielo zona b Rotura De conductores Resultante de ángulo Temperatura -15°C
Anclaje en alineación	Cargas permanentes Hielo zona b Des. De tracciones Temperatura -15°C	Cargas permanentes Hielo zona b Rotura De conductores Temperatura -15°C
Anclaje en ángulo	Cargas permanentes Hielo zona b Des. De tracciones Resultante de ángulo Temperatura -15°C	Cargas permanentes Hielo zona b Rotura De conductores Resultante de ángulo Temperatura -15°C
Fin de línea	-	Cargas permanentes Hielo zona b Rotura De conductores Temperatura -15°C

El coeficiente de seguridad no será inferior a 1,2 en el caso de en apoyos y crucetas metálicas respecto al límite de fluencia.

7.2.1. ESFUERZOS VERTICALES

Los esfuerzos verticales para hipótesis anormales se calculan con el mismo procedimiento indicado en el apartado anterior, teniendo en cuenta que para la hipótesis de rotura de conductor se considerará que el conductor o cable de fibra óptica roto no ejerce esfuerzo vertical, El resto de los conductores se calculará con el mismo gravivano que las hipótesis anteriores.

7.2.2. ESFUERZOS HORIZONTALES INDIVIDUALES

Apoyos de alineación con cadenas de suspensión

a) Desequilibrio de tracciones:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_i) que cada conductor o cable de fibra óptica, debidos al desequilibrio de tracciones, transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.4.1 de la ITC-LAT 07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_i = 0,15 T_0 \quad (\text{daN})$$

Siendo:

- T_0 Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable en la citada hipótesis (daN).

Este esfuerzo se considera distribuido a lo largo del apoyo a la altura de los puntos de fijación de los conductores y cables de fibra óptica.

b) Rotura de conductores:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_i) que, debidos a la rotura de un conductor o cable de fibra óptica, se transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica, se determinan, de acuerdo con el apartado 3,1,5,1 de la ITC-LAT 07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_i = 0,5 T_0 \quad (\text{daN})$$

Siendo:

- T_0 Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable (daN),

En apoyos de ángulo con cadena de suspensión se valorará además del esfuerzo de torsión, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

Apoyos de alineación y ángulo con cadenas de amarre

a) Hipótesis de desequilibrio de tracciones:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_i) que cada conductor o cable de fibra óptica, debidos al desequilibrio de tracciones, transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica se determinan, de acuerdo con el apartado 3,1,4,2 de la ITC-LAT 07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_i = n \cdot 0,25 \max [T_{01}, T_{02}] \quad (\text{daN})$$

Siendo:

- $T_{01}T_{02}$: Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable en los vanos contiguos al apoyo (daN)
- n Número de subconductores del haz

Este esfuerzo se considera distribuido a lo largo del apoyo a la altura de los puntos de fijación de los conductores y cables de fibra óptica.

En apoyos de ángulo se estudiará el esfuerzo de ángulo debido al mismo.

b) Hipótesis de rotura de conductores:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_i) que, debidos a la rotura de un conductor o cable de fibra óptica, se transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica, se determinan, de acuerdo con el apartado 3,1,5,2 de la ITC-LAT 07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_i = \max [T_{01}, T_{02}] \quad (\text{daN})$$

Siendo:

- T_{01}, T_{02} : Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable en los vanos contiguos al apoyo (daN).

En apoyos de ángulo se valorará además del esfuerzo de torsión, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

Apoyos de Anclaje

a) Hipótesis de desequilibrio de tracciones:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_i) que cada conductor o cable de fibra óptica, debidos al desequilibrio de tracciones, transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica se determinan, de acuerdo con el apartado 3.1.4.3 de la ITC-LAT 07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_i = 0,5 \max [T_{01}, T_{02}] \quad (\text{daN})$$

siendo:

- T_{01}, T_{02} Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable en los vanos contiguos al apoyo (daN).

Este esfuerzo se considera distribuido a lo largo del apoyo a la altura de los puntos de fijación de los conductores y cables de fibra óptica.

En apoyos de ángulo se estudiará el esfuerzo de ángulo debido a esta circunstancia.

b) Hipótesis de rotura de conductores:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_i) que, debidos a la rotura de un conductor o cable de fibra óptica, se transmiten a la cruceta o cúpula de fibra óptica, se determinan, de acuerdo con el apartado 3,1,5,3 de la ITC-LAT 07 del RLEAT, mediante las siguientes expresiones:

$$F_i = \max [T_{01}, T_{02}] \quad (\text{daN}) \text{ para } n' = 1 \text{ conductores normales}$$

$$F_i = \max [T_{01}, T_{02}] n' 50\% \quad (\text{daN}) \text{ para } n' > 1 \text{ conductores en haz}$$

Siendo:

- T_{01}, T_{02} Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable en los vanos contiguos al apoyo (daN).
- n' Número de conductores por fase

En apoyos de ángulo se valorará además del esfuerzo de torsión, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

Apoyos de Fin de Línea

a) Hipótesis de desequilibrio de tracciones:

En apoyos fin de línea no se considera la hipótesis.

b) Hipótesis de rotura de conductores:

Los esfuerzos horizontales longitudinales (F_i) que, debidos a la rotura de un conductor, serán los mismos que en el apartado anterior, pero suponiendo, en el caso de las líneas con haces múltiples, los conductores sometidos a la tensión mecánica que les corresponda:

$$F_i = T_0 n' \quad (\text{daN})$$

siendo:

- T_0 Componente horizontal de la tensión máxima del conductor o cable (daN),
- n' Número de conductores por fase

7.2.3. ESFUERZOS EQUIVALENTE EN EL APOYO

Desequilibrio de Tracciones

Los distintos esfuerzos que los conductores y cable de fibra óptica transmiten al apoyo en la hipótesis de desequilibrio de tracciones pueden representarse mediante un único esfuerzo aplicado en un punto del mismo (x_{equi}, y_{equi}) en donde las distintas componentes de este esfuerzo se calcularán según lo establecido en el apartado anterior.

