

Anexo B2: Aplicación Del IEC 60826

Código: **DE.MA.020-AX06**

Edición: **01**

Fecha de aprobación: 07/01/2022

Elaborador:

Véase aprobación documento: DE.MA.020

Revisor:

Véase aprobación documento: DE.MA.020

Aprobador:

Véase aprobación documento: DE.MA.020

INTRODUCCIÓN

El objeto de este documento es presentar los criterios de aplicación del Estándar IEC 60826/2017 al diseño de líneas y redes de distribución basadas en el presente Proyecto tipo.

Se indican las consideraciones hechas para calcular las cargas probabilísticas de diseño y los factores de mayoración asociados, necesarios para determinar la capacidad mecánica de los principales componentes de las líneas.

B2.1 VIENTOS MÁXIMOS Y REDUCIDOS POR ZONA Y ÁREA

Su definición se fundamenta en las siguientes premisas:

- La base de cálculo corresponde a los vientos máximos establecidos por región del reglamento NSR-10¹, los cuales son de tipo ráfaga, con un período de integración de 3 segundos, un período de retorno de 50 años, medido en campo abierto (rugosidad B) y a una altura de 10 m sobre el suelo.
- Para reducir las combinaciones posibles entre zonas de viento y áreas de exposición, se establecieron las siguientes simplificaciones:
 - Las zonas 5 y 4 de la NSR-10 conforman una única, denominada Zona I, donde el área rural corresponde a la rugosidad A.
 - El área rural en las zonas II y III del proyecto tipo corresponde al terreno con rugosidad B.
 - El área urbana en todas las zonas del proyecto tipo corresponde a terreno tipo D.

Las categorías que define la IEC 60826 de acuerdo con la rugosidad del terreno se presentan en la **Tabla B2.2**.

La **Tabla B2.1** refleja las velocidades de viento a emplear en los diseños basados en el presente Proyecto Tipo:

¹ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR.10, enero 2010; Capítulo B-6. Fuerza de viento, Mapa de viento Fig. B.6.4-1 pág. B-39.

Tabla B2.1 – Velocidad del viento Máximo por Zona y por Área.

Zona Proyecto Tipo	Región de viento NSR-10	V _{NSR} (km/h)	Área Proyecto Tipo	CDT	K _R	V _{max} (m/s)	V _{red} (m/s)
I	5 y 4	130	Rural	Tipo A	1,08	39,00	23,40
			Urbana	Tipo D	0,67	24,19	14,52
II	3	100	Rural	Tipo B	1	27,78	16,67
			Urbana	Tipo D	0,67	18,61	11,17
III	2	80	Rural	Tipo B	1	22,22	13,33
			Urbana	Tipo D	0,67	14,89	8,93

donde:

V_{NSR}: Velocidad de viento máximo según NSR-10 (km/h), ráfaga de 3 segundos, medida a 10 m sobre el suelo, en un terreno tipo B y con periodo de retorno de 50 años.

CDT: Categoría de terreno dominante adoptada por Zona y Área (ver **Tabla B2.2**).

K_R: Factor de rugosidad del terreno (ver **Tabla B2.2**).

V_{max}: Velocidad de viento máximo, afectado por la rugosidad del terreno (m/s) =
 $K_R \cdot V_{NSR}$.

V_{red}: Velocidad de viento reducido, definida como el 60% de V_{max}.

Tabla B2.2 – Categorías de terreno según IEC por su nivel de exposición al viento y valores de K_R y α

Categoría IEC	Características	K _R	α
A	Área costera. Grandes extensiones de campo abierto, plano o casi plano, sin abrigo, como pantanos, pastizales, labrantíos sin cercas de arbustos o piedra.	1,08	0,12
B	Terreno abierto con muy pocos obstáculos. Ejemplo: aeropuertos, campos cultivados sin árboles o edificaciones cercanas. Las obstrucciones tienen alturas de 1.5 a 10 m con una distancia mínima de 1500 m.	1,00	0,16
C	Terreno cubierto por numerosos obstáculos (árboles, edificios, etc.) poco espaciados, pero de pequeña altura. Las obstrucciones presentan alturas de 3 a 5m y con una distancia mínima, en la dirección del viento, de 500 m o 10 veces la altura de la mayor construcción.	0,85	0,22
D	Terreno con numerosos obstáculos altos y muy poco espaciados. Ejemplo: área urbana y suburbana de ciudades, terreno con árboles de mucha altura, etc. Por los menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor de 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura.	0,67	0,28

