ORIGINAL

Método de cálculo para determinar la separación fase/fibra óptica en líneas eléctricas aéreas de alta tensión

Armando Carrión Tejera

Calculation method for determining the phase/fiber optic separation in high voltage overhead power lines

RESUMEN

La separación de seguridad entre conductores de fase respecto a los cables de tierra o fibras ópticas en las líneas eléctricas aéreas de alta tensión depende de un conjunto de factores que actúan simultáneamente. Estas separaciones a lo largo del vano están condicionadas por las propias siluetas de los armados de los apoyos que determinan el vano, la orientación y desnivel entre los mismos, el tipo de cadenas de aislamiento (horizontales o verticales), efectos ambientales externos (viento, temperatura, sobrecargas, etcétera) y por las propias características mecánicas de los propios cables (peso lineal, sección, coeficientes de alargamiento, etcétera). Aparte de lo dispuesto por el vigente Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión (RD 223/2008) en lo que a ello se refiere, y teniendo en consideración lo indicado en el apartado 2.1.1. de su *Instrucción Técnica Complementaria* ITC-LAT 07, es aconsejable el análisis de las distancias de seguridad entre estos elementos, para prevenir posteriores incidencias en la propia instalación y en las personas próximas.

Recibido: 29 de septiembre de 2010
Aceptado: 30 de marzo de 2011

ABSTRACT

The safety separation between phase conductors compared to ground wires or fiber optic lines for high voltage overhead power lines depends on a number of factors that act simultaneously. These separations along the span are conditioned by the profile of the supports that determine the span, orientation, and gap between them, the type of insulation chain (horizontal or vertical), external environmental effects (wind, temperature, overload, etc.) and the mechanical properties of the cables themselves (linear weight, section, stretch ratios, etc.). Apart from the provisions of the existing Regulations of High Voltage Power Lines (Rd 223/2008) in these respects, and taking into consideration that referred to in paragraph 2.1.1. of its Complementary Technical Instruction ITC- LAT 07, it is advisable to analyze the safety distances between these elements, to prevent subsequent incidents in the installation and people nearby.

Received: September 29, 2010
Accepted: March 30, 2011

Palabras clave
Electricidad, normativa, alta tensión, cálculos, fibra óptica, líneas eléctricas

Keywords
Electricity, regulation, high voltage, calculations, fiber optic, power lines

Foto: Pictelia

La separación entre conductores en las líneas eléctricas aéreas está limitada de acuerdo con el artículo 5 de la ITC LAT-07 del vigente Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión (RD 223/2008). En el caso de conductores de distinta naturaleza, el párrafo 6 del artículo 5.4.1 especifica que en este caso también se aplicará la fórmula general (conductores de la misma naturaleza), pero considerando los valores más desfavorables de K y de F según el conductor.

Cuando se trata de cables recubiertos o dieléctricos autosoportados de telecomunicaciones, deberán cumplir con los requisitos que establece el Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión como un elemento más de la línea, tal como señala el artículo 2.1.1.

Cuando se trata de cable semiconductor de fibra óptica, el problema se reduce a establecer una separación de seguridad suficiente para que no exista contacto fase-fibra óptica, en evitación de daños por contactos repetitivos entre ambos.

Un caso que se presenta con relativa frecuencia es cuando se trata de añadir un cable de fibra óptica en una línea aérea existente, tendiéndolo por debajo de las fases actuales. En muchos casos se justifica estableciendo que la separación más peligrosa corresponde al centro del vano, comprobando para distintas temperaturas extremas que el parámetro de la curva que presentan las fases p_{FASE} no sea de menor valor que el parámetro que presenta la fibra óptica $p_{F.O}$. Con ello se supone que la seguridad por separación entre ambos es suficiente.

El problema no es tan simple, toda vez que las características propias de cada cable difieren, a veces de forma bastante considerable, entre ambos (peso lineal, diámetro o pantalla de viento, coeficientes de alargamiento elástico y térmico). Por ello, las longitudes, flechas y desvíos por viento, divergen al pasar de unas condiciones a otras (para ambos a la vez).