En apoyos de ángulo se estudiará el esfuerzo de ángulo debido a esta circunstancia.

Rotura de Conductores

La sollicitación que la rotura de un conductor transmite al apoyo se representa mediante un momento torsor en la dirección del eje vertical y un esfuerzo vertical aplicado en un punto del mismo (x_{equi}, y_{equi}) calculados según las siguientes expresiones:

$$M_{t\ equi} = F_{li} x_i \quad (\text{daN m})$$

$$F_{v\ equi} = \sum_1^n F_{vi} \quad (\text{daN})$$

El momento torsor se representa mediante un esfuerzo aplicado en un punto del apoyo a una distancia d del eje vertical, El valor de este esfuerzo equivalente se calcula según la siguiente expresión:

$$F_{l\ equi} = \frac{M_{t\ equi}}{d} \quad (\text{daN})$$

En apoyos de ángulo se valorará además del esfuerzo de torsión, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

7.3. TABLAS DE RESULTADOS

A continuación, se reflejan los resultados obtenidos para en el cálculo mecánico de apoyos.

SOLITACIONES EN CRUCETA

Hipótesis 1

Nº Apoyo	Nombre Apoyo	Función	H1 CONDUCTOR			H1 OPGW-1			H1 OPGW-2			H eq (daN)	H res (daN)	Aprov. apoyo (%)	Vc res (daN)	Vt res (daN)	Vc/Vc res (%)	Vt/Vt res (%)
			V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)							
53	IC-70000-25-N1333-ANC.str	ENTRONQUE	1023	5688	7708	129	2006	2609	181	383	2126	70754	69835	101,32%	5000	3000	20,46%	6,03%
54	CO-9000-36-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1594	1512	23	439	427	0	439	427	0	5459	9855	55,39%	2000	1500	79,70%	29,27%
55	CO-9000-30-S1775-SUS.STR	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	939	1400	2	229	453	1	229	453	1	5114	9855	51,89%	2000	1500	46,95%	15,27%
56	CO-9000-33-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1244	1435	1	345	462	0	345	462	0	5232	9855	53,09%	2000	1500	62,20%	23,00%
57	CO-18000-33-S1666-AM.str	ALINEACIÓN-AMARRE	1367	1444	2	236	463	5	237	464	5	5275	19280	27,36%	2000	1500	68,35%	15,80%
58	CO-33000-33-S1886-ANC.str	ÁNGULO-ANCLAJE	1840	5159	204	422	1785	111	423	1784	110	19879	34090	58,31%	2000	1500	92,00%	28,20%
59	CO-18000-18-S1666-ANC.str	ALINEACIÓN-ANCLAJE	960	912	391	94	203	218	96	204	219	4753	19280	24,65%	2000	1500	48,00%	6,40%
60PAS	CO-18000-15-PAS-SC.str	PAS	486	452	6204	-46	50	2088	-46	50	2088	24244	0		2000	1500	24,30%	-3,07%
61PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	657	561	6580	64	151	2309	64	151	2309	26343	40115	65,67%	3000	2000	21,90%	3,20%
62	CO-18000-18-S1666-AM.str	ALINEACIÓN-AMARRE	934	1082	72	135	151	2309	113	360	26	6308	19280	32,72%	2000	1500	46,70%	9,00%
63	CO-33000-27-S1886-ANC.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1557	2280	26	294	807	23	39	385	2354	10487	34090	30,76%	2000	1500	77,85%	19,60%
64	GCO-40000-30-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1577	6493	100	330	2256	42	331	2259	44	24380	40115	60,78%	3000	2000	52,57%	16,55%
65	GCO-40000-30-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1501	3825	96	304	1315	52	305	1311	52	14493	0		3000	2000	50,03%	15,25%
66	GCO-40000-20-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1230	6061	194	216	2095	84	217	2099	86	23129	40115	57,66%	3000	2000	41,00%	10,85%
67	CO-18000-15-S1666-ANC.str	ALINEACIÓN-ANCLAJE	698	859	44	44	241	24	46	242	26	3242	19280	16,82%	2000	1500	34,90%	3,07%
68PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	834	577	6477	111	183	2239	111	171	2238	25993	40115	64,80%	3000	2000	27,80%	5,55%
69PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	498	610	6648	12	169	2334	12	170	2334	26781	40115	66,76%	3000	2000	16,60%	0,60%
70	CO-27000-21-S1666-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	1501	1288	42	294	391	35	294	391	35	4842	28470	17,01%	2000	1500	75,05%	19,60%
71	CO-9000-30-S1775-SUS.STR	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1278	1218	1	366	392	1	366	392	1	4443	9855	45,08%	2000	1500	63,90%	24,40%
72	CO-9000-24-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1212	1133	6	348	364	2	348	365	2	4150	9855	42,11%	2000	1500	60,60%	23,20%
73	CO-33000-24-S1886-ANC.str	ÁNGULO-ANCLAJE	1225	2760	100	190	937	50	190	938	50	10555	34090	30,96%	2000	1500	61,25%	12,67%
74	CO-33000-27-S1886-ANC.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1295	1916	5966	248	662	2037	250	599	2034	28978	34090	85,00%	2000	1500	64,75%	16,67%
75PAS EMF	IME-PAS-EMF.STR	PAS EMF FIN DE LÍNEA	138	176	852	-98	53	389	-101	53	387	3966	0		0	0		
101	IC-55000-15-N1333-FL-Gua1.str	FIN DE LÍNEA	630	416	5419	60	207	1787	59	207	1786	38976	56040	69,55%	5000	3000	12,78%	2,00%