B2.2 SOBRECARGA POR VIENTO EN CONDUCTORES (Q_o)

Esta sobrecarga se calcula de siguiente manera:

$$Q_o = q_o * C_{xc} * G_c * G_L \tag{B2.1}$$

con:

$$q_o = \frac{1}{20} * \mu * \left(\frac{V_{max}}{1,37}\right)^2 \tag{B2.2}$$

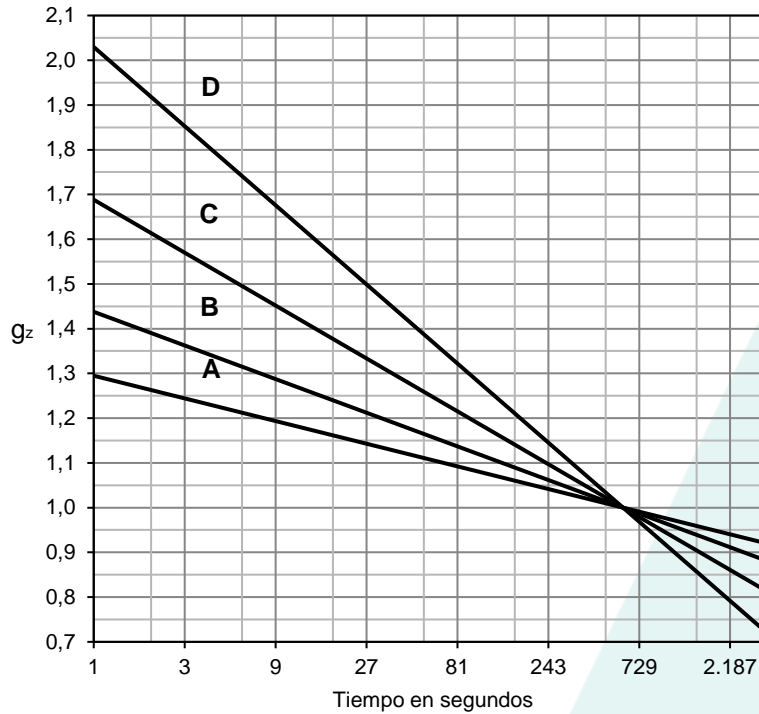
Donde:

- Q_o:** Sobrecarga por viento en el conductor (daN/m²)
- q_o:** Presión dinámica del viento debida a V_{max} (daN/m²)
- C_{xc}:** Coeficiente de arrastre para conductores, igual a 1
- G_c:** Factor combinado de viento que depende de la altura de instalación promedio de los conductores y de la rugosidad del terreno
- G_L:** Factor de vano que tiene en cuenta la variación del viento, horizontalmente con el frente normal a la dirección de flujo
- μ:** Densidad del aire, igual a 1,225 daN/m³
- T:** Factor de corrección de la densidad del aire, depende de la altitud sobre el nivel del mar y de la temperatura ambiente a la que coincide el viento. Se adopta el valor de 1 como típico. Si el diseñador considera otro valor para el emplazamiento de su proyecto, entonces debe realizar el ajuste con base en la **Tabla B2.3**.
- V_{max}:** Velocidad de viento máximo según apartado B2.1 (m/s). El factor 1,37 (**Figura B2.1**) se utiliza para convertir valores de viento tipo ráfaga (con periodos de integración de 3s) a vientos de tipos sostenido (periodo de integración de 10 min).