Como es obvio, la definición de la imagen del vano espacial, en lo que se refiere a la posición de la curva creada por los conductores, se fija con ayuda de la conocida ecuación de cambio de condiciones, que irá calculando sucesivamente la posición de cada punto de acuerdo a los valores de velocidad de viento y temperatura. Las siluetas que representan ambas curvas (de fase y de fibra óptica), pueden suponer unas diferencias muy considerables a medida que varían las condiciones externas de viento y temperatura (aun admitiendo que actúan a la vez sobre ambos conductores), pero las diferencias existentes entre parámetros de ambos, puede hacer que ambas siluetas difieran de forma considerable. De la conocida ecuación de cambio de condiciones, se desprende que las discrepancias entre "p", "S", "E" y "δ" para uno u otro cable, pueden influenciar de manera decisiva.

$$T_2^2\left(T_2 + \frac{a^2.p_1^2.S.E}{24} + \delta.(t_2 - t_1).S.E - T_1\right) = \frac{a^2.p_2^2.S.E}{24}$$

La figura 1 representa un vano en condiciones de reposo. La separación en cualquier punto distante Xo del apoyo está perfectamente determinada al ser:

$$D_0 = \sqrt{H_0^2 + V_0^2}$$

Cuando aparece el viento perpendicular al eje de la línea, ambos cables se desplazan (figura 2), dibujando ángulos distintos al disponer de pesos lineales y pantallas de viento distintas. A medida que el empuje de viento aumenta, además de producirse los respectivos desvíos sobre la vertical, también se modifican las longitudes respectivas (distintos coeficientes elásticos), y si además de esto,

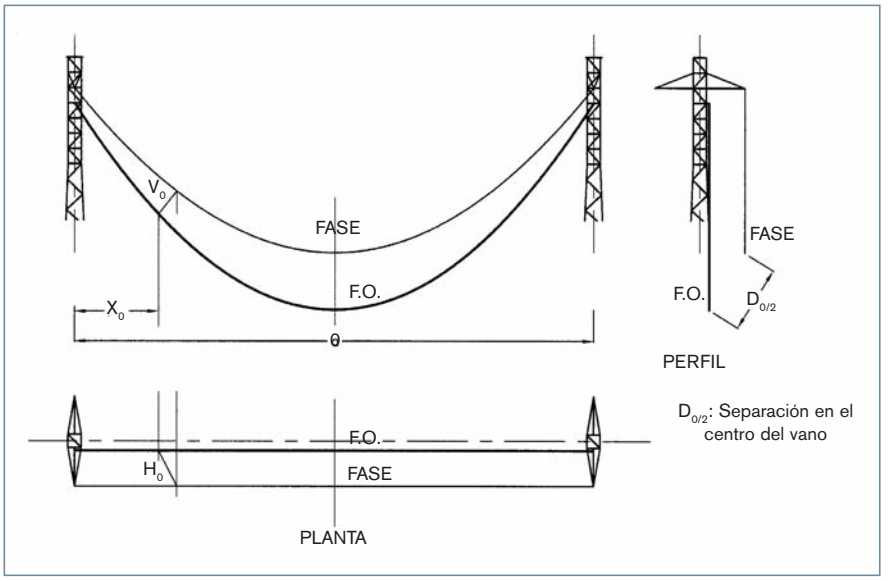


Figura 1. Situación en condiciones de reposo.