Hipótesis 2

Nº Apoyo	Nombre Apoyo	Función	H2 CONDUCTOR			H2 OPGW-1			H eq (daN)	H res (daN)	Aprov. apoyo (%)	Vc res (daN)	Vt res (daN)	Vc/Vc res (%)	Vt/Vt res (%)
			V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)							
53	IC-70000-25-N1333-ANC.str	ENTRONQUE	1371	5879	7791	265	2201	2729	71829	71950	99,83%	5000	3000	27,42%	8,83%
54	CO-9000-36-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	2308	655	10	735	188	0	2371	10960	21,63%	2000	1500	115,40%	49,00%
55	CO-9000-30-S1775-SUS.STR	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1662	473	0	515	196	0	1811	10960	16,52%	2000	1500	83,10%	34,33%
56	CO-9000-33-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1997	488	0	651	201	0	1866	10960	17,03%	2000	1500	99,85%	43,40%
57	CO-18000-33-S1666-AM.str	ALINEACIÓN-AMARRE	2110	496	3	528	202	8	1917	19745	9,71%	2000	1500	105,50%	35,27%
58	CO-33000-33-S1886-ANC.str	ÁNGULO-ANCLAJE	2484	4616	150	689	1749	143	18078	35015	51,63%	2000	1500	124,20%	46,07%
59	CO-18000-18-S1666-ANC.str	ALINEACIÓN-ANCLAJE	1289	516	375	218	89	324	3501	19745	17,73%	2000	1500	64,45%	14,67%
60PAS	CO-18000-15-PAS-SC.str	PAS	574	367	6553	-19	22	2236	25276	0		2000	1500	28,70%	-1,27%
61PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	898	267	6909	155	68	2557	26778	41490	64,54%	3000	2000	29,93%	7,75%
62	CO-18000-18-S1666-AM.str	ALINEACIÓN-AMARRE	1436	434	72	234	69	2557	4374	19745	22,15%	2000	1500	71,80%	20,60%
63	CO-33000-27-S1886-ANC.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	2129	1642	22	525	666	20	8603	35015	24,57%	2000	1500	106,45%	35,00%
64	GCO-40000-30-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	2193	6069	70	582	2288	52	23101	41490	55,68%	3000	2000	73,10%	29,25%
65	GCO-40000-30-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	2107	3226	80	549	1224	72	12502	0		3000	2000	70,23%	27,55%
66	GCO-40000-20-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1699	5791	155	405	2141	107	22341	41490	53,85%	3000	2000	56,63%	20,35%
67	CO-18000-15-S1666-ANC.str	ALINEACIÓN-ANCLAJE	1058	391	37	185	110	37	1580	19745	8,00%	2000	1500	52,90%	12,53%
68PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	1031	363	6806	187	127	2451	26651	41490	64,23%	3000	2000	34,37%	9,35%
69PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	759	277	6977	109	75	2597	27108	41490	65,34%	3000	2000	25,30%	5,45%
70	CO-27000-21-S1666-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	2135	501	36	550	172	56	2067	29535	7,00%	2000	1500	106,75%	36,67%
71	CO-9000-30-S1775-SUS.STR	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1928	416	0	635	170	0	1588	10960	14,49%	2000	1500	96,40%	42,33%
72	CO-9000-24-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1817	387	1	598	158	0	1481	10960	13,51%	2000	1500	90,85%	39,87%

73	CO-33000-24-S1886-ANC.str	ÁNGULO-ANCLAJE	1902	1968	89	455	762	64	7822	35015	22,34%	2000	1500	95,10%	30,33%
74	CO-33000-27-S1886-ANC.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1743	1473	6150	432	580	2241	28426	35015	81,18%	2000	1500	87,15%	28,93%
75PAS EMF	IME-PAS-EMF.STR	PAS EMF FIN DE LÍNEA	156	144	935	-109	47	471	4273	0		0	0		
101	IC-55000-15-N1333-FL-Gua1.str	FIN DE LÍNEA	782	240	5669	140	179	1877	39579	58460	67,70%	5000	3000	15,86%	4,67%

