

CAPITULO 2

TÍTULO 2: REDES ELÉCTRICAS AÉREAS BAJA TENSIÓN

EBSA 2.2-RABT



ÍNDICE

2.2.1

SECCIÓN 1: GENERALIDADES

SECCIÓN 2: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CONDUCTORES
PARA REDES DE BAJA TENSIÓN

2.2.2

2.2.3

SECCIÓN 3: TECNOLOGÍAS DE CONDUCTORES: REDES TRENZADAS Y
ABIERTAS

SECCIÓN 4 : SELECCIÓN DE RUTA Y CONDICIONES DE
IMPLANTACIÓN

2.2.4

2.2.5

SECCIÓN 5: CÁLCULO DE VANO Y CURVAS DE TENDIDO

SECCIÓN 6: CÁLCULO DE ESFUERZOS SOBRE CONDUCTORES Y
ESTRUCTURAS

2.2.6

2.2.7

SECCIÓN 7: COMPONENTES MECÁNICOS: POSTES, AISLADORES Y
RETENIDAS

SECCIÓN

2.2.1 GENERALIDADES

1

2.2.1.1 INTRODUCCIÓN

Las redes eléctricas de baja tensión aéreas son una parte fundamental del sistema de distribución eléctrica, ya que permiten llevar la energía desde los transformadores de distribución hasta los usuarios finales en zonas urbanas y rurales. Este título corresponde al diseño y construcción de las instalaciones eléctricas comprendidas entre los bornes de baja tensión de los transformadores de distribución de uso general hasta la frontera comercial para todas las redes de baja tensión aéreas dentro del área de operación de la Empresa de Energía de Boyacá S.A. (EBSA), tanto en nuevas instalaciones como en modificaciones o ampliaciones de redes existentes. Su propósito es proporcionar un marco normativo y técnico que permita diseñar, construir y operar estas redes de manera segura, eficiente y acorde con la normatividad vigente en Colombia. Además, se incorporan buenas prácticas de ingeniería, aplicadas a través de la experiencia materializada por EBSA, garantizando una mejora continua en la planificación, implementación y optimización de la infraestructura eléctrica.

2.2.1.2. NORMAS Y ESTÁNDARES

Normativa / Estándar	Descripción
NTC 2050 – Segunda actualización, Artículo 215	Establece los criterios para el dimensionamiento y protección de alimentadores en instalaciones eléctricas.
NTC 2050 – Segunda actualización, Artículo 110.14	Define los requisitos técnicos para la correcta realización de conexiones eléctricas, garantizando continuidad eléctrica y seguridad en las uniones de conductores.
NTC 2050 – Segunda actualización, Artículo 210	Regula el diseño, características y requisitos de protección de los circuitos ramales en instalaciones eléctricas.
NTC 2050 – Segunda actualización, Artículo 310.15	Define las tablas de ampacidad de conductores eléctricos y los factores de corrección por temperatura ambiente y agrupamiento de conductores.
NTC 2050 – Segunda actualización, Anexo B	Proporciona información de aplicación para el cálculo de la capacidad de corriente de conductores eléctricos.
NTC 4552	Norma colombiana para la protección contra rayos. Incluye información sobre el nivel cerámico por regiones del país para el diseño de sistemas de protección contra descargas atmosféricas.
NTC 309	Establece los requisitos técnicos para conductores de aluminio con refuerzo de acero (ACSR) utilizados en líneas aéreas de energía.
RETIE 2024 – Capítulo 4 del Libro 3	Define los requisitos técnicos y de seguridad aplicables a las redes de distribución eléctrica.
RETIE 2024 – Título 26 del Libro 3	Establece los requisitos técnicos para el diseño, instalación y conexión de acometidas eléctricas.
IEC 60364-8-1	Norma internacional que establece requisitos, medidas y recomendaciones para el diseño y verificación de instalaciones eléctricas de baja tensión con enfoque en eficiencia energética.
IEC 60287	Norma internacional que establece la metodología para el cálculo térmico y la capacidad de corriente de cables eléctricos.
IEC 60038	Define los valores normalizados de tensión utilizados en sistemas de suministro de energía eléctrica en corriente alterna.
NSR-10 – Capítulo A.3	Establece los requisitos generales de diseño sismo resistente aplicables a estructuras.
NTC 1329	Define los requisitos de diseño estructural para postes de concreto reforzado utilizados en redes eléctricas.
NTC 1332	Establece los requisitos técnicos para conductores de cobre aislados con PVC utilizados en instalaciones eléctricas.
NTC 1340	Define las tensiones nominales utilizadas en sistemas de energía eléctrica a 60 Hz.
UL 83 / UL 44	Estándares internacionales que establecen los requisitos para cables eléctricos con aislamiento termoplástico y termoestable.
NSR-10 – Título B, Capítulo B.6	Define los criterios para la determinación de cargas de viento sobre estructuras.
Bacigalupe Camarero, Fernando – Líneas Aéreas de Media y Baja Tensión – Cálculo Mecánico	Referencia bibliográfica técnica para el cálculo mecánico de conductores en líneas aéreas de energía.
IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	Fuente oficial de información climatológica utilizada para el análisis de condiciones ambientales en el diseño de redes eléctricas.
Catálogos técnicos de fabricantes (Nexans, Viakon)	Documentación técnica utilizada como referencia para propiedades mecánicas, eléctricas y dimensionales de conductores y cables.

Tabla 1. Documentos de referencia, normas y reglamentos adicionales

SECCIÓN

2.2.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE
CONDUCTORES PARA REDES DE BAJA
TENSIÓN

2

2.2.2.1 NIVELES DE TENSIÓN

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Los niveles de tensión en redes eléctricas de baja tensión corresponden a los valores normalizados de tensión a los cuales se distribuye y suministra la energía eléctrica a los usuarios finales. Estos niveles definen directamente las condiciones de diseño, selección de conductores, aislamiento, protecciones y equipos asociados.

Se considera como red de baja tensión aquella cuya tensión nominal es mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V, clasificada como Nivel 1. La correcta selección del nivel de tensión de la red y de la tensión nominal del conductor es fundamental para:

- Garantizar la seguridad eléctrica de personas e instalaciones.
- Preservar la integridad del aislamiento del conductor frente a la tensión de operación.
- Asegurar la calidad del servicio (niveles adecuados de tensión en el punto de conexión).

El objetivo de este criterio es establecer lineamientos técnicos que permitan al diseñador seleccionar conductores compatibles con los niveles de tensión de las redes de baja tensión, evitando subdimensionamientos del aislamiento, fallas dieléctricas y riesgos operativos.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Conductores aislados: Los conductores empleados en instalaciones de baja tensión (tensiones de operación de 120 V, 208 V, 240 V, entre otras) deben tener una tensión nominal de aislamiento que proporcione un factor de seguridad adecuado. En la práctica, los conductores comerciales para baja tensión se fabrican con tensión de aislamiento de 600 V o 1.000 V, lo cual cumple satisfactoriamente este requisito.

Principio de aplicación: La selección adecuada de conductores para redes de baja tensión debe considerar que la tensión nominal de aislamiento del conductor sea igual o superior a la tensión máxima del sistema donde será instalado.

De acuerdo con la NTC 2050 y el NEC/NFPA 70, la tensión nominal de un equipo eléctrico (incluyendo los conductores) no debe ser inferior a la tensión nominal del circuito al que está conectado. Este principio aplica tanto para la selección de conductores como para todos los componentes de la instalación eléctrica.

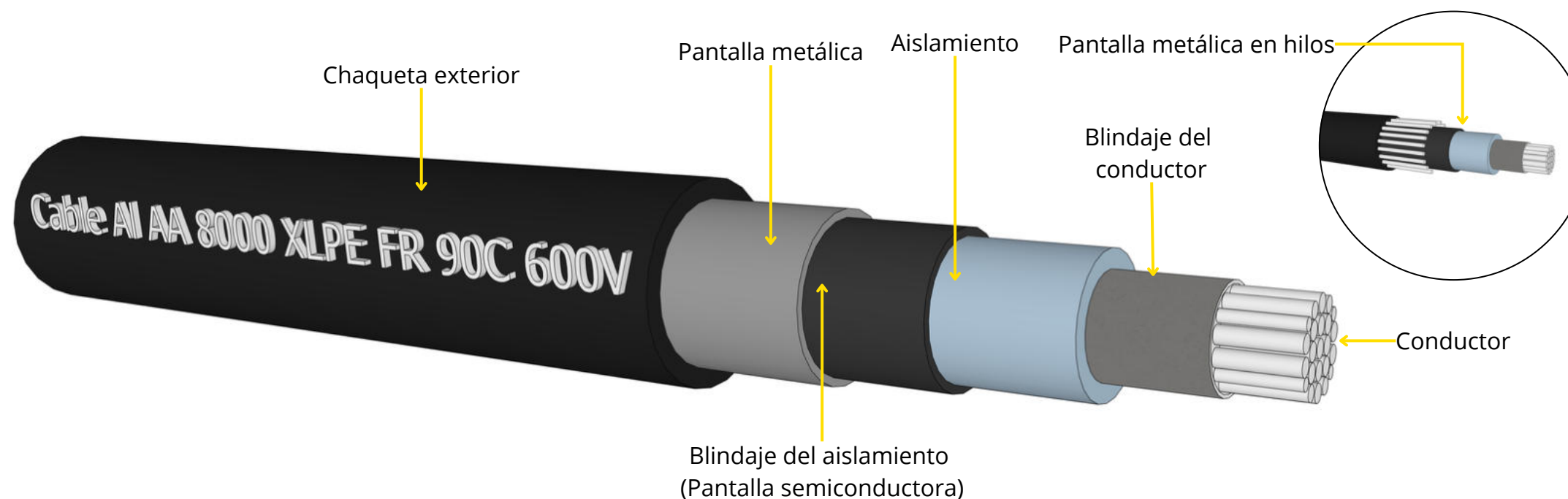


Figura 1. Cable AA 8000 con tensión de aislamiento de 600 V.

NOTA:

- Las instalaciones eléctricas no deben inducir al error, por lo cual el uso de conductores con niveles de aislamiento inapropiados para el nivel de tensión de operación constituye una violación técnica de la normativa aplicable.

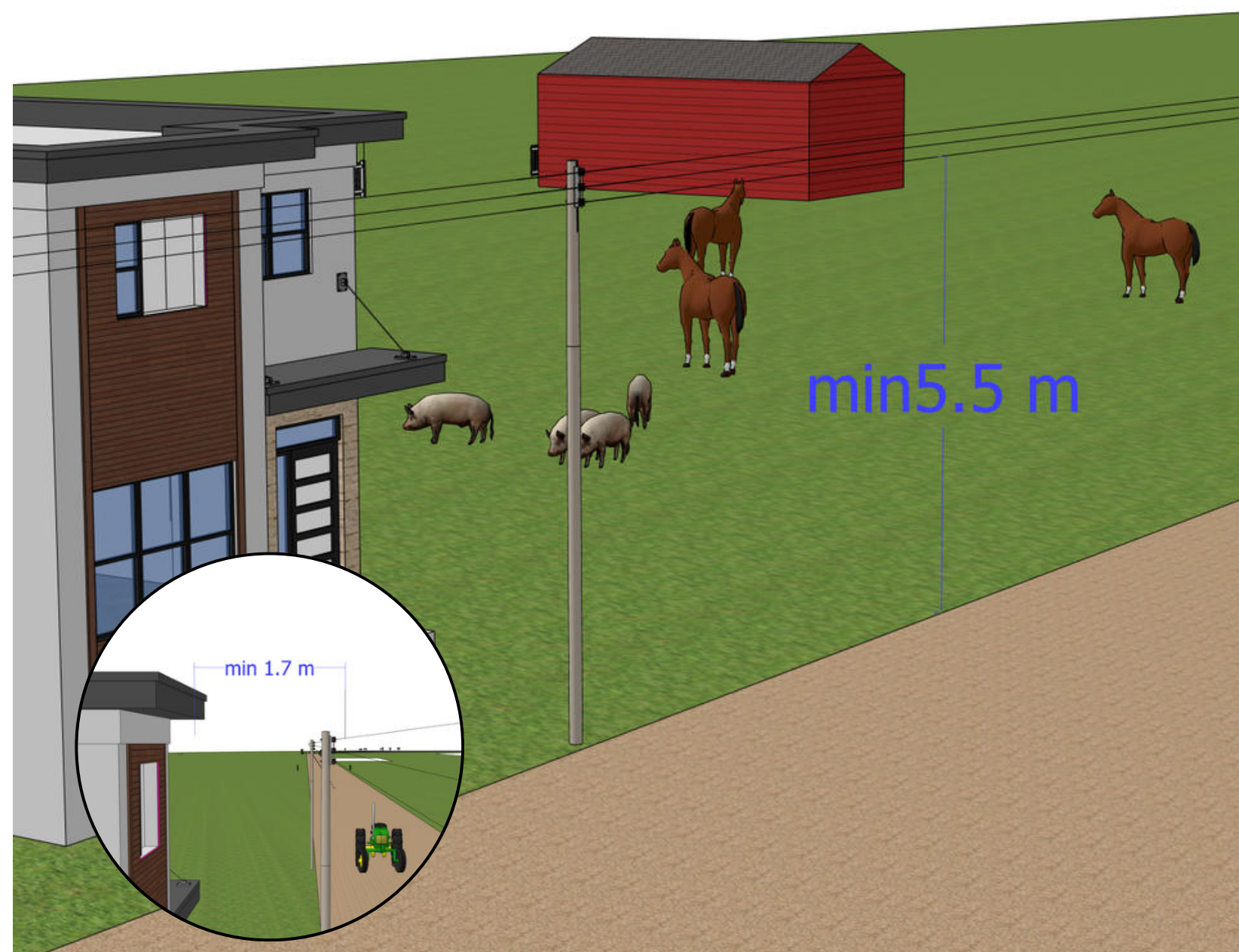
B.2. Conductores desnudos: En conductores desnudos, el nivel de tensión no está determinado por el conductor, sino por el sistema de aislamiento externo, las distancias de seguridad en aire y los elementos de soporte, conforme a la normativa vigente.

La selección de conductores desnudos se basa en:

- Tensión máxima del sistema donde serán instalados.
- Distancias mínimas de seguridad como método de protección (en lugar del aislamiento).
- Uso típico en zonas rurales o con poco riesgo de contacto.

Principio de aplicación: La tensión de operación del sistema donde se instalen conductores desnudos debe mantenerse dentro del rango de baja tensión ($\leq 1.000\text{ V}$) y cumplir con distancias mínimas de seguridad que garanticen el aislamiento mediante aire, compensando la ausencia de aislamiento físico del conductor.

Los conductores desnudos y demás partes energizadas de los circuitos de distribución deben cumplir las distancias mínimas de seguridad establecidas en el RETIE, así como cumplir integralmente las condiciones establecidas en el Capítulo 4, Título 5, Distancias de seguridad y señalización.

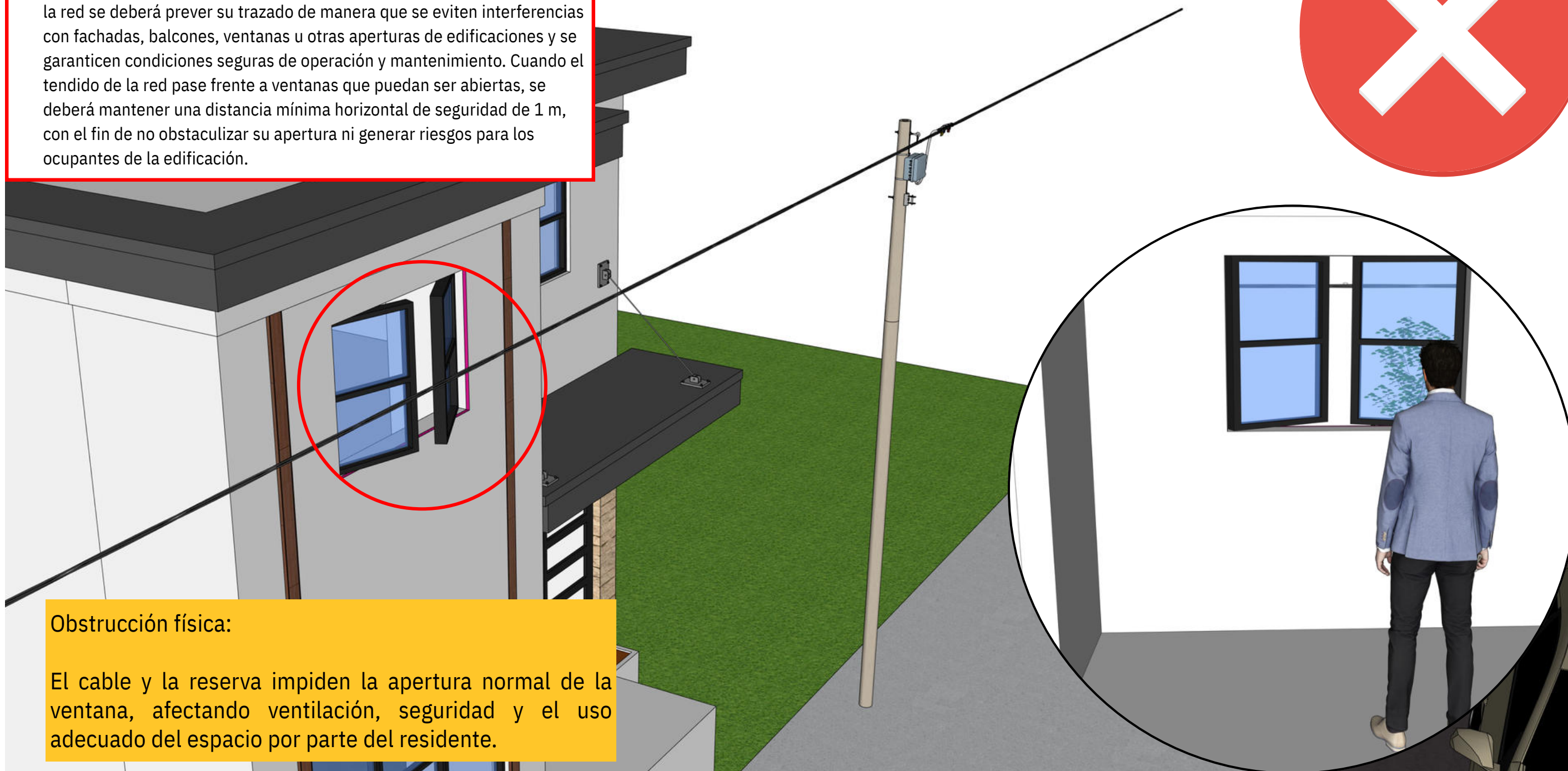


Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia RETIE (m)	BT EBSA (factor de seguridad)
Distancia horizontal "b" a muros, balcones, salientes, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas (Figura 3.10.1.a).	66/57,5	2,5	2,5
	44/34,5/33	2,3	2,3
	13,8/13,2/11,4/7,6	2,3	2,3
	< 1	1,7	1,7
Distancia vertical "d" a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular (Figura 3.10.1.a), para vehículos de más de 2,45 m de altura.	115/110	6,1	7,0
	66/57,5	5,8	6,5
	44/34,5/33	5,6	6,0
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6	6,0
	< 1	5	5,5

Figura 2. Distancias mínimas de seguridad entre redes aéreas a construcciones en baja tensión.

NOTA:

- En redes aéreas de baja tensión con conductor trenzado (neutro portante) no aplican las distancias mínimas de seguridad establecidas para conductores desnudos; no obstante, durante el diseño y construcción de la red se deberá prever su trazado de manera que se eviten interferencias con fachadas, balcones, ventanas u otras aperturas de edificaciones y se garanticen condiciones seguras de operación y mantenimiento. Cuando el tendido de la red pase frente a ventanas que puedan ser abiertas, se deberá mantener una distancia mínima horizontal de seguridad de 1 m, con el fin de no obstaculizar su apertura ni generar riesgos para los ocupantes de la edificación.



Obstrucción física:

El cable y la reserva impiden la apertura normal de la ventana, afectando ventilación, seguridad y el uso adecuado del espacio por parte del residente.

Figura 3. Distancias mínimas de seguridad entre redes aéreas a construcciones en baja tensión.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

C.1. Tensión de servicio: En zonas urbanas y rurales, la prestación del servicio eléctrico y la demanda requerida estarán sujetas a la factibilidad de servicio emitida por EBSA. Adicionalmente, los circuitos de las redes de baja tensión deberán operar con las tensiones nominales establecidas en la Tabla 2, las cuales, según la configuración del sistema de distribución, garantizan la compatibilidad con los equipos eléctricos y la eficiencia del suministro.

Tipo de servicio	Tipo de sistema	Tensión de servicio (V)	Demanda máxima (kVA)
Residencial	Monofásico trifilar	240/120, 208/120	30*
	Trifásico tetrafilar	208/120, 214/123, 220/127	
Comercial e Industrial	Trifásico tetrafilar	220/127,440/254	

Tabla 2. Tensiones nominales de servicio y demanda máxima para redes de baja tensión en zonas urbanas y rurales

***La asignación de una capacidad superior a 30 kVA en baja tensión estará sujeta a la disponibilidad de capacidad del transformador de distribución que sea propiedad de EBSA, considerando la carga existente.**

No obstante, dicha disponibilidad no exime el cumplimiento de los requisitos técnicos del sistema de medida. En todos los casos, el equipo de medición deberá dimensionarse con base en la carga aprobada, garantizando que la corriente máxima del medidor sea mayor o igual a la corriente a plena carga, y deberá cumplir integralmente las condiciones establecidas en el Capítulo 4, Título 4, Guía del sistema de medición y criterios constructivos para gabinetes y encerramientos de medidores.

C.2. Ejemplo comparativo del criterio de diseño basado en la tensión

Criterio	Conductor aislado	Conductor desnudo
Tipo de sistema	120/208 V trifásico	120/208 V trifásico
Tensión de operación fase-fase	208 V	208 V
Tensión de aislamiento	600 V (o 1.000 V según aislamiento)	0 V (no posee aislamiento)
Tensión de operación permitida	Hasta la tensión de aislamiento	Hasta 1.000 V (límite BT)
Medio dieléctrico principal	Aislamiento sólido del conductor	Aire
Margen de seguridad eléctrica	$600 \text{ V} / 208 \text{ V} = 2,88$	No aplica
Factor de seguridad	Aproximadamente: 3	No existe
Protección frente a sobretensiones	Parcial (limitada por el aislamiento)	Depende de la rigidez dieléctrica del aire
Respuesta ante maniobras	El aislamiento atenúa picos	Riesgo directo de arco
Descargas atmosféricas indirectas	Menor susceptibilidad	Alta susceptibilidad
Fluctuaciones normales de red	Toleradas dentro del margen	Riesgo si se reducen distancias
Elemento crítico de seguridad	Calidad y nivel de aislamiento	Distancias mínimas de seguridad
Rigidez dieléctrica aplicable	La del material aislante	Aire = 3kV/mm
Riesgo por invasión de objetos	Bajo (si el aislamiento está íntegro)	Alto (cualquier objeto es riesgo)
Influencia ambiental (humedal, polvo)	Menor	Alta

Tabla 3. Margen de seguridad eléctrica

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. Definición correcta del nivel de tensión de la red: Antes de seleccionar el conductor, es importante identificar con precisión el nivel de tensión nominal del sistema, tanto fase–fase como fase–tierra, de acuerdo con la configuración eléctrica de la red donde será instalado.

D.2. Selección el conductor conforme a la tensión nominal de aislamiento: El conductor debe contar con una tensión nominal de aislamiento acorde con el nivel de tensión del sistema. Para redes de baja tensión, el aislamiento debe ser como mínimo de 600 V, garantizando un factor de seguridad no inferior a 2,5 frente a la tensión máxima de operación.

D.3. Verificación la certificación del producto: Como buena práctica, se debe comprobar que el conductor disponga de certificado de conformidad RETIE vigente y que cumpla con las normas técnicas aplicables, tales como NTC 1332, UL 83 o UL 44, según el tipo de conductor y su aplicación.

D.4. Comprobación de la marcación del conductor: Se recomienda verificar que el conductor tenga una marcación legible y permanente, que permita identificar como mínimo:

- Calibre del conductor
- Tipo de aislamiento
- Tensión nominal (600 V o 1.000 V)
- Temperatura máxima de operación

D.5. Cumplimiento de restricciones de uso para conductores desnudos: Como criterio de seguridad y buena práctica técnica:

- No se permite su uso en zonas urbanas.
- No se permite su instalación en zonas con presencia significativa de arbolado.
- Su aplicación en otros escenarios solo se permitirá como uso especial justificado, previa evaluación técnica, análisis de riesgos y cumplimiento estricto del RETIE y normativa EBSA.

2.2.2.2 PORCENTAJES DE REGULACIÓN DE TENSIÓN

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

La regulación de tensión se define como la variación del voltaje en una línea de distribución debido a la caída de tensión en los conductores. Una regulación deficiente puede generar desviaciones significativas en el voltaje, afectando negativamente la calidad del suministro, ocasionando sobrecalentamientos, fallas prematuras en equipos eléctricos y disminuyendo la vida útil de dispositivos conectados.

Este subnumeral tiene como objetivo establecer los límites técnicos aceptables de regulación de tensión en redes de distribución de baja tensión, así como los métodos para su cálculo y evaluación, con el fin de garantizar un servicio eléctrico confiable, seguro y conforme a las normas técnicas vigentes.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Cálculo de la caída de tensión.

En la literatura para el cálculo de la caída de tensión se cuenta con dos fórmulas, una general y otra simplificada, las cuales se detallan a continuación:

• **Fórmula General:** La ecuación general se usa cuando se requiere alta precisión y considera la resistencia y reactancia de los conductores:

-Para sistemas monofásicos o monofásicos trifilares:

$$\Delta U = 2 \times I \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \times L$$

- Para sistemas trifásicos:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \times L$$

Donde:

ΔU → Caída de tensión en voltios (V).

I → Corriente en amperios (A).

R → Resistencia del conductor en ohmios por kilómetro (Ω/km).

X → Reactancia del conductor en ohmios por kilómetro (Ω/km).

θ → Desplazamiento de fase.

L → Longitud de la línea en kilómetros (km).

- **Método Simplificado con Constantes de Regulación:** Permite estimaciones rápidas y aproximadas calculadas tramo a tramo utilizando constantes de regulación predefinidas.

$$\Delta U = P \times L \times K_{reg}$$

Donde:

ΔU → Caída de tensión en voltios (V).

P → Potencia activa de la carga en vatios (W).

L → Longitud de la línea en kilómetros (km).

K_{reg} → Constante de regulación específica del calibre del conductor, tabulada en función de la configuración del sistema (monofásico, bifásico o trifásico).

B.2. Límite de regulación de tensión

En cumplimiento de los principios de calidad y seguridad establecidos en el RETIE 2024, y en coherencia con la IEC 60038, la cual dispone que en condiciones normales de funcionamiento la tensión de alimentación no debe diferir de la tensión nominal del sistema en más de $\pm 10\%$, **se establece que el diseño de las redes de baja tensión debe garantizar una regulación máxima del 5 % en zonas urbanas y del 7 % en zonas rurales.**

El valor del 7 % en zonas rurales se justifica técnicamente debido a que en estas áreas se presentan mayores distancias entre transformadores y usuarios, así como vanos más largos, lo que incrementa naturalmente la caída de tensión en los conductores y exige un criterio de diseño diferenciado, sin afectar el cumplimiento del rango normativo en el punto de utilización. Adicionalmente, **para las acometidas se debe garantizar que la regulación de tensión no supere el 3 %**, calculada en el dispositivo de corte general.

Este criterio tiene como finalidad garantizar la calidad del servicio, la operación adecuada de los equipos eléctricos y la confiabilidad del suministro, conforme a los principios establecidos en la normativa eléctrica vigente para instalaciones de baja tensión. En consecuencia, la selección del calibre de los conductores, así como la definición de longitudes de circuito, esquemas de distribución y condiciones de carga, deberán verificarse de tal forma que el valor de regulación de tensión se mantenga dentro de los límites máximos establecidos.

NOTA:

- El cumplimiento de los límites máximos establecidos no habilita ni justifica la aceptación de caídas de tensión adicionales en las instalaciones internas del usuario que puedan afectar el correcto funcionamiento, la vida útil o la seguridad de los equipos conectados. En consecuencia, el diseñador deberá prever márgenes adecuados de regulación dentro de la instalación interna, mediante una correcta selección de calibres de conductor, longitudes de circuito y coordinación de los niveles de protección.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

C.1. Constantes de Regulación

Las constantes de regulación son coeficientes que permiten simplificar y estandarizar el cálculo de regulación de tensión en redes de distribución. Se derivan de propiedades del material conductor y configuración del sistema permitiendo evaluar el comportamiento de la tensión en diferentes condiciones operativas.

Zonas consideradas:

- Zona 1 – 12°C - (Frío, >2.300 msnm): Ejemplos de municipios en esta categoría incluyen Tunja, Duitama, Sogamoso, Paipa, entre otros.
- Zona 2 – 20°C - (Templado, 1.000-2.300 msnm): Ejemplos de municipios en esta categoría incluyen Garagoa, Guateque, Miraflores, Chiquinquirá.
- Zona 3 – 30°C - (Cálido, <1.000 msnm): Ejemplos de municipios en esta categoría incluyen Puerto Boyacá, Otanche, Muzo, Quípama, entre otros.

C.1.1. Multiplex trenzado 600 V

Las tablas 4, 5 y 6 presentan las constantes de regulación para redes aéreas en baja tensión en zonas urbanas (cables de aluminio multiplex autosoportado sobre neutro portante ACSR aislado) y rurales (cables de aluminio multiplex autosoportado sobre neutro portante ACSR desnudo) y para un factor de potencia de 0.9:

• DÚPLEX – Monofásico (1 Línea + 1 Neutro)

CONDUCTOR			R	XL	Kreg (%/kVA·m)
Calibre	Secc mm ²	Neutro	Ω/km	Ω/km	120V
Zona 1 – 12°C					
1/0 AWG	53.48	ACSR Aisl.	0.5186	0.0949	7.057 x 10 ⁻³
1/0 AWG	53.48	ACSR Desn.	0.5186	0.0925	7.043 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Aisl.	0.4113	0.0930	5.705 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Desn.	0.4113	0.0930	5.691 x 10 ⁻³
Zona 2 – 20°C					
1/0 AWG	53.48	ACSR Aisl.	0.5359	0.0949	7.273 x 10 ⁻³
1/0 AWG	53.48	ACSR Desn.	0.5359	0.0925	7.259 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Aisl.	0.4250	0.0930	5.876 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Desn.	0.4250	0.0907	5.862 x 10 ⁻³
Zona 3 – 30°C					
1/0 AWG	53.48	ACSR Aisl.	0.5575	0.0949	7.543 x 10 ⁻³
1/0 AWG	53.48	ACSR Desn.	0.5575	0.0925	7.529 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Aisl.	0.4422	0.0930	6.090 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Desn.	0.4422	0.0907	6.076 x 10 ⁻³

Tabla 4. Constantes de regulación para cable Aluminio Dúplex Autosoportado con neutro ACSR aislado y desnudo

• TRÍPLEX – Bifásico (2 Líneas + Neutro)

CONDUCTOR			R	XL	Kreg (%/kVA·m)		
Calibre	Secc mm ²	Neutro	Ω/km	Ω/km	208/120 V	220/127 V	240/120 V
Zona 1 – 12°C							
1/0 AWG	53.48	ACSR Aisl.	0.5186	0.0945	2.348 x 10 ⁻³	2.099 x 10 ⁻³	1.764 x 10 ⁻³
1/0 AWG	53.48	ACSR Desn.	0.5186	0.0926	2.344 x 10 ⁻³	2.096 x 10 ⁻³	1.761 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Aisl.	0.4113	0.0930	1.899 x 10 ⁻³	1.697 x 10 ⁻³	1.426 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Desn.	0.4113	0.0905	1.894 x 10 ⁻³	1.693 x 10 ⁻³	1.422 x 10 ⁻³
Zona 2 – 20°C							
1/0 AWG	53.48	ACSR Aisl.	0.5359	0.0945	2.420 x 10 ⁻³	2.163 x 10 ⁻³	1.818 x 10 ⁻³
1/0 AWG	53.48	ACSR Desn.	0.5359	0.0926	2.416 x 10 ⁻³	2.160 x 10 ⁻³	1.815 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Aisl.	0.4250	0.0930	1.956 x 10 ⁻³	1.748 x 10 ⁻³	1.469 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Desn.	0.4250	0.0905	1.951 x 10 ⁻³	1.744 x 10 ⁻³	1.465 x 10 ⁻³
Zona 3 – 30°C							
1/0 AWG	53.48	ACSR Aisl.	0.5575	0.0945	2.510 x 10 ⁻³	2.244 x 10 ⁻³	1.885 x 10 ⁻³
1/0 AWG	53.48	ACSR Desn.	0.5575	0.0926	2.506 x 10 ⁻³	2.240 x 10 ⁻³	1.882 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Aisl.	0.4422	0.0930	2.027 x 10 ⁻³	1.812 x 10 ⁻³	1.522 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Desn.	0.4422	0.0905	2.022 x 10 ⁻³	1.807 x 10 ⁻³	1.519 x 10 ⁻³

Tabla 5. Constantes de regulación para cable Aluminio Triplex Autosoportado con neutro ACSR aislado y desnudo

• CUÁDRUPLEX – Trifásico (3 Líneas + Neutro)

CONDUCTOR			R	XL	Kreg (%/kVA·m)			
Calibre	Secc mm ²	Neutro	Ω/km	Ω/km	208/120 V	214/123 V	220/127 V	440/254 V
Zona 1 – 12°C								
1/0 AWG	53.48	ACSR Aisl.	0.5186	0.1035	1.183 x 10 ⁻³	1.118 x 10 ⁻³	1.058 x 10 ⁻³	0.264 x 10 ⁻³
1/0 AWG	53.48	ACSR Desn.	0.5186	0.1035	1.181 x 10 ⁻³	1.116 x 10 ⁻³	1.056 x 10 ⁻³	0.264 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Aisl.	0.4113	0.1014	0.958 x 10 ⁻³	0.905 x 10 ⁻³	0.856 x 10 ⁻³	0.214 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Desn.	0.4113	0.0994	0.956 x 10 ⁻³	0.956 x 10 ⁻³	0.854 x 10 ⁻³	0.214 x 10 ⁻³
Zona 2 – 20°C								
1/0 AWG	53.48	ACSR Aisl.	0.5359	0.1035	1.219 x 10 ⁻³	1.152 x 10 ⁻³	1.090 x 10 ⁻³	0.272 x 10 ⁻³
1/0 AWG	53.48	ACSR Desn.	0.5359	0.1015	1.217 x 10 ⁻³	1.150 x 10 ⁻³	1.088 x 10 ⁻³	0.272 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Aisl.	0.4250	0.1014	0.986 x 10 ⁻³	0.932 x 10 ⁻³	0.882 x 10 ⁻³	0.220 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Desn.	0.4250	0.0994	0.984 x 10 ⁻³	0.930 x 10 ⁻³	0.880 x 10 ⁻³	0.220 x 10 ⁻³
Zona 3 – 30°C								
1/0 AWG	53.48	ACSR Aisl.	0.5575	0.1035	1.264	1.194 x 10 ⁻³	1.130 x 10 ⁻³	0.282 x 10 ⁻³
1/0 AWG	53.48	ACSR Desn.	0.5575	0.1015	1.262	1.192 x 10 ⁻³	1.128 x 10 ⁻³	0.282 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Aisl.	0.4422	0.1014	1.022	0.965 x 10 ⁻³	0.914 x 10 ⁻³	0.228 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	ACSR Desn.	0.4422	0.0994	1.020	0.964 x 10 ⁻³	0.912 x 10 ⁻³	0.228 x 10 ⁻³

Tabla 6. Constantes de regulación para cable Aluminio Cuádruplex Autosoportado con neutro ACSR aislado y desnudo

C.1.2. ACSR DESNUDO

Las tablas 7, 8 y 9 presentan las constantes de regulación para redes aéreas en baja tensión en zonas rurales, para cables de aluminio desnudo ACSR, con una separación entre líneas de 0.20 m y para un factor de potencia de 0.9:

• Monofásico (1 Línea + 1 Neutro)

CONDUCTOR		R	XL	K (%/kVA·m)
Calibre	Secc mm ²	Ω/km	Ω/km	120V
Zona 1 – 12°C				
1/0 AWG	53.48	0.5186	0.3046	8.327 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	0.4113	0.2960	6.934 x 10 ⁻³
Zona 2 – 20°C				
1/0 AWG	53.48	0.5359	0.3046	8.543 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	0.4250	0.2960	7.105 x 10 ⁻³
Zona 3 – 30°C				
1/0 AWG	53.48	0.5575	0.3046	8.813 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	0.4422	0.2960	7.319 x 10 ⁻³

Tabla 7. Constantes de regulación para cable Aluminio Desnudo ACSR monofásico

• Bifásico (2 Líneas + Neutro)

CONDUCTOR		R	XL	K (%/kVA·m)		
Calibre	Secc mm ²	Ω/km	Ω/km	208/120 V	220/127 V	240/120 V
Zona 1 – 12°C						
1/0 AWG	53.48	0.5186	0.3045	2.771 x 10 ⁻³	2.477 x 10 ⁻³	2.082 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	0.4113	0.2960	2.308 x 10 ⁻³	2.063 x 10 ⁻³	1.733 x 10 ⁻³
Zona 2 – 20°C						
1/0 AWG	53.48	0.5359	0.3045	2.843 x 10 ⁻³	2.541 x 10 ⁻³	2.136 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	0.4250	0.2960	2.365 x 10 ⁻³	2.114 x 10 ⁻³	1.776 x 10 ⁻³
Zona 3 – 30°C						
1/0 AWG	53.48	0.5575	0.3045	2.933 x 10 ⁻³	2.622 x 10 ⁻³	2.203 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	0.4422	0.2960	2.436 x 10 ⁻³	2.178 x 10 ⁻³	1.830 x 10 ⁻³

Tabla 8. Constantes de regulación para cable Aluminio Desnudo ACSR bifásico

• Trifásico (3 Líneas + Neutro)

CONDUCTOR		R	XL	K (%/kVA·m)			
Calibre	Secc mm ²	Ω/km	Ω/km	208/120 V	220/127 V	240/120 V	440/254 V
Zona 1 – 12°C							
1/0 AWG	53.48	0.5186	0.3219	1.403 x 10 ⁻³	1.326 x 10 ⁻³	1.254 x 10 ⁻³	0.314 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	0.4113	0.3138	1.172 x 10 ⁻³	1.107 x 10 ⁻³	1.048 x 10 ⁻³	0.262 x 10 ⁻³
Zona 2 – 20°C							
1/0 AWG	53.48	0.5359	0.3219	1.439 x 10 ⁻³	1.360 x 10 ⁻³	1.286 x 10 ⁻³	0.322 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	0.4250	0.3138	1.200 x 10 ⁻³	1.134 x 10 ⁻³	1.073 x 10 ⁻³	0.268 x 10 ⁻³
Zona 3 – 30°C							
1/0 AWG	53.48	0.5575	0.3219	1.484 x 10 ⁻³	1.402 x 10 ⁻³	1.327 x 10 ⁻³	0.332 x 10 ⁻³
2/0 AWG	67.43	0.4422	0.3138	1.236 x 10 ⁻³	1.168 x 10 ⁻³	1.105 x 10 ⁻³	0.276 x 10 ⁻³

Tabla 9. Constantes de regulación para cable Aluminio Desnudo ACSR trifásico

C.2. Análisis práctico del límite de regulación de tensión para redes urbanas en baja tensión

La siguiente tabla presenta un ejemplo práctico orientado al análisis de la distancia máxima admisible de las redes de baja tensión antes de superar el límite del 5 % de regulación de tensión en zonas urbanas:

Tener en cuenta la siguiente convención de colores para la longitud del cable:			
≥200m	100-199m	50-99m	<50m

Carga (kVA)	Distancia en m para Cuádruplex: 3F+N Reg ≤ 5.0%			
	208/120 V		220/127 V	
	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG
4	989	1.223	1.106	1.368
8	494	612	553	684
12	330	408	369	456
16	247	306	277	342
20	198	245	221	274

Tabla 10. Distancia máxima admisible para conductor de aluminio cuádruplex autoportado con neutro aislado

C.3. Análisis práctico del límite de regulación de tensión para redes rurales en baja tensión

Las siguientes tablas presentan un ejemplo práctico orientado al análisis de la distancia máxima admisible de las redes de baja tensión antes de superar el límite del 7 % de regulación de tensión en zonas rurales:

Tener en cuenta la siguiente convención de colores para la longitud del cable:			
≥200m	100-199m	50-99m	<50m

Carga (kVA)	Dist. en m para Dúplex: 1F+N Reg ≤ 7.0%		Dist. en m para Tríplex: 2F+N Reg ≤ 7.0%	
	120V		240/120 V	
	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG
4	232	287	928	1149
8	116	144	463	574
12	77	95	309	384
16	57	71	232	287
20	46	57	186	230

Tabla 11. Distancia máxima admisible para conductor de aluminio dúplex y tríplex autoportado con neutro desnudo

Carga (kVA)	Dist. en m para ACSR: 1F+N Reg ≤ 7.0%		Dist. en m para ACSR: 2F+N Reg ≤ 7.0%		Dist. en m para ACSR: 3F+N Reg ≤ 7.0%			
	120V		240/120 V		208/120 V		220/127 V	
	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG
4	199	239	794	956	1.179	1.416	1.319	1.585
8	99	120	397	478	590	708	659	793
12	66	80	265	319	393	472	440	528
16	50	60	199	239	295	354	330	396
20	40	48	159	191	236	283	264	317

Tabla 12. Distancia máxima admisible para conductor de aluminio desnudo ACSR

NOTAS:

- Las distancias fueron calculadas a partir de las constantes de regulación correspondientes al escenario de T = 30 °C, por ser la condición más desfavorable. Para temperaturas inferiores, las distancias admisibles se incrementan: aproximadamente un 7.5 % a 12 °C (zona fría) y un 4.1 % a 20 °C (zona templada).
- Las tablas de distancias máximas están calculadas suponiendo que existe un solo tramo y que toda la carga está ubicada al final, no se consideran regulaciones acumuladas. Cuando la red de baja tensión alimenta varios usuarios a lo largo del recorrido, se debe verificar la caída de tensión en cada tramo y no basarse únicamente en los valores de la tabla.