Tabla B2.3 - Factor de corrección τ

Temperatura	Altura sobre el nivel del mar			
	0 m	1000 m	2000 m	3000 m
30°C	0,95	0,84	0,75	0,66
15°C	1,00	0,89	0,79	0,69

Figura B2.1 - Factor conversión a período 10 min²



El valor G_L se ha considerado igual a 1, por ser el vano normalmente menor a 200 metros. Para vanos superiores la expresión de cálculo es:

$$G_L = 4 \cdot 10^{-10} \cdot ar^3 - 5 \cdot 10^{-7} \cdot ar^2 - 10^{-4} \cdot ar + 1,0403 \quad (B2.3)$$

Finalmente, el término G_C varía dependiendo de la categoría del terreno y la altura promedio de los conductores (h). Se ha considerado $h = 11,23m$ como la altura promedio de los puntos de sujeción de los conductores instalados en redes de distribución típicas, donde los postes son superan una longitud de 14 m.

$$\begin{aligned} G_C &= 0,2914 \cdot \ln(h) + 1,0468 = 1,75 \text{ (Tipo A)} \\ G_C &= 0,3733 \cdot \ln(h) + 0,9762 = 1,88 \text{ (Tipo B)} \\ G_C &= 0,6153 \cdot \ln(h) + 0,8144 = 2,30 \text{ (Tipo D)} \end{aligned} \quad (B2.4)$$

La siguiente tabla determina los valores calculados de q_0 y Q_0 y los considerados para G_C y G_L , para el caso de viento máximo por Zona y Área:

² Cigre WG 06.22. Calculations of Wind and Ice Loadings. An example of application of IEC-reports 826-2 and 826-4. ELECTRA 132. 1989

Tabla B2.4 – q_0 y Q_0 para viento máximo (daN/m²)

Zona	Área	CDT	V_{max} (m/s)	q_0 (daN/m ²)	C_x	G_c	G_L	Q_0 (daN/m ²)
I	Rural	Tipo A	39,00	49,63	1	1,75	1	86,86
	Urbana	Tipo D	24,19	19,10	1	2,30	1	43,93
II	Rural	Tipo B	27,78	25,18	1	1,88	1	47,34
	Urbana	Tipo D	18,61	11,30	1	2,30	1	26,00
III	Rural	Tipo B	22,22	16,11	1	1,88	1	30,29
	Urbana	Tipo D	14,89	7,24	1	2,30	1	16,64

Operando de la misma manera, pero ahora considerando, en vez del V_{max} , la velocidad de viento reducido (V_{red}), se obtienen los siguientes resultados:

Tabla B2.5 – q_0 y Q_0 para viento reducido (daN/m²)

Zona	Área	CDT	V_{red} (m/s)	q_0 (daN/m ²)	C_x	G_c	G_L	Q_0 (daN/m ²)
I	Rural	Tipo A	23,40	17,87	1	1.75	1	31,27
	Urbana	Tipo D	14,52	6,88	1	2.3	1	15,82
II	Rural	Tipo B	16,67	9,06	1	1.88	1	17,04
	Urbana	Tipo D	11,17	4,07	1	2.3	1	9,36
III	Rural	Tipo B	13,33	5,81	1	1.88	1	10,90
	Urbana	Tipo D	8,93	2,60	1	2.3	1	5,99

B2.3 FUERZA POR EL VIENTO SOBRE POSTES

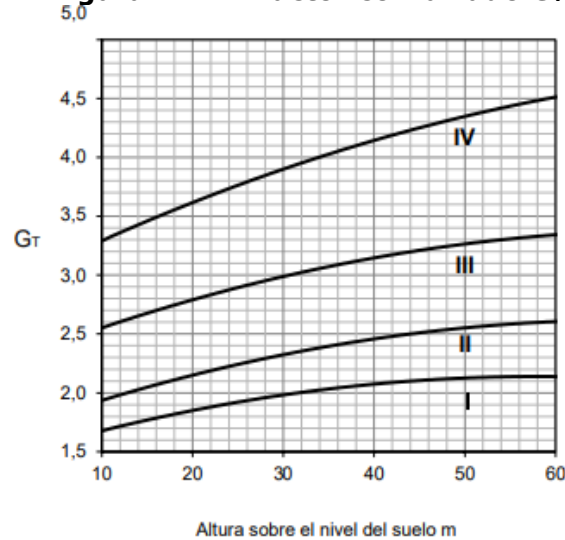
Dicha fuerza se asume actúa en la dirección transversal y se encuentra aplicada a la altura del centroide de su parte expuesta. Se obtiene mediante la expresión:

$$F_{TVP} = q_0 \cdot C_{xp} \cdot G_T \cdot S_{xp} \quad (B2.5)$$

Donde:

- F_{TVP} :** Fuerza transversal por viento sobre el poste (daN)
- q_0 :** Presión dinámica de viento para viento máximo (daN/m²). Ver **Tabla B2.4**
- C_{xp} :** Coeficiente de arrastre para postes
- G_T :** Factor combinado de viento para postes, aisladores y equipos (**Figura B2.2**)
- S_{xp} :** Área frontal efectiva del poste (m²)

Figura B2.2 - Factor combinado G_T



El **coeficiente de arrastre** (C_{xp}) para postes de concreto tronco-cónicos se obtiene:

$$\begin{aligned}
 C_{xp} &= 1,2 && \text{si } Re \leq 3 \cdot 10^5 \\
 C_{xp} &= -1,1098 \cdot \ln(Re) + 15,1973 && \text{si } 3 \cdot 10^5 < Re < 4,5 \cdot 10^5 \\
 C_{xp} &= 0,75 && \text{si } Re \geq 4,5 \cdot 10^5
 \end{aligned}
 \tag{B2.6}$$

Con:

$$Re = \left(\frac{d_e + d_c}{2} \right) * \left[\left(\frac{V_{M\acute{A}X}}{1,37 v} \right) * \left(\frac{h_p}{10} \right)^\alpha \right]
 \tag{B2.7}$$

$$h_p = h_i - \left[\frac{2 * d_e + d_c}{d_e + d_c} \right] * \frac{h_i}{3}
 \tag{B2.8}$$

$$d_e = \frac{100 * d_b - c_p * L_e}{100}
 \tag{B2.9}$$

Donde:

- Re:** Número de Reynolds
- dc:** Diámetro exterior del poste en la cima (m)
- db:** Diámetro exterior del poste en la base (m)
- cp:** Factor de conicidad exterior del poste (cm/m); usualmente 1,5 cm/m
- Le:** Longitud de empotramiento del poste (m)
- de:** Diámetro exterior del poste al nivel del empotramiento (m)
- V_{MÁX}:** Velocidad de viento máximo (m/s) según **Tabla B2.1** del apartado B2.1
- v:** Viscosidad cinemática del aire, igual a $1,45 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- hp:** Altura desde el nivel del suelo del centroide del poste (m)
- hi:** Altura libre del poste (m)
- α:** Factor de longitud de la rugosidad (**Tabla B2.2**)

El **área frontal efectiva** de un poste tronco-cónico viene dada por la siguiente expresión:

$$S_{xp} = h_i \left(\frac{d_e + d_c}{2} \right) \quad (B2.10)$$

El **factor combinado de viento para postes** (G_T) depende de la categoría del terreno y la altura del centroide:

$$\begin{aligned} G_T &= -0,0002 * h_p^2 + 0,0232 * h_p + 1,4661 && \text{(Terreno tipo A: Zona I - Área rural)} \\ G_T &= -0,0002 * h_p^2 + 0,0274 * h_p + 1,6820 && \text{(Terreno tipo B: Zona II y III - Área rural)} \\ G_T &= -0,0002 * h_p^2 + 0,0384 * h_p + 2,9284 && \text{(Terreno tipo D: Zona I, II y III - Área urbana)} \end{aligned} \quad (B2.11)$$

La **Tabla B2.6** resume los datos y expresiones que varían con la Zona y Área y que se requieren para obtener la fuerza transversal del viento sobre el poste (F_{TVP}).