Hipótesis 3

Nº Apoyo	Nombre Apoyo	Función	H3 CONDUCTOR			H3 OPGW-1			H3 OPGW-2			H eq (daN)	H res (daN)	Aprov. apoyo (%)
			V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)			
53	IC-70000-25-N1333-ANC.str	ENTRONQUE	1603	6314	7099	350	2350	2475	238	340	2286	92882	90575	102,55%
54	CO-9000-36-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	2274	212	1061	723	4	404	723	4	404	4635	14600	31,75%
55	CO-9000-30-S1775-SUS.STR	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1698	0	1058	528	0	404	528	0	404	3982	14600	27,27%
56	CO-9000-33-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1999	5	1058	652	0	404	652	0	404	3997	14600	27,38%
57	CO-18000-33-S1666-AM.str	ALINEACIÓN-AMARRE	2143	10	1765	540	1	681	542	1	681	6689	26760	25,00%
58	CO-33000-33-S1886-ANC.str	ÁNGULO-ANCLAJE	2430	3186	3424	667	1204	1353	669	1201	1353	24941	44880	55,57%
59	CO-18000-18-S1666-ANC.str	ALINEACIÓN-ANCLAJE	1474	310	3645	287	1	1442	288	1	1444	14753	26760	55,13%
60PAS	CO-18000-15-PAS-SC.str	PAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
61PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53115	0,00%
62	CO-18000-18-S1666-AM.str	ALINEACIÓN-AMARRE	1540	104	1796	234	5	2556	347	47	683	8991	26760	33,60%
63	CO-33000-27-S1886-ANC.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	2197	964	3497	569	401	1311	187	237	2606	17938	44880	39,97%
64	GCO-40000-30-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	2198	4289	3254	584	1611	1242	586	1610	1244	28336	53115	53,35%
65	GCO-40000-30-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	2112	2142	3493	551	804	1340	553	800	1340	21189	0	
66	GCO-40000-20-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1785	4153	3273	437	1532	1240	439	1532	1244	27826	53115	52,39%
67	CO-18000-15-S1666-ANC.str	ALINEACIÓN-ANCLAJE	1179	148	3436	228	7	1262	230	7	1264	13292	26760	49,67%
68PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53115	0,00%
69PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53115	0,00%
70	CO-27000-21-S1666-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	2180	98	1777	570	4	705	570	4	705	7043	38150	18,46%
71	CO-9000-30-S1775-SUS.STR	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1914	5	1051	629	0	398	629	0	398	3964	14600	27,15%
72	CO-9000-24-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1832	6	1052	603	0	398	604	0	398	3970	14600	27,19%
73	CO-33000-24-S1886-ANC.str	ÁNGULO-ANCLAJE	2087	1146	3568	531	436	1381	531	436	1380	17775	44880	39,61%
74	CO-33000-27-S1886-ANC.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1802	1088	6575	455	420	2460	457	382	2455	28706	44880	63,96%
75PAS EMF	IME-PAS-EMF.STR	PAS EMF FIN DE LÍNEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
101	IC-55000-15-N1333-FL-Gua1.str	FIN DE LÍNEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73130	0,00%

Hipótesis 4 (Rotura de conductores)

Nº Apoyo	Nombre Apoyo	Función	H4 CONDUCTOR ROTO			H4 OPGW-1			H4 OPGW-2			T res (daN)	Aprov. apoyo (%)
			V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)		
53	IC-70000-25-N1333-ANC.str	ENTRONQUE	1322	6314	7099	265	2181	2661	238	340	2286	10660	66,59%
54	CO-9000-36-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1778	159	1765	735	4	0	735	4	0	4580	38,54%
55	CO-9000-30-S1775-SUS.STR	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1344	0	1763	515	0	0	515	0	0	4580	38,49%
56	CO-9000-33-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1560	4	1763	651	0	0	651	0	0	4580	38,49%
57	CO-18000-33-S1666-AM.str	ALINEACIÓN-AMARRE	1730	9	3528	528	1	8	529	1	8	4810	73,35%
58	CO-33000-33-S1886-ANC.str	ÁNGULO-ANCLAJE	2006	3186	3424	689	1591	133	691	1587	132	6270	54,61%
59	CO-18000-18-S1666-ANC.str	ALINEACIÓN-ANCLAJE	1180	310	3645	218	1	324	220	1	326	4810	75,78%
60PAS	CO-18000-15-PAS-SC.str	PAS	574	314	6553	-19	0	2236	-19	0	2236	0	
61PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	898	113	6908	155	5	2556	155	5	2556	0	
62	CO-18000-18-S1666-AM.str	ALINEACIÓN-AMARRE	1310	107	3523	234	5	2556	309	46	44	4810	73,24%
63	CO-33000-27-S1886-ANC.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1864	964	3497	525	518	18	143	237	2606	6270	55,77%
64	GCO-40000-30-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1804	4289	3254	582	2140	47	585	2141	49	7030	46,29%
65	GCO-40000-30-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1715	2142	3493	549	1068	68	551	1061	67	0	
66	GCO-40000-20-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1464	4153	3273	405	2027	99	407	2029	102	7030	46,56%
67	CO-18000-15-S1666-ANC.str	ALINEACIÓN-ANCLAJE	943	148	3436	185	9	37	188	9	39	4810	71,43%
68PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	1031	247	6804	187	79	2449	187	67	2450	0	
69PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	759	104	6975	109	4	2597	109	5	2597	0	
70	CO-27000-21-S1666-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	1793	99	3521	550	4	56	550	4	56	6170	57,07%
71	CO-9000-30-S1775-SUS.STR	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1549	4	1752	635	0	0	635	0	0	4580	38,25%
72	CO-9000-24-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1537	4	1752	598	0	0	598	0	0	4580	38,25%
73	CO-33000-24-S1886-ANC.str	ÁNGULO-ANCLAJE	1709	1146	3568	455	579	63	455	579	61	6270	56,91%
74	CO-33000-27-S1886-ANC.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1524	1088	6575	432	471	2230	434	394	2219	6270	104,86%
75PAS EMF	IME-PAS-EMF.STR	PAS EMF FIN DE LÍNEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
101	IC-55000-15-N1333-FL-Gua1.str	FIN DE LÍNEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10580	0,00%

Hipótesis 4 (Rotura de cable de fibra óptica)