2.2.2.3 PÉRDIDAS MÁXIMAS DE ENERGÍA

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Las pérdidas de energía y de potencia en una red de distribución de baja tensión se definen como la diferencia entre la energía y potencia suministradas por la fuente (transformadores o generadores) y las que son efectivamente entregadas a las cargas, como consecuencia principalmente de la circulación de corriente en los conductores y equipos eléctricos.

Estas pérdidas se manifiestan en forma de disipación térmica (efecto Joule, I^2R) y aumentan a medida que se incrementan la corriente, la longitud de los conductores o una selección inadecuada de los mismos. Un nivel elevado de las pérdidas de energía (kWh) representan un impacto directo en la eficiencia del sistema y en los costos de operación a lo largo del tiempo.

Este subnumeral tiene como objetivo establecer criterios técnicos para el control y limitación de las pérdidas máximas de energía y potencia en redes de baja tensión, así como los lineamientos para su evaluación, con el fin de garantizar una operación eficiente, segura y económicamente sostenible del sistema de distribución, manteniendo una adecuada calidad del suministro eléctrico.

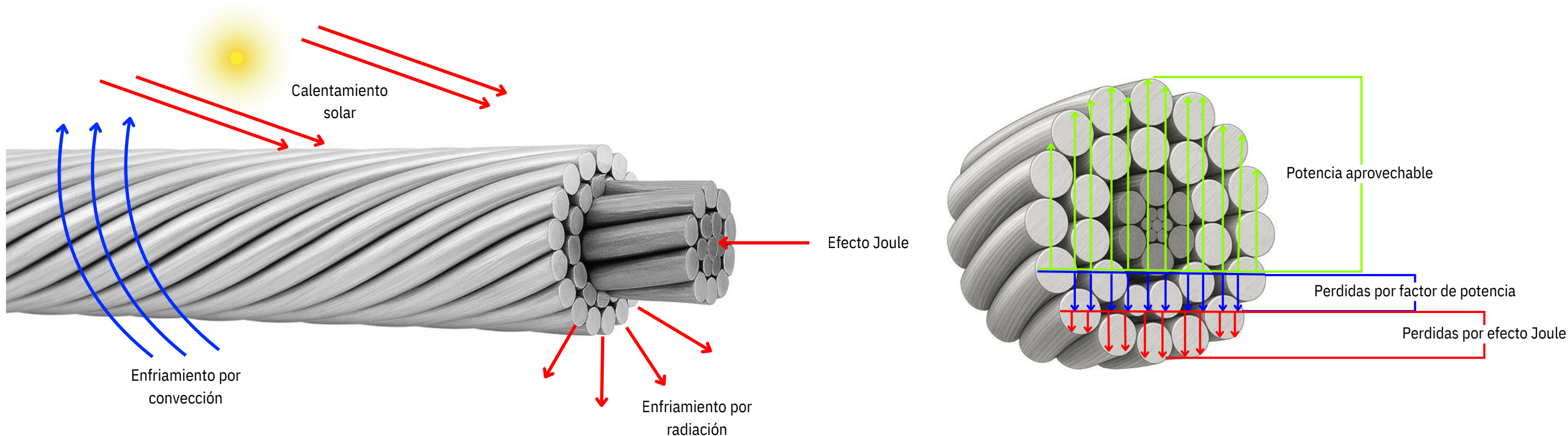


Figura 4. Fenómeno de calentamiento solar, efecto Joule y convección en conductores aéreos.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Cálculo de Pérdidas de Potencia en conductores (kW)

El cálculo de pérdidas de potencia en conductores permite cuantificar la energía disipada en forma de calor debido al paso de la corriente eléctrica, constituyéndose en un criterio fundamental para la evaluación técnica y económica de los sistemas eléctricos.

La siguiente expresión se emplea para el cálculo de pérdidas de potencia en conductores eléctricos, cuando se requiere una estimación más precisa que los métodos simplificados.

- **Para redes trifásicas:**

$$P_{P \text{ Conductor}} = 3 \cdot i^2 \cdot R \cdot l \cdot F_{pérdidas}$$

- **Para redes monofásicas:**

$$P_{P \text{ Conductor}} = 2 \cdot i^2 \cdot R \cdot l \cdot F_{pérdidas}$$

Donde:

- i es la corriente que circula por el conductor (A).
- R resistencia del conductor (ohm/km).
- l es longitud del tramo analizado (km).

$F_{pérdidas}$ es el factor de pérdidas, el cual es un valor que se utiliza para ajustar las pérdidas de potencia en un sistema eléctrico, tomando en cuenta condiciones específicas de operación que no se reflejan solo en los cálculos ideales, el cual corresponde a:

$$F_{pérdidas} = 0.7Fc^2 + 0.3Fc$$

Donde F_c es el factor de carga, el cual corresponde a:

$$F_c = \frac{\text{Potencia promedio (kVA)}}{\text{Potencia máxima (kVA)}}$$

El factor de carga determina qué tan constante o eficiente ha sido el uso de la energía durante un período determinado, un valor cercano a 1 (1-100%) indica que la carga fue bastante constante; un valor bajo, por ejemplo, 0.5, indica que hubo mucha variabilidad, es decir, se usó más energía en momentos picos, pero poco el resto del tiempo.

B.2. Cálculo de Pérdidas de Energía en conductores (kWh)

El cálculo de las pérdidas de energía en los conductores permite cuantificar la energía disipada en forma de calor durante el periodo de operación del sistema eléctrico. Estas pérdidas se obtienen a partir de la integración de la potencia perdida en el conductor a lo largo del tiempo de operación considerado.

B.2.1. Expresión de cálculo

De manera general, la energía perdida en el conductor se expresa como:

$$P_{E \text{ Conductor}} = \int_0^T P_{P \text{ Conductor}}(t) dt \approx P_{potencia,prom} \cdot T$$

B.2.3. Definición de variables

- $P_{E \text{ Conductor}}$: es la energía perdida en el conductor, expresada en kilovatios-hora (kWh).
- $P_{P \text{ Conductor}}(t)$: es la potencia instantánea disipada en el conductor en función del tiempo.
- $P_{potencia,prom}$: es la potencia promedio de pérdidas en el conductor durante el periodo T .
- T : es el tiempo total de operación del sistema.

B.3. Límite de pérdidas de energía

Las redes de distribución en baja tensión, deben diseñarse de manera que las pérdidas totales de energía en zonas urbanas no superen el tres por ciento (3%) y en zonas rurales no superen el tres punto cinco por ciento (3.5%). Este criterio tiene como finalidad mejorar la eficiencia energética del sistema, reducir las pérdidas técnicas, optimizar los costos de operación y garantizar un suministro confiable, conforme a los principios establecidos en la normativa eléctrica vigente aplicable a redes de baja tensión.

En consecuencia, la selección del calibre de los conductores, la definición de longitudes de circuito, la topología de la red y las condiciones de carga deben verificarse de tal forma que las pérdidas de energía se mantengan dentro del límite máximo permitido.

Nota: El cumplimiento del límite máximo de pérdidas de energía aplica exclusivamente hasta el punto de conexión definido por EBSA. A partir de dicho punto, el diseñador debe garantizar que las pérdidas asociadas a la acometida y a las instalaciones internas se mantengan dentro de parámetros técnicamente aceptables, mediante una adecuada selección de calibres de conductor, configuración de circuitos y longitudes, en función del cumplimiento de los requisitos técnicos y de seguridad establecidos en el RETIE vigente.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

C.1. Análisis práctico del límite de pérdidas de energía para redes urbanas en baja tensión

La siguiente tabla presenta un ejemplo práctico orientado al análisis de la distancia máxima admisible de las redes de baja tensión antes de superar el límite del 3 % de pérdidas de energía en zonas urbanas:

Tener en cuenta la siguiente convención de colores para la longitud del cable:			
≥200m	100-199m	50-99m	<50m

Carga (kVA)	Zona fría-templada > 1000 m.s.n.m.				Zona cálida < 1000 m.s.n.m.			
	Dist. en m para Cuádruplex: 3F+N Pérd. ≤ 3.0%				Dist. en m para Cuádruplex: 3F+N Pérd. ≤ 3.0%			
	208/120 V		220/127		208/120 V		220/127	
	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG
4	848	1.069	949	1.196	764	964	854	1.078
8	424	535	474	599	382	481	427	539
12	283	356	317	398	254	322	284	359
16	212	268	238	299	191	241	214	270
20	169	214	190	239	152	193	170	216

Tabla 13. Distancia máxima admisible para conductor de aluminio cuádruplex autoportado con neutro ACSR aislado

C.2. Análisis práctico del límite de pérdidas de energía para redes rurales en baja tensión

Las siguientes tablas presentan un ejemplo práctico orientado al análisis de la distancia máxima admisible de las redes de baja tensión antes de superar el límite del 3.5 % de pérdidas de energía en zonas rurales:

Tener en cuenta la siguiente convención de colores para la longitud del cable:			
≥200m	100-199m	50-99m	<50m

Carga (kVA)	Dist. en m para ACSR: 1F+N Pérd. \leq 3.5%		Dist. en m para ACSR: 2F+N Pérd. \leq 3.5%		Dist. en m para ACSR: 3F+N Pérd. \leq 3.5%			
	120 V		240/120 V		208/120 V		220/127	
	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG
4	165	207	659	830	990	1.247	1.107	1.396
8	83	104	329	416	494	624	553	699
12	55	69	220	277	330	416	370	465
16	41					12	277	349
20	34					49	221	279

Tener en cuenta la siguiente convención de colores para la longitud del cable:

$\geq 200m$	100-199m	50-99m	<50m
-------------	----------	--------	------

Tabla 14. Distancia máxima adm...

Carga (kVA)	Dist. en m para ACSR: 1F+N Pérd. \leq 3.5%		Dist. en m para ACSR: 2F+N Pérd. \leq 3.5%		Dist. en m para ACSR: 3F+N Pérd. \leq 3.5%			
	120 V		240/120 V		208/120 V		220/127	
	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG	1/0 AWG	2/0 AWG
4	148	188	594	748	892	1.124	997	1.257
8	74	94	297	374	445	561	498	629
12	49	63	197	249	297	375	332	419
16	36	46	148	188	223	281	249	315
20	29	38	119	150	178	225	199	252

Tabla 15. Distancia máxima admisible para conductor de aluminio desnudo ACSR para zona cálida < 1000 m.s.n.m.

NOTAS:

- Las distancias máximas indicadas en las tablas para redes rurales también aplican para conductor de aluminio dúplex y tríplex autoportado con neutro ACSR desnudo, dado que ambas tecnologías comparten la misma sección de aluminio y, por tanto, la misma resistencia eléctrica.
- Las tablas de distancias máximas están calculadas suponiendo que existe un solo tramo y que toda la carga está ubicada al final, no se consideran pérdidas acumuladas. Cuando la red de baja tensión alimenta varios usuarios a lo largo del recorrido, se debe verificar las pérdidas de energía en cada tramo y no basarse únicamente en los valores de la tabla.

2.2.2.4 RELACIÓN REGULACIÓN DE TENSIÓN Y PÉRDIDAS MÁXIMAS DE ENERGÍA

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

En el diseño de redes de baja tensión existen dos criterios técnicos que limitan simultáneamente la longitud máxima admisible de un circuito: las pérdidas de energía y la regulación de tensión. Ambos fenómenos son consecuencia directa de la resistencia eléctrica del conductor y de la corriente que circula por él, pero su comportamiento relativo a lo largo del circuito difiere según el tipo de conductor y las condiciones de operación.

El objetivo del presente numeral es identificar y analizar como estos dos criterios se afectan mutuamente y determinan conjuntamente el desempeño del sistema de distribución, de modo que el diseño eléctrico considere de forma simultánea ambos aspectos, adoptando como distancia máxima la que satisfaga los dos criterios al mismo tiempo.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Distancia máxima de diseño

La distancia máxima admisible para un circuito de baja tensión es la menor de las dos distancias calculadas independientemente por cada criterio:

$$L_{\text{diseño}} = \text{mínimo} (L_{\text{max por pérdidas}} , L_{\text{max por regulación}})$$

B.2. Selección del calibre del conductor: 1/0 AWG como estándar mínimo

La resistencia eléctrica del conductor determina directamente la magnitud de las pérdidas de energía y de la caída de tensión. A mayor sección transversal, menor resistencia, menores pérdidas y mayor alcance admisible del circuito. Por esta razón, la selección del calibre afecta de forma simultánea el cumplimiento de los dos criterios técnicos establecidos en este numeral.

El conductor calibre 1/0 AWG es el calibre mínimo obligatorio para el diseño, construcción y ampliación de redes de baja tensión aéreas, tanto en configuración multiplex trenzado como en conductor ACSR. **Queda restringido el uso del conductor calibre #2 AWG, salvo en derivaciones terminales de circuito donde se demuestre técnicamente que no existe posibilidad de extensión futura, la longitud del tramo es inferior a 30 m, y se verifique el cumplimiento simultáneo de los criterios de pérdidas y regulación de tensión establecidos en este numeral.**

B.3. Criterio gobernante en el diseño de redes de baja tensión: pérdidas de energía sobre regulación de tensión

En el diseño de redes de baja tensión, dos criterios técnicos limitan simultáneamente la longitud máxima admisible de un circuito: las pérdidas de energía y la regulación de tensión. Ambos crecen de forma proporcional a la distancia desde el transformador; no obstante, la relación entre sus pendientes de crecimiento y sus respectivos límites admisibles determina cuál de los dos criterios resulta más restrictivo en cada configuración de red.

Para los conductores empleados en las redes de distribución de baja tensión de EBSA en zonas urbanas y rurales, las pérdidas de energía constituyen el criterio gobernante del diseño, alcanzando su límite admisible a una distancia menor que la requerida para que la regulación de tensión supere el suyo. En consecuencia, la longitud máxima efectiva del circuito queda determinada por el criterio de pérdidas, garantizando que la calidad de tensión en el punto más alejado se mantenga dentro del rango normativo antes de que la red sea identificada como ineficiente energéticamente.

Las Figuras 5 y 6 ilustran este principio para zona urbana y rural respectivamente, de forma conceptual y normalizada para el rango de diseño de redes BT de EBSA. En ambas gráficas se identifican tres zonas de operación claramente delimitadas:

- **Zona A – Operación segura:** ambos criterios se encuentran dentro de los límites admisibles. El circuito puede diseñarse en este rango sin restricciones.
- **Zona B – Pérdidas incumplidas:** las pérdidas de energía han superado el límite establecido, aunque la regulación de tensión aún se mantiene dentro del rango permitido. Un circuito que opere en esta zona incumple el criterio de eficiencia energética de la red, aun cuando el usuario no perciba problemas de voltaje en su acometida.
- **Zona C – Incumplimiento total:** ambos criterios han sido superados. La operación en esta zona compromete simultáneamente la calidad de la energía entregada y la eficiencia del sistema.

Los límites adoptados representan el punto de operación que maximiza el alcance útil de los circuitos, garantizando que las pérdidas sean siempre el criterio activo de control y que la regulación de tensión nunca llegue a su límite normativo antes de que la red haya sido identificada como ineficiente.

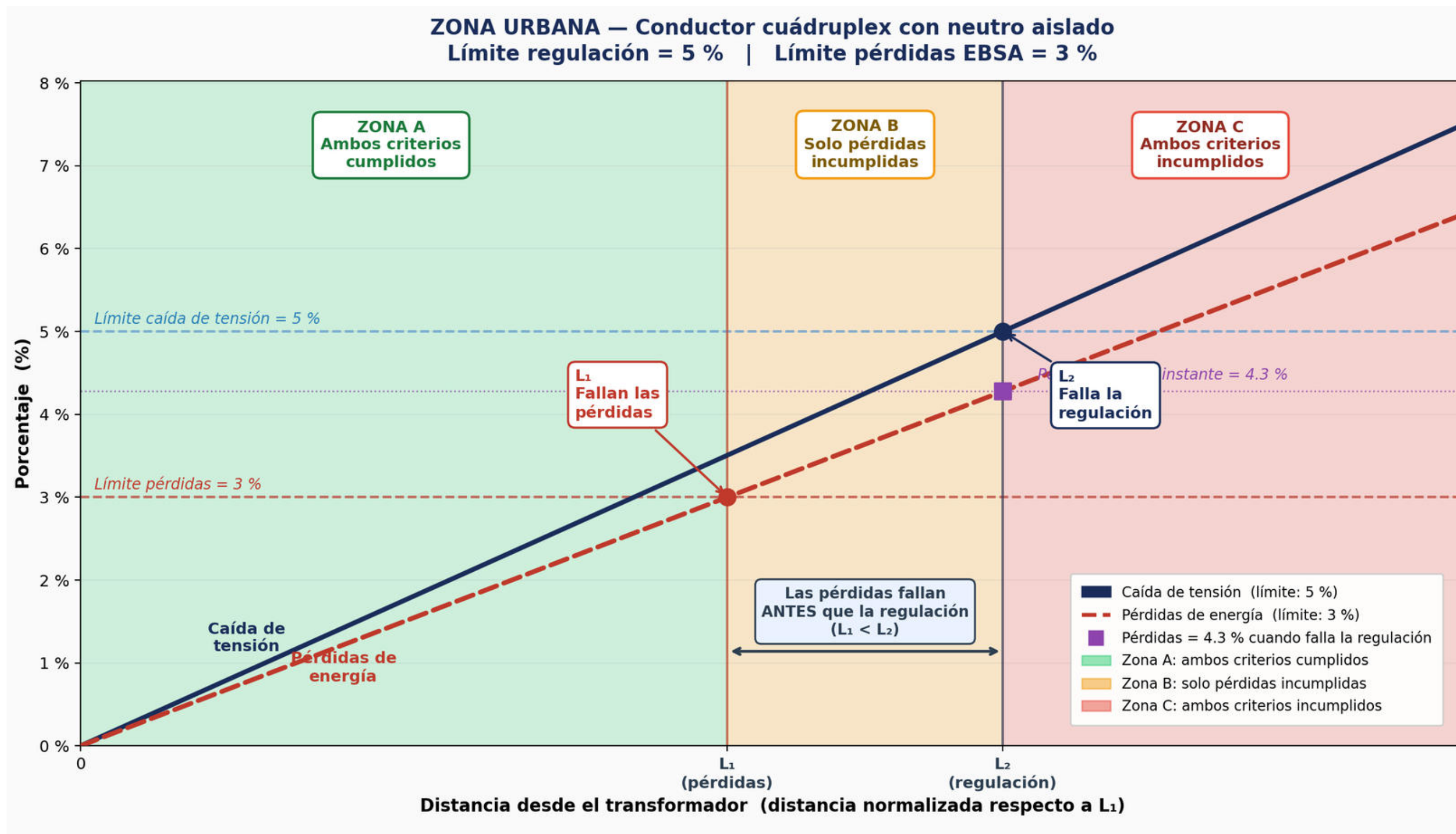


Figura 5. Criterio gobernante en el diseño de redes urbanas de baja tensión – Conductor cuádruplex con neutro aislado .

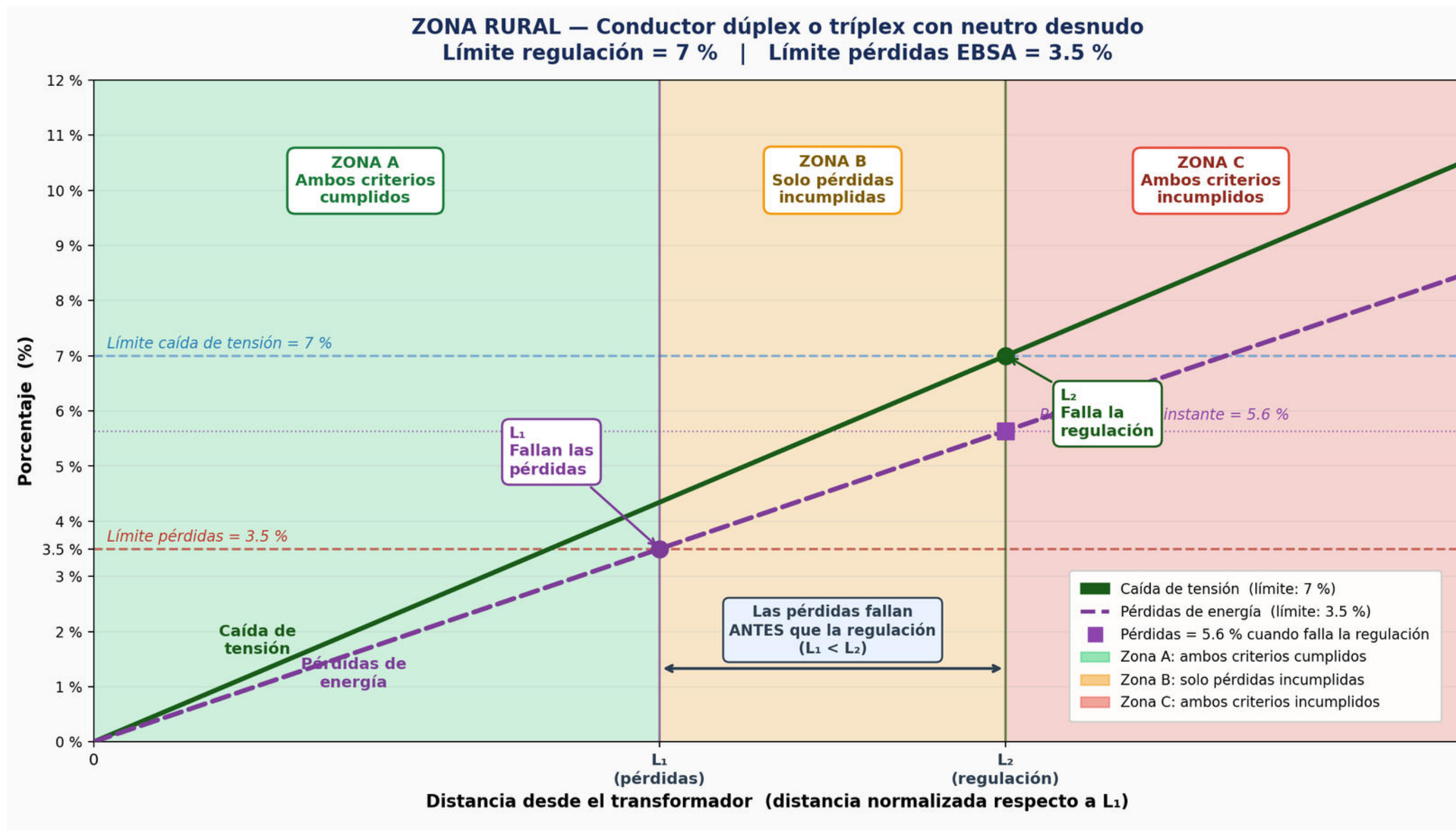


Figura 6. Criterio gobernante en el diseño de redes rurales de baja tensión – Conductor dúplex o tríplex con neutro desnudo

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

La tabla siguiente presenta, para los conductores y configuraciones normalizados en la red de baja tensión de EBSA, las distancias máximas calculadas por criterio de pérdidas, por criterio de regulación de tensión, y la distancia efectiva de diseño que satisface ambas condiciones simultáneamente. Los valores están calculados para configuración Cuádruplex y ACSR a 220 V (3F+N), conductor 1/0 AWG, fp = 0.9, zona fría-templada.

Tipo de red	Carga (kVA)	L máx. Pérdidas (m)	L máx. Regulación (m)	L efectiva aceptada (m)	Criterio limitante
Cuádruplex-urbano (con neutro ACSR aislado) N° 1/0	4 kVA	949	1106	949	Pérdidas
	8 kVA	474	553	474	Pérdidas
	12 kVA	317	369	317	Pérdidas
	16 kVA	238	277	238	Pérdidas
	20 kVA	190	221	190	Pérdidas
Tríplex-rural (con neutro ACSR desnudo) N° 1/0	4 kVA	659	928	659	Pérdidas
	8 kVA	329	463	329	Pérdidas
	12 kVA	220	309	220	Pérdidas
	16 kVA	165	232	165	Pérdidas
	20 kVA	132	186	132	Pérdidas
ACSR (3F+N) desnudo-rural N° 1/0	4 kVA	1107	1319	1107	Pérdidas
	8 kVA	553	659	553	Pérdidas
	12 kVA	370	440	370	Pérdidas
	16 kVA	277	330	277	Pérdidas
	20 kVA	264	259	221	Pérdidas

Tabla 16. Distancia efectiva de diseño.

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. Ubicación Estratégica de Centros de Transformación:

Cuando la distancia de alimentación y la demanda de carga superen los límites establecidos para la regulación de tensión, se recomienda instalar un nuevo centro de transformación cerca de la demanda principal acorde con la capacidad requerida. De igual forma, colocar los centros de transformación próximos a las zonas de mayor consumo reduce las longitudes de los ramales de baja tensión, disminuyendo pérdidas. Este centro deberá ubicarse en el baricentro de las cargas a suministrar, garantizando una distribución eficiente de la energía y minimizando caídas de tensión en la red y disminuyendo las pérdidas. La ubicación y capacidad del transformador deberán ser determinadas mediante estudios eléctricos que consideren la densidad de carga, proyección de crecimiento y topología del sistema de distribución.

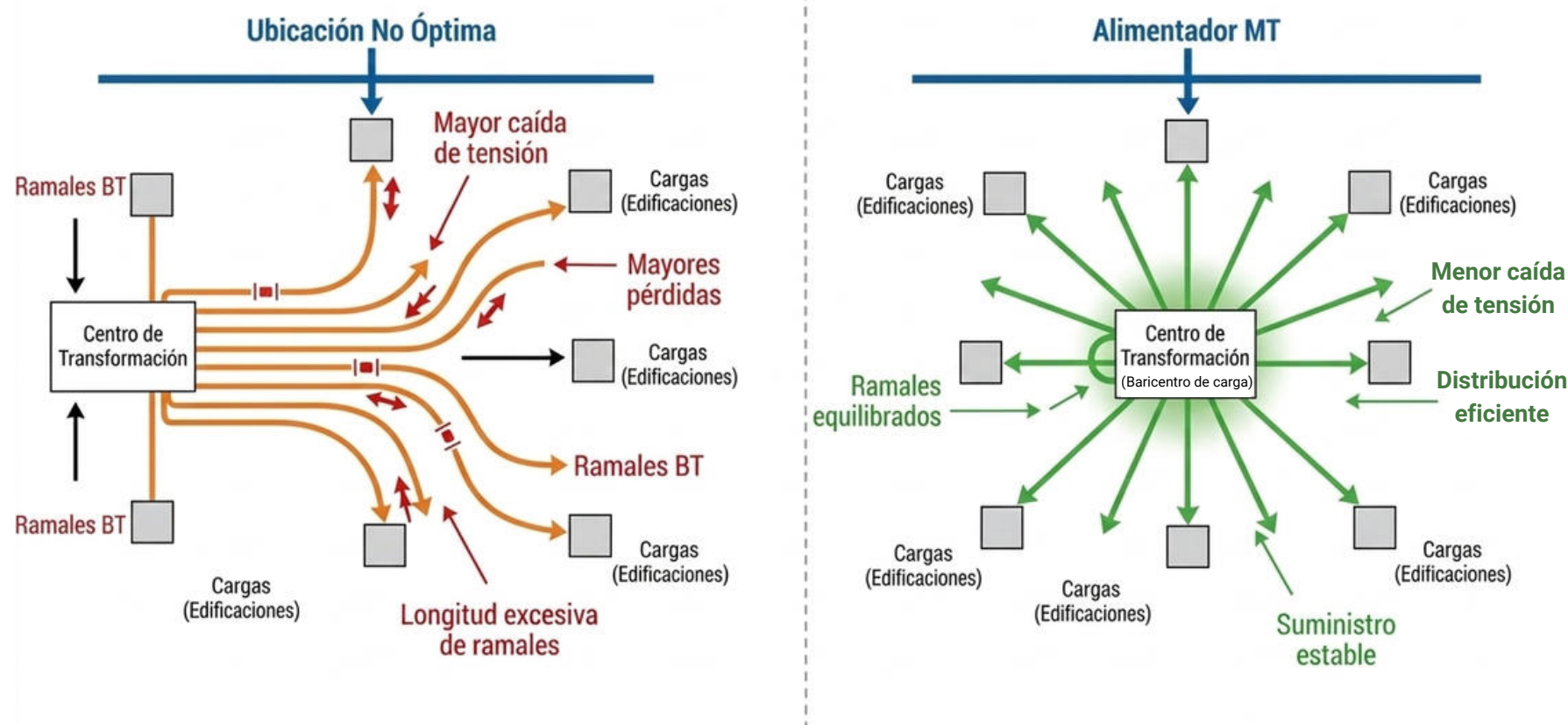


Figura 7. Ubicación estratégica centros de transformación.

D.2. Selección de Conductores Adecuados: Al sobrepasar el 5% de regulación, se deberá optar por conductores de mayor calibre o aumentar el nivel de tensión del sistema de distribución. De igual forma, invertir en conductores de mejor sección reduce las pérdidas a mediano y largo plazo. En casos donde la ampliación de la sección del conductor no sea viable, se evaluará la reconfiguración de la red eléctrica para optimizar la eficiencia del suministro.

D.3. Elevación de Nivel de Tensión (si es factible): Migrar redes de baja tensión a media tensión en tramos extensos o con grandes demandas disminuye el flujo de corriente y, por ende, las pérdidas.

D.4. Aplicar siempre el criterio más restrictivo: El diseñador debe calcular la distancia máxima por ambos criterios y adoptar la menor. No es aceptable diseñar un circuito que cumpla regulación pero supere el límite de pérdidas, ni viceversa.

2.2.2.5 CAPACIDAD DE CORRIENTE

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Este apartado establece criterios técnicos orientados a la capacidad de conducción de corriente (ampacidad), siendo este un parámetro técnico fundamental para la adecuada selección de conductores eléctricos empleados en redes aéreas de baja tensión, garantizando el desempeño térmico seguro del conductor y de los equipos asociados. Su correcta determinación asegura un suministro eléctrico eficiente, estable y conforme a la normativa vigente.

Este criterio aplica para:

- Diseño y construcción de redes aéreas de distribución de baja tensión.
- Acometidas y circuitos ramales en sistemas de distribución.
- Instalaciones con tensiones nominales hasta 1000 V.

Definiciones:

Capacidad de corriente (Ampacidad): Corriente máxima, expresada en amperios (A), que un conductor puede transportar de forma continua bajo condiciones específicas de instalación, sin exceder la temperatura límite de operación establecida para su tipo de aislamiento.

Temperatura de operación: Temperatura que alcanza el conductor durante su funcionamiento normal bajo carga. No debe exceder la temperatura máxima de clasificación del aislamiento (60°C, 75°C o 90°C según el tipo).

Factor de corrección: Multiplicador que ajusta la capacidad de corriente base cuando las condiciones reales de instalación difieren de las condiciones estándar establecidas en las tablas normativas.

Factor de ajuste: Multiplicador que reduce la capacidad de corriente cuando múltiples conductores activos comparten un mismo espacio físico, limitando la disipación térmica.

Conductor activo: Conductor destinado a transportar corriente de carga en condiciones normales de operación. No incluye conductores de protección, tierra o neutros balanceados.

Temperatura ambiente: Temperatura del aire que rodea al conductor. La condición estándar establecida es 30°C.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

Secuencia básica de dimensionamiento eléctrico (Ver aplicación práctica en Ejemplos 1, 2 y 3).

1. Determinar la potencia aparente (S), expresada en kVA, considerando la carga conectada, simultaneidad y proyecciones de crecimiento. Establecer el nivel de tensión (V), de acuerdo con los valores normalizados establecidos en la Tabla 1 del presente título.

2. Calcular la corriente nominal del sistema utilizando la siguiente fórmula:

- Para sistemas trifásicos:

$$I = (S \times 1000) / (\sqrt{3} \times V)$$

- Para sistemas monofásicos:

$$I = (S \times 1000) / V$$

Donde:

I = Corriente nominal del sistema (A)

S = Potencia aparente total (kVA)

V = Tensión nominal del sistema (V)

3. Seleccionar el conductor con ampacidad \geq corriente calculada, usando Tabla 18.

4. Aplicar factor de corrección por agrupamiento según la Tabla 19.

5. Aplicar el factor de corrección térmica por temperatura ambiente superior a 30 °C, usando el valor correspondiente de acuerdo con la norma (ver Tabla 20 para aplicación de factor térmico correspondiente).

6. Verificar que la ampacidad corregida \geq corriente del sistema y caída de tensión \leq 5 %.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

C.1. Temperatura de operación

Esta tabla establece la temperatura base que debe usarse para determinar la ampacidad de los conductores, diferenciando entre circuitos que transportan menos de 100 A y aquellos que manejan 100 A o más conforme a las restricciones térmicas aplicables a terminales y equipos.

Aspecto Evaluado	Circuitos hasta 100 A (Calibres 14 AWG a 2 AWG)	Circuitos superiores a 100 A (Calibres superiores a 2 AWG)
Temperatura Base de Evaluación	60°C	75°C
Columna a usar en Tabla 18	Columna 60°C (Cu o Al)	Columna 75°C (Cu o Al)
Uso de Conductores con Mayor Temperatura Nominal*	<ul style="list-style-type: none"> • Permitido usar conductores 75°C o 90°C. • La ampacidad DEBE calcularse con base en la columna de 60°C. • El equipo debe estar identificado para uso con estos conductores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permitido usar conductores 90°C. • La ampacidad NO debe exceder los valores de la columna de 75°C. • El equipo debe estar identificado para uso con estos conductores.
Condición Especial para Motores (Diseño B, C o D)	Se permite usar conductores con aislamiento de 75°C o superior, pero la capacidad de corriente de estos conductores NO debe exceder la capacidad de corriente a 75°C del calibre usado.	

