

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Ejercicio. Grado aproximación con parábola

Conductor LA110

$p = 0,433 \text{ kg/m}$

$T_0 = 900 \text{ kg}$

	a = 250 m	b = 25 m	a = 500 m	b = 25 m	a = 500 m	b = 50 m
	Exacto	Aprox.	Exacto	Aprox.	Exacto	Aprox.
x_m	$x_m = h \operatorname{arc} \sinh \left(\frac{\frac{b}{2h}}{\sinh \frac{a}{2h}} \right)$ 207,3827	$x_m = h \frac{b}{a}$ 207,8522	207,0095	207,8522	412,0005	415,7044
y_m	2088,9		2088,8		2119,5	
T_m	$T_m = py_m \text{ (1)}$ 904,4834	$T_m = T_0 \frac{a'}{a} \text{ (2)}$ 904,4888	904,4673	904,4888	917,7386	917,8235
x_A	82,3827	} vértice virtual	-42,9905		162,0005	} vértice virtual
x_B	332,3827		457,0095		662,0005	
y_A	2080,2		2079		2084,8	
y_B	2105,2		2129		2184,8	
T_A	900,7070		900,1925		902,7350	
T_B	911,5320		921,8425		946,0350	



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Ejercicio. Grado aproximación con parábola

Conductor LA110

$p = 0,433 \text{ kg/m}$

$T_0 = 900 \text{ kg}$

	a = 250 m	b = 25 m	a = 500 m	b = 25 m	a = 500 m	b = 50 m
	Exacto	Aprox.	Exacto	Aprox.	Exacto	Aprox.
l	$l = h \left[\sinh \left(\frac{x_B}{h} \right) - \sinh \left(\frac{x_A}{h} \right) \right]$ 251,3969	$l = a' + \frac{p^2 a^2 a'}{24 T_m^2}$ $T_m (1)$ 251,2469+0,1499= 251,3968	503,6942	502,4938+1,1996= 503,6934	511,0850	509,9020+ 1,1824= 511,0843
		$T_m (2)$ 251,2469+0,1499= 251,3968		502,4938+1,1996= 503,6934		509,9020+ 1,1822= 511,0841
x_f	$x_f = h \operatorname{asinh} \left(\frac{b}{a} \right)$ 207,5073	$x_m = h \frac{b}{a}$ 207,8522	207,5073	207,8522	412,9818	415,7044
y_f	2088,9		2088,9		2119,7	
f	$f = y_A - y_f + \frac{b}{a} (x_f - x_A)$ 3,7785	$f = \frac{p a'^2}{8 T_m} + \frac{p^3 a'^4}{384 T_m^3}$ $T_m (1)$ 3,7774+0,0011= 3,7786	15,1276	15,1101+0,0182= 15,1283	15,3498	15,3339+0,0185= 15,3524
		$T_m (2)$ 3,7774+0,0011= 3,7786		15,1097+0,0182= 15,1279		15,3325+0,0185= 15,3510

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Tablas de cálculo mecánico y tendido

- Facilitar los cálculos en el proyecto de la línea. Lo hace el proyectista.
- Las tablas muestran la componente horizontal de tracción T_0 y la flecha bajo distintos estados del conductor y distancias de los vanos, supuestos a nivel.
- Las tablas corresponden con un conductor, zona y valor máximo para la componente horizontal de tracción.

Sección m.m.² 146,00
 Diámetro m.m. 15,70
 Mód. elástico kg./m.m.² 8.200
 Coef. dilatación $17,8 \times 10^{-6}$
 Peso del cable kg./m. 0,543
 Carga de rotura kg. 5.484

CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES
ZONA B
CABLE ALUMINIO ACERO TIPO LA-145
 (30 + 7 ALAMBRES DE 2,24 mm ø)

Viento kg./m. 0,942
 Hielo kg./m. 0,713
 T_{máx. admisible} kg. 1.800
 T = Tensión en kg.
 F = Flecha en cm.

VANO REGULADOR m.	-15°		50°		-5° Viento		-10° Viento		15° Viento		-15° Hielo		0° Hielo		CHSa - 5°		EDSa 15°		T. Máximo	
	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	%	T	%	T	Cs
80	1060	40	349	124	1083	80	1152	75	852	102	1284	78	1087	92	885	16,1	597	10,9	1284	4,3
100	1043	65	405	167	1144	118	1205	112	936	145	1347	116	1171	134	885	16,1	633	11,5	1347	4,1

El RLAT especifica fuerzas en daN en lugar de kg como hacía el antiguo RLAT (1 kg = 9,8 N)

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Tablas de cálculo mecánico

- **Cabecera.** Datos característicos del conductor con sobrecargas de viento y hielo.
- Para cada longitud se proporciona componente horizontal de tracción y flecha en distintas condiciones:

- Tracción máxima.
- Flecha máxima.
- EDS (fenómenos vibratorios).
- CHS (fenómenos vibratorios).
- Hipótesis para el cálculo de apoyos (iguales a las de tracción máxima).