Nº Apoyo	Nombre Apoyo	Función	H4 CONDUCTOR			H4 OPGW-1 ROTO			H4 OPGW-2 ROTO			T res (daN)	Aprov. apoyo (%)
			V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)		
53	IC-70000-25-N1333-ANC.str	ENTRONQUE	1371	5829	7631	265	2519	2661	238	340	2286	6000	44,35%
54	CO-9000-36-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	2308	212	3	735	4	2692	735	4	2692	5000	53,84%
55	CO-9000-30-S1775-SUS.STR	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1662	0	0	515	0	2692	515	0	2692	5000	53,84%
56	CO-9000-33-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1997	5	0	651	0	2692	651	0	2692	5000	53,84%
57	CO-18000-33-S1666-AM.str	ALINEACIÓN-AMARRE	2110	12	3	528	1	2700	529	1	2700	5000	54,00%
58	CO-33000-33-S1886-ANC.str	ÁNGULO-ANCLAJE	2484	4235	127	689	1591	2574	691	1587	2574	5000	51,48%
59	CO-18000-18-S1666-ANC.str	ALINEACIÓN-ANCLAJE	1289	305	373	218	1	2560	220	1	2562	5000	51,24%
60PAS	CO-18000-15-PAS-SC.str	PAS	574	314	6553	-19	0	2236	-19	0	2236	5000	44,72%
61PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	898	113	6908	155	5	2556	155	5	2556	5000	51,12%
62	CO-18000-18-S1666-AM.str	ALINEACIÓN-AMARRE	1436	100	69	234	5	2556	309	51	2601	5000	52,02%
63	CO-33000-27-S1886-ANC.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	2129	1284	22	525	518	2604	143	237	2606	5000	52,12%
64	GCO-40000-30-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	2193	5713	58	582	2140	2438	585	2141	2440	5000	48,80%
65	GCO-40000-30-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	2107	2851	73	549	1068	2612	551	1061	2613	5000	52,26%
66	GCO-40000-20-S1113.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1699	5516	138	405	2027	2381	407	2029	2385	5000	47,70%

Nº Apoyo	Nombre Apoyo	Función	H4 CONDUCTOR			H4 OPGW-1 ROTO			H4 OPGW-2 ROTO			T res (daN)	Aprov. apoyo (%)
			V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	T (daN)	L (daN)		
67	CO-18000-15-S1666-ANC.str	ALINEACIÓN-ANCLAJE	1058	148	35	185	9	2487	188	9	2490	5000	49,80%
68PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	1031	247	6804	187	79	2449	187	67	2450	5000	49,00%
69PAS	GCO-40000-15-PAS.str	PAS	759	104	6975	109	4	2597	109	5	2597	5000	51,94%
70	CO-27000-21-S1666-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	2135	96	34	550	4	2653	550	4	2653	5000	53,06%
71	CO-9000-30-S1775-SUS.STR	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1928	5	0	635	0	2653	635	0	2653	5000	53,06%
72	CO-9000-24-S1775-SUS.str	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	1817	6	1	598	0	2653	598	0	2653	5000	53,06%
73	CO-33000-24-S1886-ANC.str	ÁNGULO-ANCLAJE	1902	1526	85	455	579	2700	455	579	2699	5000	54,00%
74	CO-33000-27-S1886-ANC.STR	ÁNGULO-ANCLAJE	1743	1212	6123	432	471	2691	434	394	2690	5000	53,82%
75PAS EMF	IME-PAS-EMF-STR	PAS EMF FIN DE LÍNEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
101	IC-55000-15-N1333-FL-Gua1.str	FIN DE LÍNEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6000	0,00%

Nota 1: Los esfuerzos nominales considerados para los apoyos, están sujetos a verificación por parte del fabricante.

Nota 2: La validación de apoyos de entronque, está sujeta a verificación por parte del fabricante.

Nota 3: La validación de los pórticos de cruzamiento, está sujeta a verificación por parte del fabricante.

8. CÁLCULO MECÁNICO DE CIMENTACIONES

Las cimentaciones serán de zapatas individuales para los apoyos seleccionados, acorde con los valores proporcionados por el fabricante IMEDEXA, o similares.

En las cimentaciones cuya estabilidad esté fundamentalmente confiada a las reacciones verticales del terreno, de acuerdo con lo establecido en el apdo, 3,6 de la ITC-LAT 07 del Reglamento de líneas eléctricas, el coeficiente de seguridad al vuelco para las distintas hipótesis no será inferior a los siguientes valores:

- Hipótesis normales (H1 y H2) 1,50
- Hipótesis anormales (H3 y H4) 1,20

En las cimentaciones cuya estabilidad esté fundamentalmente confiada a las reacciones horizontales del terreno de acuerdo con lo establecido en el apdo, 2 del Reglamento de líneas eléctricas, la tangente del ángulo de giro al alcanzar el equilibrio no será superior a 0,01, siendo el coeficiente de seguridad al vuelco, para las distintas hipótesis, no inferior a los siguientes valores:

- Para: $0 \leq \frac{M_{ch}}{M_{cv}} \leq 1$ 1,50
- Para: $\frac{M_{ch}}{M_{cv}} > 1$ 1,50

Siendo:

- M_{ch} : Momento estabilizador debido a las reacciones horizontales del terreno sobre las paredes del macizo (daN m).
- M_{cv} : Momento estabilizador debido a las reacciones verticales del terreno sobre el fondo del macizo (daNm).

Estos coeficientes de seguridad se verán aumentados un 25% para las hipótesis normales en aquellos apoyos que intervengan en cruzamientos con otras líneas o con vías de comunicación y paso sobre zonas urbanas.

Las tensiones máximas que la cimentación transmite al terreno no excederán los valores máximos fijados para el mismo.

8.1. CIMENTACIONES DE ZAPATAS INDIVIDUALES

Comprobación al arranque

El esfuerzo que se opone a la salida del macizo del terreno es debido a las siguientes fuerzas:

- Peso del macizo de hormigón.
- 1/4 parte del peso del apoyo.
- Peso de la tierra comprendida en un tronco de cono cuya superficie está limitada por una generatriz que partiendo de la arista inferior del macizo tiene una inclinación hacia el exterior definida por el ángulo de arranque β .