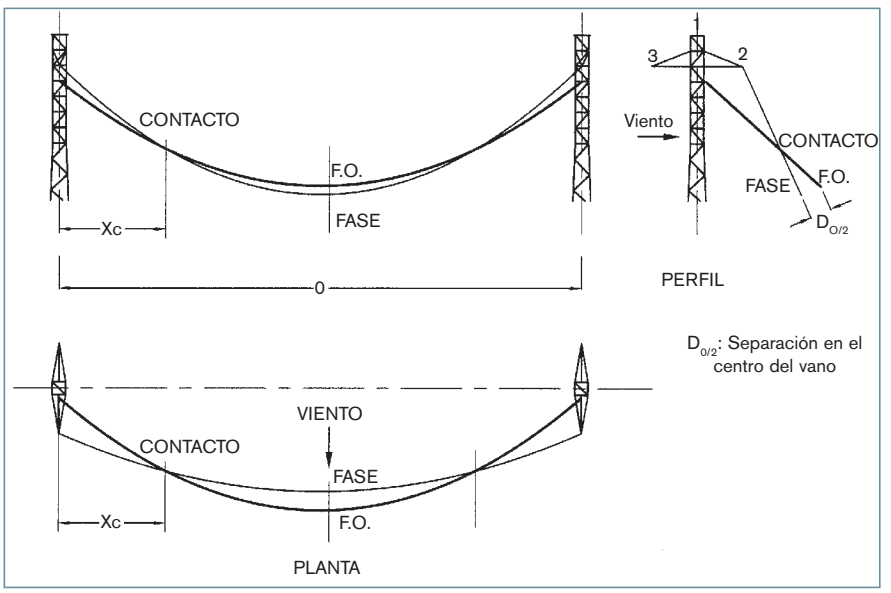
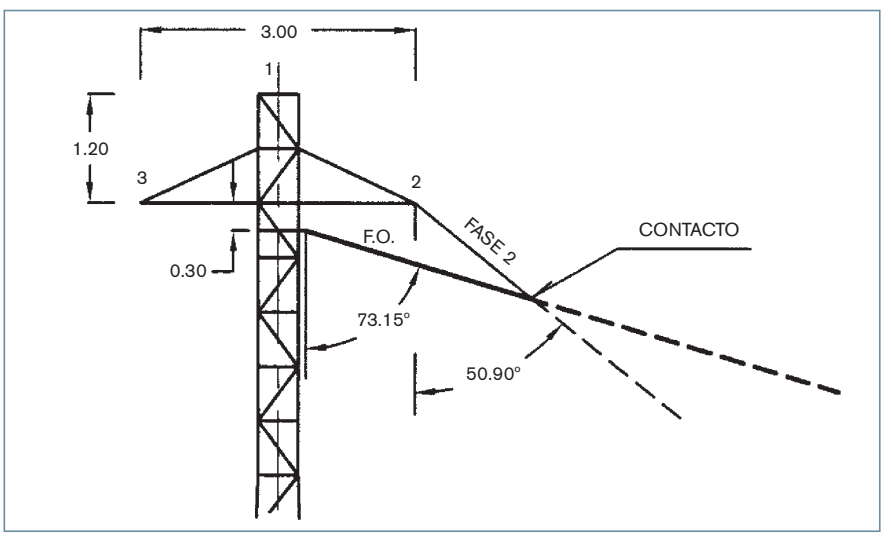


Figura 2. Situación en condiciones de viento.

Figura 3. Situación en condiciones de viento.



hemos de tener en cuenta la posible variación de temperaturas (también con coeficientes térmicos distintos), nos encontramos con una innumerable situación de aproximaciones entre puntos de ambos cables.

Afortunadamente, la mayoría de los departamentos de ingeniería (por no decir todos) disponen de medios informatizados suficientes para proceder al cálculo repetitivo mediante programa adecuado.

Un método relativamente simple para determinar la separación entre puntos de ambos cables consiste en calcular dichas separaciones en condiciones de temperatura extremas (máxima y mínima previstas), para distintos valores de empuje de viento (desde cero hasta el máximo previsto) mediante cálculo por doble iteración, de acuerdo con los valores de viento, a lo largo del vano, en incrementos fijados inicialmente.

En esencia, el desarrollo de la aplicación se resume en definir una entrada de datos, con las características mecánicas de los conductores de fase y fibra óptica (características que serían extraídas de la base de datos del propio PC), las condiciones ambientales (zona de acuerdo con el vigente Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión) y la posición espacial del vano a estudiar (situación exacta de los puntos de fijación de los conductores en los apoyos). De igual manera, se definen las condiciones iniciales (de reposo, sin sobrecargas) del conductor de fase y de fibra óptica (temperatura y flecha o tense).

