



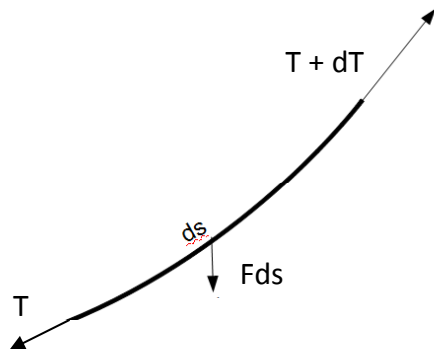
I Líneas aéreas

2

CÁLCULOS MECÁNICOS

El conductor se considera un hilo flexible e inextensible

Cálculo mecánico del conductor
Estudio de la teoría de hilos



La fuerza interna de tracción, en cualquier punto del hilo, es tangente a la curva de equilibrio del conductor.

$$\frac{dx}{T_x} = \frac{dy}{T_y} = \frac{dz}{T_z} = \frac{ds}{T}$$

$$\left(\frac{dx}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dy}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dz}{ds}\right)^2 = 1$$

La curva de equilibrio se encuentra en un plano paralelo a la dirección de las fuerzas externas.



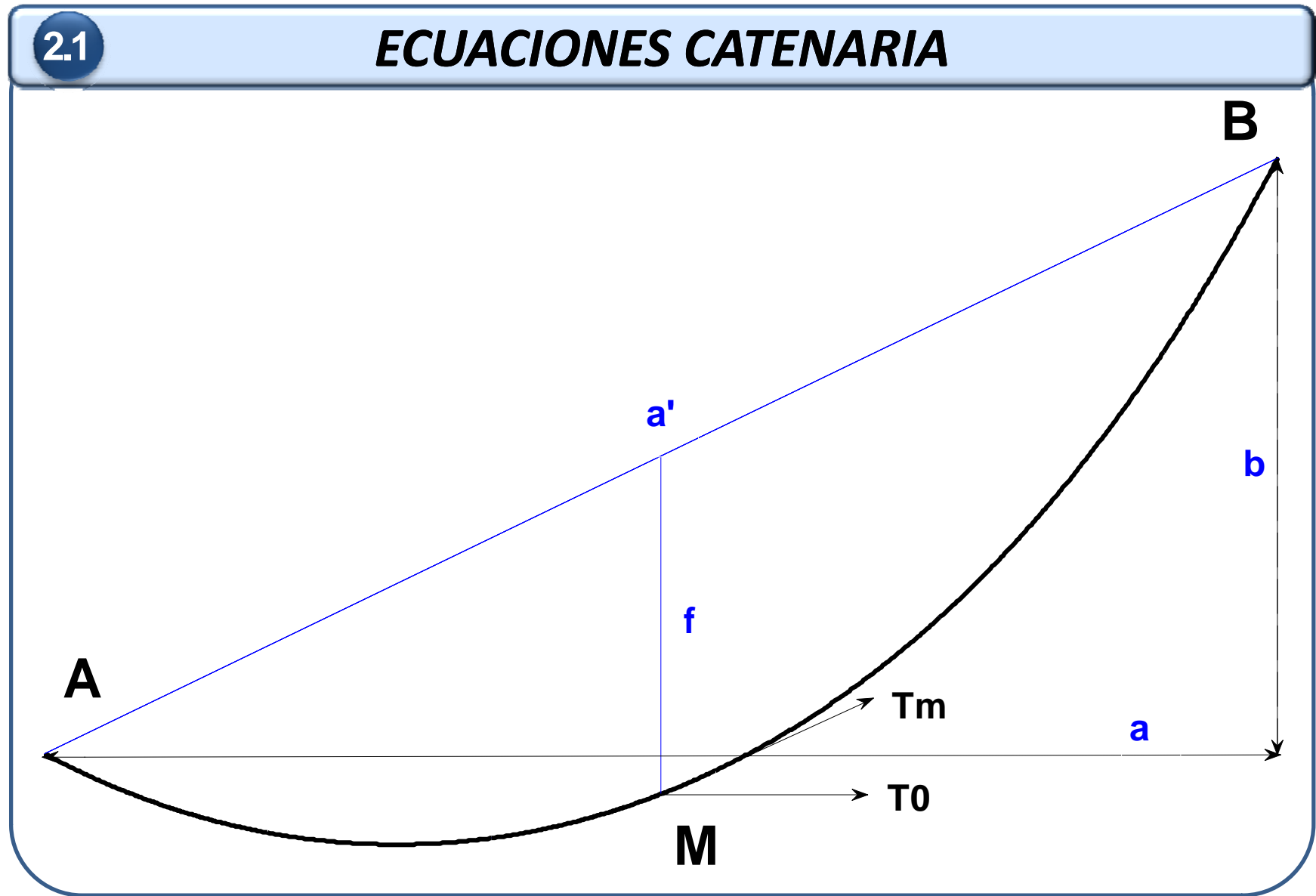
PROBLEMA BIDIMENSIONAL (plano XY)
La proyección según el eje x de la fuerza de tracción interna del hilo, en cualquier punto de este, es constante.