Tabla 17. Temperatura de operación permitida en función de la ampacidad del conductor.

*La temperatura nominal del sistema está limitada por el elemento con menor capacidad térmica (terminal, equipo o conductor), siempre se debe diseñar para el más restrictivo.

NOTA:

- La ampacidad del circuito debe calcularse siempre con base en la temperatura nominal de diseño del sistema (60 °C o 75 °C), se debe verificar que las terminales, conectores y equipos asociados estén certificados para la temperatura de operación del conductor instalado, evitando incompatibilidades térmicas que puedan comprometer la seguridad y confiabilidad del sistema.

C.2. Capacidad de Corriente (ampacidad)

Esta tabla presenta las ampacidades estándar para conductores de cobre y aluminio, clasificados según su aislamiento térmico a 60 °C, 75 °C y 90 °C, bajo condiciones térmicas restrictivas, representando un enfoque conservador que prioriza la seguridad térmica del conductor, los terminales y los equipos asociados.

Calibre del Conductor (AWG o kcmil)	Capacidad de corriente (A)			
	60 °C Cu	75 °C Cu	60 °C Al	75 °C Al
8	40	50	30	40
6	55	65	40	50
4	70	85	55	65
2	95	115	75	90
1/0	125	150	100	120
2/0	145	175	115	135
4/0	195	230	150	180

Tabla 18 - Capacidad de Corriente (Ampacidad) de Conductores de Cobre y Aluminio con Aislamiento a 60 °C y 75 °C (Fuente: Tabla 310.15(B)(16) de NTC 2050)

Aclaraciones:

- La selección debe basarse en la columna correspondiente a la temperatura límite más restrictiva del equipo o terminal.
- Se deben aplicar factores de corrección cuando la temperatura ambiente sea diferente a 30 °C o cuando existan múltiples conductores agrupados.
- Se permite calcular la ampacidad mediante la fórmula establecida en la sección 310.15(C) de la NTC 2050, siempre que sea evaluada y validada por personal profesional competente, asegurando una determinación precisa y segura de la capacidad de corriente en situaciones no convencionales.

C.3. Factores de ajuste por agrupamiento de conductores

Esta tabla establece los factores de corrección que deben aplicarse cuando más de tres conductores activos comparten un mismo espacio físico, ya sea dentro de una canalización, ducto, bandeja portacables, cable multiconductor, o cuando se encuentren agrupados sin mantener una separación continua mayor a 0,6 m entre ellos, generando limitación en la disipación térmica.

Nº de conductores	Factor de corrección
1 a 3	1.00
4 a 6	0.80
7 a 9	0.70
10 a 20	0.50

Tabla 19. Factores de ajuste por conductores activos.

C.4. Factores de corrección de temperatura ambiente

Esta tabla proporciona los factores de corrección que ajustan la ampacidad base cuando la temperatura ambiente difiere de los 30°C estándar. La aplicación correcta de estos factores permite ajustar la capacidad de corriente base a las condiciones térmicas reales del proyecto, evitando el sobrecalentamiento del conductor y de los elementos asociados.

Temperatura ambiente (C°)	Temperatura nominal del conductor		
	60 °C	75 °C	90 °C
10 o menos	1.29	1.20	1.15
11-15	1.22	1.15	1.12
16-20	1.15	1.11	1.08
21-25	1.08	1.05	1.04
26-30	1.00	1.00	1.00
31-35	0.91	0.94	0.96
36-40	0.82	0.88	0.91

Tabla 20. Factores de corrección según temperatura ambiente.

NOTA:

- La capacidad de corriente admisible del conductor debe determinarse aplicando los factores de corrección adecuados cuando las condiciones reales de instalación difieran de las estándar, de acuerdo con lo establecido en las tablas 19 y 20. La selección debe fundamentarse en el valor más restrictivo resultante, considerando las condiciones térmicas y de instalación específicas del proyecto.

C.5. Ejemplos prácticos

Ejemplos prácticos		
Ejemplo 1 aplicado – Tunja (220 V)	Ejemplo 2 aplicado – Puerto Boyacá (220 V)	Ejemplo 3 aplicado – Duitama (440 V)
<ul style="list-style-type: none"> • Carga estimada: 30 kVA • Nivel de tensión: 220 V • Cálculo de corriente nominal: $I = (30 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 220) \approx 78.8A$ • Conductor propuesto: #1/0 AWG – Cu • Ampacidad base: 125 A • Agrupamiento (4-6 conductores): Factor de corrección 0.80 • Ampacidad corregida por agrupamiento: $125A \times 0.80 = 100A$ • Comparación: $100 A > 78.8 A \checkmark$ Cumple 	<ul style="list-style-type: none"> • Carga estimada: 15 kVA • Nivel de tensión: 220 V • Cálculo de corriente nominal: $I = (15 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 220) \approx 39.36A$ • Conductor propuesto: #4 AWG – Cu • Ampacidad base: 70 A • Agrupamiento (6 conductores): Factor de corrección 0.80 • Ampacidad corregida por agrupamiento: $70A \times 0.80 = 56 A$ • Temperatura ambiente 35°C: Factor térmico 0.91 • Ampacidad final: $56 A \times 0.91 = 50.96A$ • Comparación: $50.96 A > 39.36 A \checkmark$ Cumple 	<ul style="list-style-type: none"> • Carga estimada: 45 kVA • Nivel de tensión: 440 V • Cálculo de corriente nominal: $I = (45 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 440) \approx 59.05 A$ • Conductor propuesto: #2 AWG – Cu • Ampacidad base: 95 A • Temperatura ambiente 20°C: Factor térmico 1.15 • Ampacidad final: $95A \times 1.15 = 109.25 A$ • Comparación: $109.25 A > 59.05 A \checkmark$ Cumple

Tabla 21. Ejemplos prácticos

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. La norma permite determinar la capacidad de corriente aplicando métodos alternativos de cálculo, cuando las condiciones de operación no se ajustan a los escenarios estándar contemplados en las tablas de referencia. Se permite calcular la capacidad mediante fórmulas técnicas específicas, evaluadas y validadas por personal profesional competente, asegurando una determinación precisa y segura de la capacidad de corriente en situaciones no convencionales.

D.2. La aplicación de métodos alternativos de cálculo no exime del cumplimiento de los límites de temperatura del aislamiento de los conductores, de los límites térmicos admisibles de terminales y equipos asociados, ni de los criterios de regulación de tensión exigidos por la normativa vigente; en todos los casos deben garantizarse igualmente los requisitos de seguridad establecidos en el RETIE.

D.3. Para una adecuada selección de conductores eléctricos, se debe siempre evaluar de manera simultánea la capacidad de corriente, la regulación de tensión y las pérdidas de potencia.

D.4. Es importante priorizar la eficiencia técnica y económica mediante la correcta selección de la sección del conductor, evitando sobredimensionamientos que puedan aumentar innecesariamente los costos sin aportar beneficios en el desempeño eléctrico.

2.2.2.6 CRITERIOS DE ACOMETIDAS AÉREAS

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

La acometida eléctrica es la derivación de la red local que conecta la instalación eléctrica del usuario a la red de distribución de EBSA. Llega hasta el registro de corte del inmueble y, en edificios de propiedad horizontal o condominios, hasta el registro de corte general. En aquellos casos en que el dispositivo de corte esté después del medidor principal, la acometida eléctrica llega hasta los bornes de salida del equipo de medición.

Una acometida aérea comprende los conductores que van en forma aérea desde las redes de distribución hasta un inmueble, donde se ha instalado una caja para medidor(es). Esta configuración incluye todos los elementos desde el punto de conexión en la red hasta los bornes de entrada del equipo de medida.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Criterios generales:

- Una edificación no debe ser alimentada desde otra edificación, los conductores de acometida no deben pasar a través del interior de otro edificio, ni compartir conductores activos como el neutro o el conductor de tierra.
- Los conductores deben instalarse de forma continua desde el punto de conexión hasta los bornes del medidor, no se permiten empalmes.
- Cada inmueble debe contar con su acometida y elementos de medida y protección independientes.
- Debe cumplir con el código de colores establecido por el RETIE.
- La llegada de la acometida al equipo de medida, así como su disposición dentro del gabinete, la conexión al medidor y la continuidad hacia el equipo de corte, debe cumplir los criterios técnicos establecidos en el Capítulo 4, Título 4, Guía del sistema de medición y criterios constructivos para gabinetes y encerramientos de medidores.

B.2. Criterios de dimensionamiento de conductores

La acometida debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Conductor de cobre: mínimo #8 AWG (8.36 mm²)
- Conductor de aluminio: mínimo #6 AWG (13.29 mm²)
- Cable tipo antifraude como el concéntrico, con aislamiento mínimo de 600V. El aislamiento debe ser de material termoplástico extruido (XLPE) o aislante termoajustable.
- Se debe asegurar que **la regulación (caída de tensión) en la acometida no supere el 3%** calculada en el dispositivo de corte.



Figura 8. Cable concéntrico de cobre para acometida (desde red secundaria hacia equipos de conexión, o de medida o interruptor de servicio).

B.3. Criterios Mecánicos y Estructurales

El diseño mecánico de la acometida debe considerar los siguientes factores para garantizar estabilidad y durabilidad:

- Altura mínima de seguridad: 5,5 m sobre vías vehiculares o la altura especificada para el tipo de vehículos que transiten en esa vía. Cuando la edificación no permite alcanzar la altura requerida, se debe usar tubería de acero galvanizado (tipo intermedio o pesado) y, de ser necesario, un poste o torrecilla para elevar los conductores.
- En acometidas que no crucen la vía se permite la derivación directa solo en los puntos de conexión autorizados por EBSA, siempre que se utilicen los conectores apropiados.
- Todos los elementos utilizados en la acometida, deben contar con certificación de producto RETIE.
- Los esfuerzos mecánicos deberán distribuirse mediante grapas de retención aisladas, tensores antifraude y sistemas de suspensión adecuados, evitando cargas indebidas sobre los conductores y puntos de conexión.

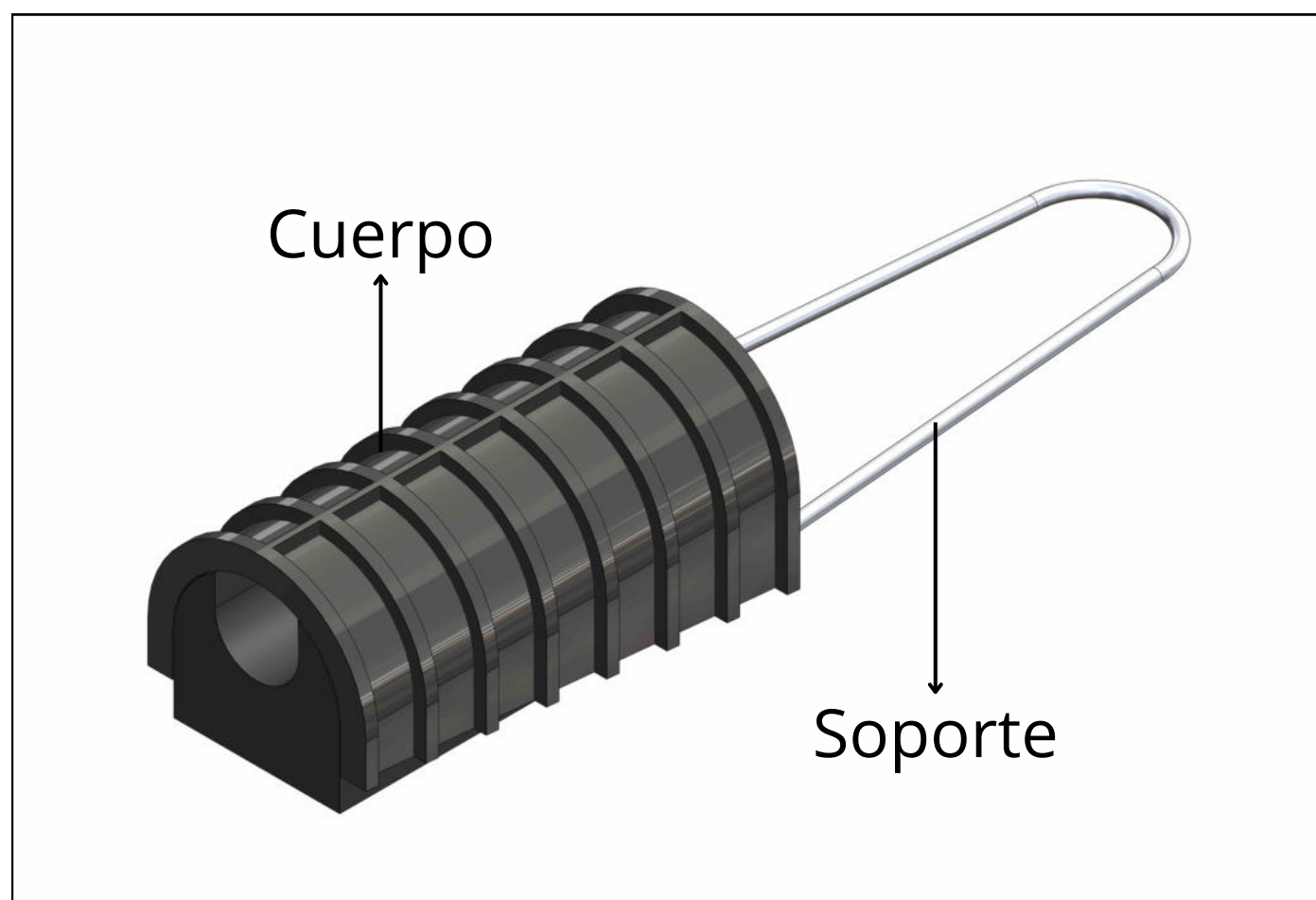


Figura 9. Tensor acometidas antifraude.

- La derivación y distribución para edificaciones con múltiples usuarios debe realizarse mediante caja de derivación para acometidas, apta para intemperie y con capacidad acorde al circuito, instalada en posición vertical, firmemente anclada y con entradas/salidas selladas. **Ver ficha técnica caja de derivación en policarbonato.**

Redes Trenzadas: En las redes trifásicas de baja tensión, las cajas de derivación para acometidas deben ser trifásicas, con capacidad para cuatro conductores, una entrada y ocho salidas. Estas cajas deben ser aptas para uso exterior, contar con cerradura y estar aseguradas al poste. En las estructuras más cercanas a cada usuario, se instalará una caja de derivación de acometidas, donde se realizará la conexión hasta el equipo de medición.

Redes Abiertas: En las redes abiertas de baja tensión, la conexión de fases se hará en el siguiente orden, comenzando en la parte superior de la percha y descendiendo, primero el neutro, luego la fase R (A), después la fase S (B) y finalmente la fase T (C). La conexión entre la red y la acometida se realiza mediante un estribo por línea, con conductor de cobre de al menos 21,15 mm² (4 AWG). Se deben usar conectores bimetálicos para unir el estribo a la red y conectores de compresión, con resina o cinta autofundente, para la conexión a la acometida.

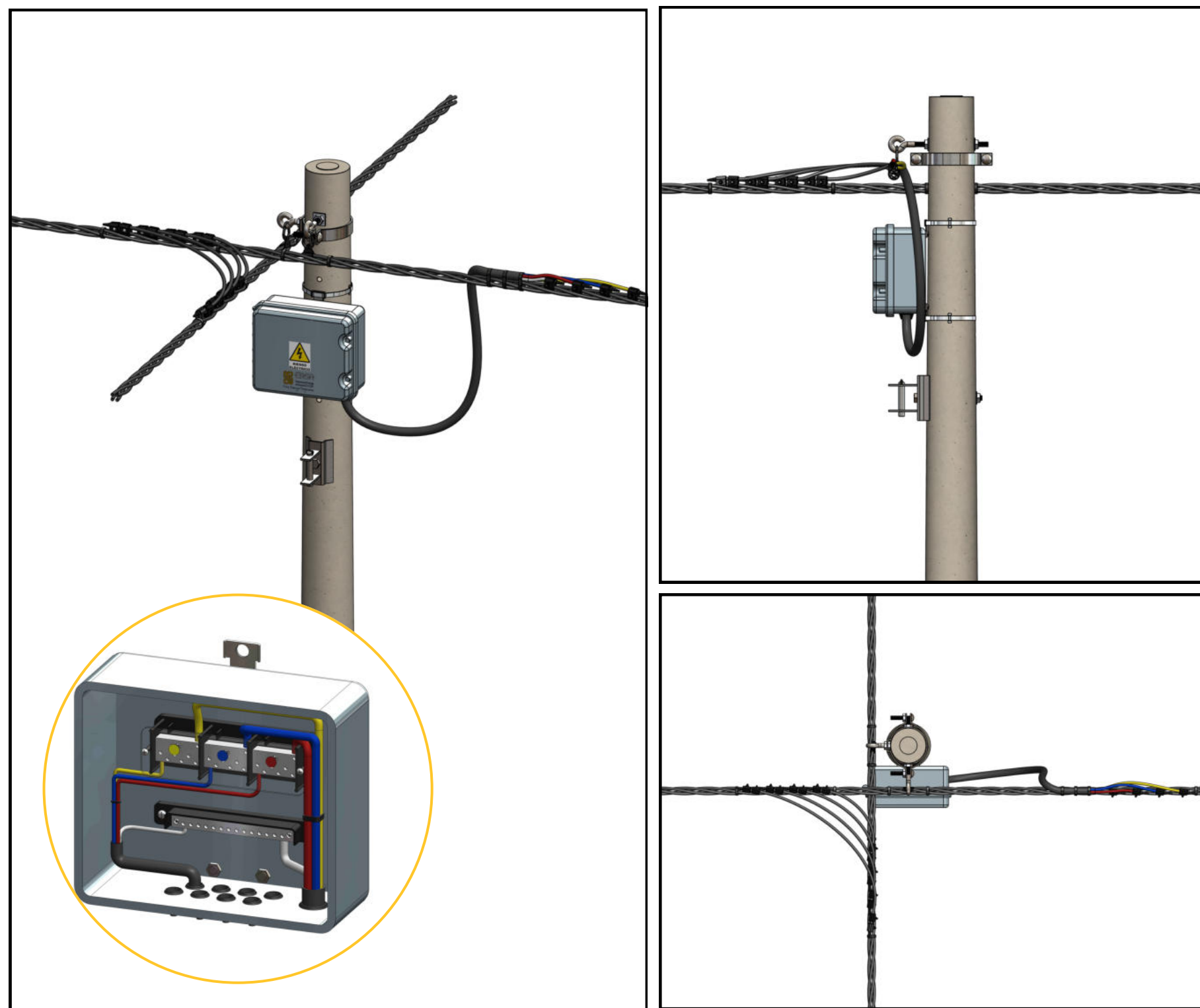


Figura 10. Caja de derivación para acometidas aéreas de baja tensión.

- Se permite la instalación de una caja adicional de acometida en la misma estructura cuando las necesidades de suministro lo requieran, siempre que se ubique en caras opuestas, ambas cajas deben instalarse en el mismo sentido de la red eléctrica; se debe figurar el cable alimentador de la caja de derivación de tal manera que se permita el acceso a las mismas, con el fin de evitar prácticas indebidas que comprometan la seguridad y el mantenimiento. Ver detalle constructivo- **Alternativa de construcción con doble caja de derivación.**

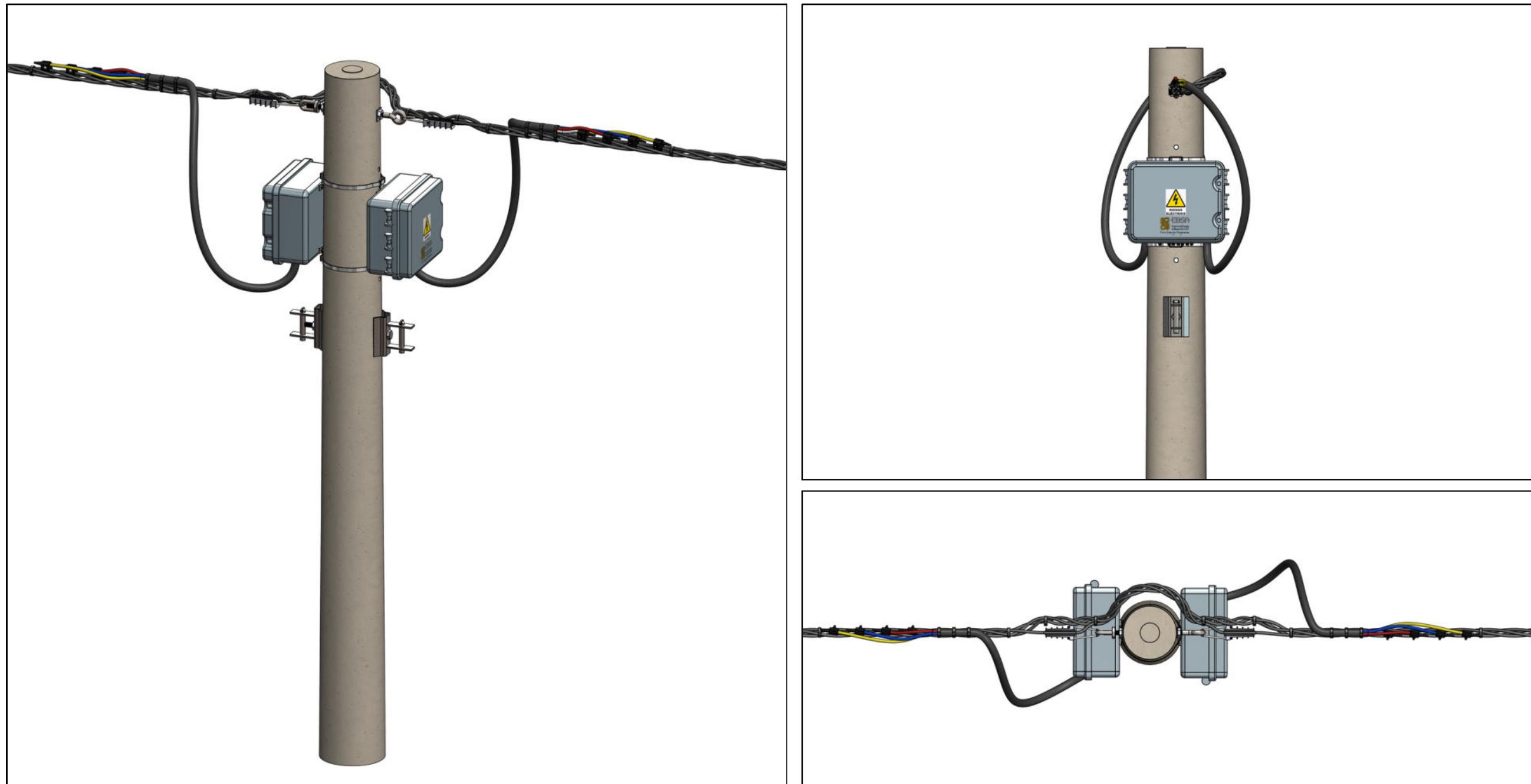


Figura 11. Alternativa caja de derivación para acometidas aéreas de baja tensión.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

C.1. Tabla de Conductores de Cobre

La siguiente tabla presenta las características eléctricas y térmicas de conductores de cobre para uso en acometidas aéreas, basadas en la NTC 2050 para conductores con temperatura ambiente de 30°C:

Calibre AWG	Sección mm ²	Diámetro mm	Resistencia Ω/km (20°C)	Resistencia Ω/km (75°C)	Corriente (A) 60°C	Corriente (A) 75°C
8	8.36	3.26	2.06	2.37	40	50
6	13.3	4.11	1.30	1.49	55	65
4	21.2	5.19	0.815	0.937	70	85
2	33.6	6.54	0.512	0.589	95	115
1/0	53.5	8.25	0.322	0.370	125	150
2/0	67.4	9.27	0.255	0.293	145	175
4/0	107	11.68	0.161	0.185	195	230

Tabla 22. Características de Conductores de Cobre para Acometidas Aéreas

NOTAS:

- Para cables concéntricos trifásicos (varios conductores juntos), aplicar factor de corrección de 0.8.
- La resistencia aumenta aproximadamente 0.4% por cada °C por encima de 20°C.
- El calibre mínimo permitido para acometidas aéreas es #8 AWG en cobre.

C.2. Tabla de Conductores de Aluminio

La siguiente tabla presenta las características eléctricas y térmicas de conductores de aluminio para uso en acometidas aéreas, basadas en la NTC 2050.

Calibre AWG	Sección mm ²	Diámetro mm	Resistencia Ω/km (20°C)	Resistencia Ω/km (75°C)	Corriente (A) 60°C	Corriente (A) 75°C	Equivalente Cu AWG
6	13.3	4.11	2.12	2.44	40	50	8
4	21.2	5.19	1.34	1.54	55	65	6
2	33.6	6.54	0.842	0.968	75	90	4
1/0	53.5	8.25	0.530	0.609	100	120	2
2/0	67.4	9.27	0.421	0.484	115	135	1
4/0	107	11.68	0.265	0.305	150	180	2/0

Tabla 23. Características de Conductores de Aluminio AA-8000 para Acometidas

C.3. Código de colores según RETIE

Calibre AWG	Sección mm ²	Diámetro mm	Resistencia Ω/km (20°C)	Corriente (A) 60°C
Tensión nominal (V)	120	240/120'	208/120	440/254
Conductores activos	1 fase 2 hilos	2 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos
Fases	Color fase o negro	Color fases o 1 negro	Amarillo Azul Rojo	Café Naranja Amarillo
Neutro	Blanco			
Tierra	Verde			

Tabla 24. Código de colores para acometidas según RETIE.

NOTAS:

- En circuitos monofásicos derivados de sistemas monofásicos trifilares o de sistemas trifásicos, el conductor de la fase debe ser marcado de color asignado a la fase en el sistema monofásico o trifásico donde se derive.
- El neutro siempre debe ser de color blanco o marcado con blanco en todas las partes visibles y la tierra de protección color verde o marcada con franja verde.
- No se debe utilizar el blanco ni el verde para las fases.

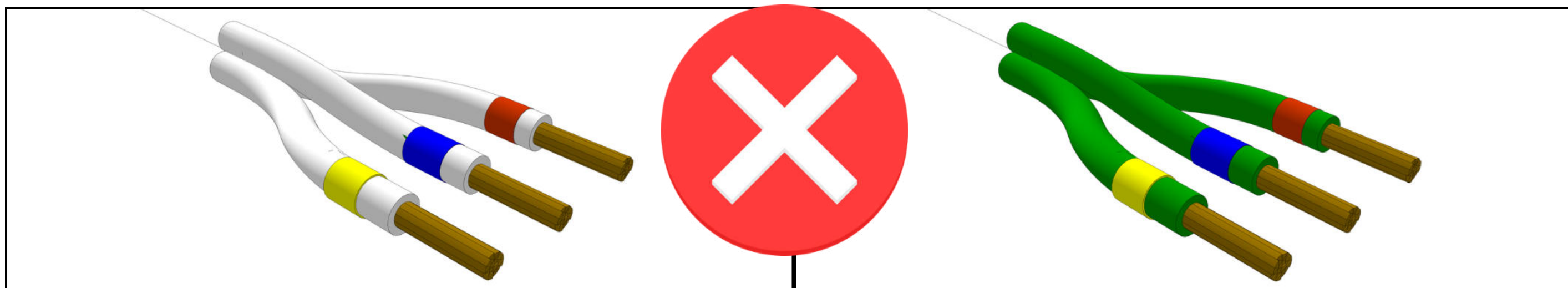


Figura 12. Prohibición de marcación de fases.

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. En fachadas no se permite el uso de conductores a la vista ni empotrados directamente. Los cables que ingresen a la caja del medidor deben canalizarse en tubería no metálica empotrada.

D.2. Cuando no sea posible empotrar la canalización, se debe usar tubería metálica o tipo intemperie resistente a impactos. El ducto debe ir incrustado en muros; en paredes prefabricadas puede instalarse sobrepuesto desde el punto de entrada.

D.3. El cable concéntrico no debe quedar embebido en concreto ni en ningún material estructural.

D.4. La acometida debe instalarse de forma que no permita el ingreso ni la conducción de agua lluvia hacia la fachada, el equipo de medida u otros equipos eléctricos. La tubería de entrada debe contar con capacete o elemento equivalente que impida la penetración de agua.

- D.5.** No se permite adosar cables a fachadas atravesando ventanas, puertas o balcones.
- D.6.** Se deben utilizar tensores antifraude para dificultar manipulaciones no autorizadas.
- D.7.** El neutro de la acometida debe conectarse siempre al sistema de puesta a tierra.
- D.8.** Cada acometida debe permitir su desconexión individual sin afectar el suministro de usuarios adyacentes.
- D.9.** Usar conectores tipo DP7 para derivaciones desde cable trenzado, permitiendo conexión tipo T sin cortar el conductor principal.

SECCIÓN

2.2.3. TECNOLOGÍAS DE CONDUCTORES: REDES
TRENZADAS Y ABIERTAS



2.2.3.1. REDES TRENZADAS

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Las redes trenzadas, constituyen un sistema de distribución secundaria de baja tensión compuesto por conductores de fase aislados que se trenzan helicoidalmente alrededor de un conductor neutro portante. Esta configuración proporciona mayor seguridad, menores pérdidas técnicas y mejor estética urbana respecto a las redes abiertas convencionales.

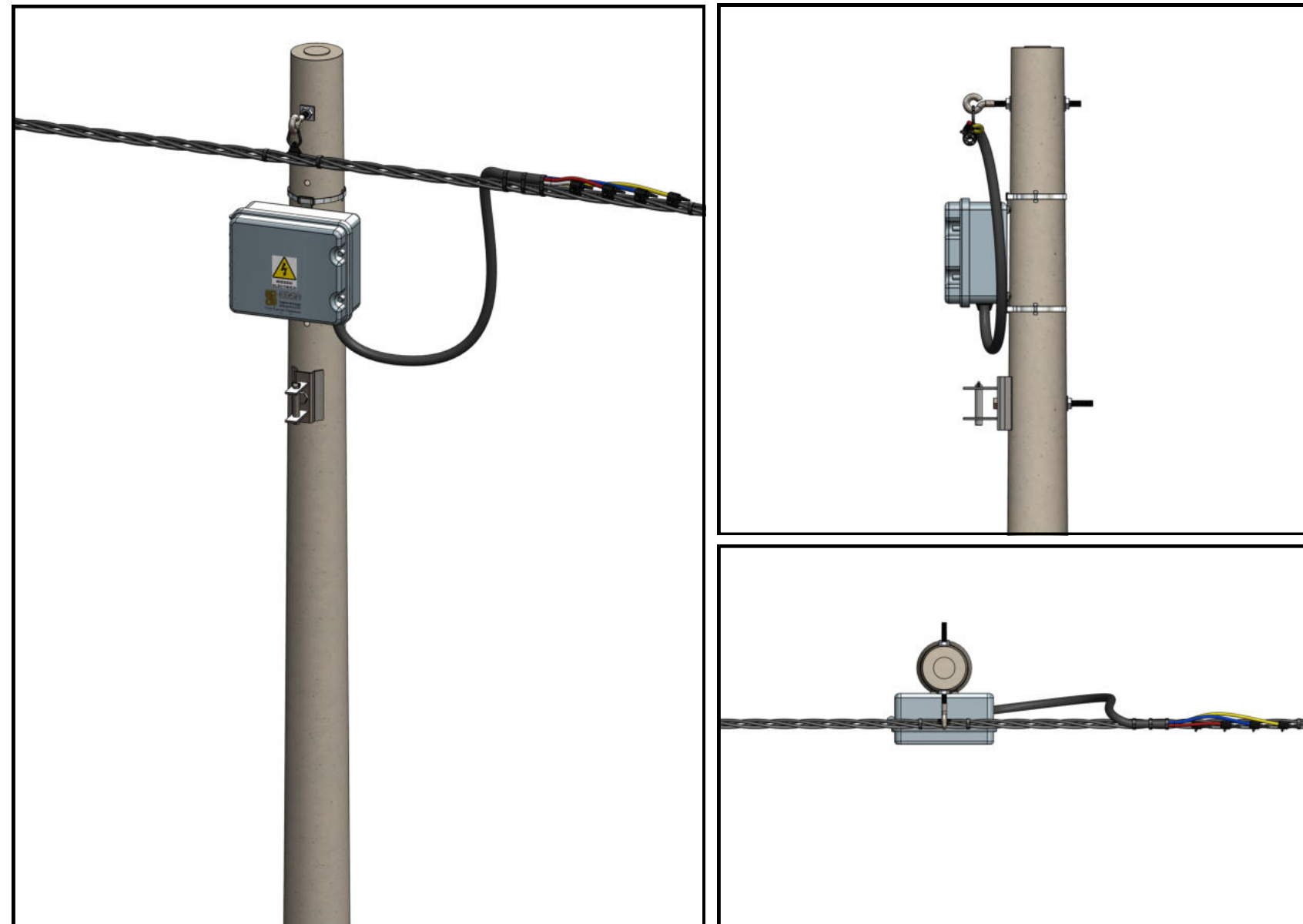


Figura 13. Estructura de paso red trenzada.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Selección del calibre del conductor: debe realizarse considerando tres criterios fundamentales, capacidad de corriente (ampacidad), caída de tensión admisible y capacidad de cortocircuito. El calibre final será el mayor de los tres análisis.

El calibre se selecciona de la tabla de calibres normalizados EBSA, verificando que:

- $I_{\text{admisible}} \geq I_{\text{diseño}} \times 1.25$ (factor de seguridad)
- $\Delta V\% \leq 5\%$ en el punto más alejado
- Calibre \geq mínimo según tipo de instalación

Se deben cumplir integralmente las condiciones de diseño y selección de conductores establecidas en la sección 2.

B.2. Codificación por color en cables: Para redes de baja tensión conforme al RETIE 2024, y considerando que la configuración operativa de EBSA en estos niveles es en conexión tipo estrella (Y), la codificación por color para sistemas trifásicos en baja tensión debe ser la siguiente:

Fases	220V	440
Fase A	Amarillo	Café
Fase B	Azul	Naranja
Fase C	Rojo	Amarillo
Neutro	Blanco	

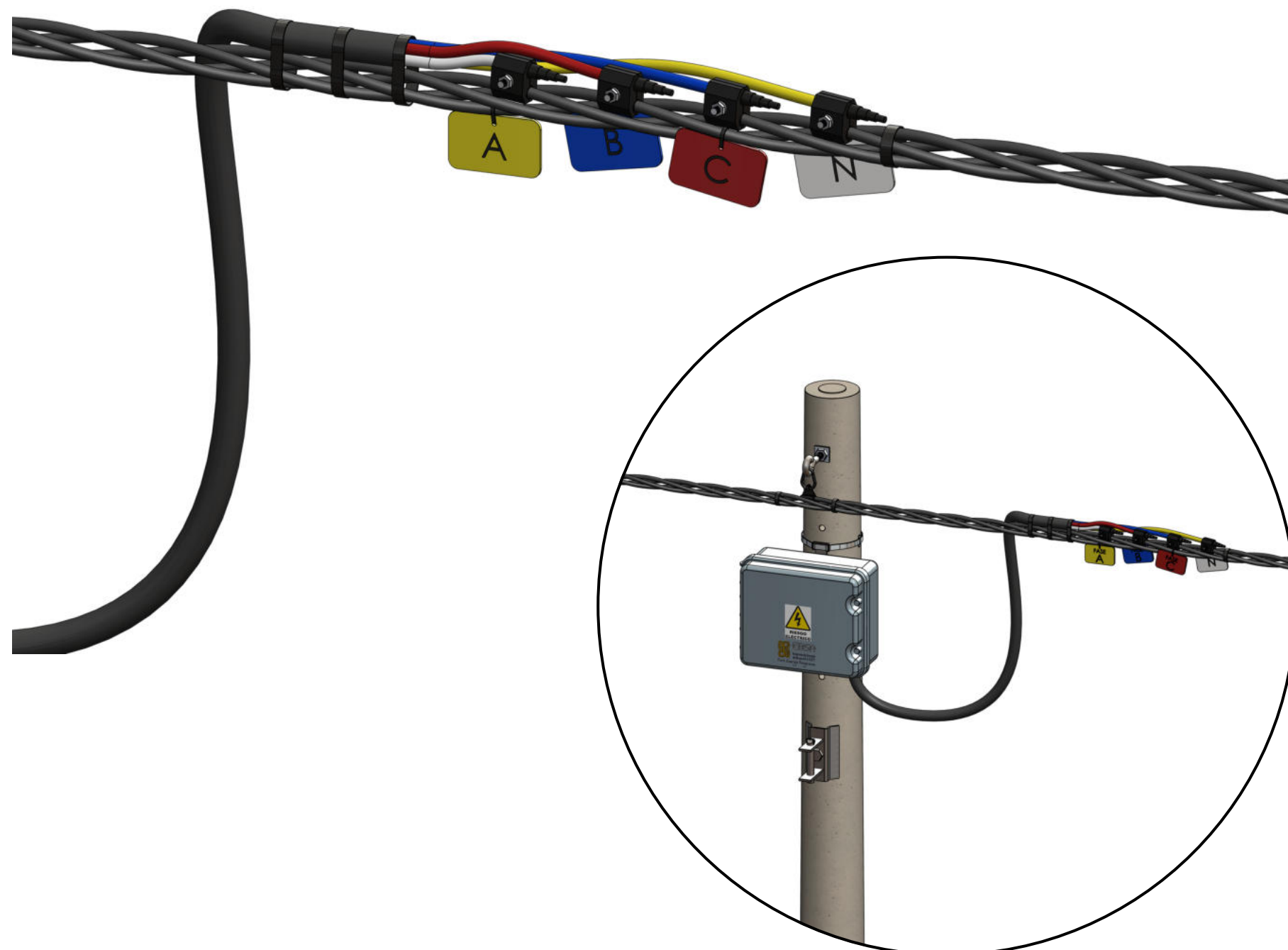


Figura 14. Identificación de fases y neutro en redes de baja tensión trenzada.