Una vez creada la imagen de este vano virtual, con todos sus conductores tendidos entre ambos apoyos, y fijados los incrementos iterantes (para velocidad creciente de viento y para posiciones a Xo metros del primer apoyo), se calculan todas las separaciones Do entre cada fase y la fibra óptica en las condiciones de temperatura definidas (en el siguiente ejemplo se prevén condiciones de temperatura de –10, +15 y +50 ºC, con viento creciente desde 0 km/h hasta 120 km/h en incrementos de 1 km/h, a distancias Xo del primer apoyo de Xo=0,1 m, Xo=0,2 m, Xo=0,3 m, ... etc, hasta Xo=a)

En el desarrollo del proceso de cálculo de la separación de seguridad Do en cada condición de temperatura, queda almacenado el valor mínimo de Do a la velocidad de viento correspondiente, valor este, que posteriormente se muestra en la tabla de resultados de salida.

A modo de ejemplo, se incluyen las hojas de cálculo 1 y 2, para una línea con con-

COMPROBACIÓN DE PROXIMIDAD F.O./FASES

DENOMINACIÓN:

Fecha: 16/09/2010

Zona (A-B-C): B

Tensión nominal (kV): 20

Tipo de conductor de fase: LA 180

Tipo de c/T o fibra óptica: ADSS48AB

Nº de apoyos: 20-21

Longitud de vano (m): 220,00

CONDICIONES DE REPOSO DE LOS CONDUCTORES (Sin sobrecargas):

Conductores de fase:
Flecha (m): 5,11
Temperatura: 15
Parámetro (m): 1.184
Tensión (daN): 800
T. máx. (daN): 1.659
C. seguridad: 3,851

Cable de tierra o Fibra óptica:
Flecha (m): 7,53
Temperatura: 15
Parámetro (m): 803
Tensión (daN): 200
T. máx. (daN): 667
C. seguridad: 9,731

CONFIGURACIÓN DE LOS APOYOS:

Nº APOYO	TIPO	ÁNGULO	COTA EN 'O'	ARMADO	CADENA	V1	H2	V3	H3	H0	V0
20	C 2000	200,00	1.000,00	C31	H	1,20	1,50	0,00	1,50	0,30	0,30
21	C 2000	200,00	1.000,00	C31	H	1,20	1,50	0,00	1,50	0,30	0,30

PARÁMETROS DE INTEGRACIÓN:

$V_{máx}$ (km/h) de viento prevista: 120

Sentido del viento [D/I]: D

Cadena vertical (V):
- Longitud (m): 0,55
- Peso (daN): 23,44
- Silueta (m²): 0,34

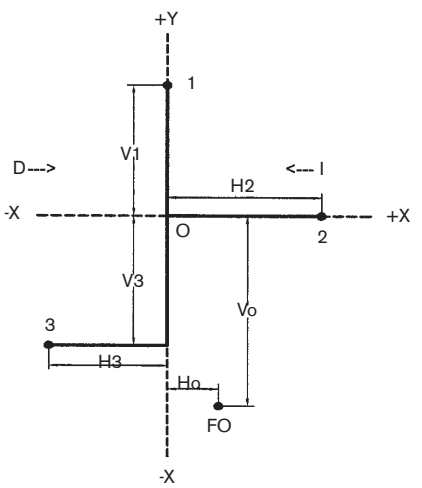


Figura 4. Hoja de entrada de datos.

ductor del tipo 147-AL1/34-ST1A (EN 50182:2001) (antiguo LA-180) en las fases, a la que se añade un cable de fibra óptica del tipo ADSS-48AB por la parte inferior. La primera hoja muestra la entrada de datos y la segunda, los resultados.

En este ejemplo, se han fijado los incrementos de viento de 1 en 1 km/h, y el aumento de vano (Xo) de 10 en 10 cm, y el tiempo de cálculo (en un ordenador medio) es de pocos segundos.

Los resultados más críticos se encuentran entre la fase 2 y la fibra óptica con viento en sentido a derecha (como es natural), llegando a entrar en contacto en la hipótesis de +50 ºC con viento de 117 km/h a una distancia de Xo = 17,10 m del primer apoyo (figura 3).