CATENARIA: curva de equilibrio del hilo sometido a su propio peso

$$T_x = cte. = T_0$$

2.1

ECUACIONES CATENARIA





I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Ecuaciones catenaria

	CATENARIA	PARÁBOLA APROXIMACIONES
Curva	$y = h \cosh\left(\frac{x}{h}\right) \quad h = \frac{T_0}{p}$	$y = h + \frac{x^2}{2h}$
Fuerza tracción	$T = py$	$T_m = \frac{1}{4} \left[(2T_B - pb) + \sqrt{(pb - 2T_B)^2 - 2p^2 a'^2} \right]$
Flecha	$f = y_m \left(\cosh\left(\frac{a}{2h}\right) - 1 \right)$ $= h \cosh\left(\frac{x_m}{h}\right) \left[\cosh\left(\frac{a}{2h}\right) - 1 \right]$ $x_m = h \operatorname{arc} \sinh\left(\frac{\frac{b}{2h}}{\sinh\frac{a}{2h}}\right)$ $\frac{T_m}{T_0} = \frac{a'}{a}$	$f = \frac{T_m}{p} \left(\frac{a^2}{8h^2} + \frac{a^4}{384h^4} \right)$ $\sinh\left(\frac{x_m}{h}\right) \simeq \frac{b}{a}$ $f = \frac{pa'^2}{8T_m} + \frac{p^3 a'^4}{384T_m^3}$
Longitud hilo	$l = h \left[\sinh\left(\frac{x_B}{h}\right) - \sinh\left(\frac{x_A}{h}\right) \right]$	$l = a' + \frac{p^2 a^2 a'}{24T_m^2}$

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

2.2

CASOS BÁSICOS DEL CONDUCTOR TENDIDO

Determinación características del conductor tendido

3 constantes de integración (T0, C1 y C2)
Definir 3 condiciones de contorno (3 ecuaciones)

Datos conocidos: a, b y p

$$a = x_B - x_A$$

$$b = y_B - y_A = h \left[\cosh\left(\frac{x_B}{h}\right) - \cosh\left(\frac{x_A}{h}\right) \right]$$

Ecuación a resolver

$$b = h \left[\cosh\left(\frac{x_A + a}{h}\right) - \cosh\left(\frac{x_A}{h}\right) \right]$$

1 ecuación y 2 incógnitas, x_A y h

PLANTEAR 1 ECUACIÓN ADICIONAL

Ecuación adicional
h, flecha, longitud, componente tracción, pendiente curva equilibrio

Forma exacta
Catenaria

Ec's trascendentes

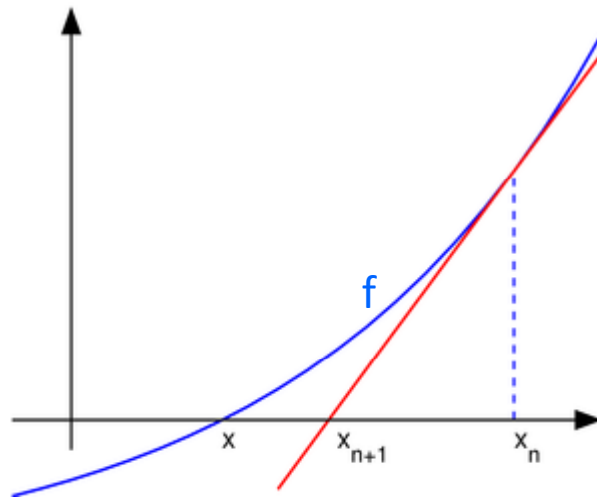
Método numérico
Newton-Raphson

Forma aproximada
Parábola

Directamente

1ª aproximación

Casos básicos del conductor tendido. Método Newton-Raphson



Resolver $f(x) = 0$

La función se aproxima por una recta tangente en x_n

$$f(x_n) = f'(x_n)(x_n - x_{n+1})$$

$$f(x_n) = -f'(x_n)\Delta x_n$$

Es equivalente a realizar desarrollo de Taylor y quedarse con términos de primer orden

Sistema multidependiente

$$\begin{aligned} F_1(x_1, x_2, \dots) &= 0 \\ F_2(x_1, x_2, \dots) &= 0 \\ &\vdots \end{aligned} \quad \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} |_{x^0} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} |_{x^0} & \dots \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} |_{x^0} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} |_{x^0} & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^0 \\ \Delta x_2^0 \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -F_1(x_1^0, \dots) \\ -F_2(x_1^0, \dots) \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$x_1^1 = x_1^0 + \Delta x_1^0$$

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Casos básicos del conductor tendido. Ecuación adicional

Ecuación a resolver

$$b = h \left[\cosh \left(\frac{x_A + a}{h} \right) - \cosh \left(\frac{x_A}{h} \right) \right] \quad (1) \text{ 2 incógnitas, } x_A \text{ y } h$$

Ecuación adicional

a) **Dato: h.** Basta resolver (1)

a) Dato T_0 $h = \frac{T_0}{p}$

b) **Dato: l**

Forma exacta

$$l = h \left[\sinh \left(\frac{x_B}{h} \right) - \sinh \left(\frac{x_A}{h} \right) \right]$$