B.3. Tipos de neutro portante en cables multiplex: Los cables multiplex autoportados se fabrican en dos variantes según el tipo de neutro mensajero:

a) Neutro ACSR aislado en XLPE: Conductor neutro portante con cubierta XLPE 600V resistente a UV (usado en zonas urbanas).

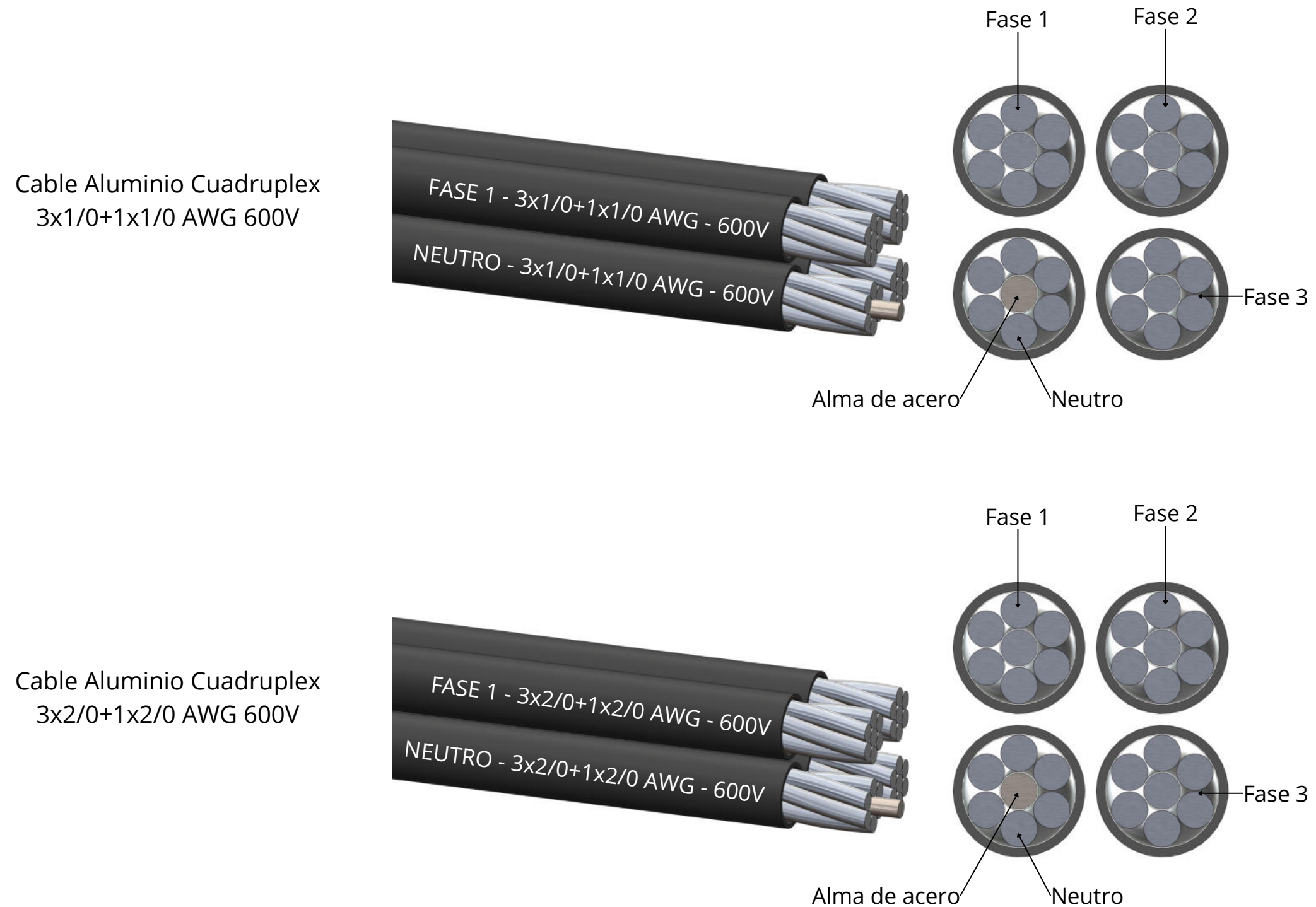


Figura 15. Cable Aluminio Multiplex Autoportado con Neutro ACSR aislado.

b) Neutro ACSR desnudo: Conductor neutro portante sin cubierta, aluminio con alma de acero (ACSR), cableado concéntrico (usado en zonas rurales).

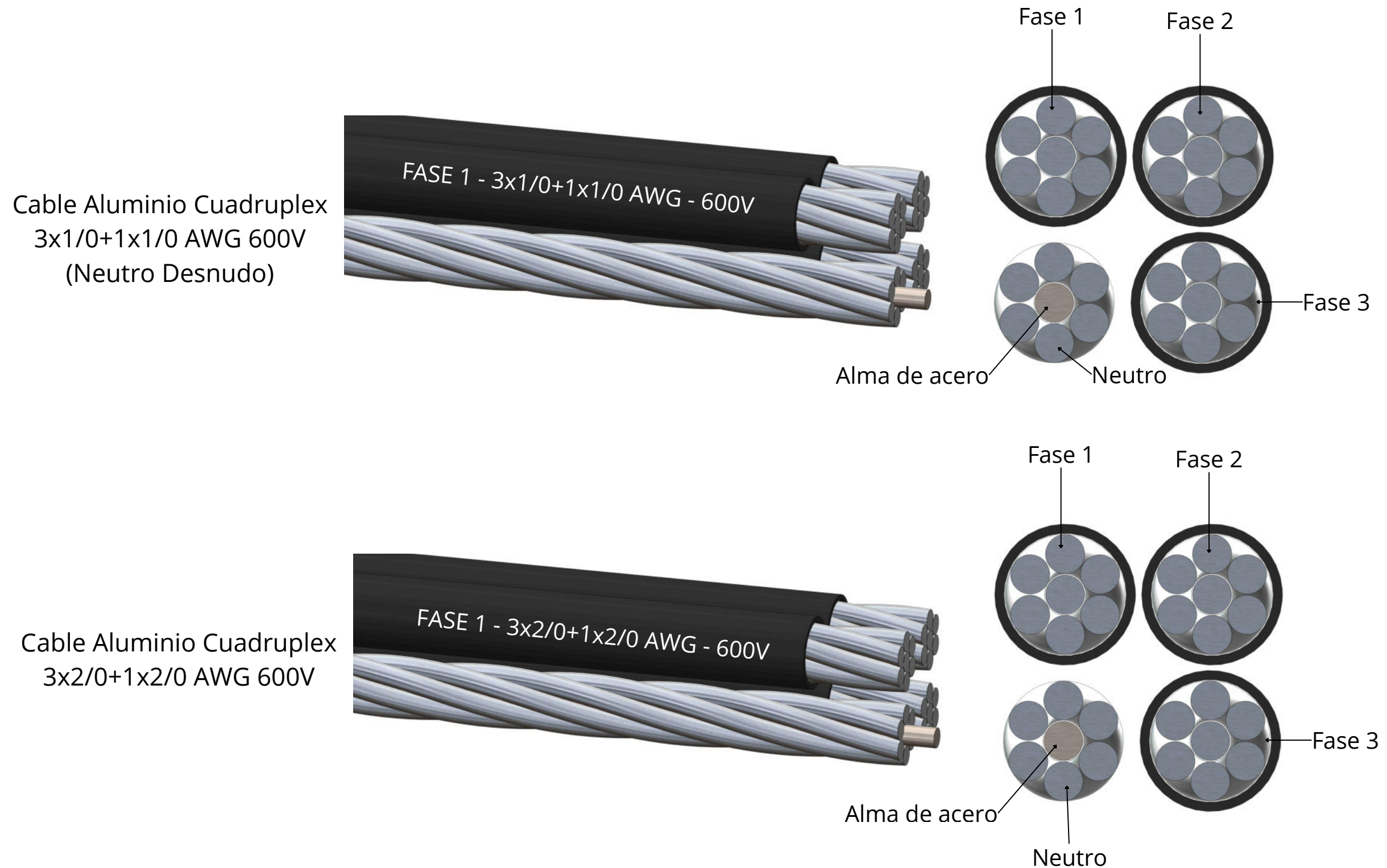


Figura 16. Cable Aluminio Multiplex Autosoportado con Neutro ACSR desnudo.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
Tipo de cable	Multiplex de aluminio XLPE: Dúplex (1F+N), Triplex (2F+N), Cuádruplex (3F+N).
Conductores de fase	Aluminio (AAC), cableado concéntrico, aislados en XLPE 600V resistente a radiación UV.
Conductor neutro	Dos variantes: (1) Aislado en XLPE (neutro mensajero aislado), (2) Desnudo (neutro ACSR sin cubierta).
Tensión de aislamiento	600 V
Temperatura de operación	90°C (operación normal); 130°C (sobrecarga de emergencia); 250°C (cortocircuito máximo).
Aplicación	Redes de baja tensión autoportadas, con neutro aislado (adecuado para zonas urbanas y corredores estrechos) y con neutro desnudo (adecuado para zonas rurales).
Beneficios	Instalación rápida, no requiere aisladores ni crucetas, mayor seguridad, facilidad de tensado, optimización del espacio aéreo y buen desempeño ambiental.

Tabla 25. Características del Cable para Redes Trenzadas

Tipo de conductor	Calibre fase	Calibre neutro	I _{adm} a 90°C (A) *	Carga rotura (kgf)
Dúplex, Triplex, Cuádruplex	1/0 AWG	1/0 ACSR (Aislado)	167	1988
	2/0 AWG	2/0 ACSR (Aislado)	193	2406
	1/0 AWG	1/0 ACSR (Desnudo)	167	1988
	2/0 AWG	2/0 ACSR (Desnudo)	193	2406

Tabla 26. Especificaciones técnicas cables para red trenzada

*Ampacidad informada por el fabricante a 90°C en el conductor. Para diseño, dimensionar según NTC 2050 y RETIE: 75°C para calibres \geq 1/0 AWG (\geq 100 A), 60°C para calibres \leq #1 AWG ($<$ 100 A), aplicando factores de corrección por temperatura ambiente y agrupamiento

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- D.1.** No exceder el radio mínimo de curvatura del cable para evitar daños en el aislamiento.
- D.2.** Utilizar únicamente los accesorios homologados por EBSA (pinzas, grapas, conectores) para garantizar la compatibilidad.
- D.3.** Proteger los extremos del cable inmediatamente después del corte con tapones termocontraíbles para evitar ingreso de humedad.
- D.4.** Aplicar los tensados según las tablas del fabricante, considerando temperatura ambiente y vano de instalación.

2.2.3.2. REDES ABIERTAS

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Las redes abiertas o de conductores desnudos constituyen el sistema tradicional de distribución secundaria de baja tensión, donde los conductores de fase y neutro se instalan separadamente sobre aisladores tipo carrete, manteniendo distancias de seguridad entre ellos y con respecto a tierra.

Aplicaciones Permitidas:

- Zonas rurales dispersas con baja densidad de carga
- Veredas y sectores alejados de centros poblados
- Áreas donde la vegetación no interfiere con los conductores
- Sectores donde no existe riesgo de contacto accidental

Nota: Las redes abiertas están restringidas exclusivamente a zona rural.

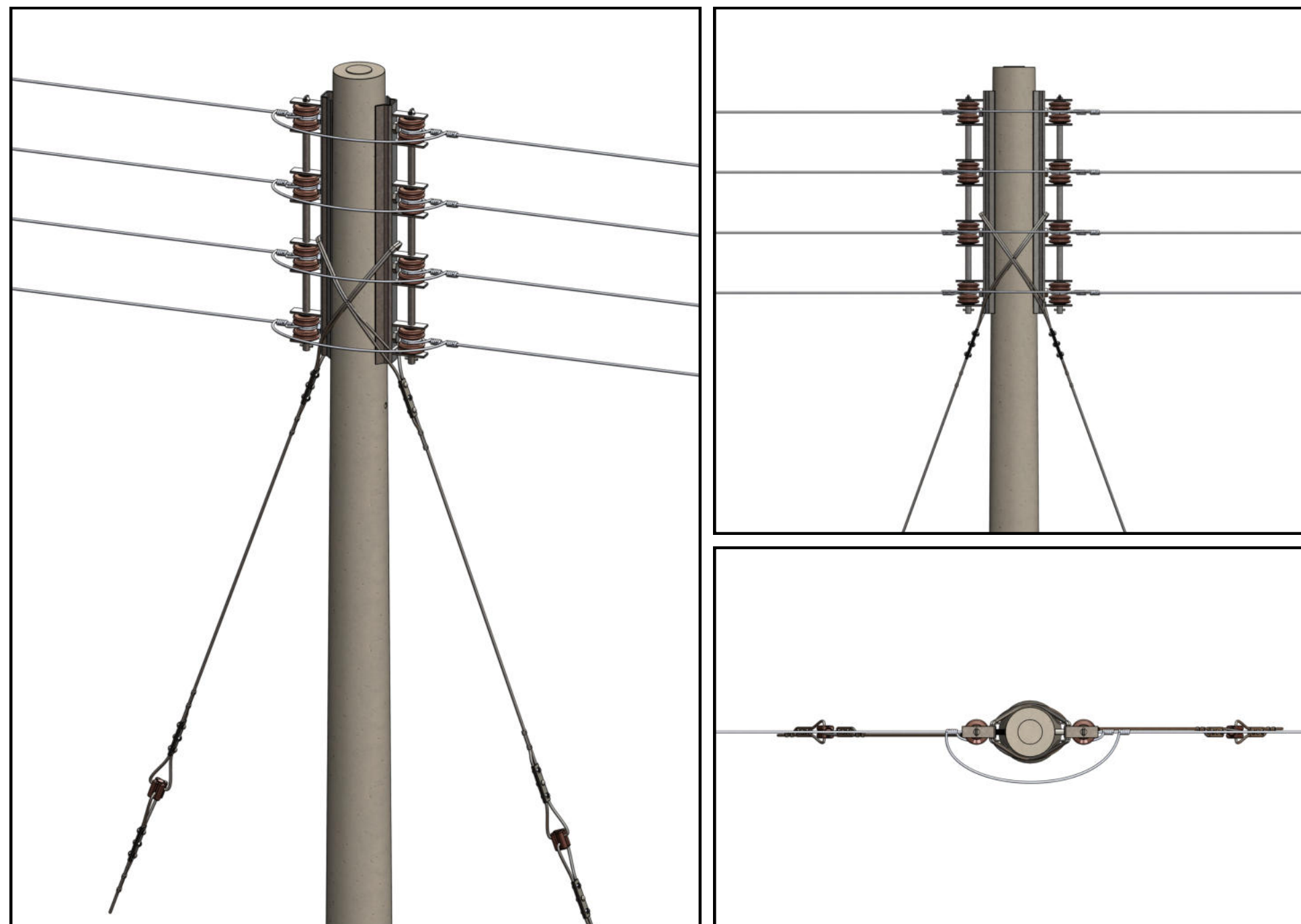


Figura 17. Red abierta rural cuatro conductores.

Selección del calibre del conductor: debe realizarse considerando cuatro criterios fundamentales, capacidad de corriente o ampacidad, caída de tensión admisible, capacidad de cortocircuito y esfuerzos mecánicos máximos permitidos. El calibre final será el mayor de los cuatro análisis.

El calibre se selecciona de la tabla de calibres normalizados EBSA, verificando que:

- $I_{\text{admisible}} \geq I_{\text{diseño}} \times 1.25$ (factor de seguridad)
- $\Delta V\% \leq 5\%$ en el punto más alejado
- Calibre \geq mínimo según tipo de instalación
- El conductor debe soportar los esfuerzos mecánicos de acuerdo con: $T_{\text{máx}} \leq T_{\text{rotura}} / 2.5$; (Coeficiente de seguridad mínimo = 2.5).

Se deben cumplir integralmente las condiciones de diseño y selección de conductores establecidas en la sección 2.

NOTAS:

- La selección del calibre del conductor debe realizarse considerando de forma integral los criterios eléctricos y mecánicos del diseño. El conductor elegido debe cumplir simultáneamente con la capacidad de corriente requerida, los límites de caída de tensión, la capacidad de soportar corrientes de cortocircuito y los esfuerzos mecánicos admisibles durante la operación. En consecuencia, el calibre final adoptado corresponderá al mayor valor resultante del análisis de estos criterios, garantizando así la seguridad, confiabilidad y vida útil de la red.

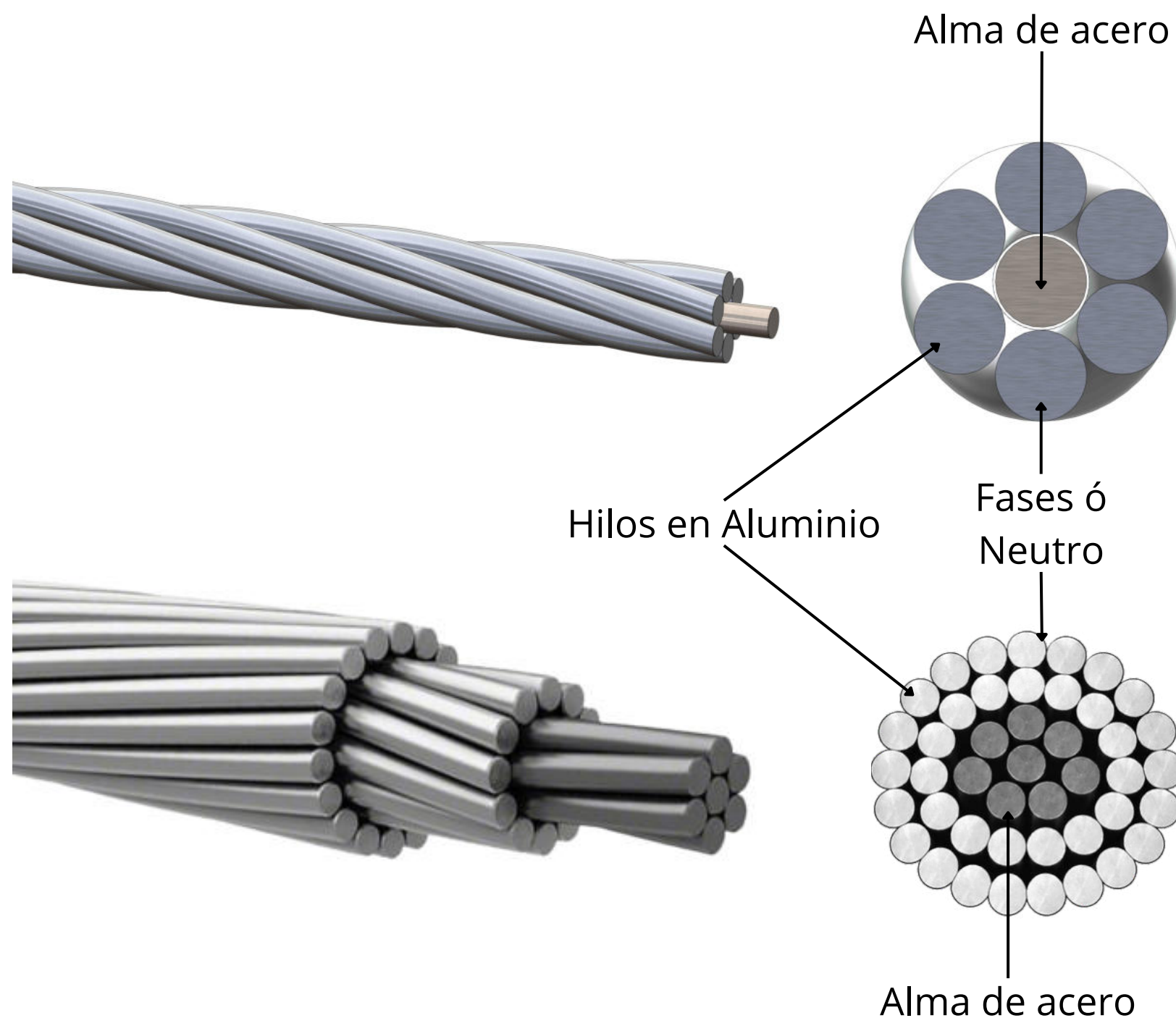


Figura 18. Cable Aluminio Desnudo ACSR .

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
Tipo de cable	Aluminio Desnudo ACSR, cableado concéntrico, compuesto de múltiples hilos de aluminio y acero.
Disposición de montaje	Vertical
Temperatura de operación	90°C (operación normal); 130°C (sobrecarga)
Aplicación	En zonas rurales, contemplar en vanos largos según lo establecido en la sección 5.
Beneficios	Alta resistencia mecánica y flexibilidad para trayectorias complejas, durabilidad por galvanizado del alma de acero, bajo mantenimiento y menor costo.

Tabla 27. Características del Cable para Redes abiertas

Calibre	Material	Sección	I _{adm} a 90°C (A) *	Carga rotura (kgf)
1/0 AWG	ACSR	53.49 mm ²	243	1985
2/0 AWG	ACSR	67.43 mm ²	278	2405

Tabla 28. Especificaciones técnicas cables para red abierta

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- D.1.** Verificar la flecha máxima del conductor según las tablas de tendido del fabricante y condiciones de temperatura.
- D.2.** Garantizar que la distancia al suelo cumpla con los mínimos RETIE en toda la extensión del vano, incluyendo condiciones de máxima flecha.
- D.3.** Mantener separación mínima de 0.30 m entre conductores de fase y 0.15 m entre fase y neutro.
- D.4.** En zonas con alta presencia de vegetación, evaluar la migración a red trenzada para reducir interrupciones.
- D.5.** En estructuras de retención, el conductor debe dar una vuelta completa alrededor del aislador antes del amarre.

SECCIÓN

2.2.4 SELECCIÓN DE RUTA Y CONDICIONES
DE IMPLANTACIÓN



El departamento de Boyacá presenta una diversidad altimétrica que abarca desde los 150 msnm en el Territorio Vásquez y la vertiente oriental, hasta los 3,000 msnm en el altiplano cundiboyacense. Esta variación genera condiciones climáticas diferenciadas que inciden directamente en el diseño mecánico de las redes aéreas de baja tensión. Para efectos del diseño de redes aéreas convencionales de baja tensión, se establecen tres zonas climáticas basadas en la clasificación de pisos térmicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM):

ZONA	ALTITUD (msnm)	PISO TÉRMICO	MUNICIPIOS REPRESENTATIVOS
I	150 – 1,000	Cálido	Puerto Boyacá, Otanche, Muzo, San Luis de Gaceno, Cubará
II	1,000 – 2,300	Templado	Moniquirá, Villa de Leyva, Garagoa, Miraflores, Chiquinquirá
III	2,300 – 3,000	Frío	Tunja, Duitama, Sogamoso, Paipa, Cerinza, Toca

Tabla 29. Zonas climáticas del departamento de Boyacá según altitud y piso térmico

Parámetros Climáticos de Diseño por Zona:

ZONA	Temp. Mín	Temp. Máx	Nivel Cerámico	Vicenti Diseño	Riesgo Eólico
I (Cálido)	18°C	38°C	Alto (70-90)	80 km/h	Bajo
II (Templado)	8°C	30°C	Alto (60-80)	80 km/h	Moderado
III (Frío)	0°C	25°C	Medio (40-60)	100 km/h	Alto

Tabla 30. Parámetros climáticos de diseño para redes eléctricas en el departamento de Boyacá

NOTA:

- El nivel cerámico indica el número de días con tormenta eléctrica por año. En zonas con nivel Alto (>60 días/año), es obligatoria la instalación de descargadores de sobretensión según NTC 4552. La velocidad de viento de diseño corresponde al mapa de amenaza eólica NSR-10 (Título B, Capítulo B.6). No se considera sobrecarga por hielo en ninguna de las zonas del departamento.

2.2.4.1. PLANTILLADO Y CRITERIOS DE TRAZADO

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

El plantillado es el procedimiento técnico mediante el cual se define la posición de los apoyos sobre el perfil topográfico del terreno, utilizando la plantilla de distribución de apoyos. Esta plantilla es una representación gráfica a escala que contiene las curvas características del comportamiento mecánico del conductor para el vano ideal de regulación (VIR) del cantón analizado.

En redes de baja tensión, el diseño está condicionado principalmente por la disposición urbanística en zonas urbanas y por los criterios de pérdidas de energía y regulación de tensión en zonas urbanas y rurales. El uso de cable trenzado (preensamblado) simplifica el proceso de plantillado al eliminar la necesidad de verificar distancias entre conductores.

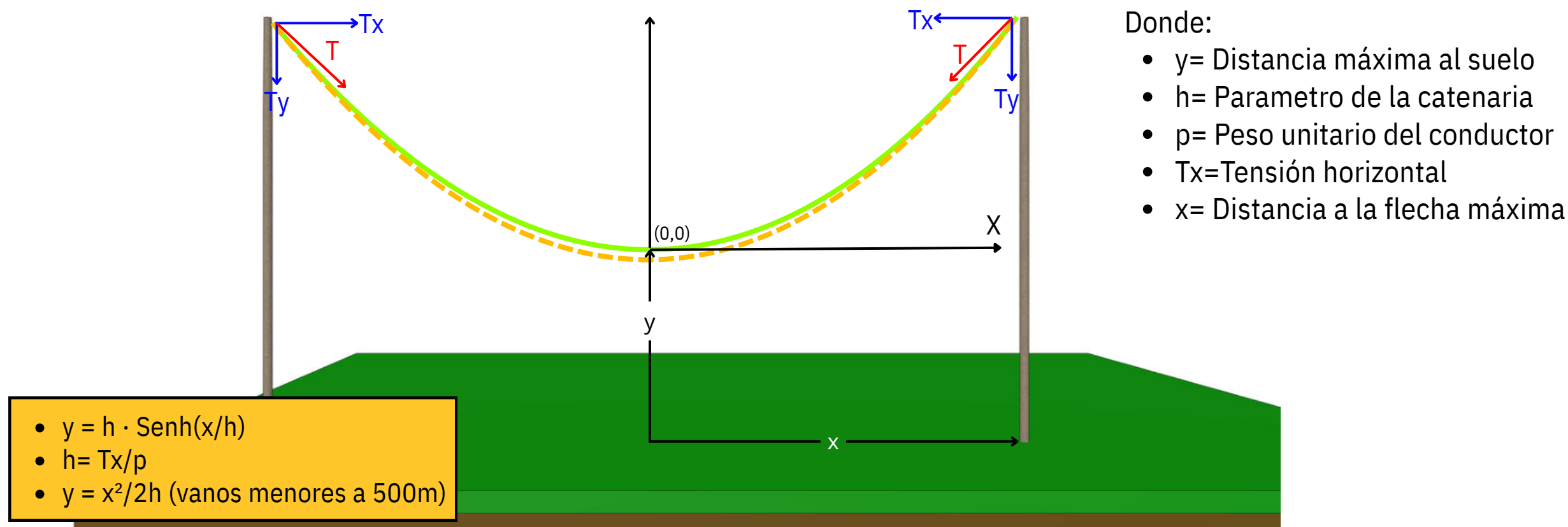


Figura 19. Catenaria y aproximación parabólica del conductor.

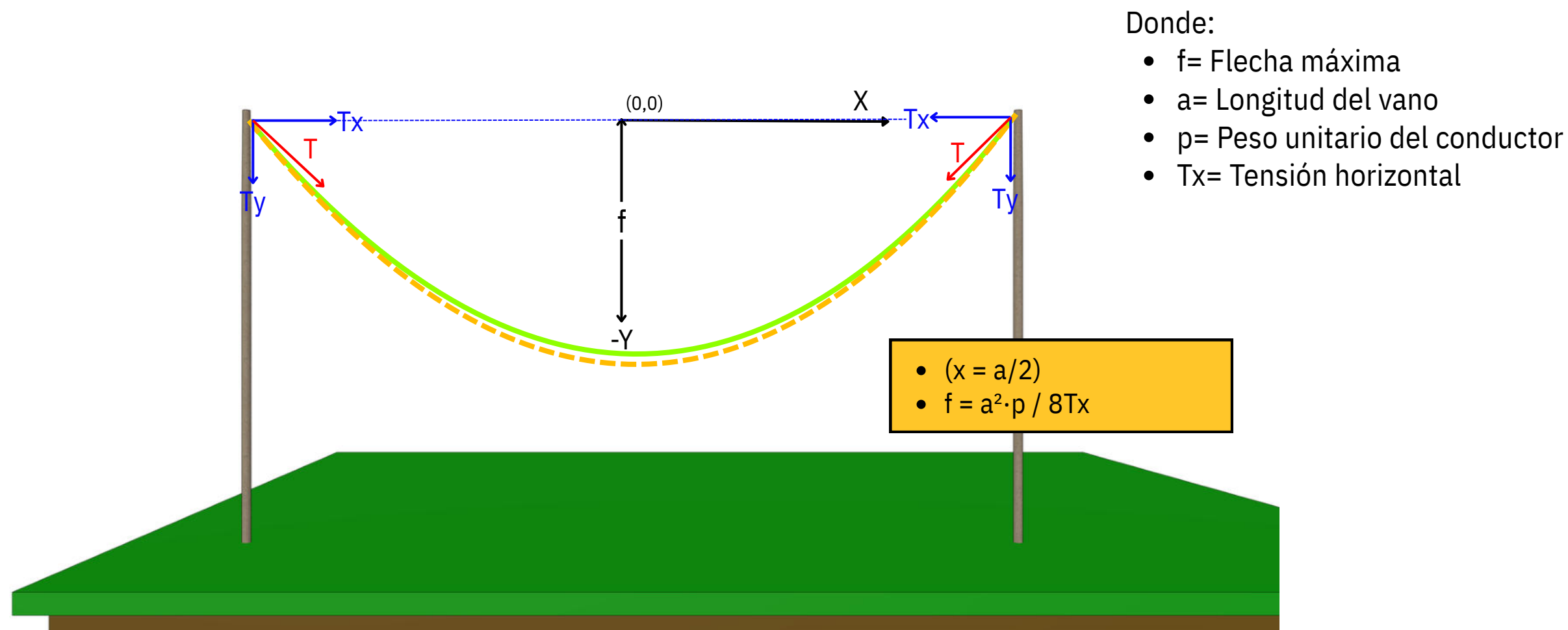


Figura 20. Definición geométrica de la flecha.

El plantillado debe realizarse considerando los parámetros climáticos establecidos para cada zona altimétrica del departamento de Boyacá. Los criterios de trazado deben cumplir con:

- Distancia mínima del conductor al suelo: 5.5 metros.
- Flecha máxima admisible: Urbano ≤ 0.30 m, Rural ≤ 0.60 m, Rural ACSR $\leq 0,60$ m (poste 8 m), hasta 4,20 m (poste 12 m).
- Pérdidas de energía máximas: Urbano $\leq 3.0\%$, Rural $\leq 3.5\%$ (ver numeral 2.2.2.3).
- Regulación de tensión máxima: Urbano $\leq 5\%$, Rural $\leq 7\%$ (ver numeral 2.2.2.2).

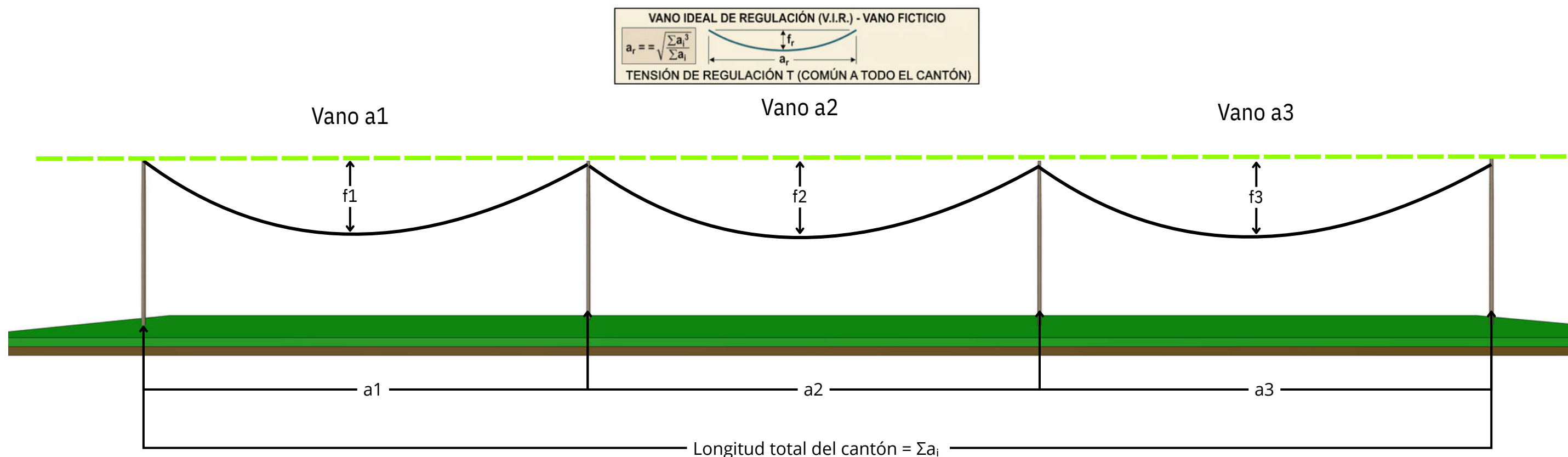


Figura 21. Cantón con vanos de diferente longitud y concepto de V.I.R.

Distancias Mínimas de Seguridad: Las distancias mínimas de seguridad aplicables a redes aéreas de baja tensión garantizan la protección de personas y bienes contra contactos accidentales con conductores energizados. La distancia mínima del conductor al suelo es de 5,5 metros para todos los casos.

Durante el proceso de plantillado y selección de ruta, el diseñador debe verificar que en todas las condiciones climáticas previstas (especialmente en temperatura máxima, cuando la flecha es mayor), se cumplan las separaciones mínimas reglamentarias entre los conductores y el terreno, edificaciones, otras líneas y demás elementos del entorno.

Para información detallada sobre valores de distancias mínimas, metodología de verificación, prescripciones especiales para cruces y paralelismos, consultar el Capítulo 4, Título 5: Distancias de Seguridad y Señalización de este documento normativo.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

El procedimiento de plantillado comprende las siguientes etapas:

- Elaboración del perfil topográfico longitudinal a escala adecuada según los rótulos e instructivos de EBSA.
- Verificación del cumplimiento de pérdidas de energía y regulación de tensión según numerales 2.2.2.2 y 2.2.2.3.
- Construcción de la plantilla con las parábolas de flecha máxima, flecha mínima y distancia mínima al terreno (5.5 m).
- Superposición de la plantilla sobre el perfil, verificando que la parábola de distancia mínima no intercepte el terreno.
- Ajuste iterativo de la posición y altura de los postes hasta cumplir todos los requisitos

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

Para la correcta aplicación de las tablas del presente numeral, se establecen las siguientes definiciones:

TÉRMINO	DEFINICIÓN
Clearance (Distancia de guarda)	Distancia libre vertical entre el punto más bajo del conductor en condición de flecha máxima y el punto más alto del terreno u obstáculo directamente debajo del vano. Determina el cumplimiento de la distancia mínima reglamentaria.
d_min suelo	Distancia mínima reglamentaria del conductor al suelo: 5,5 m para redes aéreas de baja tensión en todos los casos.
H_amarre	Altura del punto de sujeción del conductor sobre el nivel del suelo en la base del poste. Configuración ACSR red abierta (2F+N): el neutro va en la parte superior (10 cm desde la punta), seguido de la Fase 1 (30 cm) y la Fase 2 en la posición más baja (50 cm). El conductor crítico para el clearance es la Fase 2: poste 8 m = 6,10 m poste 10 m = 7,90 m poste 12 m = 9,70 m. El punto de amarre mecánico (neutro) queda 40 cm más alto que la Fase 2. Para cable trenzado (neutro portante es el punto de amarre): poste 8 m = 6,50 m poste 10 m = 8,30 m poste 12 m = 10,10 m.
f_máx	Flecha máxima admisible calculada como $H_{Fase2} - d_{min\ suelo}$ para red ACSR (la Fase 2 es el conductor más bajo). ACSR: poste 8 m = 0,60 m poste 10 m = 2,40 m poste 12 m = 4,20 m. Trenzado ($H_{neutro\ portante} - d_{min\ suelo}$): poste 8 m = 0,955 m poste 10 m = 2,755 m poste 12 m = 4,555 m.
f_calculada	Flecha real del conductor en el punto medio del vano: $f = a^2 \times p / (8 \times T)$, donde a = longitud del vano (m), p = peso unitario (kgf/m), T = tensión de tendido (kgf).
a_máx	Longitud máxima del vano para la cual $f_{calculada} = f_{máx}$: $a_{máx} = \sqrt{(8 \times T \times f_{máx} / p)}$.
Depresión topográfica (d_dep)	Profundidad vertical del punto más bajo del terreno natural respecto a la cota de base de los postes. En cañones, cañadas o valles esta depresión incrementa el clearance real, permitiendo vanos más largos que en terreno plano.
Desnivel entre postes	Diferencia de cota entre los puntos de amarre de dos postes consecutivos. En ladera uniforme donde los postes siguen el terreno, el desnivel NO genera clearance adicional. Solo en presencia de depresión topográfica el clearance aumenta.