Se cumplirá que:

$$C_s = \frac{P_e}{P_{arr}}$$

comprobándose que el coeficiente de estabilidad de la cimentación o coeficiente de seguridad al vuelco, definido como la relación entre las fuerzas que se oponen al arranque del apoyo (P_e) y la carga nominal de arranque (P_{arr}), no sea inferior a 1,5 para las hipótesis normales y 1,2 para las anormales.

El esfuerzo estabilizador que tiende a contrarrestar el esfuerzo al arranque P_{arr} vendrá dado por la siguiente expresión:

$$P_e = P_h + \frac{P_a}{4} + P_\beta \quad (\text{daN})$$

siendo,

- P_e Esfuerzo estabilizador (daN)
- P_h Peso del bloque de hormigón (daN)
- P_a Peso del apoyo (daN)
- P_β Peso de las tierras que serían arrancadas (daN)

Comprobación a compresión

Se comprobará que las tensiones de compresión transmitidas al terreno en el fondo de la cimentación son inferiores a las tensiones máximas admisibles del mismo.

Las tensiones de compresión ejercidas sobre el terreno vendrán dadas por la siguiente expresión:

$$\sigma_c = \frac{C + \frac{P_a}{4} + p_h}{S} \quad (\text{daN/cm}^2)$$

Siendo:

- P_a Peso del apoyo (daN)
- P_h Peso del bloque de hormigón (daN)
- C Compresión máxima por montante (daN).

- S Superficie de la base del macizo (cm²).

El valor de σ_c deberá resultar inferior o igual al admisible para cada tipo de terreno.

8.2. CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES

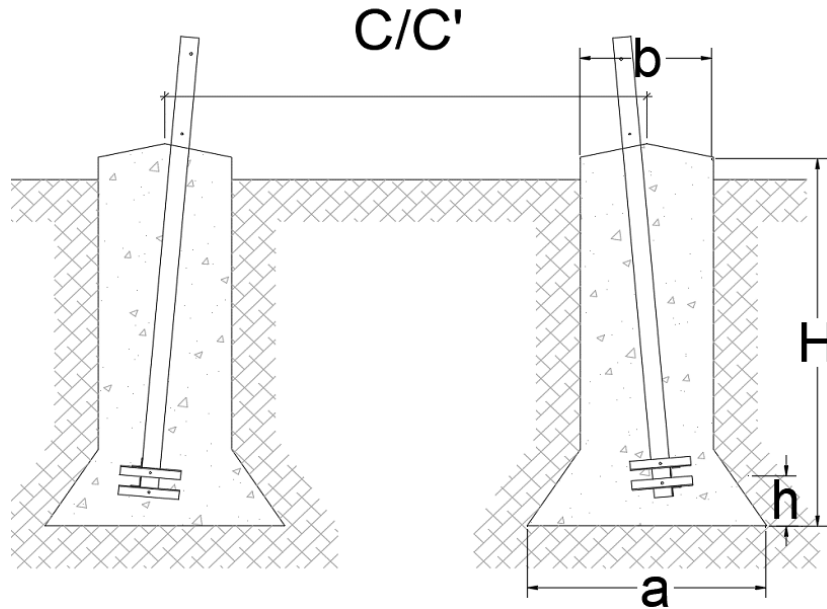
Las cimentaciones fraccionadas seleccionadas serán de tipo tetrabloque circular con cueva. Las características dimensionales de las cimentaciones correspondientes a cada apoyo de la línea objeto del presente proyecto se incluyen en la siguiente tabla:

Nº Apoyo	Nombre del Apoyo	Función	CIMENTACIONES									
			Nº de patas	h	a	c	b	H	V exc unit (m3)	V exc (m3)	V horm (m3)	
53	IC-70000-25-N1333	ENTRONQUE	Tetrabloque	2	3,55	6,97	1,55	4,35		15,1719617	60,69	62,32
54	CO-9000-36-S1775	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	Tetrabloque	0,5	1,4	7,97	0,9	2,85		2,02253117	8,09	8,64
55	CO-9000-30-S1775	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	Tetrabloque	0,40	1,35	6,95	0,90	2,75		1,90	7,59	8,14
56	CO-9000-33-S1775	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	Tetrabloque	0,40	1,35	7,43	0,90	2,80		1,93	7,72	8,27
57	CO-18000-33-S1666	ALINEACIÓN-AMARRE	Tetrabloque	0,65	1,85	7,43	1,10	3,40		3,75	14,99	15,82
58	CO-33000-33-S1886	ÁNGULO-ANCLAJE	Tetrabloque	0,85	2,40	7,43	1,40	3,95		7,24	28,95	30,28
59	CO-18000-18-S1666	ALINEACIÓN-ANCLAJE	Tetrabloque	0,55	1,75	4,85	1,10	3,35		3,55	14,21	15,04
60PAS	CO-18000-15-PAS	PAS	Tetrabloque	0,50	1,70	4,32	1,10	3,35		3,49	13,96	14,78
61PAS	GCO-40000-15-PAS	PAS	Tetrabloque	1,15	2,70	5,27	1,30	3,65		7,08	28,31	29,46
62	CO-18000-18-S1666	ALINEACIÓN-AMARRE	Tetrabloque	0,55	1,75	4,85	1,10	3,35		3,55	14,21	15,04
63	CO-33000-27-S1886	ÁNGULO-ANCLAJE	Tetrabloque	0,80	2,35	6,40	1,40	3,95		7,11	28,42	29,76
64	GCO-40000-30-S1113	ÁNGULO-ANCLAJE	Tetrabloque	1,10	2,65	8,32	1,30	3,80		7,08	28,34	29,49
65	GCO-40000-30-S1113	ÁNGULO-ANCLAJE	Tetrabloque	1,10	2,65	8,32	1,30	3,80		7,08	28,34	29,49
66	GCO-40000-20-S1113	ÁNGULO-ANCLAJE	Tetrabloque	1,05	2,55	6,28	1,30	3,80		6,81	27,25	28,40
67	CO-18000-15-S1666	ALINEACIÓN-ANCLAJE	Tetrabloque	0,50	1,70	4,32	1,10	3,35		3,49	13,96	14,78
68PAS	GCO-40000-15-PAS	PAS	Tetrabloque	1,15	2,70	5,27	1,30	3,65		7,08	28,31	29,46
69PAS	GCO-40000-15-PAS	PAS	Tetrabloque	1,15	2,70	5,27	1,30	3,65		7,08	28,31	29,46
70	CO-27000-21-S1666	ALINEACIÓN-AMARRE	Tetrabloque	0,70	2,15	5,35	1,30	3,70		5,65	22,60	23,75