Cálculo mecánico del conductor

Distancias de seguridad

- Flecha mínima.
- Hipótesis para el cálculo de la desviación de la cadena de aisladores.

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Tablas de cálculo mecánico

- **Flecha mínima.** Para comprobar si existe tiro ascendente sobre los apoyos y comprobar distancias de seguridad en los cruzamientos con otras líneas. (ITC-LAT07 ap. 5.6.1.).

Zona A	-5°C sin sobrecarga
Zona B	-15°C sin sobrecarga
Zona C	-20°C sin sobrecarga

- **Hipótesis para el cálculo de la desviación de la cadena de aisladores.** Para respetar las distancias de seguridad entre los conductores y las partes puestas a tierra. (ITC-LAT07 ap. 5.4.2.).

	T_a	Sobrecarga
Zona A	-5°C	p+p _v con sobrecarga viento mitad q/2 V _v = 120 Km/h
Zona B	-10°C	
Zona C	-15°C	



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Tablas de cálculo mecánico

Sección m.m.² 146,00
 Diámetro m.m. 15,70
 Mód. elástico kg./m.m.² 8.200
 Coef. dilatación 17,9 x 10⁻⁶
 Peso del cable kg./m. 0,543
 Carga de rotura kg. 5.484

CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES
 ZONA B
 CABLE ALUMINIO ACERO TIPO LA-145
 (30 + 7 ALAMBRES DE 2,24 mm ø)

Viento kg./m. 0,942
 Hielo kg./m. 0,713
 Tmáx. admisible kg. 1800
 T = Tensión en kg.
 F = Flecha en cm.

VANO REGULADOR m.	-15°		50°		-5° Viento		-10° Viento		15° Viento		-15° Hielo		0° Hielo		CHSa - 5°		EDSa 15°		Máximo	
	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	%	T	%	T	Cs
80	1060	40	349	124	1083	80	1152	75	852	102	1284	78	1087	92	885	16,1	597	10,9	1284	4,3
100	1043	65	405	167	1144	118	1205	112	936	145	1347	116	1171	134	885	16,1	633	11,5	1347	4,1
120	1026	95	454	215	1200	163	1255	155	1011	193	1406	160	1246	181	885	16,1	664	12,1	1406	3,9
140	1010	131	497	267	1251	212	1301	204	1077	247	1460	210	1314	234	885	16,1	690	12,6	1460	3,8
160	995	174	535	324	1297	268	1343	259	1137	306	1510	266	1376	292	885	16,1	713	13	1510	3,6
180	982	223	568	387	1338	329	1380	319	1190	370	1556	326	1432	355	885	16,1	733	13,4	1556	3,5
200	970	279	597	454	1375	395	1414	384	1238	439	1597	393	1482	423	885	16,1	749	13,7	1597	3,4
220	959	342	623	527	1409	466	1444	455	1280	513	1635	464	1527	497	885	16,1	764	13,9	1635	3,4
240	951	411	647	604	1438	544	1471	532	1319	593	1668	542	1568	576	885	16,1	777	14,2	1668	3,3
260	930	493	662	693	1452	632	1482	619	1344	683	1685	629	1593	666	873	15,9	780	14,2	1685	3,3
280	910	584	673	790	1462	728	1490	719	1363	781	1697	725	1612	763	861	15,7	780	14,2	1697	3,2
300	894	683	684	893	1471	831	1496	817	1380	886	1707	827	1630	866	851	15,5	780	14,2	1707	3,2
325	877	817	694	1033	1480	969	1503	955	1398	1026	1719	964	1649	1005	841	15,3	780	14,2	1719	3,2
350	864	962	704	1181	1488	1118	1509	1103	1414	1177	1729	1112	1665	1155	833	15,2	780	14,2	1729	3,2
375	853	1118	711	1342	1495	1278	1513	1263	1428	1338	1737	1271	1679	1314	827	15,1	780	14,2	1737	3,2
400	844	1286	718	1512	1501	1448	1518	1432	1440	1510	1745	1439	1692	1484	821	15	780	14,2	1745	3,1
425	837	1464	724	1693	1506	1630	1521	1614	1450	1693	1751	1619	1703	1665	817	14,9	780	14,2	1751	3,1
450	831	1653	729	1885	1511	1821	1525	1804	1459	1886	1757	1809	1712	1857	813	14,8	780	14,2	1757	3,1
475	826	1854	734	2086	1515	2024	1527	2008	1467	2090	1762	2010	1721	2058	809	14,8	780	14,2	1762	3,1
500	821	2066	738	2299	1518	2238	1530	2220	1474	2305	1766	2222	1728	2271	807	14,7	780	14,2	1766	3,1
525	817	2289	741	2524	1521	2462	1532	2445	1481	2529	1770	2444	1735	2494	804	14,7	780	14,2	1770	3,1
550	814	2522	744	2759	1524	2697	1534	2680	1487	2764	1773	2678	1741	2727	802	14,6	780	14,2	1773	3,1
575	811	2767	747	3004	1526	2944	1535	2927	1492	3011	1776	2922	1746	2972	800	14,6	780	14,2	1776	3,1
600	808	3024	749	3262	1528	3202	1537	3183	1496	3270	1779	3177	1751	3227	798	14,6	780	14,2	1779	3,1