Tabla 31. Parámetros climáticos de diseño para redes eléctricas en el departamento de Boyacá

ZONA	CABLE	VANO MÁX	Nº VANOS	CANTÓN MÁX	FLECHA MÁX
Urbana	Cuádruplex 1/0 neutro aislado	35 m	4	140 m	0,30 m
Urbana	Cuádruplex 2/0 neutro aislado	35 m	4	140 m	0,30 m
Rural	Dúplex 1/0 neutro ACSR desnudo	107 m	3	321 m	0,60 m
Rural	Tríplex 1/0 neutro ACSR desnudo	88 m	3	264 m	0,60 m
Rural largo	ACSR 1/0 desnudo	150 m (2)	1	150 m	0,60 m
Rural largo	ACSR 2/0 desnudo	135 m (2)	1	135 m	0,60 m

Tabla 32. Parámetros de Vano y Cantón según Zona y Tipo de Red - Poste de 8 m

1. Para Cuádruplex en vanos largos se debe usar poste de 10m o 12m.
2. ACSR: vano máximo con poste de 8 m. Para vanos que requieran poste de 10 m (hasta 304 m en 1/0, 273 m en 2/0) o poste de 12 m (hasta 402 m en 1/0, 361 m en 2/0), ver Tabla 36.

NOTAS:

- Para todos los casos, el vano y el cantón máximos están condicionados al cumplimiento de pérdidas técnicas $\leq 3,0\%$ en zona urbana / $\leq 3,5\%$ en zona rural, y regulación de tensión $\leq 5\%$ en zona urbana / $\leq 7\%$ en zona rural, según numerales 2.2.2.2 y 2.2.2.3. El incumplimiento de cualquiera de estos criterios obliga a reducir el vano o el cantón independientemente de los valores tabulados.
- Para cables multiplex de calibres superiores al 1/0 AWG, el vano y cantón máximos deben ser calculados por el diseñador según los parámetros del conductor seleccionado.

TIPO DE CONDUCTOR	CALIBRES	DISPOSICIÓN	NEUTRO	APLICACIÓN
Dúplex	1/0, 2/0 AWG	Trenzado	ACSR desnudo	Monofásico 1F+N rural
Tríplex	1/0, 2/0 AWG	Trenzado	ACSR desnudo	Bifásico 2F+N rural
Cuádruplex	1/0, 2/0 AWG	Trenzado	ACSR desnudo	Trifásico 3F+N rural
Cuádruplex	1/0, 2/0 AWG	Trenzado	Aislado	Trifásico urbano
ACSR (Red abierta)	1/0, 2/0 AWG	Vertical	Desnudo ACSR	Rural vanos largos

Tabla 33. Tipos de Conductor y Calibres Normalizados para BT

ALTURA (m)	USO	OBSERVACIÓN
8	Típico (90% de casos)	Uso general urbano y rural. $f_{\text{máx}} = 0,60 \text{ m (ACSR) / } 0,955 \text{ m (trenzado)}$
10	Cruces especiales y vanos largos	Vanos que superen $a_{\text{máx}}$ del poste 8 m. $f_{\text{máx}} = 2,40 \text{ m (ACSR) / } 2,755 \text{ m (trenzado)}$
12	Vanos muy largos y casos especiales	Vanos ACSR hasta 360–400 m. $f_{\text{máx}} = 4,20 \text{ m (ACSR) / } 4,555 \text{ m (trenzado)}$
Para cálculos detallados de vano, flecha y tensiones de tendido, consultar el numeral 2.2.5: Cálculo de Vano y Curvas de Tendido.		

Tabla 34. Alturas de Postes Normalizados para BT

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- D.1.** En zona urbana, la ubicación de postes está condicionada por la disposición de andenes y espacios para servicios públicos y los linderos entre predios o viviendas.
- D.2.** Verificar siempre el cumplimiento de pérdidas y regulación antes de definir la longitud del vano.
- D.3.** El cable trenzado reduce el riesgo de contactos accidentales y permite instalación en zonas con vegetación cercana.
- D.4.** Ubicar los postes en zonas accesibles para construcción y mantenimiento.
- D.5.** Documentar el trazado definitivo en campo mediante coordenadas georreferenciadas.
- D.6.** En redes con cable trenzado con neutro aislado, no se permite el uso de grapas rectas metálicas convencionales. Se utilizarán únicamente grapas de retención aisladas certificadas para este tipo de conductor, compatibles con el sistema de tensión instalado y aprobadas por EBSA que genere contacto directo, corte, compresión puntual o deterioro del aislamiento del neutro portante.
- D.7.** Para vanos de hasta 50 m se utilizarán grapas de retención aisladas certificadas para el conductor portante aislado. Para vanos superior a 50 m será obligatorio el uso de amarres preformados diseñados específicamente para neutro aislado. No se admiten soluciones diferentes a las aquí establecidas.
- D.8.** En redes con cable trenzado con neutro portante desnudo (ACSR), se permite el uso de grapas rectas metálicas convencionales, siempre que sean mecánicamente compatibles con el calibre del neutro y estén diseñadas para soportar la tensión de tendido del cantón y no generen deformaciones permanentes, reducción de sección efectiva o afectación estructural del neutro portante.

2.2.4.2. EVALUACIÓN DE TOPOGRAFÍA Y PENDIENTES

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

La evaluación topográfica comprende el análisis del relieve del terreno a lo largo del corredor de la línea, con el fin de identificar zonas con pendientes pronunciadas, depresiones, crestas y otros accidentes geográficos que incidan en el diseño mecánico de la red.

En redes de baja tensión, la evaluación topográfica es especialmente relevante para vanos largos en zona rural con conductores como el ACSR desnudo en configuración de red abierta (2F+N) y los cables multiplex trenzados con neutro desnudo (dúplex, tríplex y cuádruplex con neutro ACSR), donde la verificación de la distancia mínima conductor-suelo cobra especial importancia en vanos con depresiones o cambios bruscos de topografía.

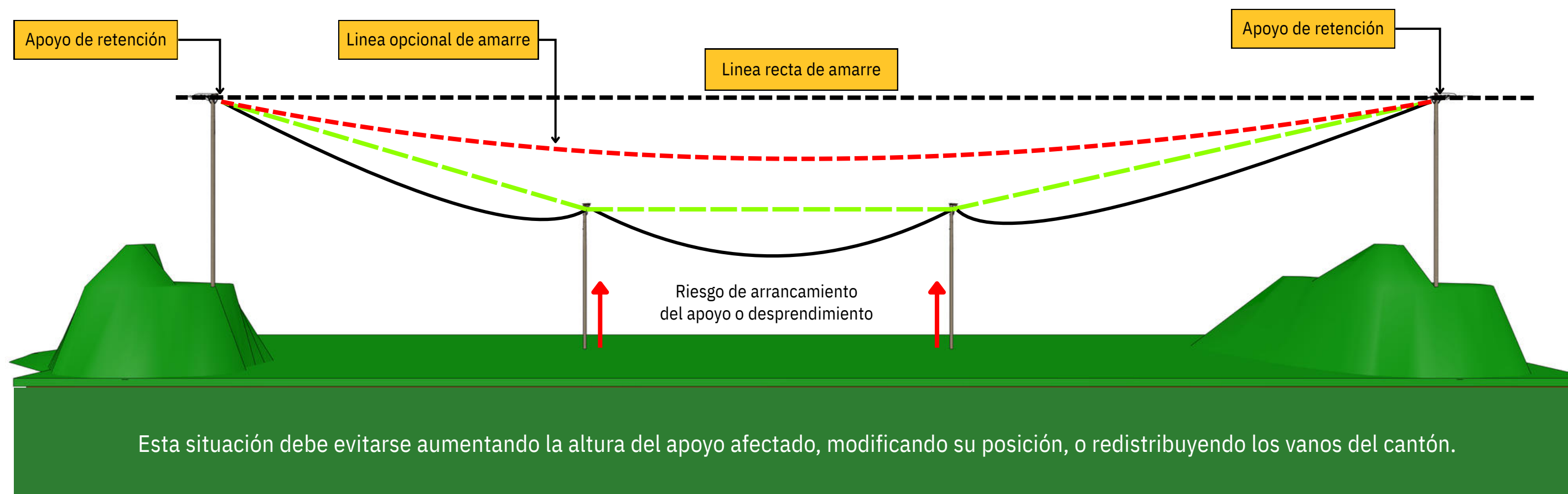


Figura 22. Verificación de solicitud ascendente con plantilla de flecha mínima.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

El departamento de Boyacá presenta una topografía predominantemente montañosa con altitudes entre 150 y 3.000 msnm. En terrenos con pendiente uniforme, los postes siguen el perfil natural del terreno y la distancia del conductor al suelo se mantiene esencialmente igual que en terreno plano, ya que la flecha se mide perpendicularmente a la línea que une los puntos de amarre.

El desnivel entre postes sobre ladera uniforme no genera clearance adicional. Sin embargo, en depresiones topográficas pronunciadas (cañones, cañadas, valles) el terreno se aleja del conductor, lo que permite vanos más largos. Cuando la flecha calculada supera el margen disponible del poste instalado, la solución es utilizar postes de mayor altura o verificar la depresión real del terreno según las Tablas 37 y 38.

Clasificación del Terreno según Pendiente:

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE	CONSIDERACIONES PARA BT
Plano	< 5%	Cable trenzado o ACSR. Vano máx según Tabla 32.
Ondulado	5% – 15%	Verificar desniveles. Posibilidad de vanos extendidos.
Montañoso	15% – 30%	Evaluar vanos largos con ACSR. Verificar flecha con $f = a^2 \cdot p / (8 \cdot T_{50})$.
Escarpado	> 30%	Vanos largos viables. Verificar desnivel y retenida.

Tabla 35. Clasificación del Terreno según Pendiente

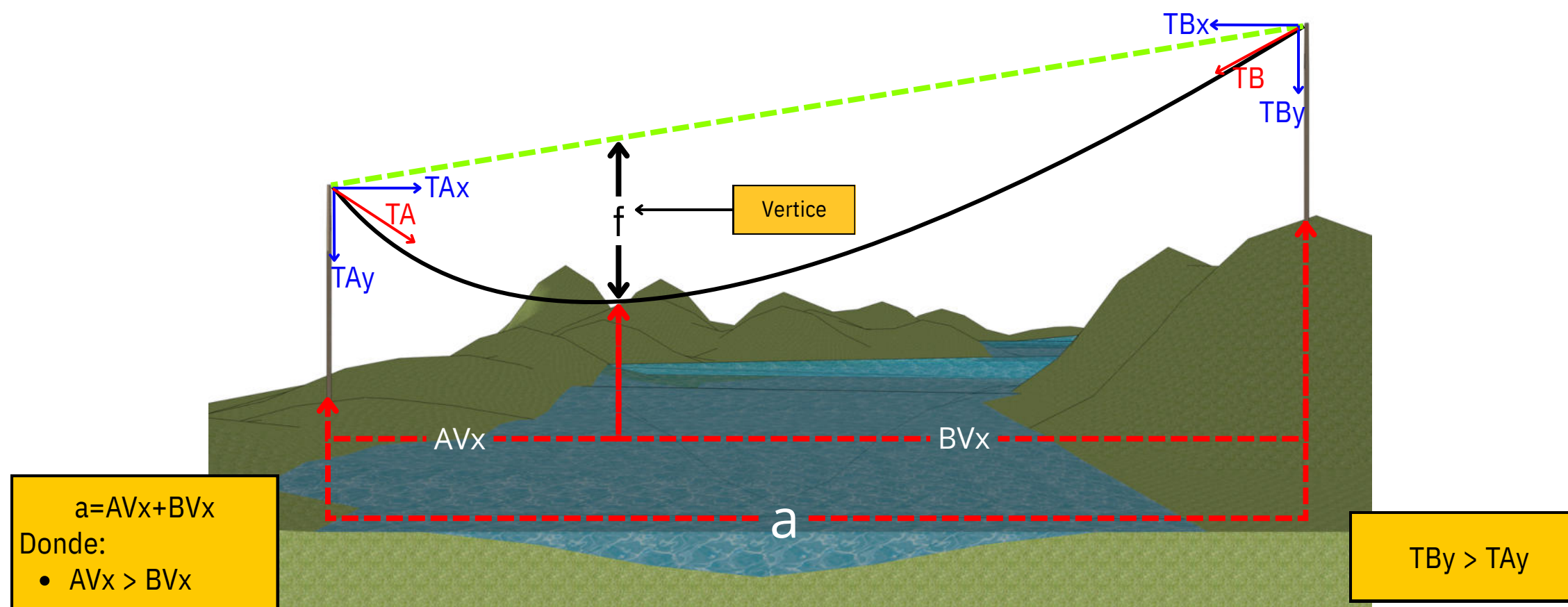


Figura 23. Geometría del vano inclinado y distribución de cargas.

En los vanos que atraviesen depresiones topográficas tales como cañones, cañadas o valles, la verificación de la distancia mínima conductor-terreno deberá efectuarse en el punto más bajo del perfil longitudinal del terreno natural.

El vano máximo admisible estará condicionado por la profundidad de la depresión y deberá evaluarse mediante la expresión:

$$d_{\min} = f_{\text{calculada}} - f_{\text{máx_disponible}}$$

donde $f_{\text{máx_disponible}}$ corresponde a la flecha máxima permisible asociada a la altura útil del poste instalado.

Cuando la profundidad real del terreno sea superior al valor de d_{\min} obtenido, se considerará que el diseño cumple con la distancia mínima reglamentaria al suelo de 5,5 m.

Para vanos de 400 m, será obligatoria la instalación de retenida en ambos extremos de la estructura, el uso de conductor tipo ACSR y la verificación individual de pérdidas técnicas y regulación de tensión, como parte integral del diseño eléctrico.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

La flecha máxima admisible $f_{\text{máx}} = H_{\text{amarre}} - 5,5$ m. Donde: $a_{\text{máx}} = \sqrt{(8 \times T \times f_{\text{máx}} / p)}$. Para ACSR se aplica $T_{52} = 52\%$ de la carga de rotura (1.032 kgf para 1/0 AWG). Para ACSR 2/0, la tensión efectiva está limitada por la carga nominal del poste a $T_{\text{ef}} = 1.050$ kgf. Para conductores trenzados se aplica $T_{50} = 994$ kgf.

TIPO DE CONDUCTOR	p (kgf/m)	T (kgf)	POSTE 8m $f_{\text{máx}}=0,60\text{m}$ $a_{\text{máx}}$ (m)	POSTE 10m $f_{\text{máx}}=2,40\text{m}$ $a_{\text{máx}}$ (m)	POSTE 12m $f_{\text{máx}}=4,20\text{m}$ $a_{\text{máx}}$ (m)	APLICACIÓN
ACSR 1/0 AWG desnudo	0.215	1032	150	304	402	ACSR rural vanos largos
ACSR 2/0 AWG desnudo	0.27	1050	135	273	361	ACSR rural (limitado por poste 1.050 kgf)
Dúplex 1/0 AWG neutro ACSR (2 hilos: 1F+N)	0.418	994	107	214	283	Rural trenzado (3 vanos, cantón 405 m)
Tríplex 1/0 AWG neutro ACSR (3 hilos: 2F+N)	0.616	994	88	176	233	Rural trenzado (3 vanos, cantón 336 m)
Cuádruplex 1/0 neutro aislado (urbano)	0.720	994	35*	-	-	Zona urbana – límite de zona
Cuádruplex 2/0 neutro aislado (urbano)	1.065	1050	35*	-	-	Zona urbana – límite de zona

Tabla 36. Vanos Máximos por Tipo de Conductor y Altura de Poste

* Límite urbanístico, no mecánico. Para vanos superiores a los indicados se requiere cálculo especial de estructura de retención y verificación individual de pérdidas y regulación.

Vano (m)	Flecha (m)	Poste 8m (f_máx = 0,60 m)	Poste 10m (f_máx = 2,40 m)	Poste 12m (f_máx = 4,20 m)
150 ¹	0.586	Sin depresión	Sin depresión	Sin depresión
200	1.042	Depresión ≥ 0.4 m	Sin depresión	Sin depresión
250	1.628	Depresión ≥ 1.0 m	Sin depresión	Sin depresión
298 ¹	2.313	Depresión ≥ 1.7 m	Sin depresión	Sin depresión
350	3.19	Depresión ≥ 2.6 m	Depresión ≥ 0.8 m	Sin depresión
400 ²	4.167	Depresión ≥ 3.6 m	Depresión ≥ 1.8 m	Sin depresión

Tabla 37. Depresión Mínima de Terreno Requerida para Vanos Largos(ACSR 1/0 AWG – p = 0,215 kgf/m | T₅₂ = 1.032 kgf)

Vano (m)	Flecha (m)	Poste 8m (f_máx = 0,60 m)	Poste 10m (f_máx = 2,40 m)	Poste 12m (f_máx = 4,20 m)
135 ¹	0.586	Sin depresión	Sin depresión	Sin depresión
200	1.286	Depresión ≥ 0.7 m	Sin depresión	Sin depresión
250	2.009	Depresión ≥ 1.4 m	Sin depresión	Sin depresión
270 ¹	2.343	Depresión ≥ 1.7 m	Sin depresión	Sin depresión
300	2.893	Depresión ≥ 2.3 m	Depresión ≥ 0.5 m	Sin depresión
350	3.938	Depresión ≥ 3.3 m	Depresión ≥ 1.5 m	Sin depresión
360 ²	4.166	Depresión ≥ 3.6 m	Depresión ≥ 1.8 m	Sin depresión

Tabla 38. Depresión Mínima de Terreno Requerida para Vanos Largos(ACSR 2/0 AWG – p = 0,270 kgf/m | T_{ef} = 1.050 kgf (limitado por poste))

¹ Vano máximo sin depresión con el poste indicado.

² Vano máximo absoluto permitido para el calibre indicado, condicionado a depresión topográfica verificada, retenida doble en ambos extremos, verificación de pérdidas técnicas ≤ 3,5% y regulación de tensión ≤ 7%. Para ACSR 1/0 el vano máximo es 400 m. Para ACSR 2/0 el vano máximo es 360 m. A partir de estos valores se requiere cálculo especial. La depresión se mide verticalmente

NOTA:

- Aplicable únicamente a conductor ACSR desnudo en configuración 2F+N. Cuando la depresión real del terreno es mayor o igual al valor indicado, el diseño cumple con la distancia mínima de 5,5 m al suelo. “Sin depresión” indica que el vano cumple en terreno plano con el poste indicado.

NOTA SOBRE APLICACIÓN DE LAS TABLAS Y RESPONSABILIDAD DEL DISEÑADOR

Los valores de vano máximo establecidos en las tablas del presente numeral han sido determinados bajo condiciones normalizadas de diseño, considerando tensión mecánica de referencia (T_{52} para conductor ACSR), distancia mínima conductor–suelo de 5,5 m, altura de poste estándar y condiciones topográficas regulares.

La aplicación directa de los valores tabulados sin cálculo adicional solo será válida cuando el diseño cumpla simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) La tensión de tendido no supera el porcentaje de carga de rotura establecido para el conductor correspondiente.
- b) Se realiza verificación topográfica directa del perfil longitudinal del vano.
- c) La distancia mínima de 5,5 m al suelo se cumple en el punto más bajo del perfil longitudinal verificado.
- d) Las pérdidas técnicas de energía y la regulación de tensión se mantienen dentro de los límites establecidos en los numerales 2.2.2.3 y 2.2.2.2 respectivamente.
- e) La carga longitudinal transmitida a la estructura de retención no excede la carga nominal del poste instalado, considerando la tensión de tendido del conductor en condición de mayor sollicitación.

Cuando el diseño contemple configuraciones estructurales no previstas en las tablas, cruces de vías o de infraestructura, cargas adicionales, o cuando se superen los rangos máximos tabulados de vano, tensión mecánica, regulación de tensión, pérdidas técnicas o sollicitación estructural, será obligatorio realizar los cálculos mecánicos y eléctricos completos que sustenten técnicamente la solución adoptada.

El diseñador es responsable de la correcta aplicación de las tablas, de la validación de las condiciones de diseño y de la elaboración de la memoria de cálculo cuando aplique. El constructor es responsable de ejecutar la obra conforme al diseño elaborado y suscrito por el profesional competente, garantizando en campo el cumplimiento estricto de los parámetros técnicos definidos. EBSA no asumirá responsabilidad por diseños que excedan los parámetros normalizados sin el respaldo de memoria de cálculo debidamente suscrita por profesional competente, ni por ejecuciones que se aparten del diseño aprobado.

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- D.1.** En terrenos montañosos con vanos largos, verificar la flecha calculada con la fórmula $f = a^2 \cdot p / (8 \cdot T_{50})$ y seleccionar la altura de poste adecuada según la Tabla 30.
- D.2.** Evitar ubicar apoyos en zonas de ladera con riesgo de deslizamiento.
- D.3.** Para vanos largos, verificar siempre el cumplimiento de pérdidas y regulación.
- D.4.** La retenida es obligatoria en todos los vanos superiores a 200 m.
- D.5.** Verificar la accesibilidad para equipos de construcción y mantenimiento.

2.2.4.3. VALLES, CRUCES Y CAMBIOS DE DIRECCIÓN

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Este numeral establece los criterios para el diseño de la red en situaciones especiales como el cruce de valles y depresiones del terreno, cruces con otras infraestructuras (vías, líneas eléctricas, líneas de comunicación) y cambios de dirección del trazado.

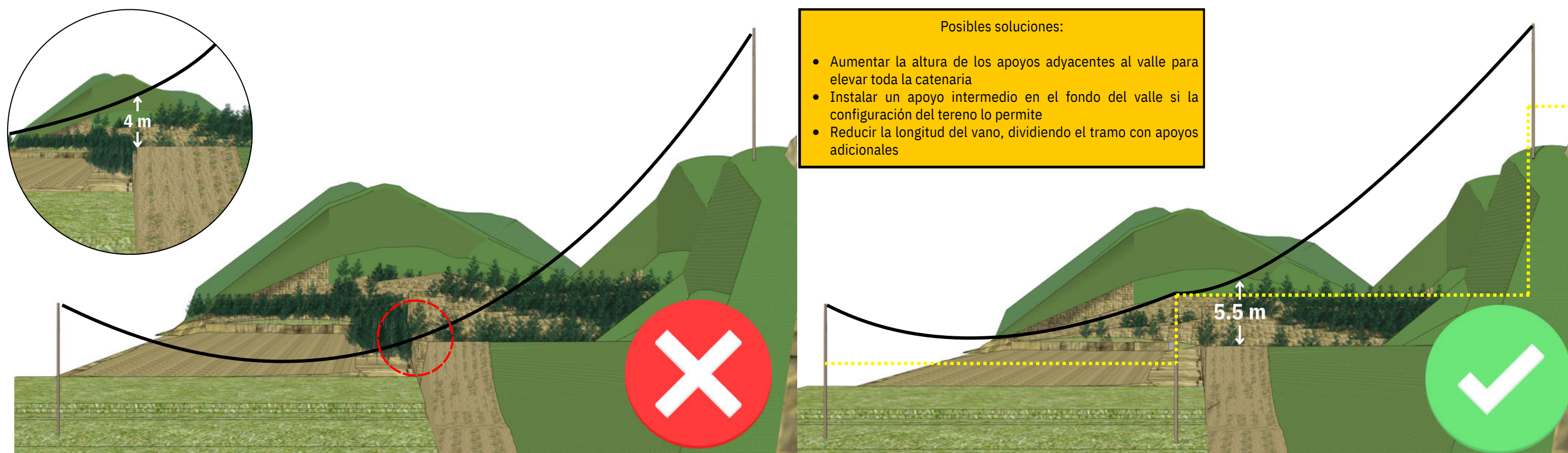
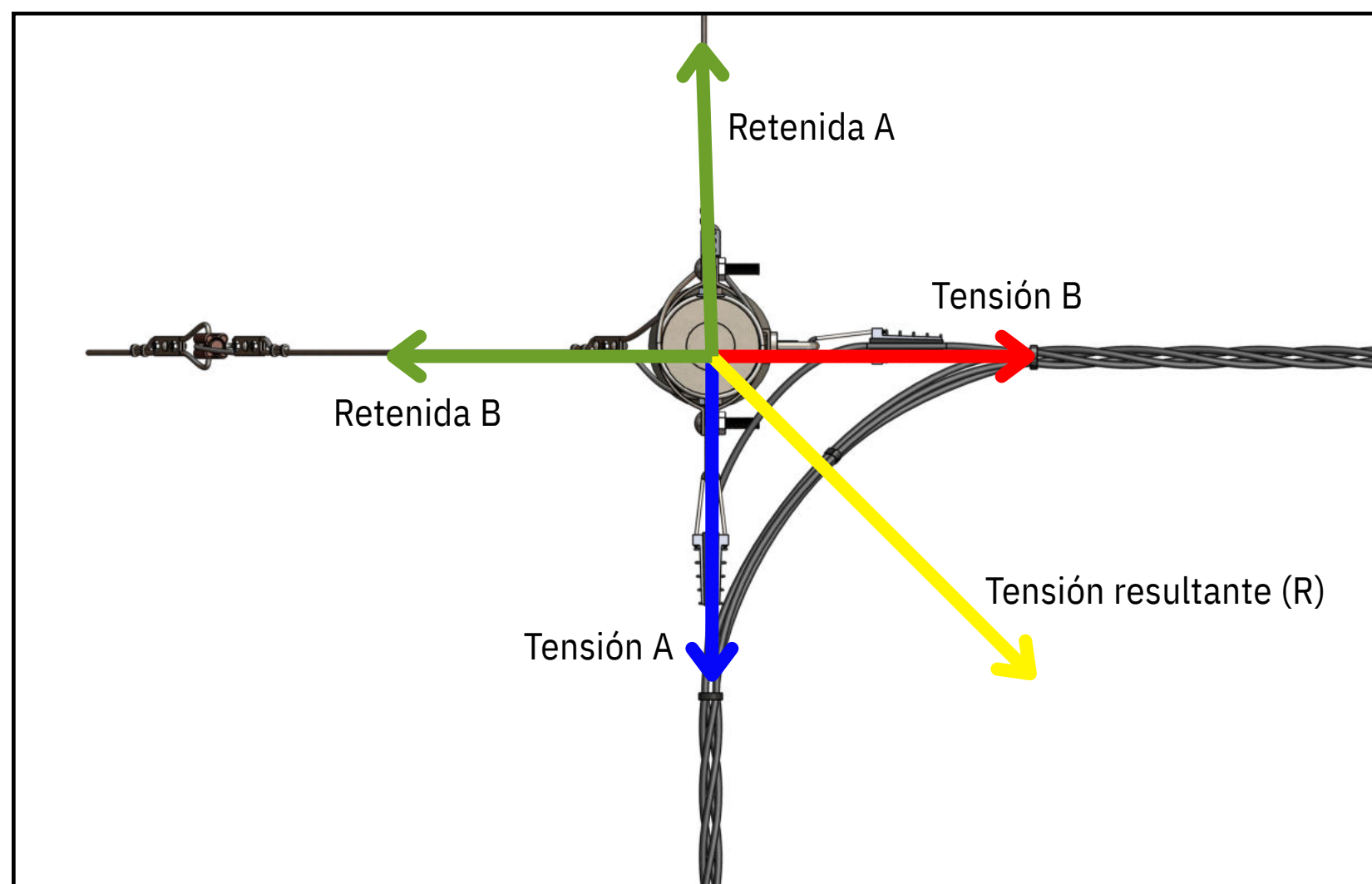
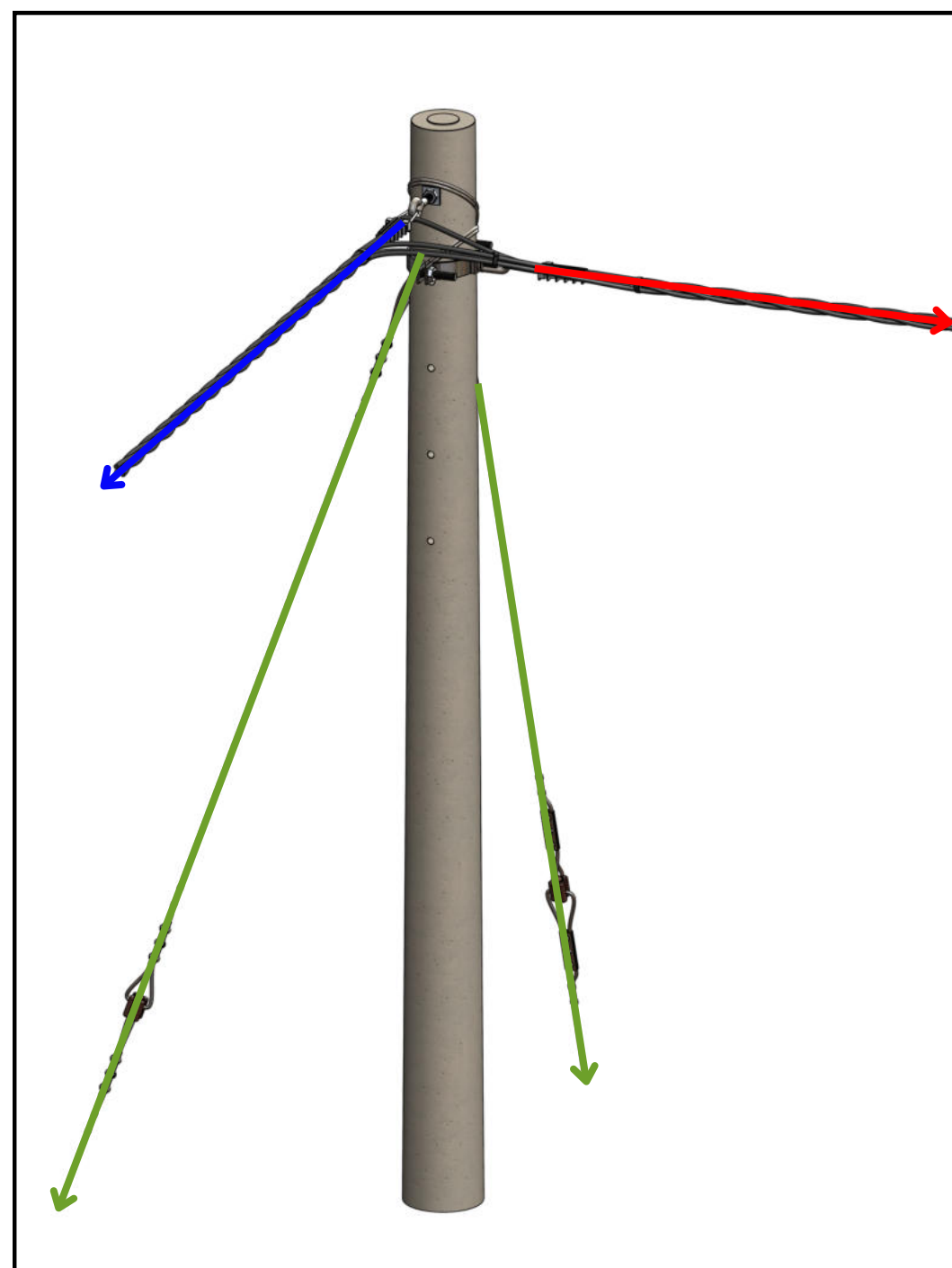


Figura 24. Verificación de distancia mínima en cruce de valle.

Notas:

La figura es ilustrativa y tiene como finalidad representar el comportamiento general del vano en condiciones de cruce de valle o depresión del terreno. En todo caso, el conductor no deberá aproximarse, tocar el terreno ni incumplir las distancias mínimas de seguridad reglamentarias, independientemente de la configuración topográfica. El diseño definitivo deberá garantizar el cumplimiento de las distancias exigidas por la normatividad vigente en toda condición de carga y temperatura.

Los cruces con otras infraestructuras deben cumplir las distancias mínimas establecidas en la normatividad vigente. Los cambios de dirección generan esfuerzos transversales adicionales sobre los postes, que deben ser considerados en el cálculo mecánico.



$$R = 2 \cdot T \cdot \text{sen}(\alpha/2).$$

Figura 25. Resultante de fuerzas en apoyo de ángulo.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

Cruces de valles y depresiones:

- En valles donde la flecha del conductor se aproxima al terreno, verificar la distancia mínima de 5,5 m en condición de temperatura máxima.
- Si no es posible mantener la distancia mínima, instalar un poste intermedio o aumentar la altura de los postes adyacentes.
- Para cruces sobre vías principales, utilizar postes de 10 m o 12 m según corresponda.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

ÁNGULO	TIPO DE POSTE	RETENIDA	OBSERVACIÓN
0° – 5°	Alineación	No requiere	-
5° – 30°	Ángulo	Simple	Aplica si el poste es < 750 kgf
> 30°	Retención	Doble	Aplica si el poste es < 750 kgf

Tabla 39. Clasificación de postes según ángulo de deflexión.

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- D.1.** Minimizar los cambios de dirección mediante una adecuada selección de ruta.
- D.2.** En cruces con vías importantes, verificar los gálibos establecidos por la autoridad competente.
- D.3.** En cruces con otras líneas eléctricas, mantener las separaciones verticales reglamentarias.
- D.4.** Ubicar los postes de cruce en terreno firme y accesible.
- D.5.** Documentar fotográficamente todos los cruces especiales.

SECCIÓN

2.2.5 CÁLCULO DE VANO Y CURVAS DE
TENDIDO

5

2.2.5.1. VANO SUPUESTO, REGULADOR Y REAL

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Este subnumeral establece las definiciones y criterios para la determinación de los diferentes tipos de vanos utilizados en el diseño de redes aéreas de baja tensión, así como los valores máximos permitidos según el tipo de conductor, calibre y altura de poste.

Vano: Distancia horizontal entre dos postes consecutivos de la red de distribución.

Vano Supuesto (Vano de Diseño) : Longitud de referencia utilizada para el cálculo mecánico inicial del conductor. Corresponde al vano típico o promedio esperado en un proyecto.

Vano Regulador (Vano Ideal de Regulación – V.I.R.): Vano ficticio que produce la misma tensión media que el conjunto de vanos reales de un cantón. Se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cubos de los vanos dividida entre la suma de los vanos. Todos los vanos de un cantón comparten la misma tensión mecánica, determinada por el vano regulador.

Vano Real: Distancia horizontal efectiva entre dos apoyos consecutivos medida en campo o definida en el diseño topográfico del proyecto.

Cantón: Conjunto de vanos comprendidos entre dos estructuras de retención (anclaje). Todos los vanos de un cantón comparten la misma tensión mecánica.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Cálculo del Vano Regulador (V.I.R.)

Para un cantón con n vanos de longitudes a_1, a_2, \dots, a_n , el vano regulador se determina mediante:

$$a_{reg} = \sqrt{[(\sum a_i^3) / (\sum a_i)]}$$

Expresado de forma expandida:

$$a_{reg} = \sqrt{[(a_1^3 + a_2^3 + \dots + a_n^3) / (a_1 + a_2 + \dots + a_n)]}$$

B.2 Criterio de Vano Máximo

La flecha calculada no debe exceder la flecha máxima admisible del poste instalado:

$$f = (a^2 \times p) / (8 \times T) \leq f_{m\acute{a}x}$$

Donde: f = flecha del conductor (metros), a = longitud del vano (metros), p = peso unitario del conductor (kgf/m), T = tensión de diseño del conductor (kgf), $f_{m\acute{a}x}$ = flecha máxima admisible según altura de poste y tipo de conductor.

La flecha máxima admisible por tipo de conductor y altura de poste es:

ALTURA DE POSTE	f_máx ACSR (red abierta 2F+N)	f_máx Trenzado (neutro portante)
8 m	0,60 m	0,955 m
10 m	2,40 m	2,755 m
12 m	4,20 m	4,555 m

Tabla 40. Flecha máxima admisible según altura de poste y tipo de conductor

Y la longitud máxima del vano se obtiene despejando:

$$a_{\text{máx}} = \sqrt{(8 \times T \times f_{\text{máx}} / p)}$$

B.3. METODOLOGÍA DE AJUSTE DE VANOS POR CALIBRE

Dentro de un mismo grupo de conductores (trenzados con neutro ACSR), el vano máximo puede ajustarse proporcionalmente al peso del conductor manteniendo la misma tensión de trabajo:

$$a_{\text{calibre}} = a_{\text{ref}} \times \sqrt{(p_{\text{ref}} / p_{\text{calibre}})}$$

Donde: a_{calibre} = vano máximo para el conductor a calcular (m), a_{ref} = vano máximo de referencia (m), p_{ref} = peso del conductor de referencia (kgf/m), p_{calibre} = peso del conductor a calcular (kgf/m).

Esta fórmula es aplicable únicamente entre conductores que compartan la misma tensión de diseño ($T_{50} = 994$ kgf para trenzados con neutro ACSR). No aplica entre grupos de conductores con tensiones de diseño diferentes.