Tabla B2.6 – Valores y expresiones para calcular F_{TVP} por Zona y Área

Zona	Área	CDT	q_0 (daN/m ²)	C_{xp}		G_T (Expresión)
				V_{max} (m/s)	α	
I	Rural	Tipo A	49,63	39,00	0,12	$G_{T, A}$
	Urbana	Tipo D	19,10	24,19	0,28	$G_{T, D}$
II	Rural	Tipo B	25,18	27,78	0,16	$G_{T, B}$
	Urbana	Tipo D	11,30	18,61	0,28	$G_{T, D}$
III	Rural	Tipo B	16,11	22,22	0,16	$G_{T, B}$
	Urbana	Tipo D	7,24	14,89	0,28	$G_{T, D}$

B2.4 FUERZA POR EL VIENTO SOBRE AISLADORES

Dicha fuerza se asume actúa en dirección normal a la superficie expuesta y se encuentra aplicada a la altura del centroide. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F_{TVA} = q_0 \cdot C_{xa} \cdot G_T \cdot S_{xa} \quad (B2.12)$$

Donde:

- F_{TVA} :** Carga transversal por viento sobre los aisladores (daN)
- q_0 :** Presión dinámica de viento para viento máximo (daN/m²). Ver **Tabla B2.4**
- C_{xa} :** Coeficiente de arrastre para aisladores, igual a 1,2
- G_T :** Factor combinado de viento para postes, aisladores y equipos. Ver **Figura B2.2**
- S_{xa} :** Área frontal efectiva del aislador o cadena de aisladores (m²)

El factor combinado de viento para aisladores (G_T) depende de la categoría del terreno (CDT) y la altura del centroide del aislador (h). Se ha considerado un valor

promedio $h = 11,05$ m como típico para las redes.

$$\begin{aligned}
 Gt &= -0,0002 * h_a^2 + 0,0232 * h_a + 1,4661 && \text{(Terreno tipo A: Zona I – Área rural)} \\
 Gt &= -0,0002 * h_a^2 + 0,0274 * h_a + 1,6820 && \text{(Terreno tipo B: Zona II y III – Área rural)} \\
 Gt &= -0,0002 * h_a^2 + 0,0384 * h_a + 2,9284 && \text{(Terreno tipo D: Zona I, II y III – Área urbana)}
 \end{aligned}
 \tag{B2.13}$$

El **área frontal efectiva** del aislador tipo line-post viene dada por la siguiente expresión:

$$S_{xa} = L_a \cdot d_a \tag{B2.14}$$

Donde d_a corresponde al diámetro del aislador (o cadena de suspensión) y L_a a su longitud, ambos en metros.

La **Tabla B2.7** resume los valores que varían según Zona y Área y son requeridas para obtener F_{TVA} .

Tabla B2.7 – Datos para calcular F_{TVA} por Zona y Área

Zona	Área	Categoría Terreno	q_0 (daN/m ²)	G_T
I	Rural	Tipo A	49,35	1,70
	Urbana	Tipo D	19,06	3,33
II	Rural	Tipo B	25,18	1,96
	Urbana	Tipo D	11,30	3,33
III	Rural	Tipo B	16,12	1,96
	Urbana	Tipo D	7,34	3,33

B2.5 FUERZA POR EL VIENTO SOBRE EQUIPOS

La fuerza de viento sobre los equipos (transformadores, seccionadores, etc.) se asume actuando en la dirección transversal, a una altura de incidencia coincidente con el centroide de su parte expuesta; y se calcula empleando la fórmula que se indica a continuación:

$$F_{TVE} = q_0 \cdot C_{xE} \cdot G_T \cdot S_{xE} \tag{B2.15}$$

Donde:

- F_{TVE} :** Fuerza transversal por viento sobre el equipo (daN)
- q_0 :** Presión dinámica de viento (daN/m²)
- C_{xE} :** Coeficiente de arrastre para equipos
- G_T :** Factor combinado de viento para postes, aisladores y equipos
- S_{xE} :** Área frontal efectiva del equipo (m²).