Forma aproximada

$$l = a' + \frac{p^2 a^2 a'}{24 T_m^2} \quad \begin{array}{c} \longrightarrow T_m \\ \downarrow \\ T_0 \longrightarrow h \end{array}$$

$$x_m = h \frac{b}{a} \quad \longrightarrow \quad x_A = x_m - \frac{a}{2}$$

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Casos básicos del conductor tendido. Ecuación adicional

Ecuación a resolver

$$b = h \left[\cosh \left(\frac{x_A + a}{h} \right) - \cosh \left(\frac{x_A}{h} \right) \right] \quad (1) \text{ 2 incógnitas, } x_A \text{ y } h$$

Ecuación adicional

c) **Dato: f**

Forma exacta

$$\begin{aligned} f &= y_A - y_f + \frac{b}{a} (x_f - x_A) \\ &= h \left[\cosh \left(\frac{x_A}{h} \right) - \cosh \left(\frac{x_f}{h} \right) \right] + \frac{b}{a} (x_f - x_A) \end{aligned}$$

Incógnita adicional x_f

Otra ecuación adicional

$$y'_f = \frac{b}{a} = \sinh \left(\frac{x_f}{h} \right)$$

Forma aproximada

$$f = \frac{pa'^2}{8T_m} \longrightarrow \begin{matrix} h \\ x_A \end{matrix} \text{ Se procede como en apartado b)}$$



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Casos básicos del conductor tendido. Ecuación adicional

Ecuación a resolver

$$b = h \left[\cosh \left(\frac{x_A + a}{h} \right) - \cosh \left(\frac{x_A}{h} \right) \right] \quad (1) \text{ 2 incógnitas, } x_A \text{ y } h$$

Ecuación adicional

d) **Dato: T_B**

Forma exacta

$$T_B = py_B = p \cosh \frac{x_A + a}{h}$$

Forma aproximada

$$T_m = \frac{1}{4} \left[(2T_B - pb) + \sqrt{(pb - 2T_B)^2 - 2p^2 a'^2} \right]$$

h
 x_A Se procede como en apartado b)

e) **Dato: T_A**

Forma exacta

$$T_A = py_A = p \cosh \frac{x_A}{h}$$

Forma aproximada

$$T_B = T_A + pb \longrightarrow \text{Se procede como en apartado d)}$$



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Casos básicos del conductor tendido. Ecuación adicional

Ecuación a resolver

$$b = h \left[\cosh \left(\frac{x_A + a}{h} \right) - \cosh \left(\frac{x_A}{h} \right) \right] \quad (1) \text{ 2 incógnitas, } x_A \text{ y } h$$

Ecuación adicional

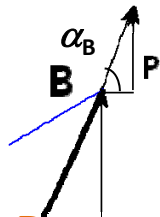
f) **Dato: P componente vertical de tracción en extremo B**

Forma exacta

$$P = T_0 \tan \alpha_B = T_0 y'_B = T_0 \sinh \left(\frac{x_A + a}{h} \right)$$

Forma aproximada

$$P = T_0 y'_B = T_0 \frac{x_B}{h} = p \left(x_m + \frac{a}{2} \right)$$



h
 x_A Se procede como en apartado b)

g) **Dato: α_B pendiente de tracción en el extremo B**

Forma exacta

$$\tan \alpha_B = \sinh \frac{x_A + a}{h}$$

Forma aproximada

$$y'_B = \tan \alpha_B = \frac{x_B}{h} = \frac{1}{h} \left(x_m + \frac{a}{2} \right) \quad \text{Se procede como en apartado f)}$$



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Casos básicos del conductor tendido. Ejemplo

Estudiar un vano de 400 m de longitud proyectada horizontalmente, -50 m de desnivel y flecha de 14,8 m. Se emplea un conductor que pesa 0,998 Kg/m.

Ecuación a resolver

$$b = h \left[\cosh \left(\frac{x_A + a}{h} \right) - \cosh \left(\frac{x_A}{h} \right) \right] \quad (1) \text{ 2 incógnitas, } x_A \text{ y } h$$

Se trata del caso c) estudiado. ECUACIÓN ADICIONAL correspondiente a la FLECHA.

De forma aproximada

- Cálculo de h

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{pa'^2}{8T_m} \\ \frac{T_m}{T_0} &= \frac{a'}{a} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} a' &= \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{400^2 + (-50)^2} = 403,113 \text{ m} \\ T_0 &= \frac{paa'}{8f} = \frac{0,998 \cdot 400 \cdot 403,113}{8 \cdot 14,8} = 1349,1 \text{ kg} \\ h &= \frac{T_0}{p} = \frac{1359,1}{0,998} = 1361,9 \text{ m} \end{aligned}$$



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Casos básicos del conductor tendido. Ejemplo

De forma aproximada

- Cálculo de x_A

$$x_m = h \frac{b}{a} = 1361,9 \frac{-50}{400} = -170,234 \text{ m}$$

$$x_A = x_m - \frac{a}{2} = -170,234 - 200 = -370,234 \text{ m}$$

De forma exacta

- Método Newton-Raphson

$$F_1 = f - h \left[\cosh \left(\frac{x_A}{h} \right) - \cosh \left(\frac{x_f}{h} \right) \right] - \frac{b}{a} (x_f - x_A)$$

$$F_2 = \frac{b}{a} - \sinh \left(\frac{x_f}{h} \right)$$

$$F_3 = b - h \left[\cosh \left(\frac{x_A + a}{h} \right) - \cosh \left(\frac{x_A}{h} \right) \right]$$