Dado que estos cálculos son meramente teóricos, partiendo de hipótesis ideales (entre otras, se admite que el efecto de viento es uniforme a lo largo de todo el vano), en la práctica habría que tenerlo en consideración y admitir

COMPROBACIÓN DE PROXIMIDAD F.O./FASES

PARÁMETROS DE CONDUCTORES CONSIDERADOS EN EL CÁLCULO

PARÁMETRO	CTOR DE FASE	C/TIERRA O F.O.
Tipo	LA 180	ADSS48AB
Sección (mm^2)	181,60	35,00
Diámetro (mm)	17,50	17,30
Masa (kg/m)	0,6760	0,2490
M. elást (daN/mm^2)	8.000	8.986
C. Dilatación	1,78E-05	3,20E-06
Carga rotura (daN)	6.390	6.490
Tensión reposo (daN)	800	200
T. máx V (daN) (1)	1.343	613
T. máx. H (daN) (2)	1.659	667
CS	3,851	9,731

(1)a -10 °C y viento de 120 km(h
(2)a -15 °C y hielo de zona B

SEPARACIÓN MÍNIMA REGLAMENTARIA EN EL CENTRO DEL VANO A 15°C DE TEMPERATURA, CON VIENTO DE 120 km/h

$$D = K.\sqrt{(F+L)} + K'.D_{el}$$

FASES	D(M)
F-F	1,604
F-FO(*)	1,582

$\beta = 52,31$
$K = 0,6$
$F = 5,58$
$L = 0,00$
$K' = 0,75$
$D_{pp} = 0,25$
$D_{el} = 0,22$

SEPARACIÓN CRÍTICA EN DISTINTAS HIPÓTESIS

HIPÓTESIS tª	Viento	Fase	FLECHA (en X_0) (m)		ANG DESVIO (DEG) CADENA (V)	CABLE	PUNTO CRÍTICO X_0 (m)	D real (m)	D regl (3) (m)
-10	120,00	1	Fase	0,02	23,52	52,31	0,20	1,530	0,250
			F.O.	0,03		73,94			
	120,00	2	Fase	1,57	23,52	52,31	202,90	0,047	0,917
			F.O.	2,55		73,94			
	0,00	3	Fase	0,00	0,00	0,00	0,00	1,825	0,165
			F.O.	0,00		0,00			
-15	120,00	1	Fase	0,04	23,52	52,31	219,60	1,529	0,286
			F.O.	0,07		73,94			
	120,00	2	Fase	1,61	23,52	52,31	17,20	0,033	0,926
			F.O.	2,58		73,94			
	0,00	3	Fase	0,00	0,00	0,00	0,00	1,825	0,165
			F.O.	0,00		0,00			
+50	120,00	1	Fase	0,07	23,52	52,31	219,30	1,529	0,327
			F.O.	0,11		73,94			
	117,00	2	Fase	1,63	22,47	50,90	17,10	CONTAC	0,931
			F.O.	2,57		73,15			
	0,00	3	Fase	0,00	0,00	0,00	0,00	1,825	0,165
			F.O.	0,00		0,00			

Figura 5. Hoja de resultados.

un margen de error en los valores teóricos calculados, de manera que, por ejemplo en las hipótesis de –10 ºC y +15 ºC cuyas distancias calculadas son de 4,7 cm y 3,3 cm, respectivamente, se podría admitir como una situación de contacto. No obstante, los valores calculados dan una visión bastante aproximada de la situación.

Este procedimiento de cálculo también sería aplicable cuando se trata de conductores de distinta naturaleza (en dobles circuitos), en caso de que la fibra óptica no fuese dieléctrica, o incluso para cables de tierra tendidos por la parte superior del apoyo.

Bibliografía

Avril C (1974). *Construction des lignes aériennes a haute tension*. Éditions Eyrolles, París.

Checa LM (1988). *Líneas de transporte de energía*. Marcombo, Barcelona. ISBN 84-267-0684-3.

BOE (2008). *Reglamento de Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión*. (RD 223/2008) de 15 de febrero (BOE 19 de marzo de 2008).

Armando Carrión Tejera
cesl@carrionestudios.es
Perito industrial e ingeniero técnico en electricidad por la EUP de Linares (Jaén). Especializado en estudios de líneas eléctricas, actualmente dirige su propia empresa, desde donde colabora con distintas compañías del sector.