SIMBOLOS

- Estructura de retención
- Estructura de paso
- Retenida de anclaje
- Línea de BT

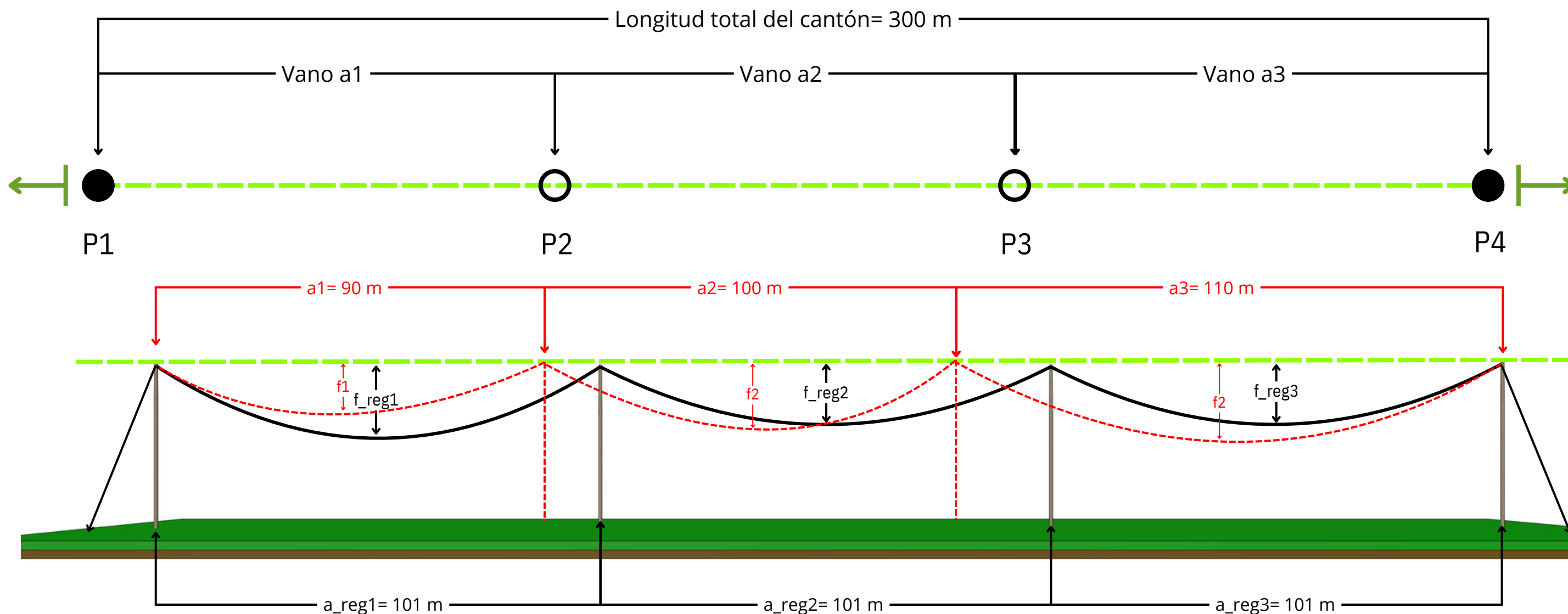


Figura 26. Esquema de Cantón con Tipos de Vano para baja tensión.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

CALIBRE	PESO (kgf/m)	VANO MÁX (m)	CANTÓN MÁX (m)
A) CONDUCTOR ACSR DESNUDO (Red abierta 2F+N)			
1/0 AWG	0,215	150	150
2/0 AWG	0,270	135	135
B) CABLE TRENZADO CON NEUTRO ACSR DESNUDO			
Dúplex 1/0 AWG (1F+N)	0,418	107	321
Tríplex 1/0 AWG (2F+N)	0,616	88	264
C) CABLE TRENZADO CON NEUTRO ACSR AISLADO			
Cuádruplex 1/0 AWG (3F+N)	0,720	35*	140
Cuádruplex 2/0 AWG (3F+N)	1,065	35*	140

Tabla 41. Vanos y Cantones Máximos por Tipo de Conductor y Calibre — Poste de 8 m

* Límite urbanístico, no mecánico.

Los vanos máximos de la sección A corresponden a configuración rural largo (1 vano por cantón). Los de la sección B están determinados por $f_{\text{máx}} = 0,60$ m con poste de 8 m y $T_{50} = 994$ kgf; el cantón máximo corresponde a 3 vanos iguales al máximo. Para vanos superiores (sección A y B) con poste de 10 m o 12 m, consultar Tabla 36 del numeral 2.2.4.

CALIBRE	CÓDIGO	SECCIÓN (mm ²)	PESO (kgf/m)	C. ROTURA (kgf)	T (kgf)
1/0 AWG	Raven	53,48	0,215	2.026	1.032 (T_52)
2/0 AWG	Quail	67,43	0,270	2.445	1.050 (T_ef)

Tabla 42. Características conductor ACSR desnudo.

Fuente: Catálogo técnico Viakon – Conductores ACSR.

CONDUCTOR	CALIBRE FASE	ESP. AISL. (mm)	PESO (kgf/m)	T ₅₀ (kgf)	DIÁM. EXT. (mm)
Dúplex (1F+N)	1/0 AWG	1,14	0,418	994	~22
Tríplex (2F+N)	1/0 AWG	1,14	0,616	994	~27

Tabla 43. Características cable trenzado con neutro ACSR desnudo.

Fases de aluminio con aislamiento PE/XLPE. Neutro portante: ACSR 1/0 AWG desnudo. Espesor de aislamiento típico para 600 V. Fuente: Catálogo técnico Viakon – Conductores ACSR; Nexans/Procables Colombia – Cables preensamblados.

CONDUCTOR	CALIBRE FASE	ESP. AISL. (mm)	PESO (kgf/m)	T ₅₀ (kgf)	DIÁM. EXT. (mm)
Cuádruplex (3F+N)	1/0 AWG	1,14	0,720	~30	Redes Urbanas
Cuádruplex (3F+N)	2/0 AWG	1,52	0,960	~33	Redes Urbanas

Tabla 44. Características cable trenzada con neutro ACSR aislado.

Neutro aislado: no actúa como elemento portante. La tensión mecánica la soporta el conjunto del cable. Fuente: Catálogos técnicos Nexans y Procables Colombia.

Ejemplos Prácticos

Ejemplo 1: Cálculo de Vano Regulador Urbano

Problema: Un cantón rural de cable tríplex 1/0 AWG con neutro ACSR tiene 3 vanos con longitudes: 90 m, 110 m y 100 m. Calcular el vano regulador y verificar cumplimiento con poste de 8 m.

Paso 1 – Calcular la suma de los cubos de los vanos:

$$\sum a_i^3 = 90^3 + 110^3 + 100^3 = 729.000 + 1.331.000 + 1.000.000 = 3.060.000 \text{ m}^3$$

Paso 2 – Calcular la suma de los vanos:

$$\sum a_i = 90 + 110 + 100 = 300 \text{ m (longitud del cantón)}$$

Paso 3 – Aplicar la fórmula del vano regulador:

$$a_{\text{reg}} = \sqrt{(3.060.000 / 300)} = \sqrt{10.200} = 101,0 \text{ metros}$$

Paso 4 – Verificar cumplimiento mecánico (Tríplex 1/0 con poste de 8 m):

Vano regulador (101,0 m) > Vano máximo tríplex poste 8 m (88 m) → NO CUMPLE ✗

Paso 5 – Solución: Al no cumplir con poste de 8 m, se evalúan dos alternativas:

Alternativa A: Utilizar poste de 10 m, donde $a_{\text{máx}} = 176 \text{ m}$ → Vano regulador 101,0 m < 176 m → CUMPLE ✓

Alternativa B: Reducir los vanos. Por ejemplo: 75 m, 85 m, 80 m → $a_{\text{reg}} = \sqrt{[(421.875 + 614.125 + 512.000) / 240]} = \sqrt{6.450} = 80,3 \text{ m} < 88 \text{ m}$ → CUMPLE ✓

Verificación eléctrica (Alternativa B): Cantón total (240 m) < Cantón máximo tríplex (336 m) → CUMPLE ✓. Vano individual máximo (85 m) < Vano máximo permitido (88 m) → CUMPLE ✓. Verificar pérdidas ≤ 3,5% y regulación ≤ 7% según numerales 2.2.2.3 y 2.2.2.2 → pendiente de cálculo específico del proyecto.

Ejemplo 2: Ajuste de Vano entre Conductores Trenzados

Problema: Si el vano máximo del dúplex 1/0 AWG con neutro ACSR es 107 m (poste 8 m), ¿cuál es el vano máximo para el cuádruplex 1/0 AWG con neutro ACSR en las mismas condiciones?

Datos: $a_{ref} = 107$ m (dúplex 1/0), $p_{ref} = 0,418$ kgf/m, $p_{calibre} = 0,814$ kgf/m (cuádruplex 1/0)

Cálculo: $a_{cuádruplex} = 107 \times \sqrt{0,418 / 0,814} = 107 \times \sqrt{0,5135} = 107 \times 0,717 = 76,7$ m ≈ 77 m

Verificación: Este resultado coincide con el valor de la Tabla 41, sección B (77 m). La fórmula de ajuste es válida porque ambos conductores comparten la misma tensión de diseño $T_{50} = 994$ kgf.

Ejemplo 3: Verificación de Flecha para Vano ACSR Rural Largo

Problema: Un vano rural de 150 m utiliza conductor ACSR 1/0 AWG desnudo con poste de 8 m. Verificar si la flecha cumple.

Datos: $a = 150$ m, $p = 0,215$ kgf/m, $T_{52} = 1.032$ kgf, $f_{máx} = 0,60$ m (poste 8 m)

Cálculo: $f = (150^2 \times 0,215) / (8 \times 1.032) = (22.500 \times 0,215) / 8.256 = 4.837,5 / 8.256 = 0,586$ m

Verificación: $0,586$ m $< 0,60$ m \rightarrow CUMPLE \checkmark (margen de apenas 0,014 m)

Nota: Este vano se encuentra muy próximo al límite mecánico. Cualquier condición topográfica desfavorable podría comprometer el cumplimiento de la distancia mínima de 5,5 m al suelo. Para vanos superiores a 150 m, será obligatorio utilizar poste de 10 m o 12 m, o verificar la depresión topográfica según el numeral 2.2.4.

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- D.1.** Utilizar vanos lo más uniformes posible dentro de un cantón para minimizar desequilibrios mecánicos. La relación entre el vano más largo y el más corto dentro de un cantón no debería exceder 1,5:1.
- D.2.** El vano regulador no debe exceder el 95% del vano máximo permitido como margen de seguridad operativo.
- D.3.** Siempre verificar el cumplimiento simultáneo de los tres criterios: mecánico (flecha), eléctrico (pérdidas y regulación) y topográfico (distancia al suelo $\geq 5,5$ m), antes de definir el vano.
- D.4.** Para vanos rurales con conductor ACSR desnudo superiores a 150 m, evaluar necesariamente el uso de poste de 10 m o 12 m y verificar la topografía real del terreno.
- D.5.** En terrenos irregulares con desniveles superiores al 15%, realizar la verificación topográfica detallada según el numeral 2.2.4.3.
- D.6.** No extrapolar los valores de la fórmula de ajuste de vanos (B.3) entre grupos de conductores con tensiones de diseño diferentes.

2.2.5.2. CÁLCULO DE FLECHAS

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Flecha: Distancia vertical máxima entre el punto más bajo del conductor y la línea recta imaginaria que une los dos puntos de apoyo del vano.

En redes de baja tensión la flecha máxima admisible es variable y depende de la altura del poste instalado y del tipo de conductor (ACSR red abierta o cable trenzado):

ALTURA DE POSTE	f_máx ACSR (red abierta 2F+N)	f_máx Trenzado (neutro portante)
8 m	0,60 m	0,955 m
10 m	2,40 m	2,755 m
12 m	4,20 m	4,555 m

Tabla 45. Flecha máxima admisible en redes aéreas de baja tensión según altura de poste y tipo de conductor

Esta diferencia se origina en que:

- En ACSR red abierta (2F+N), el conductor crítico para el clearance es la Fase 2 (posición más baja): $H_{\text{amarre Fase 2}} = H_{\text{poste}} - 1,90 \text{ m}$.
- En cable trenzado, el punto de amarre es el neutro portante: $H_{\text{amarre}} = H_{\text{poste}} - 1,50 \text{ m}$.
- $f_{\text{máx}} = H_{\text{amarre}} - 5,5 \text{ m}$.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1 Flecha en Terreno Plano (Apoyos a Igual Altura)

Para vanos con apoyos a la misma altura, la flecha se calcula mediante la ecuación parabólica simplificada:

$$f = (a^2 \times p) / (8 \times T)$$

Donde: f = flecha del conductor (metros), a = longitud del vano (metros), p = peso unitario del conductor (kgf/m), T = tensión de diseño del conductor (kgf): $T_{52} = 1.032$ kgf para ACSR 1/0, $T_{ef} = 1.050$ kgf para ACSR 2/0, $T_{50} = 994$ kgf para trenzados con neutro ACSR.

Criterio de cumplimiento: $f \leq f_{\text{máx}}$, donde $f_{\text{máx}}$ corresponde a la flecha máxima admisible según la altura del poste y el tipo de conductor.

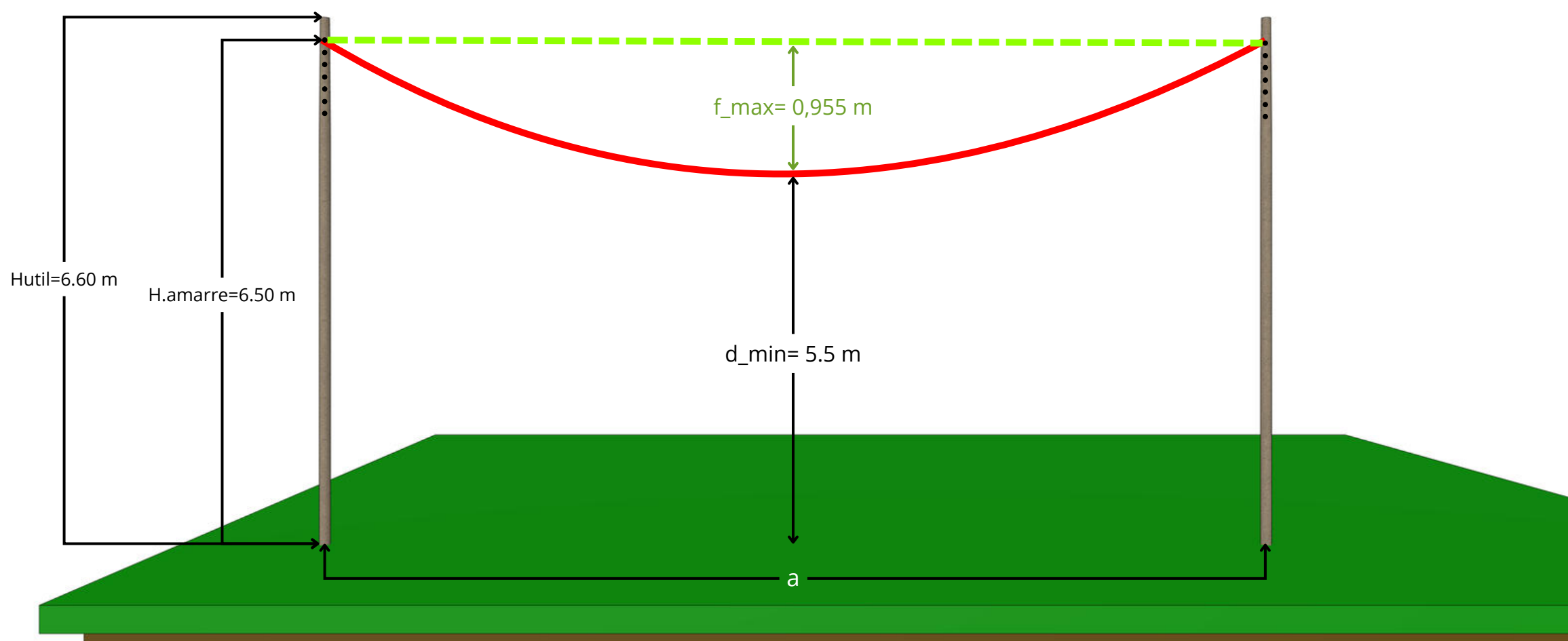


Figura 27. Diagrama de Flecha en Terreno Plano.

B.2. Flecha en Terreno con Desnivel (Apoyos a Diferente Altura)

Cuando los apoyos están a diferente altura, el punto más bajo del conductor no coincide con el centro del vano. Sea h = desnivel entre apoyos (positivo si B está más alto que A):

Posición del punto más bajo respecto al apoyo A (más bajo):

$$x_0 = (a/2) - (h \times T) / (a \times p)$$

Flecha respecto al apoyo más bajo (A):

$$f_A = (x_0^2 \times p) / (2 \times T)$$

Interpretación de x_0 :

- Si $0 < x_0 < a$: El punto más bajo está dentro del vano. La verificación de distancia mínima al suelo debe hacerse en la posición x_0 .
- Si $x_0 \leq 0$: El punto más bajo está fuera del vano (pendiente muy pronunciada). El conductor desciende continuamente desde el apoyo superior hacia el inferior. La verificación crítica se realiza en el apoyo inferior.
- Si $x_0 \geq a$: Situación geoméricamente imposible en condiciones normales; verificar datos de entrada.

Distancia del conductor al suelo en cualquier punto x del vano:

$$y(x) = H_{\text{amarre_A}} + [(H_{\text{amarre_B}} - H_{\text{amarre_A}}) / a] \times x - [(a - x) \times x \times p] / (2 \times T)$$

Donde $H_{\text{amarre_A}}$ y $H_{\text{amarre_B}}$ son las alturas de amarre en los postes A y B respectivamente. La distancia mínima al suelo se verifica comparando $y(x)$ con la cota del terreno en cada punto del perfil longitudinal.

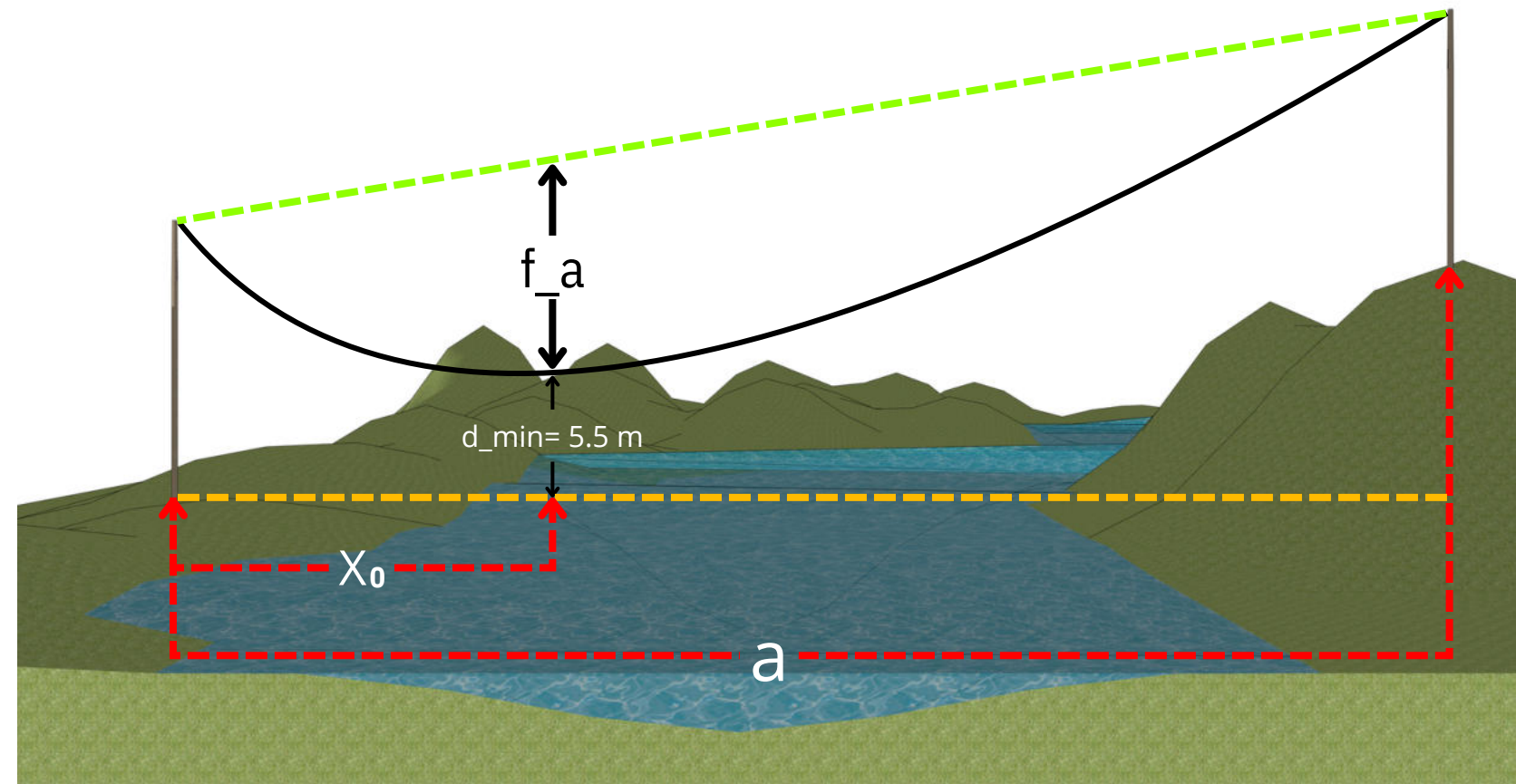


Figura 28. Diagrama de Flecha en Terreno con Desnivel.

B.3 Verificación de Distancia Mínima al Suelo

Independientemente del tipo de terreno, la condición fundamental de cumplimiento es:

$$\text{Clearance} = H_{\text{amarre}} - f_{\text{calculada}} \geq 5,5 \text{ m (terreno plano)}$$

$$\text{Clearance} = y(x) - \text{cota}_{\text{terreno}}(x) \geq 5,5 \text{ m (terreno con desnivel, en todo punto } x)$$

Cuando el clearance calculado resulte inferior a 5,5 m, las soluciones posibles son:

1. Aumentar la altura del poste (de 8 m a 10 m o 12 m).
2. Reducir la longitud del vano.
3. Instalar un poste intermedio.
4. Aprovechar la depresión topográfica real del terreno.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

CALIBRE	PESO (kgf/m)	VANO MÁX (m)	T (kgf)	FLECHA (m)	f_máx (m)	CUMPLE
A) CONDUCTOR ACSR DESNUDO (Red abierta 2F+N)						
ACSR 1/0 AWG	0,215	150	1.032	0,586	0,60	SÍ ✓
ACSR 2/0 AWG	0,270	135	1.050	0,586	0,60	SÍ ✓
B) CABLE TRENZADO CON NEUTRO ACSR DESNUDO						
Dúplex 1/0 (1F+N)	0,418	107	994	0,602	0,955	SÍ ✓
Tríplex 1/0 (2F+N)	0,616	88	994	0,600	0,955	SÍ ✓
C) CABLE TRENZADO CON NEUTRO AISLADO						
Cuádruplex 1/0 (3F+N)	0,720	35	-	-	0,30	SÍ ✓
Cuádruplex 2/0 (3F+N)	1,065	35	-	-	0,30	SÍ ✓

Tabla 46. Verificación de Flechas Calculadas –Poste de 8 m

• Ejemplo Práctico 1: Cálculo de Flecha en Terreno Plano

Problema: Verificar si un vano de 77 metros es adecuado para cable cuádruplex 1/0 AWG con neutro ACSR, utilizando poste de 8 m.

Datos: $a = 77$ m, $p = 0,814$ kgf/m, $T_{50} = 994$ kgf, $f_{\text{máx}} = 0,955$ m (trenzado, poste 8 m)

Solución: $f = (77^2 \times 0,814) / (8 \times 994) = (5.929 \times 0,814) / 7.952 = 4.826,2 / 7.952 = 0,607$ m

Verificación: $0,607$ m $<$ $0,955$ m \rightarrow CUMPLE \checkmark

Clearance: $H_{\text{amarre}} - f = 6,50 - 0,607 = 5,893$ m $>$ $5,5$ m \rightarrow CUMPLE \checkmark

Margen disponible: $0,955 - 0,607 = 0,348$ m de holgura respecto a la flecha máxima.

• Ejemplo Práctico 2: Cálculo de Flecha en Terreno con Desnivel

Problema: Un vano de 120 m con conductor ACSR 1/0 AWG desnudo tiene un desnivel de 10 metros entre apoyos (apoyo B más alto que A). Ambos postes son de 8 m. Calcular la posición del punto más bajo y verificar la distancia mínima al suelo.

Datos: $a = 120$ m, $h = 10$ m, $p = 0,215$ kgf/m, $T_{52} = 1.032$ kgf, $H_{\text{amarre Fase 2}} = 6,10$ m (poste 8 m, ACSR)

Paso 1 – Posición del punto más bajo:

$x_0 = (120/2) - (10 \times 1.032) / (120 \times 0,215) = 60 - 10.320 / 25,8 = 60 - 400 = -340$ m

Interpretación: x_0 negativo indica que el punto más bajo está FUERA del vano. El conductor desciende continuamente desde B hacia A.

Paso 2 – Verificar altura en el apoyo inferior (A):

Clearance en A = $H_{\text{amarre}} = 6,10$ m $>$ $5,5$ m \rightarrow CUMPLE \checkmark

Paso 3 – Verificar clearance en el punto medio del vano:

El terreno en $x = 60$ m está a una cota de $h/2 = 5$ m por encima de la base del apoyo A (asumiendo pendiente uniforme).

$$y(60) = 6,10 + [(6,10 + 10 - 6,10)/120] \times 60 - [(120 - 60) \times 60 \times 0,215] / (2 \times 1.032)$$

$$y(60) = 6,10 + 5,0 - 774 / 2.064 = 6,10 + 5,0 - 0,375 = 10,725 \text{ m}$$

$$\text{Clearance en punto medio} = 10,725 - 5,0 = 5,725 \text{ m} > 5,5 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE } \checkmark$$

Nota: En terrenos con desnivel, el diseñador debe verificar el clearance contra el perfil topográfico real, no contra una pendiente uniforme supuesta. En valles, cañadas o depresiones intermedias, el perfil real puede diferir significativamente de la línea recta entre apoyos.

• Ejemplo Práctico 3: Vano largo con poste de 10 m

Problema: Se requiere un vano de 250 m con conductor ACSR 1/0 AWG desnudo en terreno plano. ¿Es viable con poste de 10 m?

Datos: $a = 250$ m, $p = 0,215$ kgf/m, $T_{52} = 1.032$ kgf, $f_{\text{máx}} = 2,40$ m (ACSR, poste 10 m)

$$\text{Cálculo: } f = (250^2 \times 0,215) / (8 \times 1.032) = (62.500 \times 0,215) / 8.256 = 13.437,5 / 8.256 = 1,628 \text{ m}$$

$$\text{Verificación: } 1,628 \text{ m} < 2,40 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE } \checkmark$$

$$\text{Clearance: } H_{\text{amarre Fase 2 poste 10 m}} - f = 7,90 - 1,628 = 6,272 \text{ m} > 5,5 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE } \checkmark$$

Nota: Este vano supera los 200 m, por lo que es obligatoria la instalación de retenida en ambos extremos y la verificación individual de pérdidas técnicas $\leq 3,5\%$ y regulación de tensión $\leq 7\%$, según lo establecido en el numeral 2.2.4.

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. La flecha aumenta con la temperatura. El cálculo de flecha para verificación de clearance debe realizarse en la condición de temperatura máxima de la zona: 38°C (Zona I – Cálido), 30°C (Zona II – Templado), 25°C (Zona III – Frío). Para la condición más conservadora, utilizar 45°C como temperatura máxima extrema.

D.2. En terrenos con desnivel superior al 10% del vano, siempre verificar la posición del punto más bajo (x_0) y calcular el clearance en los puntos críticos del perfil topográfico real.

D.3. Para conductor ACSR en red abierta (2F+N), recordar que el conductor crítico para el clearance es la Fase 2 (posición más baja), ubicada 40 cm por debajo del neutro portante.

D.4. En vanos que crucen depresiones topográficas, la verificación de clearance debe realizarse en el punto más bajo del perfil longitudinal del terreno natural, no en el punto medio del vano.

D.5. Para vanos rurales con poste de 8 m, el margen entre la flecha calculada y la flecha máxima admisible es muy reducido en conductor ACSR (del orden de 0,01 a 0,02 m). Se recomienda considerar poste de 10 m cuando el vano supere el 90% del vano máximo permitido para poste de 8 m.

D.6. Documentar la temperatura ambiente y la flecha medida en el acta de tendido de cada cantón.

SECCIÓN

2.2.6 CÁLCULO DE ESFUERZOS SOBRE
CONDUCTORES Y ESTRUCTURAS



2.2.6.1. ESFUERZOS POR VIENTO

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Este subnumeral establece la metodología para calcular los esfuerzos producidos por la acción del viento sobre los conductores y estructuras de las redes aéreas de baja tensión. El viento es la principal sobrecarga ambiental considerada para el diseño en la región de Boyacá, dado que no se considera formación de hielo en las zonas de operación de EBSA (altitudes inferiores a 3.000 msnm).

Presión de viento: Fuerza por unidad de área que ejerce el viento sobre una superficie expuesta, expresada en kgf/m^2 o Pa.

En redes de baja tensión, los cables trenzados (dúplex, tríplex, cuádruplex) presentan un diámetro exterior significativamente mayor que los conductores individuales ACSR (22 a 31 mm vs 10 a 11 mm), lo que incrementa proporcionalmente la carga de viento por metro lineal. Sin embargo, al tratarse de un solo elemento expuesto al viento (el haz trenzado), la carga total sobre la estructura es menor que la de tres conductores individuales en configuración de red abierta.



Figura29. Efecto del Viento sobre Red de BT en Zona Urbana.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Parámetros de Viento para Redes de BT en Boyacá

- Velocidad de viento de diseño Zonas I y II: $V = 80 \text{ km/h}$ (22,2 m/s).
- Velocidad de viento de diseño Zona III (Frío, $>2.300 \text{ msnm}$): $V = 100 \text{ km/h}$ (27,8 m/s).
- Coeficiente de forma para conductores y cables: $C_v = 1,0$.
- Coeficiente de forma para postes circulares: $C_p = 0,7$.
- No se considera sobrecarga por hielo en ninguna zona del departamento.

B.2 Presión Dinámica del Viento

La presión dinámica base se calcula mediante:

$$q = 0,5 \times \rho \times V^2 \text{ (Pa)}$$

Donde: q = presión dinámica ($\text{Pa} = \text{N/m}^2$), ρ = densidad del aire (kg/m^3), variable con la altitud, V = velocidad del viento (m/s).

B.3 Corrección por Altitud

La densidad del aire disminuye con la altitud. Para Boyacá (150 – 3.000 msnm), se aplica la corrección:

$$\rho = \rho_0 \times e^{(-h/8500)}$$

Donde $\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (densidad a nivel del mar) y h = altitud en metros.

ALTITUD (msnm)	ρ (kg/m ³)	q (Pa) a 80 km/h	q (kgf/m ²) a 80 km/h	q (kgf/m ²) a 100 km/h
0 (referencia)	1,225	302	30,8	48,2
150 (Puerto Boyacá)	1,204	297	30,3	47,3
1.000	1,089	269	27,4	42,8
1.800	0,991	245	24,9	39,0
2.500 (Tunja)	0,913	225	23,0	35,9
2.800	0,881	218	22,2	34,7
3.000 (máx. EBSA)	0,861	213	21,7	33,8

Tabla 47. Densidad del aire y presión de viento de diseño en función de la altitud

Para simplificación, EBSA adopta $q = 25 \text{ kgf/m}^2$ como valor de diseño para altitudes típicas (2.000–3.000 msnm) con viento de 80 km/h. Para Zona III con viento de 100 km/h, adoptar $q = 35 \text{ kgf/m}^2$.

B.4 Carga de viento sobre conductores

La carga de viento por unidad de longitud sobre el conductor se calcula:

$$P_v = C_v \times d \times q \times 10^{-3} \text{ (kgf/m)}$$

Donde: P_v = carga de viento por unidad de longitud (kgf/m), C_v = coeficiente de forma (1,0 para conductores cilíndricos y cables trenzados), d = diámetro del conductor o cable (mm), q = presión dinámica del viento (kgf/m²).

Nota para cables trenzados: En los cables multiplex (dúplex, tríplex, cuádruplex), el diámetro d corresponde al diámetro exterior del haz completo, ya que el viento actúa sobre la envolvente del conjunto de conductores trenzados, no sobre cada fase individualmente.

Nota para ACSR red abierta (2F+N): En configuración de red abierta con conductores individuales montados verticalmente, el viento actúa sobre cada conductor por separado. La carga total de viento sobre la estructura es $P_{v_total} = n \times P_v$ (donde $n = 3$ conductores: 2 fases + neutro).

B.5 Carga Resultante sobre el conductor

La carga total por unidad de longitud resulta de la composición vectorial del peso propio y la carga de viento:

$$p_{res} = \sqrt{p^2 + Pv^2} \text{ (kgf/m)}$$



Figura 30. Composición Vectorial de Cargas: Peso + Viento = Resultante.

B.6 Carga de viento sobre postes

La carga de viento sobre el poste se calcula considerando el área expuesta del fuste cónico:

$$Fv_{poste} = C_p \times d_{prom} \times q \times H \text{ (kgf)}$$

Donde: $C_p = 0,7$ (coeficiente de forma para secciones circulares), d_{prom} = diámetro promedio del fuste (m), q = presión dinámica (kgf/m^2), H = altura libre del poste (m).

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

CONDUCTOR	Diámetro d (mm)	Peso p (kgf/m)	Pv (kgf/m)	p_res (kgf/m)
A) CONDUCTOR ACSR DESNUDO (por conductor individual)				
ACSR 1/0 (Raven)	10,11	0,215	0,253	0,332
ACSR 2/0 (Quail)	11,36	0,270	0,284	0,392
B) CABLE TRENZADO CON NEUTRO DESNUDO (por haz completo)				
Dúplex 1/0 (1F+N)	~22	0,418	0,550	0,691
Tríplex 1/0 (2F+N)	~27	0,616	0,675	0,914
C) CABLE TRENZADO CON NEUTRO AISLADO				
Cuádruplex 1/0 (3F+N)	~30	0,720	0,750	1,040
Cuádruplex 2/0 (3F+N)	~36	1.056	0,900	1,408

Tabla 48. Cargas de Viento sobre Conductores BT ($V = 80 \text{ km/h}$, $q = 25 \text{ kgf/m}^2$)

En configuración 2F+N (3 conductores individuales), la carga total de viento sobre la estructura es $Pv_{total} = 3 \times Pv$. Para ACSR 1/0: $3 \times 0,253 = 0,759 \text{ kgf/m}$. Para ACSR 2/0: $3 \times 0,284 = 0,852 \text{ kgf/m}$.

Ejemplo Práctico: Cálculo de Carga de Viento en Tunja

Problema: Calcular la carga de viento y resultante para cable tríplex 1/0 AWG en zona de Tunja (2.800 msnm).

Datos: $d = 27 \text{ mm}$, $p = 0,616 \text{ kgf/m}$, $V = 80 \text{ km/h}$, $h = 2.800 \text{ m}$

Paso 1 – Densidad del aire: $\rho = 1,225 \times e^{(-2800/8500)} = 1,225 \times 0,719 = 0,881 \text{ kg/m}^3$

Paso 2 – Presión dinámica: $q = 0,5 \times 0,881 \times (22,2)^2 = 218 \text{ Pa} = 22,2 \text{ kgf/m}^2$

Paso 3 – Carga de viento: $P_v = 1,0 \times 27 \times 22,2 \times 10^{-3} = 0,599 \text{ kgf/m}$

Paso 4 – Carga resultante: $p_{\text{res}} = \sqrt{(0,616^2 + 0,599^2)} = \sqrt{(0,3794 + 0,3588)} = \sqrt{0,7382} = 0,859 \text{ kgf/m}$

Verificación: El incremento por viento es del 39% sobre el peso propio ($0,859/0,616 = 1,39$).

Paso 5 – Carga de viento sobre estructura (vano de carga = 88 m):

$F_{v_conductor} = 0,599 \times 88 = 52,7 \text{ kgf}$

$F_{v_poste} (8 \text{ m}) = 28,0 \text{ kgf}$

$F_{v_total} = 52,7 + 28,0 = 80,7 \text{ kgf}$ (15,8% de la carga nominal del poste de 510 kgf)

NOTA:

- Usando el valor simplificado $q = 25 \text{ kgf/m}^2$: $P_v = 0,675 \text{ kgf/m}$, que es 12,7% mayor que el valor real a 2.800 msnm. El valor simplificado es conservador y seguro para diseño.

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. Para Zona III (>2.300 msnm), usar velocidad de viento de 100 km/h ($q = 35 \text{ kgf/m}^2$) en el diseño. Los valores de la Tabla 48 corresponden a 80 km/h y deben recalcularse para esta zona.

D.2. Los cables trenzados presentan una ventaja aerodinámica frente a la configuración de red abierta ACSR: ~12% menos de carga de viento total sobre la estructura para la misma capacidad eléctrica.

D.3. Para vanos largos (>150 m) con conductor ACSR en red abierta, la carga de viento sobre la estructura puede superar los 100 kgf, lo que debe considerarse en la verificación de la capacidad del poste.

D.4. En estructuras de retención expuestas, considerar factor de ráfaga de 1,3 sobre la velocidad media.

2.2.6.2. ESFUERZOS LONGITUDINALES

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Los esfuerzos longitudinales son las fuerzas que actúan en la dirección del eje de la línea, generados principalmente por el desequilibrio de tensiones entre vanos adyacentes y por las variaciones térmicas del conductor. Este subnumeral establece los criterios para calcular estos esfuerzos según el tipo de estructura y la configuración de la red de baja tensión.

Esfuerzo longitudinal (F_L): Componente de fuerza en la dirección de la línea que debe resistir la estructura, expresada en kgf.

En redes de baja tensión, el número de elementos en tensión (n) cambia según la configuración:

- Red abierta ACSR 2F+N: $n = 3$ conductores en tensión (cada uno soporta carga mecánica independiente).
- Cable trenzado (dúplex, tríplex, cuádruplex): $n = 1$ elemento en tensión (solo el neutro portante ACSR).

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Clasificación de Estructuras según Esfuerzo Longitudinal

TIPO DE ESTRUCTURA	FUNCIÓN	% TENSIÓN MÁX.	FÓRMULA F _L
Suspensión / Alineamiento	Soportar conductor	8%	$F_L = n \times 0,08 \times T_{\text{máx}}$
Ángulo menor ($\leq 30^\circ$)	Cambio dirección leve	8%	$F_L = n \times 0,08 \times T_{\text{máx}}$
Ángulo mayor ($> 30^\circ$)	Cambio dirección fuerte	15%	$F_L = n \times 0,15 \times T_{\text{máx}}$
Anclaje / Retención	Anclar tensiones	50%	$F_L = n \times 0,50 \times T_{\text{máx}}$
Terminal / Fin de línea	Extremo de línea	100%	$F_L = n \times 1,00 \times T_{\text{máx}}$

Tabla 49. Clasificación de estructuras de redes aéreas según esfuerzo longitudinal

Donde: n = número de elementos en tensión. Para red abierta ACSR 2F+N: n = 3. Para cable trenzado (dúplex, tríplex, cuádruplex): n = 1 (solo neutro portante ACSR).