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_A} & \frac{\partial F_1}{\partial x_f} & \frac{\partial F_1}{\partial h} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_A} & \frac{\partial F_2}{\partial x_f} & \frac{\partial F_2}{\partial h} \\ \frac{\partial F_3}{\partial x_A} & \frac{\partial F_3}{\partial x_f} & \frac{\partial F_3}{\partial h} \end{bmatrix}$$



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Casos básicos del conductor tendido. Ejemplo

De forma exacta

- Método Newton-Raphson

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_A} = -\sinh\left(\frac{x_A}{h}\right) + \frac{b}{a}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial x_A} = 0$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial x_A} = -\sinh\left(\frac{x_A + a}{h}\right) + \sinh\left(\frac{x_A}{h}\right)$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_f} = \sinh\left(\frac{x_f}{h}\right) - \frac{b}{a}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial x_f} = -\frac{1}{h} \cosh\left(\frac{x_f}{h}\right)$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial x_f} = 0$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial h} = -\cosh\left(\frac{x_A}{h}\right) + \frac{x_A}{h} \sinh\left(\frac{x_A}{h}\right) + \cosh\left(\frac{x_f}{h}\right) - \frac{x_f}{h} \sinh\left(\frac{x_f}{h}\right)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial h} = \frac{x_f}{h^2} \cosh\left(\frac{x_f}{h}\right)$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial h} = -\cosh\left(\frac{x_A + a}{h}\right) + \cosh\left(\frac{x_A}{h}\right) + \frac{x_A + a}{h} \sinh\left(\frac{x_A + a}{h}\right) - \frac{x_A}{h} \sinh\left(\frac{x_A}{h}\right)$$

Casos básicos del conductor tendido. Ejemplo

De forma exacta

- **Método Newton-Raphson**

Se resuelve $[F^i] + [J^i] [\Delta x^i] = 0$

Valores iniciales (iteración 1) (tomados de el cálculo aproximado)

$$x_A^0 = -370,234 \text{ m}$$

$$x_f^0 \simeq x_m^0 = -170,234 \text{ m}$$

$$h^0 = 1361,9 \text{ m}$$

$$[F^0] = \begin{bmatrix} F_1^0 \\ F_2^0 \\ F_3^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,1826 \\ 0,0003 \\ 0,3107 \end{bmatrix}$$

$$[J^0] = \begin{bmatrix} 0,1502 & -0,0003 & 0,0298 \\ 0 & -0,0007 & -0,0001 \\ -0,2971 & 0 & -0,0374 \end{bmatrix} \xrightarrow{[\Delta x^0] = -[J^0]^{-1} [F^i]} [\Delta x^0] = \begin{bmatrix} 0,7508 \\ 0,1473 \\ 2,3433 \end{bmatrix}$$

Iteración 2

$$\begin{bmatrix} x_A^1 \\ x_f^1 \\ h^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -369,4826 \\ -170,0862 \\ 1364,2 \end{bmatrix} \quad \text{Se continua proceso hasta que } [F^i] < \text{tolerancia} = 10^{-5}$$



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Casos básicos del conductor tendido. Ejemplo

De forma exacta

- Método Newton-Raphson

Solución

$$\begin{bmatrix} x_A^2 \\ x_f^2 \\ h^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -369,4852 \\ -170,0898 \\ 1364,2 \end{bmatrix}$$

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

2.3

OBJETIVO DEL CÁLCULO MECÁNICO DEL CONDUCTOR

El tendido del conductor se debe hacer de forma que:

- No se supere un valor de tracción máxima admisible en las condiciones más desfavorables.
- No se violen distancias de seguridad entre conductores y conductores y partes puestas a tierra. Es necesario determinar flechas máximas en condiciones más desfavorables.

PRESCRIPCIONES DEL
RLAT PARA EL CÁLCULO
MECÁNICO DE
CONDUCTORES

ECUACIÓN DE CAMBIO
DE ESTADO

TABLA CÁLCULO
MECÁNICO

TABLA DE
TENDIDO

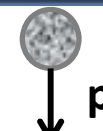


I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Prescripciones del RLAT para el cálculo mecánico ITC-LAT ap. 3

Cargas a considerar (ap. 3.1) fuerzas externas

- ✓ **Peso propio** de los diferentes elementos
- ✓ **Fuerza del viento** Se supone horizontal actuando perpendicularmente sobre la superficie que incide



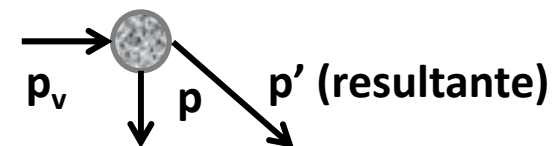
Viento mínimo de $v_v = 120$ km/h

$v_v = 140$ km/h líneas de categoría especial

$$p_v = q \frac{\phi}{1000} \text{ daN/m}$$

$$q = 60 \left(\frac{v_v}{120} \right)^2 \text{ daN/m}^2 \quad \phi \leq 16 \text{ mm}$$

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



- Para sobrecargas combinadas de hielo y viento se debe considerar en el diámetro del conductor el espesor del manguito de hielo con peso volumétrico de 750 daN/m^3
- No se considera el efecto en pantalla entre conductores.