— TMax
 — FMax
 — V
 — FMin

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Tablas de cálculo mecánico

- Se debe comprobar que $T_{max} \leq \frac{T_{rot. \text{ mínima}}}{2.5 \text{ o } 3}$ (extremo del vano más alto) con $T_{0 \text{ max}}$ especificada.
- Se aplica de forma sucesiva la ecuación de cambio de estado. Estado 1 es de la máxima tracción fijada de antemano y se escoge la hipótesis a priori más restrictiva (tracción máxima) y se verifica la elección comparando resultados con las otras condiciones por parejas.
- Para cada longitud se proporciona componente horizontal de tracción y flecha en distintas condiciones.

Tablas de tendido

- Se calculan de manera análoga a las tablas de cálculo mecánico pero para calcular diferentes hipótesis a encontrar el día del tendido sin sobrecarga . Abarcan un margen entre -5°C a 40°C con intervalos de 5°C .

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Ejercicio. Comparación hipótesis de tracción máxima

Comparar hipótesis reglamentarias de tracción máxima para una línea de 1ª categoría en la zona B con conductor CARDINAL.

CONDUCTOR CARDINAL

$$E = 7000 \text{ kg/mm}$$

$$p = 1,826 \text{ kg/m}$$

$$S = 546,1 \text{ mm}^2$$

$$d = 30,38 \text{ mm}$$

$$T_{\text{rot}} = 15536 \text{ kg}$$

VANO

$$a = 350 \text{ m}$$

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

$$a' = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{350^2 + (50)^2} = 353,5534 \text{ m}$$

ZONA B			
HIPÓTESIS	Tª	SOBRECARGA VIENTO	SOBRECARGA HIELO
Tracción máxima viento	-10°C	Ver sobrecarga viento $V_v = 120 \text{ Km/h}$	No se aplica
Tracción máxima hielo	-15°C	No se aplica	Ver sobrecarga hielo
(*)Tracción máxima h+v	-15°C	Ver sobrecarga viento $V_v \geq 60 \text{ Km/h}$	Ver sobrecarga hielo

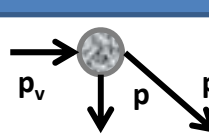
(*) En líneas no de categoría especial se puede considerar si lo prevé el proyectista. Se debe considerar en la sobrecarga de viento el espesor del manguito de hielo considerando peso volumétrico del hielo de 750 daN/m^3 .

Ejercicio. Comparación hipótesis de tracción máxima

1.- SE PARTE DE LA HIPÓTESIS DE VIENTO

Se piensa que la hipótesis de sobrecarga de viento es la más restrictiva. Aplicando la ecuación de cambio de estado se calcula las otras hipótesis de carga.

Estado 1. Hipótesis viento



$$p_v = q \frac{d}{1000}$$

$$q = 50 \left(\frac{v_v}{120} \right)^2 \quad d > 16 \text{ mm}$$

$$p_v = 50 \left(\frac{120}{120} \right)^2 \frac{30,38}{1000} = 1,5190 \text{ kg/m}$$

$$p_1 = p' = \sqrt{p^2 + p_v^2} = 2,3752 \text{ kg/m}$$

$$\mu = \arctan \frac{p_v}{p} = 0,6939$$

$$b_1 = b_v = b \cos \mu = 38,4387 \text{ m}$$

$$a_1 = a_v = \sqrt{a'^2 - b_v^2} = 351,4576 \text{ m}$$

$$T_B = \frac{T_{\text{rot}}}{2,5} = \frac{15536}{2,5} = 6214,4 \text{ kg}$$

$$T_{m1} = \frac{1}{4} \left[(2T_B - p_1 b_v) + \sqrt{(p_1 b_v - 2T_B)^2 - 2p_1^2 a'^2} \right] = 6154,4 \text{ kg}$$