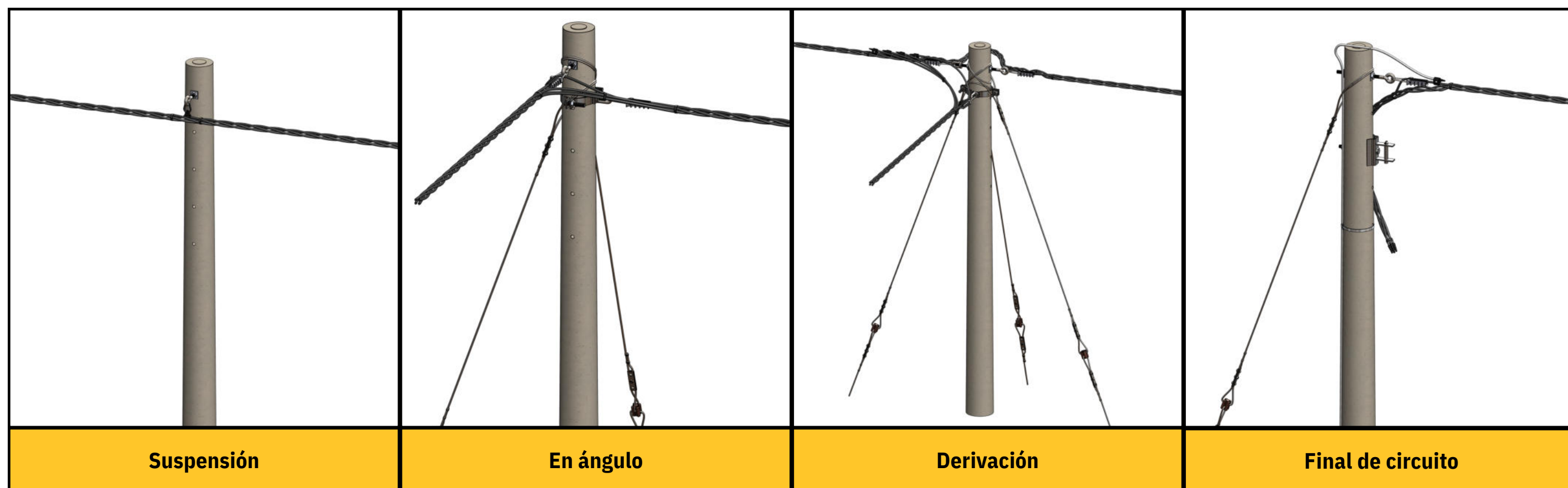


Figura 31. Tipos de Estructuras de BT según Función Mecánica.

B.2 Tensión Máxima del Conductor

La tensión máxima de trabajo se calcula como el 40% de la carga de rotura del conductor, aplicando el coeficiente de seguridad:

$$T_{\text{máx}} = T_R / CS = T_R / 2.5$$

Donde: T_R = carga de rotura del conductor (kgf), $CS = 2,5$ (coeficiente de seguridad).

CONDUCTOR	T_R (kgf)	$T_{\text{máx}} = T_R/2,5$ (kgf)	$T_{50} = T_R/2$ (kgf)	Uso típico
CONDUCTOR ACSR DESNUDO				
ACSR 1/0 AWG (Raven)	2.026	810	1.013	Red abierta
ACSR 2/0 AWG (Quail)	2.445	978	1.223	Red abierta
CABLES TRENZADOS				
1/0 AWG (Raven) – neutro desnudo	2.026	810	1.013	Dúplex/Tríplex
1/0 AWG (Raven) – neutro aislado	1.988	795	994	Cuádruplex
2/0 AWG (Raven) – neutro aislado	2.406	962	1.203	Cuádruplex

Tabla 50. Clasificación de estructuras de redes aéreas según esfuerzo longitudinal

NOTA TÉCNICA – DIFERENCIA ENTRE T_{50} Y $T_{\text{máx}}$:

T_{50} = 50% de carga de rotura: Tensión de referencia para cálculo de flechas y tablas de tendido (ver numeral 2.2.5).

$T_{\text{máx}} = T_R/2,5 = 40\%$ de carga de rotura: Tensión máxima para cálculo de esfuerzos en estructuras, aplicando coeficiente de seguridad $CS = 2$.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

CONDUCTOR	Susp. 8% (kgf)	Áng. $\leq 30^\circ$ 8% (kgf)	Áng. $> 30^\circ$ 15% (kgf)	Anclaje 50% (kgf)	Terminal 100% (kgf)
RED ABIERTA ACSR 2F+N (n = 3)					
ACSR 1/0 (Raven)	194	194	365	1.215	2.431
ACSR 2/0 (Quail)	235	235	440	1.467	2.934
CABLE TRENZADO (n = 1)					
Dúplex 1/0 (N. desn.)	65	65	122	405	810
Tríplex 1/0 (N. desn.)	65	65	122	405	810
Cuádruplex 1/0 (N. aisl.)	65	65	122	405	810
Cuádruplex 2/0 (N. aisl.)	77	77	144	481	962

Tabla 51. Esfuerzos Longitudinales

- Los valores en rojo indican esfuerzos que superan la capacidad de cualquier poste estándar de BT sin retenida. Las estructuras terminales de red abierta SIEMPRE requieren retenida.
- Los esfuerzos son idénticos para todos los tipos de cable trenzado porque el elemento portante es el mismo: ACSR 1/0 (Raven). Las fases aisladas no aportan carga mecánica longitudinal.

VENTAJA MECÁNICA DEL CABLE TRENZADO:

El cable trenzado genera exactamente 3 veces menos esfuerzo longitudinal que la red abierta ACSR equivalente, porque solo 1 elemento (el neutro portante) soporta la tensión mecánica, frente a 3 conductores independientes en la red abierta.

Implicación práctica: Con cable trenzado, una estructura terminal requiere 810 kgf – manejable con poste 12/1050. Con red abierta, la misma terminal requiere 2.431 kgf – obligando a instalar retenida en todos los casos.

Ejemplo Práctico 1: Estructura Terminal con Cable Trenzado

Problema: Determinar el esfuerzo longitudinal en una estructura terminal de red con cable cuádruplex 1/0, ubicada al final de una derivación urbana en el municipio de Sogamoso.

Datos: $T_R = 1.988 \text{ kgf}$ (mensajero ACSR aislado 1/0), $CS = 2,5$, $n = 1$ (solo mensajero portante)

Paso 1 – Tensión máxima: $T_{\text{máx}} = 1.988 / 2,5 = 795 \text{ kgf}$

Paso 2 – Esfuerzo longitudinal (100%): $F_L = 1 \times 1,00 \times 795 = 795 \text{ kgf}$

Paso 3 – Selección de poste: Se requiere poste con carga nominal $\geq 795 \text{ kgf}$. Usar poste 8/1050 ($1.050 \text{ kgf} > 795 \text{ kgf} \checkmark$).

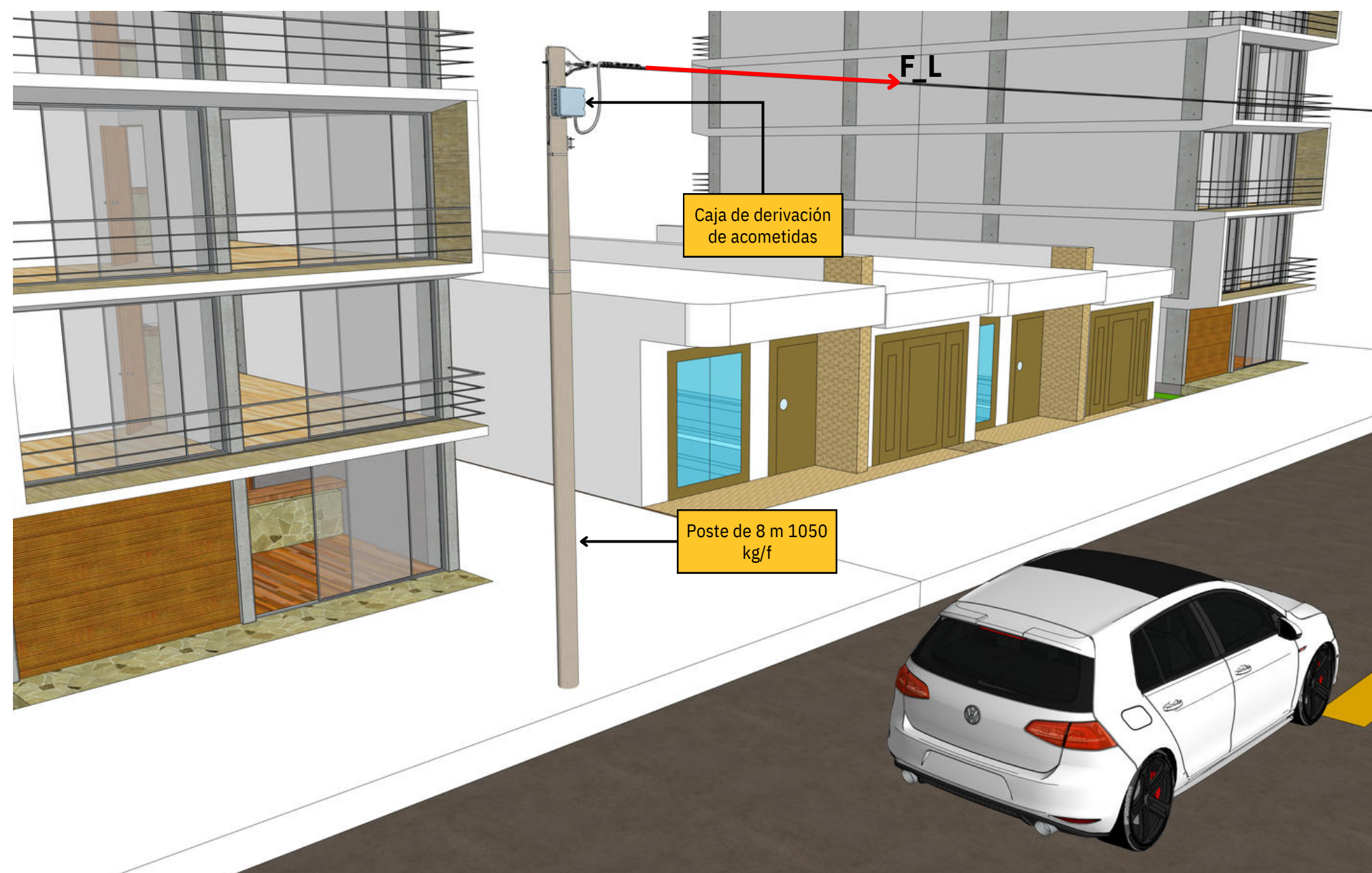


Figura 32. Ejemplo: Estructura Terminal con cable Multiplex en el sector Urbano.

Ejemplo Práctico 2: Estructura Terminal con Red Abierta ACSR

Problema: Determinar el esfuerzo longitudinal en una estructura terminal con conductor ACSR 1/0 en configuración red abierta 2F+N, ubicada al final de una alimentación rural en el municipio de Tuta.

Datos: $T_R = 2.026$ kgf (ACSR 1/0), $CS = 2,5$, $n = 3$ (2 fases + neutro, cada uno en tensión)

Paso 1 – Tensión máxima: $T_{\text{máx}} = 2.026 / 2,5 = 810$ kgf

Paso 2 – Esfuerzo longitudinal (100%): $F_L = 3 \times 1,00 \times 810 = 2.431$ kgf

Paso 3 – Selección de poste: El esfuerzo de 2.431 kgf supera la capacidad de TODOS los postes estándar de BT (máximo 1.050 kgf). Se DEBE instalar retenida en dirección opuesta a la línea. La retenida debe dimensionarse para resistir al menos $F_L = 2.431$ kgf.

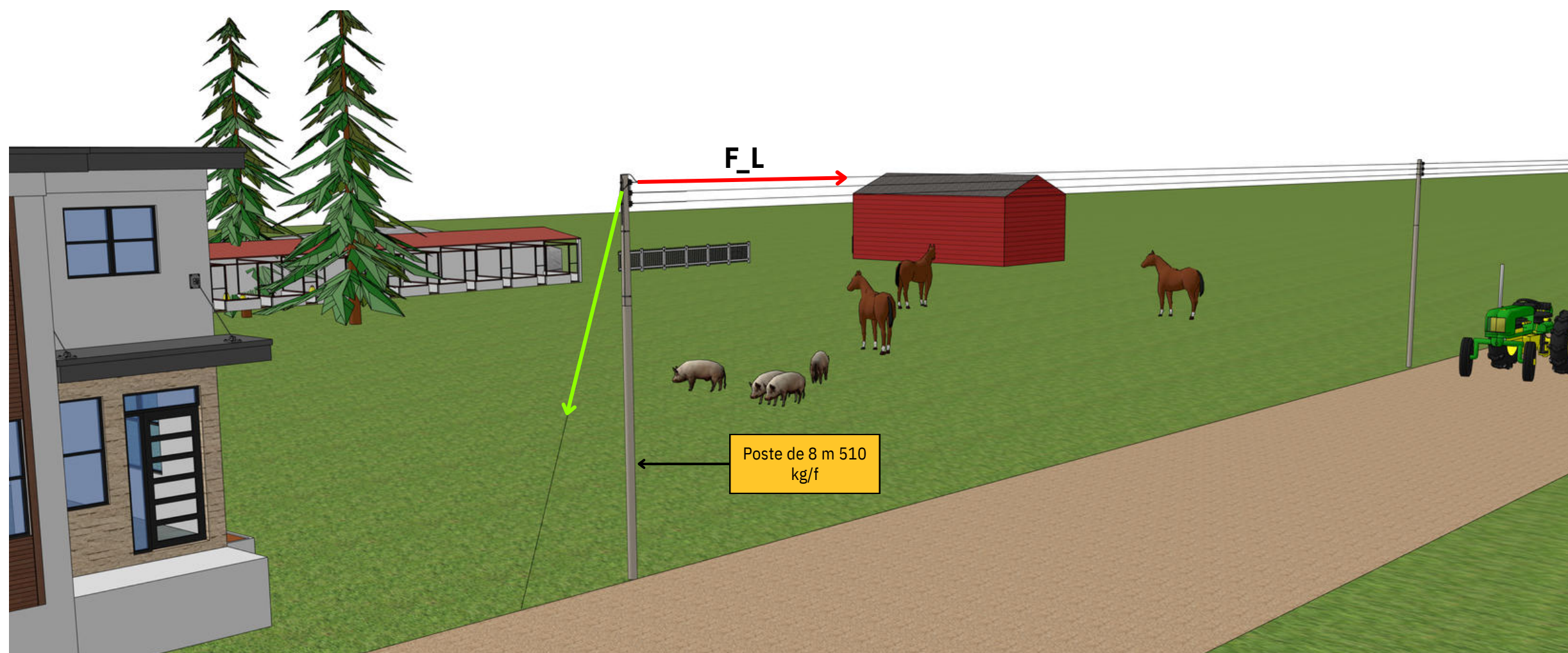


Figura 33. Ejemplo: Terminal de Red Abierta sector Rural.

Ejemplo Práctico 3: Estructura de Anclaje en Cantón Rural

Problema: Verificar si un poste 8/510 puede servir como anclaje intermedio para cable cuádruplex 1/0 con neutro ACSR, al final de un cantón de 4 vanos urbanos.

Datos: $T_{\text{máx}} = 810 \text{ kgf}$ (mensajero ACSR 1/0), $n = 1$, tipo = anclaje (50%)

Paso 1 – Esfuerzo longitudinal: $F_L = 1 \times 0,50 \times 810 = 405 \text{ kgf}$

Paso 2 – Verificación: Poste 8/510: carga nominal = 510 kgf > 405 kgf ✓

Conclusión: El poste 8/510 es suficiente para anclaje de cable trenzado sin necesidad de retenida. Si fuera red abierta ACSR 1/0: $F_L = 3 \times 0,50 \times 810 = 1.215 \text{ kgf}$, se requeriría poste 12/1050 con retenida.

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. En estructuras terminales de red abierta ACSR, siempre instalar retenida en dirección opuesta a la línea. La retenida debe dimensionarse para resistir el 100% de F_L .

D.2. En estructuras terminales de cable trenzado, es posible utilizar un poste 12/1050 sin retenida ($F_L = 810 \text{ kgf} < 1.050 \text{ kgf}$). Sin embargo, cuando existan condiciones de viento adicionales, se recomienda instalar retenida como medida de seguridad.

D.3. En terrenos con pendiente superior al 15%, reducir la distancia entre anclajes un 20%.

D.4. Verificar que el esfuerzo longitudinal no supere el 40% de la capacidad nominal del poste sin retenida, para mantener un margen de seguridad frente a esfuerzos combinados (longitudinal + transversal por viento).

NOTA:

- Los esfuerzos longitudinales determinan en gran medida el tipo de estructura requerida y la necesidad de retenidas. En baja tensión, la diferencia entre cable trenzado y red abierta ACSR es drástica: el cable trenzado genera exactamente 3 veces menos esfuerzo longitudinal porque solo un elemento (el neutro portante) soporta la carga mecánica, frente a tres conductores independientes en la red abierta.

Esta diferencia tiene implicaciones prácticas importantes: con cable trenzado, las estructuras de suspensión, ángulo y anclaje pueden resolverse con postes estándar de baja capacidad (8/510) sin retenida, las terminales con poste 12/1050 sin retenida. Con red abierta ACSR, las estructuras de anclaje y terminal invariablemente requieren retenida o postes de alta capacidad.

2.2.6.3. ESFUERZOS POR CAMBIO DE DIRECCIÓN DE LÍNEA

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Cuando una línea cambia de dirección, se genera una fuerza resultante transversal en la estructura de ángulo debido a la componente de las tensiones de los conductores. Este subnumeral establece la metodología para calcular esta fuerza resultante según el ángulo de deflexión, diferenciando entre las configuraciones de red abierta ACSR y cable trenzado propias de baja tensión.

Fuerza de ángulo (F_A): Resultante de las tensiones de los conductores en una estructura donde la línea cambia de dirección, expresada en kgf. Esta fuerza actúa en la dirección de la bisectriz del ángulo exterior.

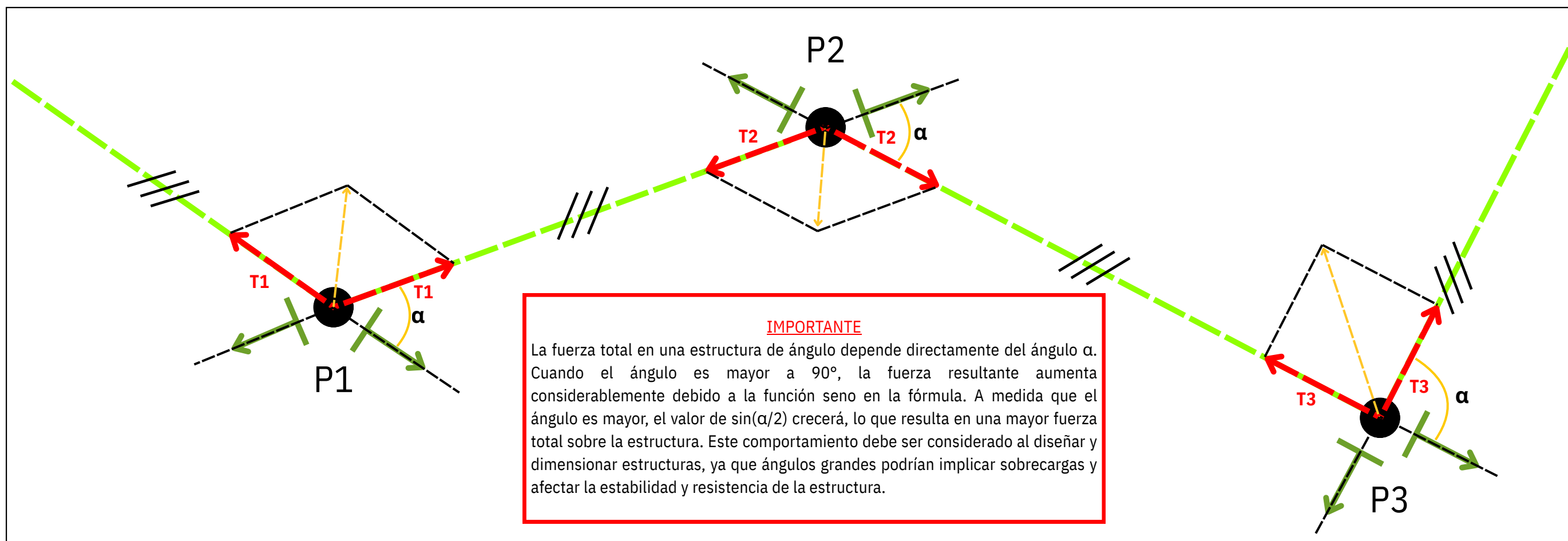


Figura 34. Geometría y Cálculo de la Fuerza de Ángulo en Red de BT.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Fuerza Resultante por Cambio de Dirección

La fuerza resultante en una estructura de ángulo se calcula mediante:

$$F_A = 2 \times T \times \text{sen}(\alpha/2)$$

Donde: F_A = fuerza resultante por cambio de dirección (kgf), T = tensión del conductor o mensajero (kgf), α = ángulo de deflexión de la línea (grados).

B.2 Fuerza Total en Estructura de Ángulo

La fuerza total depende del número de elementos en tensión:

$$F_A \text{ total} = n \times 2 \times T_{\text{máx}} \times \text{sen}(\alpha/2)$$

Donde: n = número de elementos en tensión mecánica: Red abierta ACSR 2F+N: $n = 3$. Cable trenzado: $n = 1$.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

ÁNGULO α (°)	$\alpha/2$ (°)	$\text{sen}(\alpha/2)$	Factor $2 \times \text{sen}(\alpha/2)$
5	2,5	0,044	0,087
10	5,0	0,087	0,174
15	7,5	0,131	0,261
20	10,0	0,174	0,347
30	15,0	0,259	0,518
45	22,5	0,383	0,765
60	30,0	0,500	1,000
90	45,0	0,707	1,414

Nota: A 60° el factor = 1,000, lo que significa que la fuerza de ángulo iguala la tensión del conductor. A 90° la supera en 41%.

Tabla 52. Factor de Ángulo $2 \times \text{sen}(\alpha/2)$ para Ángulos Típicos

ÁNGULO α (°)	FACTOR	F_A (kgf)	TIPO DE ESTRUCTURA
≤ 5	0,087	71	Suspensión
10	0,174	141	Ángulo
15	0,261	212	Ángulo
20	0,347	281	Ángulo
30	0,518	420	Retención
45	0,765	620	Retención
60	1,000	810	Retención
90	1,414	1.146	Retención especial

Tabla 53. Fuerzas de Ángulo – CABLE TRENZADO (Mensajero ACSR 1/0, T_{máx} = 810 kgf, n = 1)

Todos los tipos de cable trenzado (dúplex, tríplex, cuádruplex) producen la misma fuerza de ángulo porque el elemento en tensión es idéntico: mensajero ACSR 1/0.

ÁNGULO α (°)	FACTOR	F_A (kgf)	TIPO DE ESTRUCTURA
≤ 5	0,087	212	Suspensión
10	0,174	424	Ángulo
15	0,261	635	Ángulo
20	0,347	844	Ángulo
30	0,518	1.259	Retención
45	0,765	1.861	Retención
60	1,000	2.431	Retención
90	1,414	3.438	Retención especial

Tabla 54. Fuerzas de Ángulo – RED ABIERTA ACSR 1/0 (T_{máx} = 810 kgf, n = 3)

ÁNGULO α (°)	FACTOR	F_A (kgf)	TIPO DE ESTRUCTURA
≤ 5	0,087	256	Suspensión
10	0,174	511	Ángulo
15	0,261	766	Ángulo
20	0,347	1.019	Ángulo
30	0,518	1.519	Retención
45	0,765	2.246	Retención
60	1,000	2.934	Retención
90	1,414	4.149	Retención especial

Tabla 55 .Fuerzas de Ángulo – RED ABIERTA ACSR 2/0 ($T_{\text{máx}} = 978$ kgf, $n = 3$)

Ejemplo Práctico: Ángulo 20° con Cuádruplex en Zona Urbana

Problema: Una red de baja tensión con cable cuádruplex 1/0 debe cambiar de dirección 20° en una esquina urbana del municipio de Duitama. Determinar la fuerza de ángulo y la estructura necesaria.

Datos: $\alpha = 20^\circ$, $T_{\text{máx}} = 810$ kgf (mensajero ACSR 1/0), $n = 1$

Paso 1 – Factor de ángulo: $2 \times \sin(20^\circ/2) = 2 \times \sin(10^\circ) = 2 \times 0,174 = 0,347$

Paso 2 – Fuerza de ángulo: $F_A = 1 \times 810 \times 0,347 = 281$ kgf

Paso 3 – Selección: Poste 8/510 (510 kgf > 281 kgf \checkmark).

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. Para ángulos menores de 5° con cable trenzado, puede usarse estructura de suspensión.

D.2. En ángulos entre 5° y 30° con cable trenzado, no se requiere retenida.

D.3. Para ángulos entre 30° y 60° con cable trenzado, usar poste de mayor capacidad. La retenida es recomendable pero no siempre obligatoria si el poste tiene capacidad suficiente.

D.4. En ángulos superiores a 60° con cable trenzado (o superiores a 25° con red abierta ACSR), siempre instalar retenida en la bisectriz del ángulo exterior. La retenida debe dimensionarse para resistir al menos el 100% de F_A .

D.5. Considerar la división de ángulos grandes en dos giros menores cuando la geometría del terreno lo permita. Esto puede evitar la instalación de retenidas en zonas urbanas donde el espacio es limitado.

D.6. Un cantón no debe contener más de 2 estructuras de ángulo. Si se requieren más cambios de dirección, intercalar estructuras de anclaje.

D.7. En estructuras de ángulo con red abierta ACSR, verificar que la separación entre conductores se mantiene después del cambio de dirección para evitar acercamientos peligrosos entre fases.

2.2.6.4. ESFUERZOS POR LEVANTAMIENTO EN ZONAS DEPRESIVAS

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

En terrenos con depresiones o cambios bruscos de pendiente, el conductor puede ejercer una fuerza vertical hacia arriba sobre la estructura intermedia, denominada esfuerzo de levantamiento. Este subnumeral establece los criterios para identificar y calcular esta condición crítica, especialmente relevante en la topografía montañosa del departamento de Boyacá.

Esfuerzo de levantamiento (F_{lev}): Componente vertical de la tensión del conductor que actúa hacia arriba sobre una estructura ubicada en un punto más bajo que los apoyos adyacentes.

La verificación de levantamiento es particularmente importante en redes de baja tensión, donde la topografía irregular de Boyacá (valles, quebradas, cambios abruptos de pendiente) es frecuente en las zonas rurales donde se tienden las redes de BT.

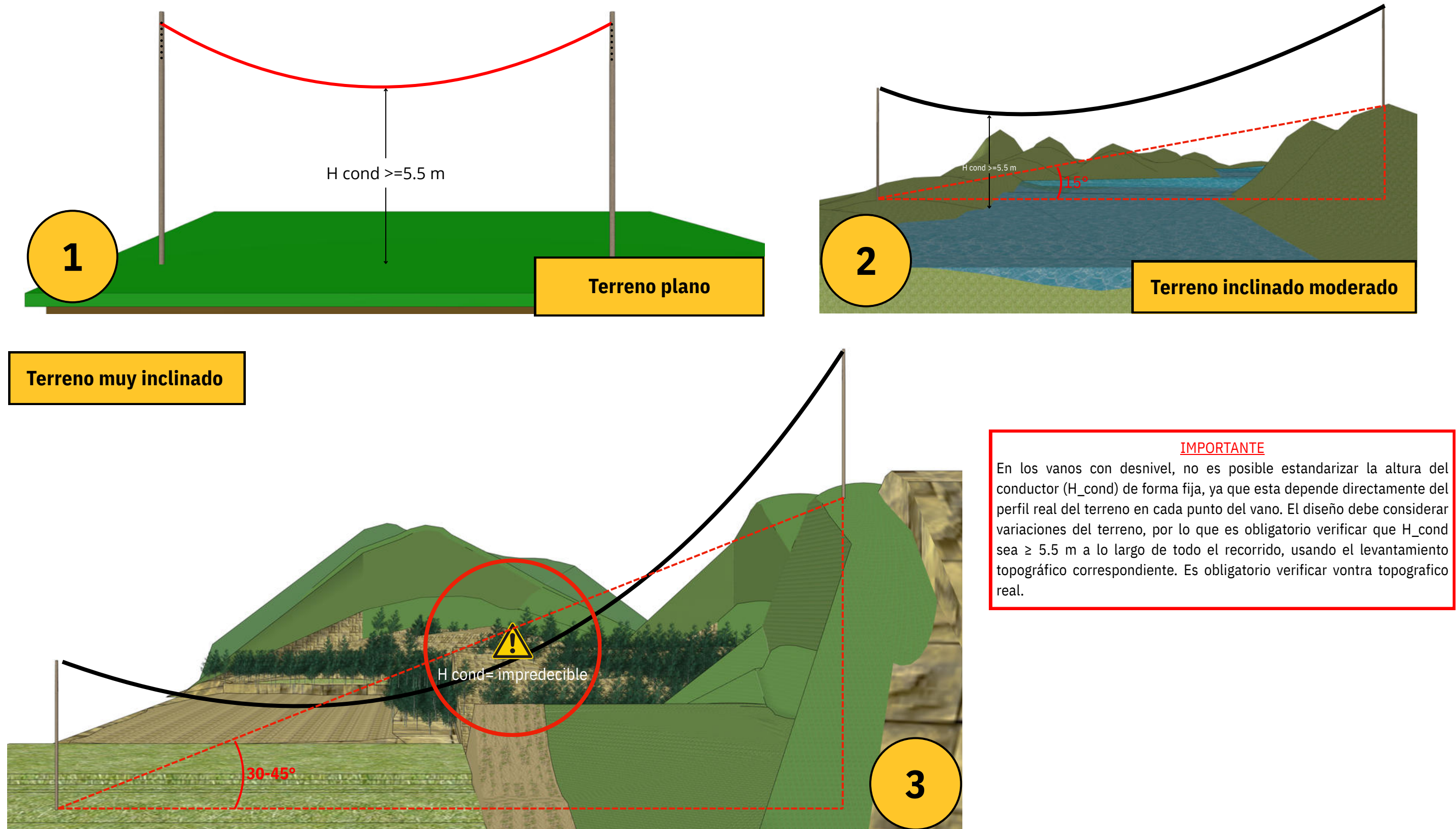
B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1 ¿Cuándo Ocurre el Levantamiento?

El levantamiento ocurre cuando la estructura intermedia B está ubicada significativamente más baja que las estructuras adyacentes A y C. Visualmente, es como si el conductor formara una «carpa» o «tienda de campaña» sobre el poste B, en lugar de colgar hacia abajo como en la situación normal.

Los escenarios típicos donde puede presentarse levantamiento en redes de BT en Boyacá son:

- Cruces de quebradas o ríos pequeños con poste intermedio en el cauce.
- Cambios bruscos de pendiente en zonas rurales montañosas.
- Hondonadas o depresiones del terreno entre dos puntos altos.
- Descensos hacia veredas ubicadas en fondos de valle.



IMPORTANTE

En los vanos con desnivel, no es posible estandarizar la altura del conductor (H_{cond}) de forma fija, ya que esta depende directamente del perfil real del terreno en cada punto del vano. El diseño debe considerar variaciones del terreno, por lo que es obligatorio verificar que H_{cond} sea $\geq 5.5 \text{ m}$ a lo largo de todo el recorrido, usando el levantamiento topográfico correspondiente. Es obligatorio verificar vontra topografico real.

Figura 35. Escenarios Típicos de Levantamiento en el sector Rural.

B.2 Regla Práctica de Verificación

Para verificación rápida en campo, se utiliza el criterio simplificado:

$$\text{REGLA DE ORO: } \Delta h \leq 2 \times f_{\text{máx}}$$

Donde:

- Δh = Diferencia de altura entre el poste B y el promedio de las alturas de A y C.
- $f_{\text{máx}}$ = Flecha máxima del vano más largo adyacente, calculada a la temperatura máxima de 30°C.

⚠ SI $\Delta h > 2 \times f_{\text{máx}} \rightarrow$ ¡EXISTE RIESGO DE LEVANTAMIENTO!

La flecha debe evaluarse a 30°C (temperatura máxima de diseño), NO a 15°C (temperatura de tendido).

A 30°C la tensión del conductor disminuye por expansión térmica, aumentando la flecha. La verificación a esta temperatura es conservadora porque utiliza la flecha más desfavorable para esta condición.

B.3. Soluciones cuando Existe Riesgo de Levantamiento

Cuando se detecta riesgo de levantamiento, se pueden aplicar las siguientes soluciones:

- 1. Aumentar altura del poste B:** Usar poste más alto (10 m o 12 m en lugar de 8 m) para que el punto de amarre quede por encima del nivel crítico. Esta solución es efectiva cuando el desnivel excede el límite por un margen pequeño.
- 2. Reducir longitud de vanos:** Agregar postes intermedios para disminuir la flecha y el efecto de levantamiento. Vanos más cortos producen flechas menores, reduciendo el $\Delta h_{\text{máx}}$ necesario. Esta solución es la más común en zonas rurales.
- 3. Eliminar poste B (vano largo A–C):** Hacer un vano largo desde A hasta C, evitando el punto bajo. Esta solución es viable cuando la distancia A–C no excede el vano máximo permitido y la flecha resultante cumple con la distancia mínima al suelo de 5,5 m.
- 4. Usar estructura de retención en B:** Si debe existir poste en B, usar aisladores de retención (no suspensión) y cimentación reforzada. Los aisladores de retención sujetan el conductor mecánicamente, impidiendo que se levante.
- 5. Instalar contrapesos:** En casos extremos, agregar peso adicional al poste o anclas de cimentación hacia abajo para contrarrestar la fuerza de levantamiento.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

CONDUCTOR	Vano (m)	f_máx a 30°C (m)	$\Delta h_{\text{máx}} = 2 \times f_{\text{máx}}$ (m)
ACSR 1/0 (Raven)	80	0,20	0,39
ACSR 1/0 (Raven)	100	0,31	0,61
ACSR 1/0 (Raven)	120	0,44	0,88
ACSR 1/0 (Raven)	133	0,54	1,08
ACSR 1/0 (Raven)	150	0,69	1,37
ACSR 2/0 (Quail)	80	0,25	0,51
ACSR 2/0 (Quail)	100	0,39	0,79
ACSR 2/0 (Quail)	116	0,53	1,05
ACSR 2/0 (Quail)	135	0,71	1,42

Tabla 56. Desniveles Máximos Permitidos para Verificación de Levantamiento - Conductor ACSR desnudo

CABLE	Vano (m)	f_máx a 30°C (m)	$\Delta h_{\text{máx}} = 2 \times f_{\text{máx}}$ (m)
Dúplex 1/0	50	0,16	0,31
Dúplex 1/0	80	0,40	0,79
Dúplex 1/0	107	0,70	1,41
Tríplex 1/0	50	0,23	0,46
Tríplex 1/0	70	0,44	0,89
Tríplex 1/0	88	0,70	1,39

Tabla 57. Desniveles Máximos Permitidos para Verificación de Levantamiento - Cable trenzado con neutro portante ACSR 1/0

Ejemplo Práctico 1: Cruce de Quebrada con Tríplex

Problema: Una red de BT con cable tríplex 1/0 debe cruzar una quebrada en una vereda del municipio de Cómbita. Las cotas topográficas son: A = 2.550 m, B = 2.547 m, C = 2.552 m. Vanos: $a_1 = 60$ m, $a_2 = 75$ m.

Pregunta: ¿Se puede ubicar un poste de suspensión en el punto B (fondo de la quebrada)?

Paso 1 – Calcular promedio de A y C: $h_{\text{prom}} = (2.550 + 2.552) / 2 = 2.551$ m

Paso 2 – Calcular desnivel: $\Delta h = h_{\text{prom}} - h_B = 2.551 - 2.547 = 4$ metros

Paso 3 – Determinar límite: Vano más largo = 75 m. De la Tabla 2.2.6.4-1 (interpolando entre 70 y 88 m para tríplex): $f_{\text{máx}} \text{ a } 30^\circ\text{C} \approx 0,51$ m $\rightarrow \Delta h_{\text{máx}} = 2 \times 0,51 = 1,02$ m

Paso 4 – Comparar: $\Delta h = 4$ m $>$ $\Delta h_{\text{máx}} = 1,02$ m

⚠ CONCLUSIÓN: EXISTE RIESGO DE LEVANTAMIENTO.

No se puede usar estructura de suspensión en el punto B.

El desnivel de 4 m excede ampliamente el límite de 1,02 m (3,9 veces mayor).

Ejemplo Práctico 2: Caso Favorable con Cuádruplex

Problema: Una red urbana con cuádruplex 1/0 en el municipio de Sogamoso desciende hacia una calle con leve depresión. Cotas: A = 2.575 m, B = 2.574,5 m, C = 2.575,5 m. Vanos: $a_1 = 55$ m, $a_2 = 60$ m. ¿Existe riesgo?