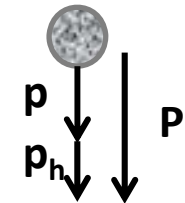
I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Prescripciones del RLAT para el cálculo mecánico ITC-LAT ap. 3

Cargas a considerar (ap. 3.1) fuerzas externas

✓ **Sobrecarga por hielo** Se divide al país en tres zonas según altitud

Zona A	< 500 m sobre nivel del mar
Zona B	500 m ≤ altitud ≤ 1000 m
Zona C	> 1000 m



Zona A	No se considera sobrecarga
Zona B	$p_h = 0,18\sqrt{\phi}$ daN/m
Zona C	$p_h = 0,36\sqrt{\phi}$ daN/m Para altitudes mayores de 1500 m el proyectista debe hacer estudios para definir sobrecargas

Prescripciones del RLAT para el cálculo mecánico ITC-LAT ap. 3

Hipótesis de cálculo (ap. 3.2)

✓ **Tracción máxima admisible** Para conductores y cables de tierra

$$T_{max} \leq \frac{T_{rot. \text{ mínima}}}{2,5} \text{ conductores cableados}$$

$$T_{max} \leq \frac{T_{rot. \text{ mínima}}}{3} \text{ conductores 1 alambre}$$

Expresiones a aplicar considerando a los conductores sometidos a las hipótesis de sobrecarga de la tabla siguiente:

I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Prescripciones del RLAT para el cálculo mecánico ITC-LAT ap. 3

Hipótesis de cálculo (ap. 3.2)

✓ **Tracción máxima admisible** Para conductores y cables de tierra

LÍNEAS DE 1ª, 2ª Y 3ª CATEGORÍA

ZONA A			
HIPÓTESIS	Tª	SOBRECARGA VIENTO	SOBRECARGA HIELO
Tracción máxima viento	-5°C	Ver sobrecarga viento $V_v = 120$ Km/h	No se aplica
ZONA B			
HIPÓTESIS	Tª	SOBRECARGA VIENTO	SOBRECARGA HIELO
Tracción máxima viento	-10°C	Ver sobrecarga viento $V_v = 120$ Km/h	No se aplica
Tracción máxima hielo	-15°C	No se aplica	Ver sobrecarga hielo
ZONA C			
HIPÓTESIS	Tª	SOBRECARGA VIENTO	SOBRECARGA HIELO
Tracción máxima viento	-15°C	Ver sobrecarga viento $V_v = 120$ Km/h	No se aplica
Tracción máxima hielo	-20°C	No se aplica	Ver sobrecarga hielo



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Prescripciones del RLAT para el cálculo mecánico ITC-LAT ap. 3

Hipótesis de cálculo (ap. 3.2)

✓ **Tracción máxima admisible** Para conductores y cables de tierra

LÍNEAS DE CATEGORÍA ESPECIAL
(*) resto de línea si lo prevé proyectista

ZONA A			
HIPÓTESIS	T ^a	SOBRECARGA VIENTO	SOBRECARGA HIELO
Tracción máxima viento	-5°C	Ver sobrecarga viento V _v = 140 Km/h	No se aplica
ZONA B			
HIPÓTESIS	T ^a	SOBRECARGA VIENTO	SOBRECARGA HIELO
Tracción máxima viento	-10°C	Ver sobrecarga viento V _v = 140 Km/h	No se aplica
(*)Tracción máxima h+v	-15°C	Ver sobrecarga viento V _v ≥ 60 Km/h	Ver sobrecarga hielo
ZONA C			
HIPÓTESIS	T ^a	SOBRECARGA VIENTO	SOBRECARGA HIELO
Tracción máxima viento	-15°C	Ver sobrecarga viento V _v = 140 Km/h	No se aplica
(*)Tracción máxima h+v	-20°C	Ver sobrecarga viento V _v ≥ 60 Km/h	Ver sobrecarga hielo



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Prescripciones del RLAT para el cálculo mecánico ITC-LAT ap. 3

Hipótesis de cálculo (ap. 3.2)

- ✓ **Tracción máxima admisible** Para conductores y cables de tierra
En el caso de preverse vientos excepcionales, superiores a 120 km/h o 140km/h el proyectista fijará la velocidad en función de velocidades registradas.

TODAS LAS LÍNEAS

ZONA A		
HIPÓTESIS	T ^a	SOBRECARGA VIENTO
Tracción máxima viento	-5°C	Ver sobrecarga viento a determinar
ZONA B		
HIPÓTESIS	T ^a	SOBRECARGA VIENTO
Tracción máxima viento	-10°C	Ver sobrecarga viento a determinar
ZONA C		
HIPÓTESIS	T ^a	SOBRECARGA VIENTO
Tracción máxima viento	-15°C	Ver sobrecarga viento a determinar

Prescripciones del RLAT para el cálculo mecánico ITC-LAT ap. 3

Hipótesis de cálculo (ap. 3.2)

✓ Flecha máxima Para conductores y cables de tierra

En líneas de 1ª y categoría especial si se prevé fluencia se debe tener en cuenta.