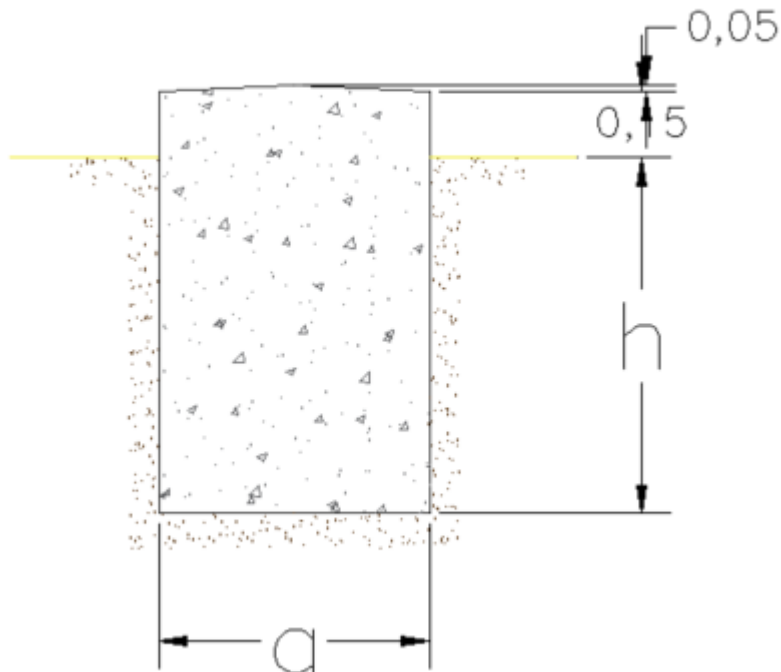
Nº Apoyo	Nombre del Apoyo	Función	CIMENTACIONES									
			Nº de patas	h	a	c	b	H	V exc unit (m3)	V exc (m3)	V horm (m3)	
71	CO-9000-30-S1775	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	Tetrabloque	0,40	1,35	6,95	0,90	2,75		1,90	7,59	8,14
72	CO-9000-24-S1775	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	Tetrabloque	0,35	1,30	5,92	0,90	2,75		1,86	7,45	8,00
73	CO-33000-24-S1886	ÁNGULO-ANCLAJE	Tetrabloque	0,85	2,35	5,92	1,35	3,90		6,71	26,82	28,07
74	CO-33000-27-S1886	ÁNGULO-ANCLAJE	Tetrabloque	0,80	2,35	6,40	1,40	3,95		7,11	28,42	29,76
75PAS EMF	IME-PAS-EMF	PAS EMF FIN DE LÍNEA	Tetrabloque	1,15	2,70	5,27	1,30	3,65		7,08	28,32	29,48
101	IC-55000-15-N1333	FIN DE LÍNEA	Tetrabloque	1,50	2,90	5,30	1,40	4,05		9,59	38,37	39,70

Para la interpretación de los anteriores valores se tomará como ejemplo la siguiente figura:

- Circular con cueva:



- Cuadrada recta monobloque:



9. PUESTA A TIERRA

Los apoyos se conectarán a tierra teniendo presente lo especificado en el apartado 7 de la ITC-07 del Reglamento de líneas eléctricas de Alta Tensión.

- **Apoyos Frecuentados:** Se considerarán apoyos frecuentados todos aquellos apoyos situados en suelos clasificados como urbanos o urbanizables programados en los Planes de Ordenación del Territorio, En estos casos es necesario garantizar el cumplimiento de las tensiones de paso y contacto.
- **Apoyos No Frecuentados:** Se considerarán no frecuentados los apoyos que no se puedan incluir como frecuentados según lo indicado anteriormente. En estos casos, si se garantiza la desconexión inmediata de la línea en caso de falta a tierra, no es necesario el cumplimiento de las tensiones de paso y contacto.

El diseño del sistema de puesta a tierra debe satisfacer, en función del tipo de apoyo, los siguientes requisitos:

Tipo de apoyo	Requisitos diseño PAT
Apoyo frecuentado	Actuación correcta de las protecciones Cumplir tensión de contacto admisible Dimensionamiento ante los efectos del rayo
Apoyo no frecuentado	Actuación correcta de las protecciones
Apoyo frecuentado con medidas adicionales de seguridad que impidan el contacto	Actuación correcta de las protecciones Cumplir tensión de paso admisible

Todos los apoyos de la línea son del tipo No Frecuentados a excepción del **PAS 155, PAS 156 Y PAS 163**.