En el caso de equipos con sección circular, aplica la siguiente formulación:

$$\begin{aligned} C_{xE} &= 1,2 \text{ cuando } Re \leq 3 \cdot 10^5 \\ C_{xE} &= 0,75 \text{ cuando } Re \geq 4,5 \cdot 10^5 \\ C_{xE} &= -1,1098 \cdot \ln(Re) + 15,1973 \text{ cuando } 3 \cdot 10^5 < Re < 4,5 \cdot 10^5 \end{aligned} \quad (B2.16)$$

Con:

$$Re = d * \left[\left(\frac{V_{max}}{1,37\nu} \right) * \left(\frac{h_E}{10} \right)^\alpha \right] \quad (B2.17)$$

Donde:

Re : Número de Reynolds

d : Diámetro exterior del equipo (m)

ν : Viscosidad cinemática del aire, igual a $1,45 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

h_E : Altura (desde el nivel del suelo) del centroide del equipo (m)

α : Factor de longitud de la rugosidad (**Tabla B2.2**)

$V_{MÁX}$: Velocidad de viento máximo (m/s) según **Tabla B2.1** del apartado **B2.1**

En el caso de equipos con sección rectangular, el valor de $C_{XE}=2,0$ (ASCE MOP 74).

El **área frontal efectiva** de un equipo cilíndrico viene dada por la siguiente expresión:

$$S_{xE} = L_E \cdot d_E \quad (B2.18)$$

Donde d_E corresponde al diámetro de la cuba y L_E es la longitud de esta, ambos en metros.

El **factor combinado de viento para equipos** (G_T) depende de la categoría del terreno y la altura del centroide del equipo (h_E).

$$\begin{aligned} G_T &= -0,0002 * h_E^2 + 0,0232 * h_E + 1,4661 && \text{(Terreno tipo A: Zona I – Área rural)} \\ G_T &= -0,0002 * h_E^2 + 0,0274 * h_E + 1,6820 && \text{(Terreno tipo B: Zona II y III – Área rural)} \\ G_T &= -0,0002 * h_E^2 + 0,0384 * h_E + 2,9284 && \text{(Terreno tipo D: Zona I, II y III – Área urbana)} \end{aligned} \quad (B2.19)$$

B.2.6 FACTORES DE MAYORACION Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD

B2.6.1 Hipótesis y Estados límite

En La determinación de las hipótesis Normales y Anormales para el cálculo mecánico de postes, se consideran las recomendaciones del IEC 60826/2017 – Numerales 5.2.2 (*Design requirements for the system*) y 7.3.1 (*Limit states of line components*)

Tabla B2.8 – Requerimientos generales de diseño

Requerimiento	Tipo de carga	Objetivo	Estado límite	Hipótesis
Confiabilidad	Cargas climáticas debidas al viento.	Asegurar la transmisión de la energía en forma segura y confiable.	Daño	Normales
Seguridad	Cargas de torsión y de grandes desbalances longitudinales.	Reducir la propagación incontrolable de fallas mecánicas (efecto cascado).	Falla	Anormales
Integridad	Cargas de construcción y mantenimiento.	Garantizar condiciones seguras de construcción y mantenimiento (integridad física de los operarios).	Daño	Normales

Tabla B2.9– Límites de diseño de los postes de concreto

Límite	Descripción
Daño	Aparición de grietas visibles en el poste y/o deflexiones permanentes que superan los límites normativos.
Falla	Colapso estructural, ya sea por fluencia del acero o por aplastamiento del concreto o por ambas situaciones en forma simultánea.

A continuación, se muestra una relación entre las hipótesis y los estados límites adoptados:

Tabla B2.10 – Estados límite y factores de mayoración asociados

Tipo de poste	Estados límite (IEC)		Factor de mayoración	
	Hipótesis Normales	Hipótesis Anormales	Hipótesis Normales	Hipótesis Anormales
AL	Daño	Falla	2,5	1,6
ANG				
ANC				
FL				

Para la evaluación de las cargas verticales, el estado límite seleccionado es el de falla con un factor de mayoración de 1,2.