ZONA A, B y C		
HIPÓTESIS	Tª	SOBRECARGA
Viento	15°C	$p+p_v$ con $V_v = 120$ Km/h
Temperatura	Máxima previsible $\theta \geq 50^\circ\text{C}$ 1ª, 2ª y 3ª categoría $\theta \geq 85^\circ\text{C}$ en conductores categoría especial $\theta \geq 50^\circ\text{C}$ en cables tierra categoría especial	p
Hielo	0°C	$p+p_h$



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Prescripciones del RLAT para el cálculo mecánico ITC-LAT ap. 3

Hipótesis de cálculo (ap. 3.2)

✓ **Comprobación de fenómenos vibratorios** Para conductores y cables de tierra

El RLAT recomienda el empleo de amortiguadores, separadores y elección de tracción adecuada.

$\theta = 15^\circ\text{C}$ $T < 22\% T_{\text{rot}}$ SI se instalan dispositivos para evitar estos fenómenos

$T < 15\% T_{\text{rot}}$ NO se instalan dispositivos para evitar estos fenómenos

Descripción de fenómenos vibratorios

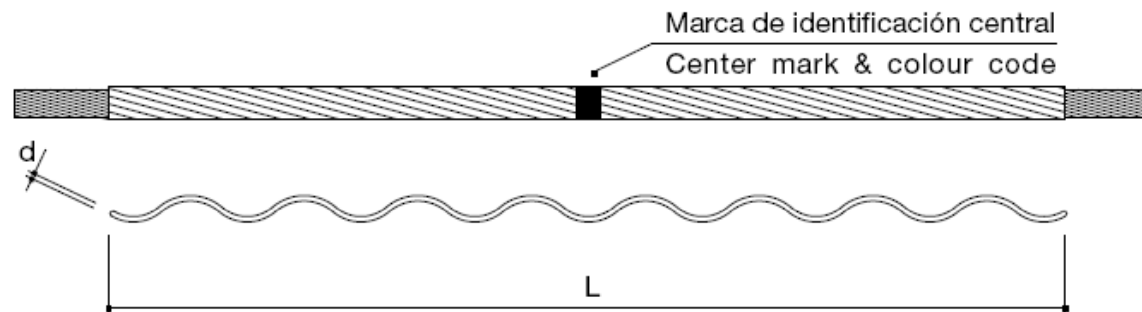
- Se deben a la acción del viento sobre los conductores:
- **VIBRACIÓN EÓLICA:** movimiento periódico en un plano vertical a una frecuencia a varias decenas de Hz (5 a 50 Hz) y amplitud del orden del diámetro del conductor con vientos bajos (0,5 a 10 m/s). A barlovento del conductor produce depresiones y en consecuencia una turbulencia, que hace mover a este verticalmente. En zonas de puntos rígidos puede provocar rotura de cables externos. **Riesgo de rotura por fatiga del conductor.**
 - **VIBRACIÓN SUBVANO:** movimiento periódico de uno o varios conductores del haz en un plano horizontal a una frecuencia media (1 a 3 Hz) y amplitud del orden de la magnitud de separación entre conductores del haz con vientos entre 4 a 18 m/s. Somete a fuertes sollicitaciones a los separadores y conductores.
 - **GALOPE:** movimiento periódico de un conductor sencillo o múltiple en un plano vertical a muy bajas frecuencias (fracciones de Hz) de gran amplitud del orden de la flecha inicial. Choques entre conductores con problemas de arco eléctrico y fuertes sollicitaciones en aisladores y herrajes. Debido a la acción del viento sobre conductores con depósito de hielo que los cubre parcialmente.



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

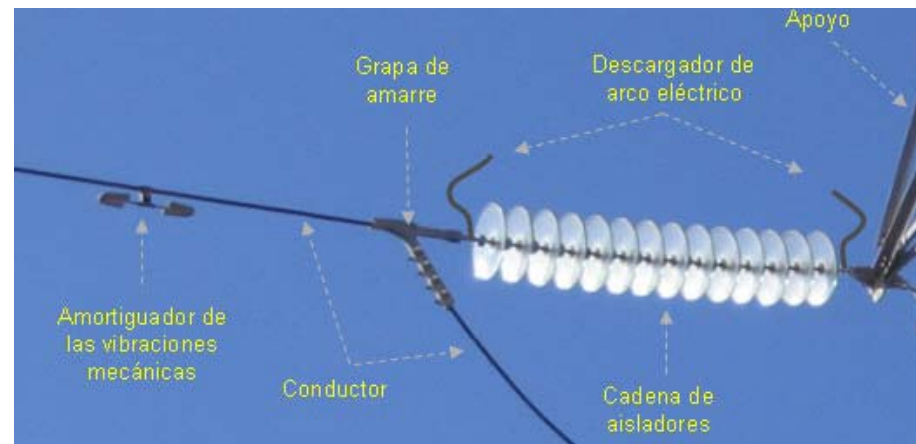
Descripción de fenómenos vibratorios

- **SOLUCIONES VIBRACIÓN EÓLICA:**
 - a) Reforzar conductor en el punto de suspensión (en grapas). Aumenta la sección y disminuye la tensión. Se utilizan Armour-rods. Estos son varillas de forma bitroncocónica, que se arrollan sobre el cable. Mitiga las vibraciones entre un 10 a un 20%.