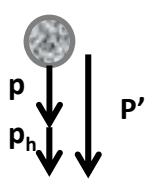
θ_1	p_1	T_{m1}
-10 °C	2,3752 kg	6154,4 kg

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Ejercicio. Comparación hipótesis de tracción máxima

1.- SE PARTE DE LA HIPÓTESIS DE VIENTO

Estado 2. Hipótesis de hielo



$$p_h = 0,18\sqrt{d} = 0,18\sqrt{30,38} = 0,9921 \text{ kg/m}$$

$$p_2 = p' = p + p_h = 2,8181 \text{ kg/m}$$

$$a_2 = a = 350 \text{ m}$$

$$b_2 = b = 50 \text{ m}$$

θ_2	p_2	T_{m2}
-15 °C	2,8181 kg	A determinar

$$A = \frac{a_1^2 p_1^2}{24 T_{m1}^2} ES + \alpha ES (\theta_2 - \theta_1) - T_{m1} = -3592,9$$

$$B = \frac{a_2^2 p_2^2}{24} ES = 1,5496 \cdot 10^{11}$$

$$T_{m2}^2 (T_{m2} + A) = B$$

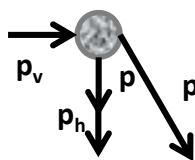
$$T_{m2} = 6873,1 \text{ kg} > 6154,4 = T_{m1}$$

La elección de la hipótesis de viento como la más restrictiva no es adecuada

Ejercicio. Comparación hipótesis de tracción máxima

1.- SE PARTE DE LA HIPÓTESIS DE VIENTO

Estado 3. Hipótesis combinada hielo+viento



$$p_h = 0,18\sqrt{d} = 0,18\sqrt{30,38} = 0,9921 \text{ kg/m}$$

p' (resultante)

Se debe considerar en la sobrecarga de viento el espesor del manguito de hielo considerando peso volumétrico del hielo de 750 daN/m^3 . $v_v = 60 \text{ km/h}$

$$p_v = q \frac{d + 2e}{1000} = q \frac{2r_{ext}}{1000}$$

$$q = 50 \left(\frac{v_v}{120} \right)^2 \quad d > 16 \text{ mm}$$

$$S_h = \pi (r_{ext}^2 - r_{cond}^2)$$

$$r_{ext} = \sqrt{\frac{S_h}{\pi} + \frac{d^2}{4}} = \sqrt{\frac{p_h}{750\pi} + \frac{d^2}{4}} = \sqrt{\frac{0,9921}{750\pi} + \frac{0,030380^2}{4}} = 0,02553 \text{ m}$$

$$p_v = 50 \left(\frac{60}{120} \right)^2 \frac{2 \cdot 25,53}{1000} = 0,6383 \text{ kg/m}$$

$$\mu = \arctan \frac{p_v}{p + p_h} = 0,2227$$

$$p_3 = p' = \sqrt{(p + p_h)^2 + p_v^2} = 2,8895 \text{ kg/m}$$

$$b_3 = b_v = b \cos \mu = 48,7649 \text{ m}$$

$$a_3 = a_v = \sqrt{a'^2 - b_v^2} = 350,1742 \text{ m}$$

θ_3	ρ_3	T_{m3}
-15 °C	2,8895 kg	A determinar

Ejercicio. Comparación hipótesis de tracción máxima

1.- SE PARTE DE LA HIPÓTESIS DE VIENTO

Estado 3. Hipótesis combinada hielo+viento

θ_3	ρ_3	T_{m3}
-15 °C	2,8181 kg	A determinar

$$\left. \begin{aligned}
 A &= \frac{a_1^2 p_1^2}{24 T_{m1}^2} ES + \alpha ES (\theta_3 - \theta_1) - T_{m1} = -3592,9 \\
 B &= \frac{a_3^2 p_3^2}{24} ES = 1,6307 \cdot 10^{11}
 \end{aligned} \right\} \begin{aligned}
 T_{m3}^2 (T_{m3} + A) &= B \\
 T_{m3} &= 6959,6 \text{ kg} > 6154,4 = T_{m1}
 \end{aligned}$$

La elección de la hipótesis de viento como la más restrictiva no es adecuada

Es necesario rehacer los cálculos porque la hipótesis de viento no es la más restrictiva.