B2.6.2 Factores de reducción de resistencia

La metodología para la determinación de la capacidad requerida de los postes está basada en los lineamientos del IEC 60826/2017 – Numeral 7.2 (*General formulas for the strength of components*).

Desde la perspectiva de la confiabilidad buscada para el diseño de las líneas de Distribución del presente proyecto tipo es necesario que se cumpla con la siguiente desigualdad:

$$\phi_R \cdot R_C \geq \gamma_U \cdot \text{Efecto de } Q \tag{B2.20}$$

Donde:

R_c: Resistencia característica del poste.

- Φ_R :** Factor global de resistencia que tiene en cuenta aspectos relativos a la calidad.
Q: Esfuerzo EQUIVALENTE resultante aplicado al poste.
 γ_u : Factor que considera la influencia del Factor de uso (U). Este factor disminuye el valor del Efecto de Q, pero para el diseño de líneas nuevas se toma, conservadoramente, igual a 1.

El factor global de resistencia viene dado por:

$$\phi_R = \phi_N * \phi_S * \phi_Q * \phi_C \quad (B2.21)$$

Donde:

- Φ_N :** Factor de resistencia que tiene en cuenta el número de postes expuestos al efecto de la carga climática. Es un factor relativo al sistema (línea).
 Φ_S : Factor de resistencia que tiene en cuenta la secuencia de falla preferida entre en postes según su función mecánica. Es un factor relativo al sistema (línea).
 Φ_Q : Factor de resistencia que tiene en cuenta la calidad en el proceso de fabricación y el procedimiento de erección de los postes. Es un factor relativo al componente mismo (poste).
 Φ_C : Factor de resistencia que tiene en cuenta el límite de exclusión real de los postes. Es un factor relativo al componente mismo (poste).

A continuación, se exponen algunas definiciones claves para obtener los factores de resistencia:

- **Distribución de Probabilidad de la Resistencia característica**

Al aplicar un diseño tipo RBD (*Reliability-Based Design*) de segundo orden (IEC 60826/2017 – CIGRÉ TB 178/2001), se asume que los componentes del sistema tienen una resistencia característica que sigue una Distribución de Probabilidad (PDF) del tipo Normal (Gaussiana).

- **Límite de exclusión**

El límite de exclusión de un componente (LEL: *Lower Exclusion Limit*) es el porcentaje de unidades que no alcanzan el valor nominal de la resistencia característica ofrecida por el fabricante. Al aplicar el método RBD del IEC60826/2017 hay que tener en cuenta que éste basa su formulación en el hecho que el límite de exclusión de los componentes es 10%. No obstante, en el caso de los postes de concreto, el valor de LEL varía entre 5% y 10% (ASCE 111 – Apartado 2.6.2, pág. 20). Se adopta un límite de exclusión del 5%.

- **Coefficiente de variación de R_c (COV)**

El valor del coeficiente de variación de la resistencia del componente (V_R), para postes de concreto es del 15% (0,15) de acuerdo con EC 60826 – Tabla 22, pág. 55).

- **Factor Φ_N**

Este factor está relacionado con el sistema y contempla el número de componentes que estarían expuestos al efecto de una carga climática. Para eventos climáticos relativos a vientos máximos, con base en un vano de 400 m, en terreno plano (o levemente ondulado), el número de apoyos expuestos recomendado es 1 (IEC 60826, Tabla 14 - Pág. 48). Entonces, con base en un vano de 100 m, se asumió que serían 4 los postes que estarían sometidos simultáneamente a la ráfaga. En tal caso, el factor Φ_N corresponde a 0,8771.