9.1. DIMENSIONAMIENTO CON RESPECTO A LA RESISTENCIA TÉRMICA

Los elementos empleados en la puesta a tierra son:

- Línea de tierra: Doble cable de acero galvanizado de 50 mm² de sección (en total son 4 conductores de acero 50 mm²), Los apoyos dispondrán de dos líneas de tierra situadas en lados opuestos del apoyo.
- Electrodo de puesta a tierra:
 - En apoyos no frecuentados: 2 picas de difusión vertical de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro.
 - En apoyos frecuentados: anillo difusor de cobre desnudo de 50 mm² de sección y 4 picas de difusión vertical de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro.

Según esta configuración, en caso de falta la línea de tierra conducirá la totalidad de la corriente de falta mientras que los electrodos conducirán como máximo la mitad de dicha intensidad.



Para los cálculos siguientes se seguirán los criterios marcados en la MIE-RAT 13 y la ITC 07.

De acuerdo con la normativa las densidades de corriente máximas por los conductores en régimen de cortocircuito son las siguientes:

Material	Corriente máxima (A)
Cobre	160
Acero	60

Con estas consideraciones y los conductores elegidos, las corrientes de cortocircuito máximas admisibles por todos los elementos instalados en conjunto se presentan en la siguiente tabla:

Material	Corriente máxima (A)
Línea de tierra	12000
Electrodos	18472

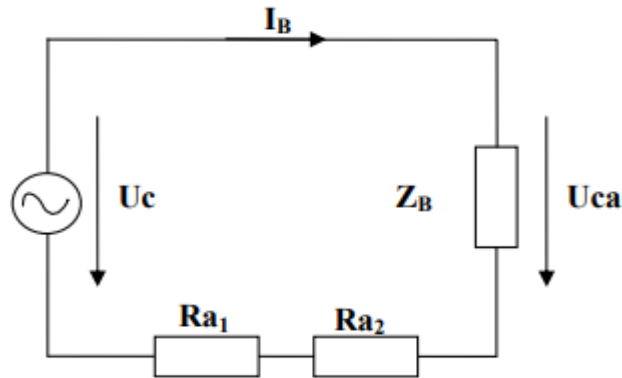
Estos cálculos se han realizado con una temperatura final de 200 grados centígrados que garantice la integridad de los conductores y el cumplimiento de la normativa vigente.

9.2. DIMENSIONAMIENTO CON RESPECTO A LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS

Los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada, U_{ca} , a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre la mano y los pies, en función de la duración de la corriente de falta, se dan en la siguiente tabla:

Duración de la corriente de falta, t_F (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, U_{ca} (V)
0,05	735
0,10	633
0,2	528
0,3	420
0,4	310
0,5	204
1	107
2	90
5	81
10	80
>10	50

Para determinar las máximas tensiones de contacto admisibles se debe emplear el siguiente esquema y la expresión:



$$U_c = U_{ca} \cdot \left[1 + \frac{R_{a1} + 1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right]$$

Donde:

- U_{ca} : Tensión de contacto aplicada admisible (tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre una mano y los pies).
- Z_B : Impedancia del cuerpo humano
- I_B : Corriente que fluye a través del cuerpo
- U_c : Tensión de contacto máxima admisible en la línea que garantiza la seguridad de las personas, considerando resistencias adicionales (por ejemplo, resistencia a tierra del punto de contacto, calzado, presencia de superficies de material aislante).
- R_{a1} : Es, por ejemplo, la resistencia de un calzado cuya suela sea aislante (se puede emplear como valor de la resistencia equivalente paralelo del calzado 1000 W de ambos pies).
- R_{a2} : Resistencia equivalente paralelo a tierra del punto de contacto con el terreno de ambos pies ($R_{a2}=1,5r_s$, donde r_s es la resistividad superficial aparente del suelo cerca de la superficie).

Con esta ecuación, la tabla anterior y en función de distintos valores de la resistividad del terreno se procede a calcular la máxima tensión de contacto admisible.

Tiempo de actuación de la protección de la línea	ρ_s (ohmios,metro)	U_c (kV)	
		Sin calzado	Con calzado
100 ms	100	0,72	1,36

	200	0,82	1,45
	300	0,91	1,55
	400	1,01	1,64
	500	1,10	1,74
1190 ms	100	0,10	0,20
	200	0,12	0,21
	300	0,13	0,23
	400	0,15	0,24
	500	0,16	0,25

Si la tensión de puesta a tierra, U_E , no es menor que dos veces la tensión de contacto admisible en la instalación, U_c , se procederá a comprobar que las tensiones de contacto calculadas, U_c' , sean inferiores a las tensiones de contacto admisibles U_c .

Caso que tampoco se cumpla esta última condición, se recurrirá al empleo de medidas adicionales de seguridad que impidan el contacto con la torre metálica a fin de reducir el riesgo de las personas y de los bienes, en cuyo caso será necesario cumplir los valores máximos admisibles de las tensiones de paso.

La tensión de paso admisible que se empleará en este apartado es:

$$U_{pa} = 10 \cdot U_{ca}$$

Y empleando la ecuación:

$$U_p = U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{4 \cdot R_{a1} + 4 \cdot R_{a2}}{1000} \right]$$

Se obtienen los siguientes resultados:

Tiempo de actuación de la protección de la línea	ρ_s	U_c (kV)	
	(ohmios.metro)	Sin calzado	Con calzado
100 ms	100	10,13	35,45
	200	13,93	39,25
	300	17,72	43,04
	400	21,52	46,84
	500	25,32	50,64
1190 ms	100	1,6	5,6
	200	2,2	6,2
	300	2,8	6,8
	400	3,4	7,4
	500	4	8