Ejercicio. Comparación hipótesis de tracción máxima

2.- SE PARTE DE LA HIPÓTESIS COMBINADA HIELO+VIENTO

Del análisis anterior se ha deducido que la hipótesis más restrictiva es la combinada hielo+viento.

Estado 1. Hipótesis combinada hielo+viento

Del apartado anterior:

$$p_h = 0,18\sqrt{d} = 0,18\sqrt{30,38} = 0,9921 \text{ kg/m}$$

$$p_v = 50 \left(\frac{60}{120} \right)^2 \frac{2 \cdot 25,53}{1000} = 0,6383 \text{ kg/m}$$

$$\mu = \arctan \frac{p_v}{p + p_h} = 0,2227$$

$$p_1 = p' = \sqrt{(p + p_h)^2 + p_v^2} = 2,8895 \text{ kg/m}$$

$$b_1 = b_v = b \cos \mu = 48,7649 \text{ m}$$

$$a_1 = a_v = \sqrt{a'^2 - b_v^2} = 350,1742 \text{ m}$$

$$T_B = \frac{T_{\text{rot}}}{2,5} = \frac{15536}{2,5} = 6214,4 \text{ kg}$$

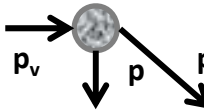
$$T_{m1} = \frac{1}{4} \left[(2T_B - p_1 b_v) + \sqrt{(p_1 b_v - 2T_B)^2 - 2p_1^2 a'^2} \right] = 6122,6 \text{ kg}$$

θ_1	p_1	T_{m1}
-15 °C	2,8895 kg	6122,6 kg

Ejercicio. Comparación hipótesis de tracción máxima

2.- SE PARTE DE LA HIPÓTESIS COMBINADA HIELO+VIENTO

Estado 2. Hipótesis viento



$$p_v = q \frac{d}{1000}$$

$$q = 50 \left(\frac{v_v}{120} \right)^2 \quad d > 16 \text{ mm}$$

$$p_v = 50 \left(\frac{120}{120} \right)^2 \frac{30,38}{1000} = 1,5190 \text{ kg/m}$$

$$p_2 = p' = \sqrt{p^2 + p_v^2} = 2,3752 \text{ kg/m}$$

$$\mu = \arctan \frac{p_v}{p} = 0,6939$$

$$b_2 = b_v = b \cos \mu = 38,4387 \text{ m}$$

$$a_2 = a_v = \sqrt{a'^2 - b_v^2} = 351,4576 \text{ m}$$

θ_2	p_2	T_{m2}
-10 °C	2,3752 kg	A determinar

$$A = \frac{a_1^2 p_1^2}{24 T_{m1}^2} ES + \alpha ES (\theta_2 - \theta_1) - T_{m1} = -1403,7$$

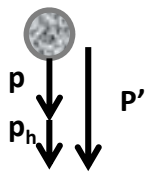
$$B = \frac{a_2^2 p_2^2}{24} ES = 1,11 \cdot 10^{11}$$

$$\left. \begin{array}{l} A = \frac{a_1^2 p_1^2}{24 T_{m1}^2} ES + \alpha ES (\theta_2 - \theta_1) - T_{m1} = -1403,7 \\ B = \frac{a_2^2 p_2^2}{24} ES = 1,11 \cdot 10^{11} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_{m2}^2 (T_{m2} + A) = B \\ T_{m2} = 5322,2 \text{ kg} < 6122,6 = T_{m1} \end{array}$$

Ejercicio. Comparación hipótesis de tracción máxima

2.- SE PARTE DE LA HIPÓTESIS COMBINADA HIELO+VIENTO

Estado 3. Hipótesis hielo



$$p_h = 0,18\sqrt{d} = 0,18\sqrt{30,38} = 0,9921 \text{ kg/m}$$

$$p_2 = p' = p + p_h = 2,8181 \text{ kg/m}$$

$$a_2 = a = 350 \text{ m}$$

$$b_2 = b = 50 \text{ m}$$

θ_3	p_3	T_{m3}
-15 °C	2,8181 kg	A determinar

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{a_1^2 p_1^2}{24 T_{m1}^2} ES + \alpha ES (\theta_3 - \theta_1) - T_{m1} = -1746,7 \\ B &= \frac{a_3^2 p_3^2}{24} ES = 1,5589 \cdot 10^{11} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} T_{m3}^2 (T_{m3} + A) &= B \\ T_{m3} &= 6031,6 \text{ kg} < 6122,6 = T_{m1} \end{aligned}$$

Se ha comprobado que la hipótesis más restrictiva es la combinada hielo+viento.