- **Factor Φ_Q**

Este factor está relacionado con el componente en sí y tiene en cuenta el control de calidad en los procesos de fabricación e instalación de este. La justificación de Φ_Q se basa en el hecho de que, en la práctica, los componentes se producen en masa y se utilizarán en condiciones distintas a aquellas que se simulan en las pruebas a los que son sometidos. Luego, por tratarse de postes de concreto, el factor de calidad considera la fabricación y el procedimiento de izado de los mismos; además, su valor oscila entre 0,90 (control de calidad muy bueno, vigilado por terceros) y 0.85 (control de calidad bueno). Estos valores corresponden a coeficientes de variación de resistencia (V_R) de 0.10 y 0.20, respectivamente (CIGRÉ TB 178 – Tabla 8, pág. 31). El valor adoptado es 0,90.

- **Factor Φ_c**

Este factor está relacionado con el componente en sí y tiene en cuenta el límite de exclusión para la resistencia característica del mismo. Considera la diferencia entre el valor asumido para el límite de exclusión (LEL=10%) y el valor real que este pueda tener (tratándose de postes de concreto, LEL=5 %). El valor calculado es 1,0723.

- **Factor Φ_s**

Este factor está relacionado con el sistema y contempla la coordinación entre componentes para asegurar una secuencia de falla preferida: Se espera que los apoyos en suspensión fallen antes que los apoyos de amarre (ANC y FL).

El factor Φ_s se estableció de tal forma que la secuencia de falla se logre con un alto nivel de confianza (90%).

En la situación de dos componentes con igual V_R (dos postes de concreto con distinta función mecánica), el factor Φ_s es independiente del tipo de PDF y del valor del LEL. El valor calculado corresponde a 1 para los apoyos en suspensión, mientras que para apoyos de amarre es 0,7587.

Los factores reductores de la Resistencia característica del poste, para los requerimientos de diseño de la línea, son los que se indican seguidamente.

Tabla B2.11 – Factores de reducción de resistencia

Hipótesis	PDF	LEL	$V_R = 15\%$				
			Φ_N	Φ_S	Φ_Q	Φ_C	Φ_R
Normales	Normal	5%	0,8771	1	0,9	1,0723	0,8464
Anormales				0,7587			0,633

B2.6.3 Factores de mayoración

Para obtener los factores de mayoración para el cálculo mecánico de postes se aplicaron los siguientes criterios:

- Límite de falla: **$R_c =$ Esfuerzo de rotura a flexión del poste**
- Límite de daño: **$R_c = 50 \%$ del Esfuerzo de rotura a flexión del poste**
- Factor de mayoración (f_m):

Hipótesis normal:

$$f_m = \frac{Y_U}{0,50 * \phi_R} \quad (B2.22)$$

Hipótesis anormal:

$$f_m = \frac{Y_U}{\phi_R} \quad (B2.23)$$

Tabla B2.12 – Factores de mayoración

Hipótesis	γ_U	Φ_R	f_m	
			Calculado	Adoptado
Normales	1	0,8464	2,3662	2,5 ¹
Anormales	1	0,6442	1,5571	1,6

¹Según RETIE 20.17.1 el factor de seguridad de los postes, calculado como la relación entre carga mínima de rotura y la tensión máxima aplicada no puede ser inferior a 2,5.

B2.6.4 Coeficientes de seguridad

En el caso de las retenidas y de las cimentaciones, los coeficientes de seguridad corresponden con valores típicos manejados en el campo de las líneas de distribución eléctrica: 1,5 como coeficiente de seguridad para la tensión máxima admisible en el cable de las retenidas, 1,2 como coeficiente de seguridad del anclaje de la retenida y 1,5 como valor mínimo del coeficiente de seguridad al vuelco para las cimentaciones.

Control de cambios

Edición	Fecha de aprobación	Motivo de la edición y/o resumen de cambios
01	07/01/2022	<p>Documento de primera edición que reemplaza el proyecto tipo relacionado a Líneas Eléctricas Aéreas M.T. Sin Neutro de fecha 3 de noviembre del 2020. En relación con este; se realizan los siguientes ajustes:</p> <ul style="list-style-type: none">• Las zonas de viento se identifican como Zonas I, II, y III. Anteriormente eran zonas A, B, y C, respectivamente.• Se cambio la numeración en algunas tablas