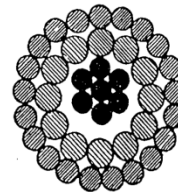


Descripción de fenómenos vibratorios

- **SOLUCIONES VIBRACIÓN EÓLICA:**
 - b) Empleo de amortiguadores (Stockbridge). Consiste en un par de pesas soportadas elásticamente y colgadas del conductor cerca del punto de suspensión generalmente a 1,5 m de la grapa.



- c) Conductor antivibratorio. Formado por dos partes móviles. Por el roce entre las caras sectoriales se disipa la energía y el cable reduce sus vibraciones.



Descripción de fenómenos vibratorios

- **SOLUCIONES VIBRACIÓN EÓLICA:**
 - d) Estudio de tensiones. La intensidad de estos fenómenos dependen del estado tensional de los conductores. Además de la condición de tracción máxima se debe considerar:
 - La condición EDS (Every Day Stress) definida como la tensión a la que está sometida el cable la mayor parte del tiempo a una temperatura media de 15°C sin sobrecarga alguna (el RLAT lo especifica).
 - La condición CHS (Cold Hour Stress) definida como la tensión a la que está sometida el cable a la temperatura mínima más frecuente de - 5°C sin sobrecarga alguna.
- **SOLUCIONES VIBRACIÓN SUBVANO:**
 - a) Establecer distancias adecuadas entre conductores.
Estudios experimentales :
 - distancia entre conductores/diámetro = 18 dúplex
 - distancia entre conductores/diámetro = 20 cuádruplex
 - b) Empleo de separadores con uniones flexibles situados uniformemente a distancias de 40 m.



Descripción de fenómenos vibratorios

- **SOLUCIONES GALOPE:**
 - a) Elegir ruta adecuada para la línea evitando los agentes responsables.
 - b) Colocar separadores entre fases y distancias entre conductores suficientemente grandes.



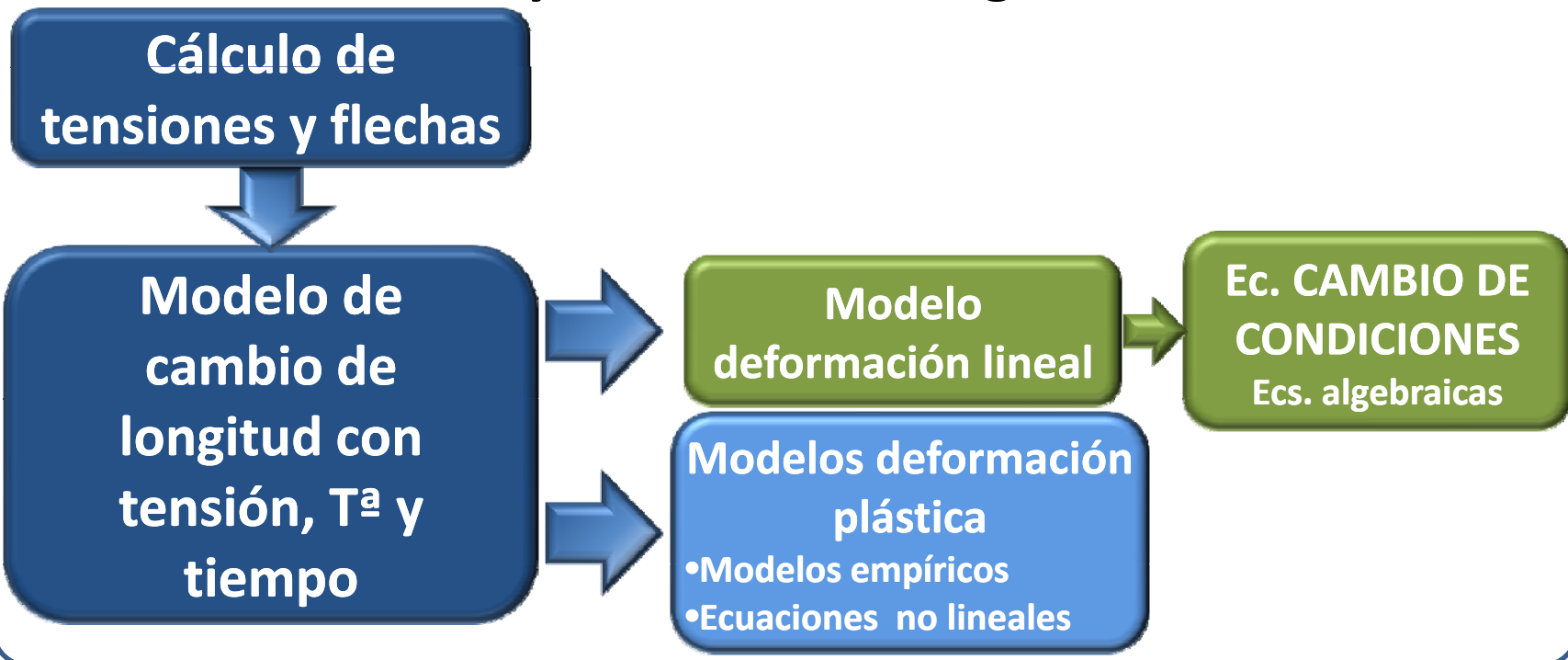
- c) Emplear amortiguadores. Evitar la sincronización de la oscilación vertical y torsional.



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Ecuación de cambio de condiciones

- Determinar el estado del tendido (T^a y sobrecargas) a partir del conocimiento de otro estado sin que se rompa el conductor y se respeten las condiciones de tracción máxima y distancias de seguridad.





I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Ecuación de cambio de condiciones

	Estado 1 conocido + restrictivo	Estado 2 a determinar
T^a	θ_1	θ_2
Tracción	T_{m1}	T_{m2} INCOGNITA
Longitud	l_1	l_2
Sobrecarga	p_1	p_2

1.- VANO ENTRE 2 APOYOS DE AMARRE

FUERZAS EXTERNAS CONTENIDAS EN UN PLANO VERTICAL

$$l_2 - l_1 = \alpha l (\theta_2 - \theta_1) + \frac{l}{ES} (T_{m2} - T_{m1})$$

$$\frac{a^2 p_2^2}{24 T_{m2}^2} - \frac{a^2 p_1^2}{24 T_{m1}^2} = \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{1}{ES} (T_{m2} - T_{m1})$$

$$\frac{a^2 \rho_2^2}{24 \sigma_{m2}^2} - \frac{a^2 \rho_1^2}{24 \sigma_{m1}^2} = \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{1}{E} (\sigma_{m2} - \sigma_{m1})$$

Ecuación a resolver

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

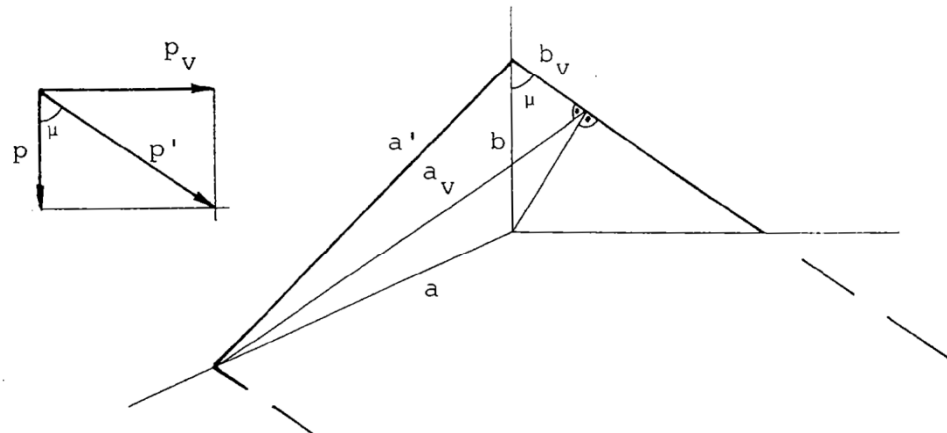
$$A = \frac{a^2 p_1^2}{24 T_{m1}^2} ES + \alpha ES (\theta_2 - \theta_1) - T_{m1}$$

$$B = \frac{a^2 p_2^2}{24} ES$$

Ecuación de cambio de condiciones

1.- VANO ENTRE 2 APOYOS DE AMARRE

FUERZAS EXTERNAS NO CONTENIDAS EN UN PLANO VERTICAL (acción del viento)



Ecuación a resolver

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

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

$$B = \frac{a^2 p_2^2}{24} ES$$



I Líneas aéreas. Cálculos mecánicos

Ecuación de cambio de condiciones

2.- TENDIDO EN UN CANTÓN

CANTÓN: conjunto de vanos comprendidos entre dos apoyos de amarre.

Se desprecia el efecto de la cadena de aisladores $\Rightarrow T_0$ igual para todos los vanos

El estudio de un cantón con vanos a distinto nivel es equivalente al estudio del **VANO IDEAL DE REGULACIÓN**, vano a nivel de longitud ficticia a_{VIR} con fuerzas internas de tracción modificadas τ .

$$a_{VIR} = \frac{\sum \frac{a'_k{}^3}{a_k^2}}{\sum \frac{a'_k{}^2}{a_k}} \sqrt{\frac{\sum a_k^3}{\sum \frac{a'_k{}^2}{a_k}}}$$
$$\tau = T_0 \frac{\sum \frac{a'_k{}^3}{a_k^2}}{\sum \frac{a'_k{}^2}{a_k}}$$
$$\frac{a_{VIR}^2 p_2^2}{24\tau_2^2} - \frac{a_{VIR}^2 p_1^2}{24\tau_1^2} = \alpha (\theta_2 - \theta_1) + \frac{1}{ES} (\tau_2 - \tau_1)$$

Aproximación

Desniveles o diferencias entre vanos pequeños.

$$\tau = T_0 \quad a_{VIR} = \sqrt{\frac{\sum a_k^3}{\sum a_k}}$$