Paso 1 – Promedio: $h_{\text{prom}} = (2.575 + 2.575,5) / 2 = 2.575,25$ m

Paso 2 – Desnivel: $\Delta h = 2.575,25 - 2.574,5 = 0,75$ m

Paso 3 – Límite: Vano mayor = 60 m \rightarrow De Tabla 2.2.6.4-1: $f \text{ a } 30^\circ\text{C} = 0,43$ m $\rightarrow \Delta h_{\text{máx}} = 2 \times 0,43 = 0,86$ m

Paso 4 – Comparar: $\Delta h = 0,75$ m $<$ $\Delta h_{\text{máx}} = 0,86$ m \checkmark

✓ CONCLUSIÓN: NO EXISTE RIESGO DE LEVANTAMIENTO.

El desnivel de 0,75 m está dentro del límite permitido de 0,86 m.

Se puede utilizar estructura de suspensión estándar en el punto B.

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. Identificar zonas depresivas (quebradas, hondonadas, cambios de pendiente) durante el levantamiento topográfico inicial. Esta verificación debe realizarse antes de la ubicación definitiva de postes.

D.2. En terrenos muy irregulares típicos de Boyacá, usar vanos más cortos para evitar condiciones de levantamiento. Vanos más cortos producen flechas proporcionalmente menores, reduciendo el riesgo.

D.3. Si no es posible evitar el levantamiento, usar estructuras de retención con cimentación reforzada en el punto crítico. Los aisladores de suspensión NUNCA deben usarse en estructuras con riesgo de levantamiento.

D.4. Los cables trenzados (dúplex, tríplex, cuádruplex) son naturalmente más tolerantes al levantamiento gracias a su mayor peso por metro, que produce flechas mayores y por tanto toleran desniveles más grandes.

SECCIÓN

2.2.7 COMPONENTES MECÁNICOS: POSTES,
AISLADORES Y RETENIDAS



2.2.7.1. CÁLCULO MECÁNICO DE POSTES

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Este subnumeral establece los criterios para la selección y verificación mecánica de postes de concreto en redes aéreas de baja tensión, integrando los esfuerzos calculados en el numeral 2.2.6 (viento, longitudinal, cambio de dirección y levantamiento) con las características mecánicas de los postes normalizados de EBSA.

Se definen los siguientes conceptos fundamentales:

- Altura útil ($H_{\text{útil}}$): Porción del poste por encima del nivel del suelo, disponible para el montaje de ferretería, conductores y equipos auxiliares.
- Esfuerzo nominal (EN): Carga lateral máxima que el poste puede soportar a 10 cm de la cima, expresada en kgf.
- Coeficiente de seguridad: Factor de 2,5 que relaciona la carga de rotura del poste con la carga de trabajo admisible (EN).

En redes de baja tensión, la selección de postes se simplifica significativamente, especialmente cuando se utiliza cable trenzado (dúplex, tríplex, cuádruplex): al tener un solo elemento en tensión mecánica (el neutro portante ACSR), los esfuerzos sobre la estructura son hasta 3 veces menores que con red abierta ACSR. Esto permite el uso de estructuras estandarizadas sin necesidad de cálculos iterativos complejos en la mayoría de los casos.

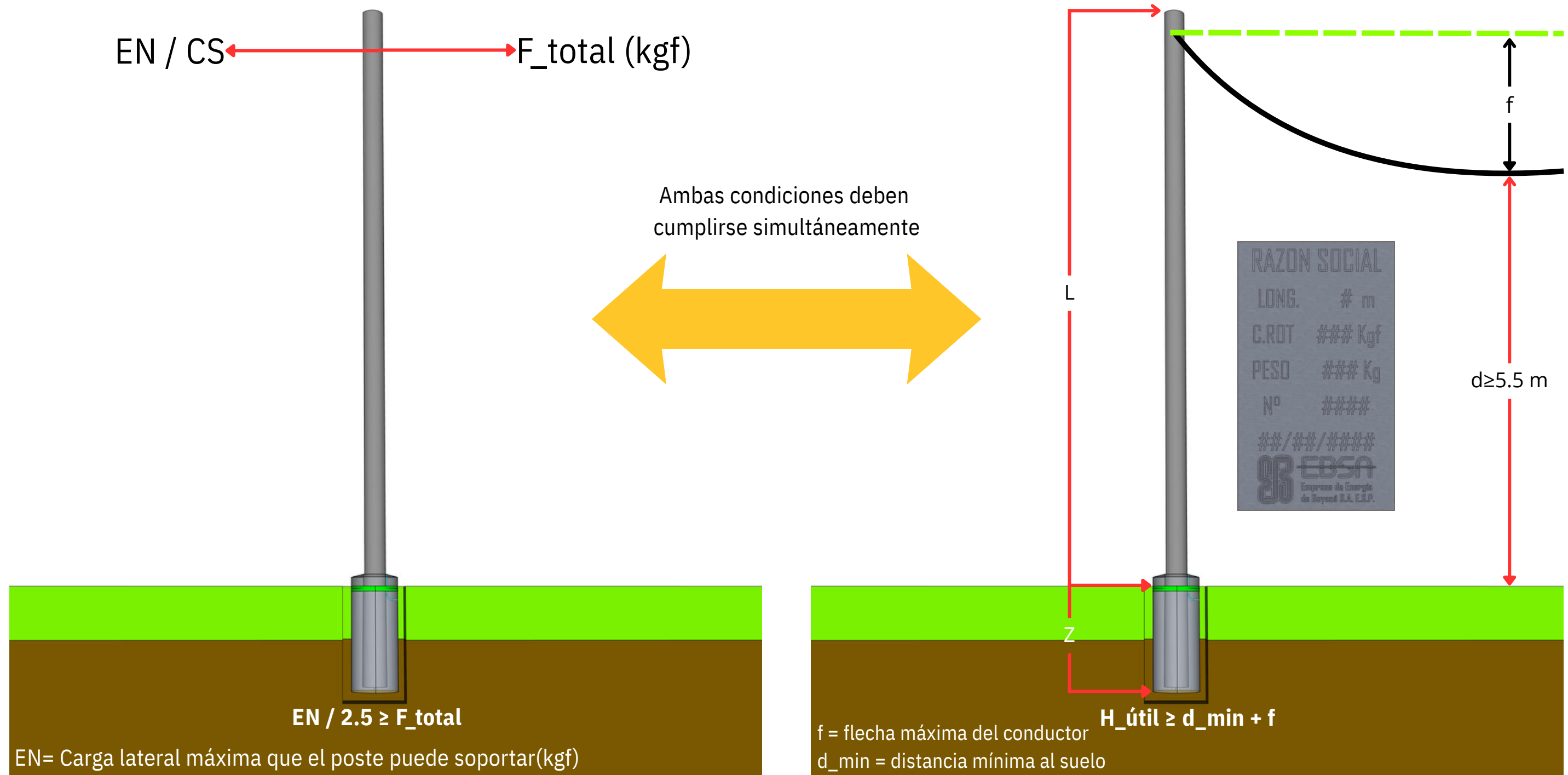


Figura 36: Nomenclatura y Dimensiones del Poste de Concreto para BT.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Determinación de la Altura Total del Poste

La altura total del poste (H) se selecciona considerando:

- Distancia mínima conductor-suelo: 5,5 m según RETIE para redes de BT (todas las zonas).
- Flecha máxima del conductor en condición de máxima temperatura.
- Espacio para equipos auxiliares (luminarias, transformadores si aplica).
- Cruces con vías, edificaciones u otras redes.

La altura total del poste (H) se determina sumando:

$$H = H_{\text{empotramiento}} + H_{\text{útil}}$$

La profundidad de empotramiento se calcula como:

$$H_{\text{empotramiento}} = 10\% \times H + 0.50 \text{ m}$$

POSTE	H total (m)	EN (kgf)	Empotramiento (m)	H útil (m)	Aplicación típica
8/510	8,0	510	1,4	6,7	Alineamiento, ángulo trez.
8/750	8,0	750	1,4	6,7	Ángulo >30° trez.
10/510	10,0	510	1,6	8,5	Alineamiento cruce vía
10/750	10,0	750	1,6	8,5	Ángulo red abierta
12/750	12,0	750	1,80	10,3	Derivaciones, transición
12/1050	12,0	1.050	1,80	10,3	Terminal trez., anclaje RA

Tabla 58. Selección de postes para redes aéreas de baja tensión

B.2. Verificación del Esfuerzo Nominal

El esfuerzo nominal requerido (EN) debe ser menor o igual al esfuerzo nominal del poste seleccionado:

$$\text{EN}_{\text{requerido}} \leq \text{EN}_{\text{poste}}$$

El esfuerzo nominal requerido se determina como la combinación más desfavorable de las fuerzas calculadas en el numeral 2.2.6:

$$\text{EN}_{\text{requerido}} = F_V + F_L + F_A$$

Donde:

- F_V = Fuerza transversal por viento sobre conductores y poste (numeral 2.2.6.1).
- F_L = Fuerza longitudinal según tipo de estructura (numeral 2.2.6.2).
- F_A = Fuerza por cambio de dirección en estructuras de ángulo (numeral 2.2.6.3).

Criterio de combinación de fuerzas: Las fuerzas F_V (transversal por viento) y F_A (transversal por ángulo) actúan en planos perpendiculares. F_L (longitudinal) actúa en la dirección de la línea. Para la verificación simplificada de BT, se puede usar la suma directa (conservadora) o la resultante vectorial:

$$\text{Resultado vectorial} = \sqrt{(F_V + F_{\text{viento_poste}})^2 + F_A^2} + F_L$$

En la mayoría de los casos de BT con cable trenzado, las fuerzas son suficientemente pequeñas para que la suma directa no cambie la selección del poste.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

TIPO ESTRUCTURA	F_V cond. (kgf)	F_V poste (kgf)	F_L (kgf)	F_A (kgf)	α	EN req. (kgf)	POSTE MÍN.
Alineamiento	59	28	65	0	0°	152	8/510
Ángulo 10°	59	28	65	141	10°	242	8/510
Ángulo 20°	59	28	65	281	20°	360	8/510
Ángulo 30°	59	28	65	420	30°	493	8/510
Ángulo 45°	59	28	65	620	45°	698	8/750
Anclaje	59	28	405	0	0°	492	8/510
Terminal	59	50	810	0	0°	920	12/1050

Tabla 59. Resumen de Fuerzas para Selección de Postes – CABLE TRENZADO (n = 1)

Vano de carga = 88 m (tríplex 1/0). F_V conductor = $0,675 \times 88 = 59$ kgf. F_V poste 8 m = 28 kgf, poste 12 m = 50 kgf. EN req. calculado como suma directa (conservadora). Fuente: Numeral 2.2.6.

TIPO ESTRUCTURA	F_V cond. (kgf)	F_V poste (kgf)	F_L (kgf)	F_A (kgf)	α	EN req. (kgf)	POSTE MÍN.
Alineamiento	114	28	194	0	0°	336	8/510
Ángulo 10°	114	28	194	424	10°	622	8/750
Ángulo 20°	114	28	194	844	20°	1.042	12/1050
Ángulo 30°	114	28	194	1.259	30°	1.457	Retenida
Anclaje	114	28	1.215	0	0°	1.357	Retenida
Terminal	114	50	2.431	0	0°	2.595	Retenida

Vano de carga = 150 m (ACSR 1/0). F_V conductor = $3 \times 0,253 \times 150 = 114$ kgf. Los valores en rojo exceden la capacidad de todos los postes normalizados sin retenida.

Tabla 60. Resumen de Fuerzas para Selección de Postes – RED ABIERTA ACSR 1/0 (n = 3)

TIPO DE ESTRUCTURA	ALTURAS (m)	RESISTENCIA (kgf)	RETENIDA	OBSERVACIÓN
Alineamiento (0°–5°)	8, 10, 12	510	NO	EN req. \approx 152 kgf << 510 kgf
Ángulo 5°–30°	8, 10, 12	510	NO	EN req. \leq 493 kgf < 510 kgf
Ángulo 30°–60°	8, 10, 12	750 / 1.050	NO	EN req. \leq 810 kgf; usar 8/750 o 12/1050
Anclaje / Retención	8, 10, 12	510	NO	EN req. = 492 kgf < 510 kgf
Terminal / Fin de circuito	12	1.050	NO	EN req. = 920 kgf < 1.050 kgf
Retención con derivación	10, 12	1.050	NO	Verificar F combinada de 2 circuitos
Transición a red abierta	10, 12	1.050	NO	Cambio de tipo de sujeción

Tabla 61. Estructuras para ZONA URBANA – Red Trenzada (autoportantes)

TIPO DE ESTRUCTURA	ALTURAS (m)	RESISTENCIA (kgf)	RETENIDA	OBSERVACIÓN
Alineamiento / Paso	8, 10, 12	510	NO	-
Ángulo 5°–30°	8, 10, 12	510 / 1.050	SÍ	Retenida en bisectriz del ángulo
Retención final de circuito	8, 10, 12	510 / 1.050	SÍ	Retenida opuesta a la línea
Retención con derivación	8, 10, 12	510 / 1.050	SÍ	Retenida según resultante
Transición a red abierta	8, 10, 12	510 / 1.050	SÍ	-

Tabla 62. Estructuras para ZONA RURAL – Red Trenzada

TIPO DE ESTRUCTURA	ALTURAS (m)	RESISTENCIA (kgf)	RETENIDA	OBSERVACIÓN
Alineamiento / Paso	8, 10, 12	510	NO	Aisladores
Suspensión	8, 10, 12	510	NO	Aisladores
Ángulo 5°–30°	8, 10, 12	510 / 1.050	SÍ	Retenida en bisectriz
Retención / Anclaje	8, 10, 12	510 / 1.050	SÍ	F_L = 1.215 kgf (1/0) → retenida
Terminal	8, 10, 12	510 / 1.050	SÍ	F_L = 1.215 kgf (1/0) → retenida

Tabla 63. Estructuras para ZONA RURAL – Red Abierta ACSR

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. Usar postes de 10 m o 12 m en cruces de vías principales o cuando se requiera mayor altura libre.

D.2. En zona urbana, las estructuras de retención y terminales son autoportantes: usar poste 12/1050 para terminal (EN = 920 kgf < 1.050 kgf) y poste 8/510 para anclaje (EN = 492 kgf < 510 kgf).

D.3. En zona rural, verificar disponibilidad de espacio para retenida antes de seleccionar el poste. Cuando no haya espacio, incrementar la capacidad del poste.

D.4. Para estructuras compartidas BT + Alumbrado Público, usar mínimo poste de 10 m

2.2.7.2. CÁLCULO Y DISEÑO DE AISLADORES

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Este subnumeral establece los criterios para la selección y aplicación de aisladores en redes aéreas de Baja Tensión, considerando:

- **Aislador tipo carrete:** Elemento estándar para red abierta y trenzada, diseñado para esfuerzos transversales y moderados.
- **Aislador tipo tensor:** Elemento de uso exclusivo en templetas (retenidas), con función mecánica de aislamiento.
- **Grapas de suspensión y retención:** Elementos de sujeción para red trenzada, que no requieren aisladores tradicionales.

En redes de BT, los aisladores cumplen una función tanto eléctrica (aislamiento del conductor respecto a la estructura) como mecánica (soporte de cargas de viento y tensión del conductor).

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1 Aislador de Porcelana Tipo Carrete

El aislador tipo carrete es el elemento estándar de la red aérea de baja tensión con conductores desnudos (red abierta) y red trenzada. Se permite bajo los siguientes criterios:

- Es adecuado para esfuerzos transversales y moderados, propios de la configuración normal de la red.
- Se emplea en redes de distribución eléctrica en baja tensión y sistemas de sujeción de conductores.
- Se monta directamente sobre pernos o soportes metálicos fijados al poste.

NOTA:

- El aislador tipo carrete NO está diseñado para absorber esfuerzos longitudinales elevados; no debe utilizarse como elemento principal de retención.

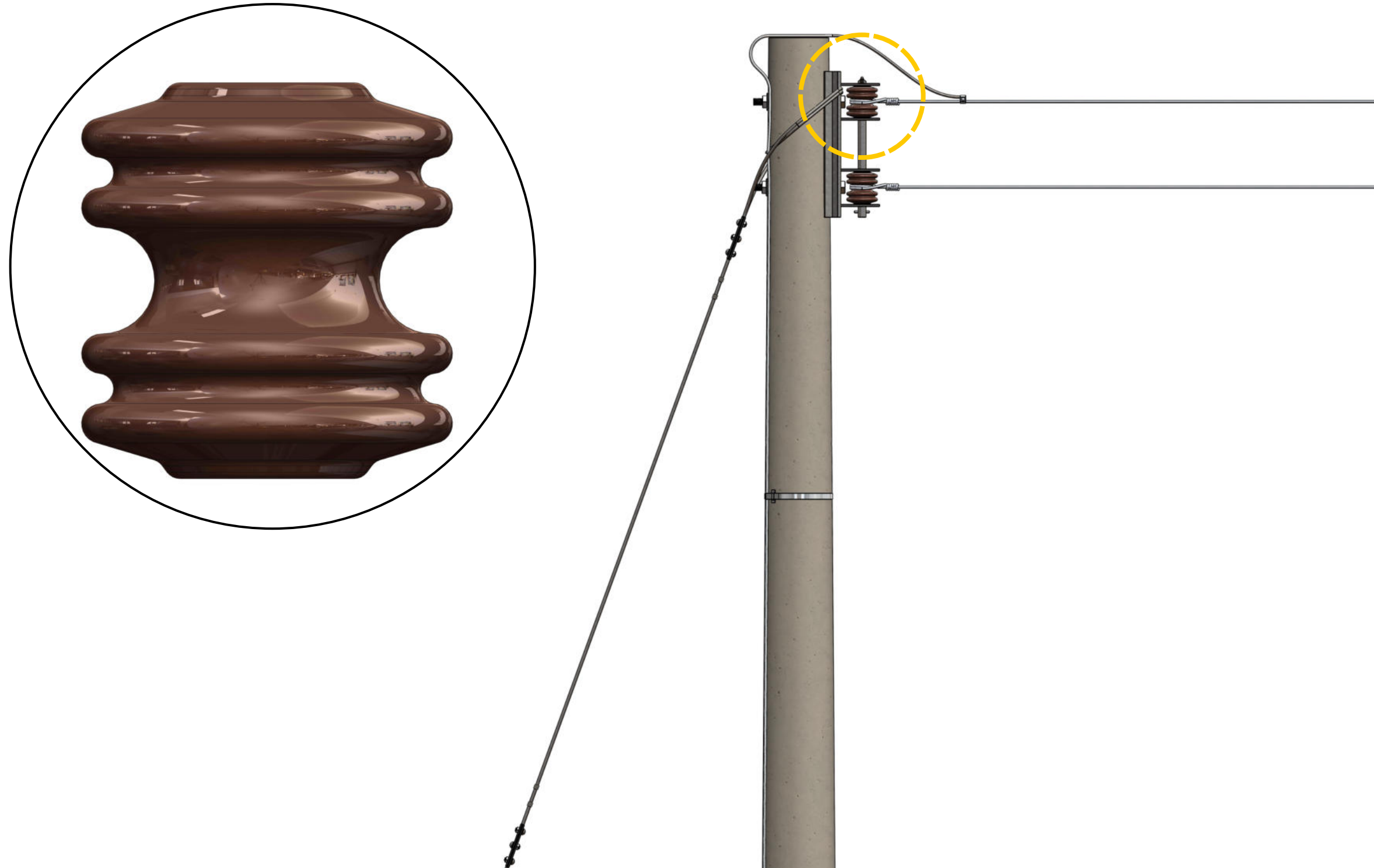


Figura 37. Aislador de porcelana tipo carrete.

B.2 Aislador de Porcelana Tipo Tensor

El aislador de porcelana tipo tensor, en redes aéreas de baja tensión, se permite ÚNICAMENTE para la conformación de templetas (retenidas):

- Su función en Baja Tensión es exclusivamente mecánica: interrumpir la continuidad eléctrica del cable de acero de la retenida.
- Se asocia a templetas de anclaje y elementos de estabilización de postes.
- NO se utiliza como aislador de línea ni para soporte directo de conductores de la red.

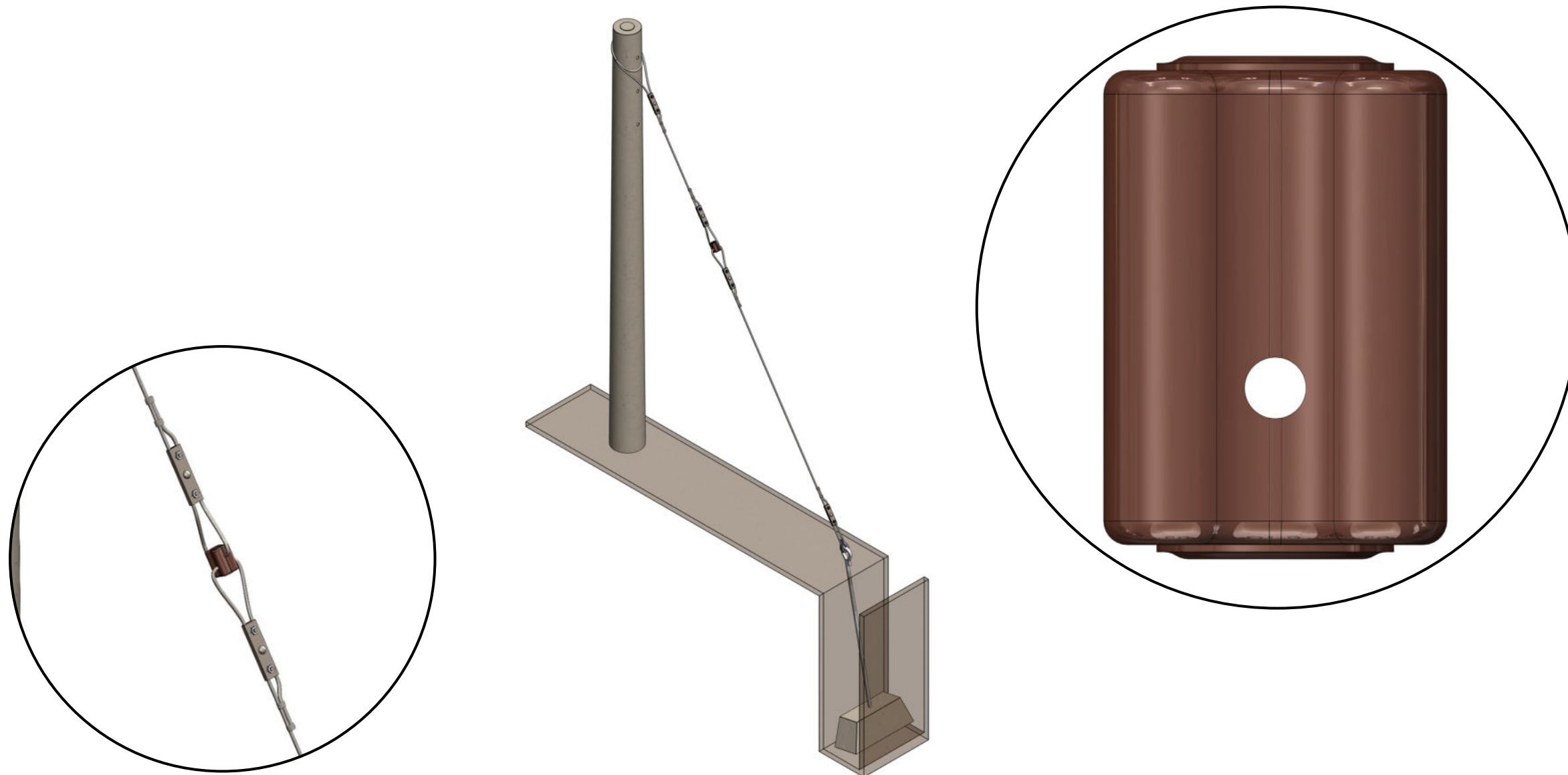


Figura 38. Aislador de porcelana tipo tensor.

B.3 Elementos de Sujeción para Red Trenzada

- Grapa de suspensión: Para estructuras de alineación. Para redes aéreas de baja tensión en zona urbana y rural con conductores preensamblados, su instalación se realiza en postes de concreto.
- Grapa de retención (anclaje): Para estructuras terminales y de ángulo mayor. Sujeción segura de cables en postes y estructuras. Fija el cable sin deslizamiento. La grapa de retención aislada tiene limitación mecánica y no debe utilizarse en vanos superiores a 50 m.

• **Selección según tipo de neutro (para garantizar el cumplimiento de los requisitos de seguridad y resistencia mecánica):**

- Cuando el neutro sea desnudo y las fases aisladas se debe instalar grapa recta para soportar adecuadamente los esfuerzos mecánicos, especialmente en vanos superiores a 50 m.
- Cuando el neutro sea aislado se debe utilizar:
 - Grapa aislada (en vanos ≤ 50 m).
 - Amarres preformados.

NOTA:

- En zona rural para distancias mayores a 40 metros es necesario cambiar la grapa de suspensión por un aislador de porcelana tipo carrete baja tensión para mayor seguridad.

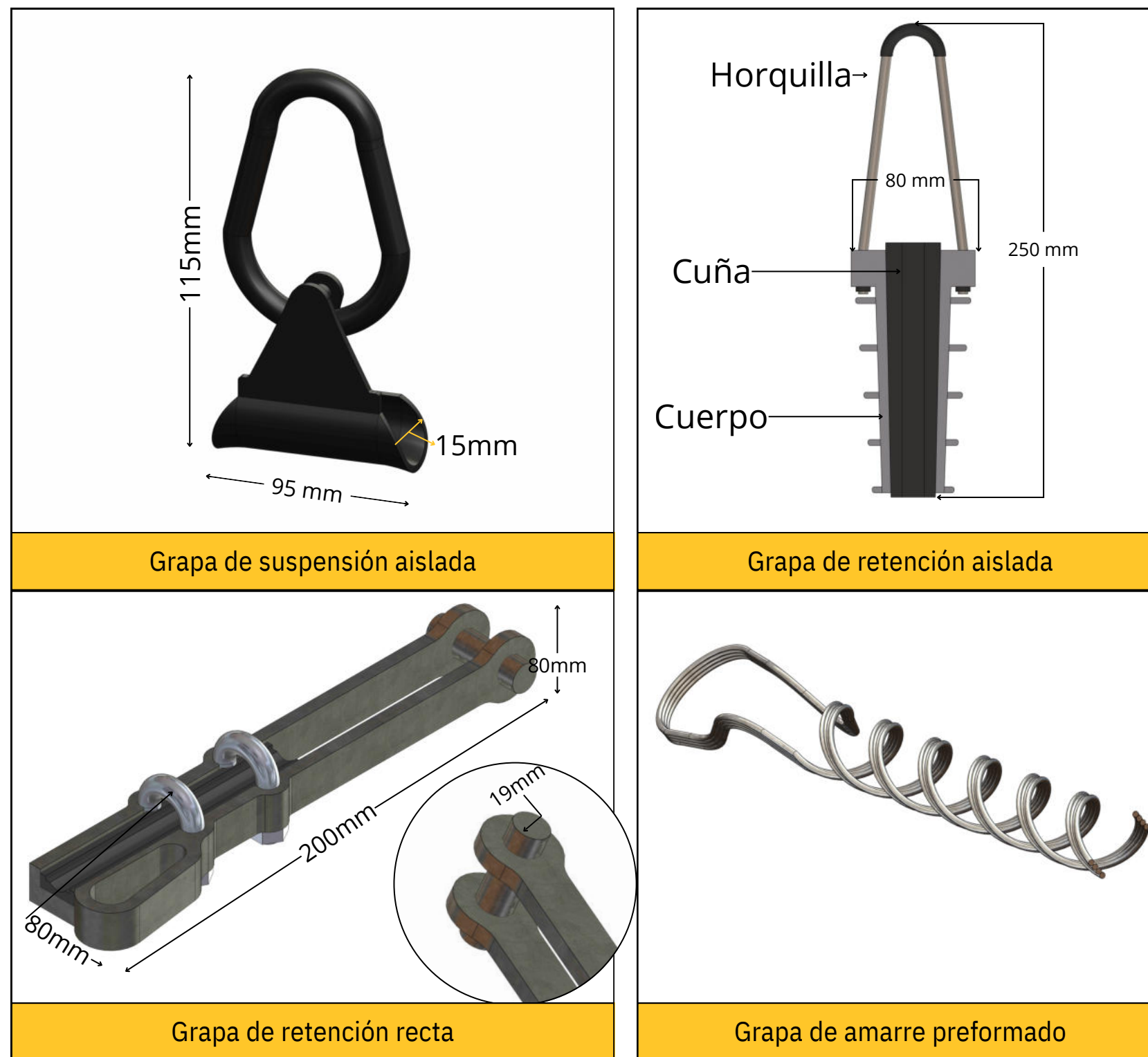


Figura 39. Grapa de suspensión aislada, Grapa de retención aislada, Grapa de retención recta, Grapa de amarre Premoldeada.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

Parámetro	Carrete Simple	Carrete Doble
Tensión nominal	600 V	600 V
Carga de rotura	400 kgf	800 kgf
Línea de fuga mínima	25 mm	50 mm
Tipo de estructura	Suspensión	Ángulo, terminal
Norma de referencia	ANSI C29.5	ANSI C29.5

Tabla 64. Especificaciones de Aisladores Tipo Carrete para BT

Parámetro	Especificación	Observaciones
Material	Porcelana vidriada	Color marrón o gris
Carga de rotura mínima	1,000 kgf	Factor de seguridad 2.5
Tensión de flameo en seco	≥ 10 kV	Sobretensiones atmosféricas
Altura mínima instalación	2.5 m desde el suelo	Seguridad peatonal
Uso permitido	Templetes (retenidas)	Función mecánica exclusiva

Tabla 65. Especificaciones de Aislador Tipo Tensor para Templetes

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- D.1.** En red abierta, usar aisladores tipo carrete doble en estructuras de ángulo y terminales donde los esfuerzos son mayores.
- D.2.** Verificar que los aisladores no presenten fisuras, astilladuras o pérdida de vidriado antes de su instalación.
- D.3.** El aislador tipo tensor debe instalarse a mínimo 2.5 m de altura desde el suelo para evitar contacto accidental.
- D.4.** En zonas de alta contaminación industrial, considerar aisladores con mayor línea de fuga.
- D.5.** Las grapas de retención deben ser compatibles con el calibre específico del cable (1/0 o 2/0 AWG).
- D.6.** No reutilizar aisladores que hayan sido sometidos a esfuerzos de cortocircuito o descargas atmosféricas.

2.2.7.3. TIPOLOGÍA Y CÁLCULO DE RETENIDAS

A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

La retenida (o templete) es un elemento de estabilización cuya función principal es contrarrestar los esfuerzos mecánicos longitudinales y transversales generados por la tensión de los conductores, cambios de dirección, terminaciones de circuito o condiciones ambientales como viento y sobrecarga. En redes de Baja Tensión en zona rural, las retenidas se utilizan en:

- Estructuras de paso con ángulo: Cuando la fuerza de cambio de dirección supera la capacidad del poste 510 kgf.
- Estructuras de retención final de circuito: Donde el poste absorbe el 100% de la tensión del conductor.
- Estructuras de retención con derivación: Puntos de derivación de circuitos.
- Estructuras de transición: Cambio de red trenzada a red abierta.

Nota: Las retenidas en redes de Baja Tensión aplican únicamente en zona rural.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1 Cálculo de la Tensión en la Retenida

El presente numeral establece el cálculo para determinar la tensión mecánica que actúa sobre la retenida instalada en el poste. A partir de la fuerza resultante aplicada a la estructura y considerando el ángulo de inclinación respecto a la horizontal, se calcula la carga real que debe soportar el cable de retenida. Este cálculo permite verificar que el sistema de anclaje trabaje dentro de condiciones estructuralmente seguras y acordes con el diseño mecánico adoptado.

$$T_{\text{retenida}} = F_R / \cos(\theta)$$

Donde:

T_{retenida} = Tensión en la retenida (kgf)

F_R = Fuerza resultante sobre el poste (kgf)

θ = ángulo de la retenida respecto a la horizontal (óptimo 45°)

B.2 Verificación del Cable de Acero

Una vez determinada la tensión en la retenida, se debe comprobar que el cable de acero seleccionado tenga la capacidad mecánica suficiente para resistir dicha carga, aplicando el coeficiente de seguridad correspondiente. Esta verificación garantiza que el elemento de retención opere con un margen adecuado frente a esfuerzos máximos, evitando fallas por sobrecarga y asegurando la estabilidad estructural del conjunto poste–retenida.

$$T_{R_cable} \geq T_{\text{retenida}} \times 2.5$$

Donde:

T_{R_cable} = Tensión de Rotura del cable de acero (kgf)

T_{retenida} = Tensión en la retenida (kgf)

Coeficiente de seguridad = 2.5

B.3. Tipos de retenida

Su correcta selección, diseño e instalación garantizan la estabilidad del poste, la integridad estructural de la red y la seguridad operativa del sistema de distribución. Para redes de baja tensión se contemplan, entre otras, las siguientes configuraciones:

- **Retenida terminal o en ángulo a tierra:** Se emplea en estructuras terminales o en apoyos donde existe cambio de dirección del conductor. El esfuerzo es transferido directamente desde el poste hacia un anclaje enterrado, mediante cable de acero galvanizado y accesorios de sujeción certificados. Es la configuración estándar para absorber esfuerzos longitudinales significativos.

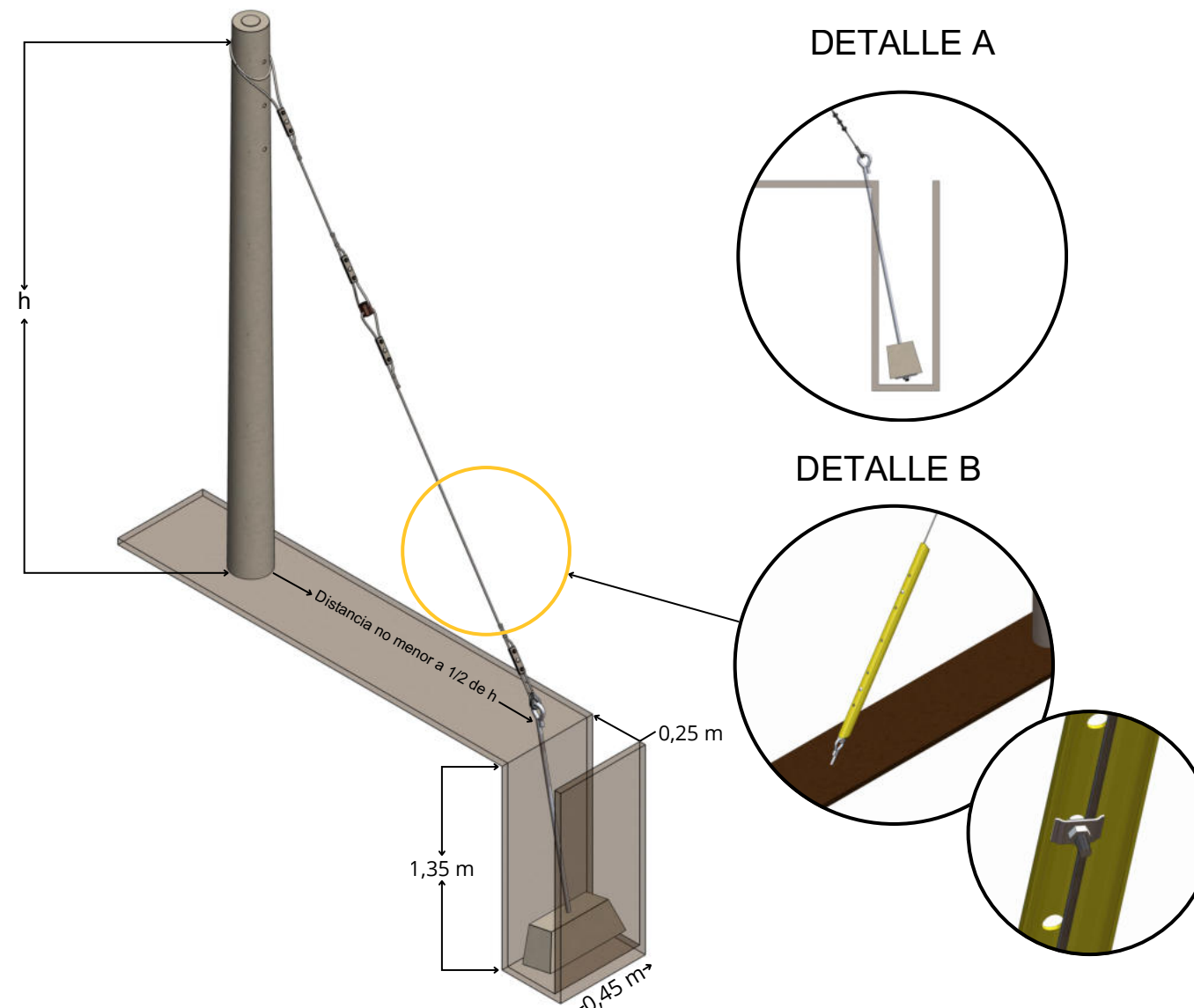


Figura 40. Retenida terminal o en ángulo a tierra para baja tensión.

Figura x. Retenida terminal o en ángulo a tierra para baja tensión

- **Retenida terminal con cuerda de guitarra:** Se utiliza cuando se requiere mejorar la distribución del esfuerzo mecánico o cuando la geometría de la estructura exige una conexión intermedia antes del descenso al anclaje. Incorpora un tramo vertical adicional (denominado comúnmente “cuerda de guitarra”) que permite una mejor alineación de fuerzas y facilita el control de tensiones en estructuras específicas.

La aplicación de cada tipo dependerá del análisis mecánico de la estructura, el ángulo de desvío de la línea, el tipo de conductor y las condiciones de carga consideradas en el diseño.

B.4. Señalización de retenidas: En estructuras retenidas, los templetes deben contar con un elemento de protección, seguridad y señalización, como lo es un protector guarda de señalización, su objetivo es incrementar la visibilidad diurna y nocturna de los cables de retenida, reduciendo el riesgo de accidentes para peatones, ciclistas y vehículos.

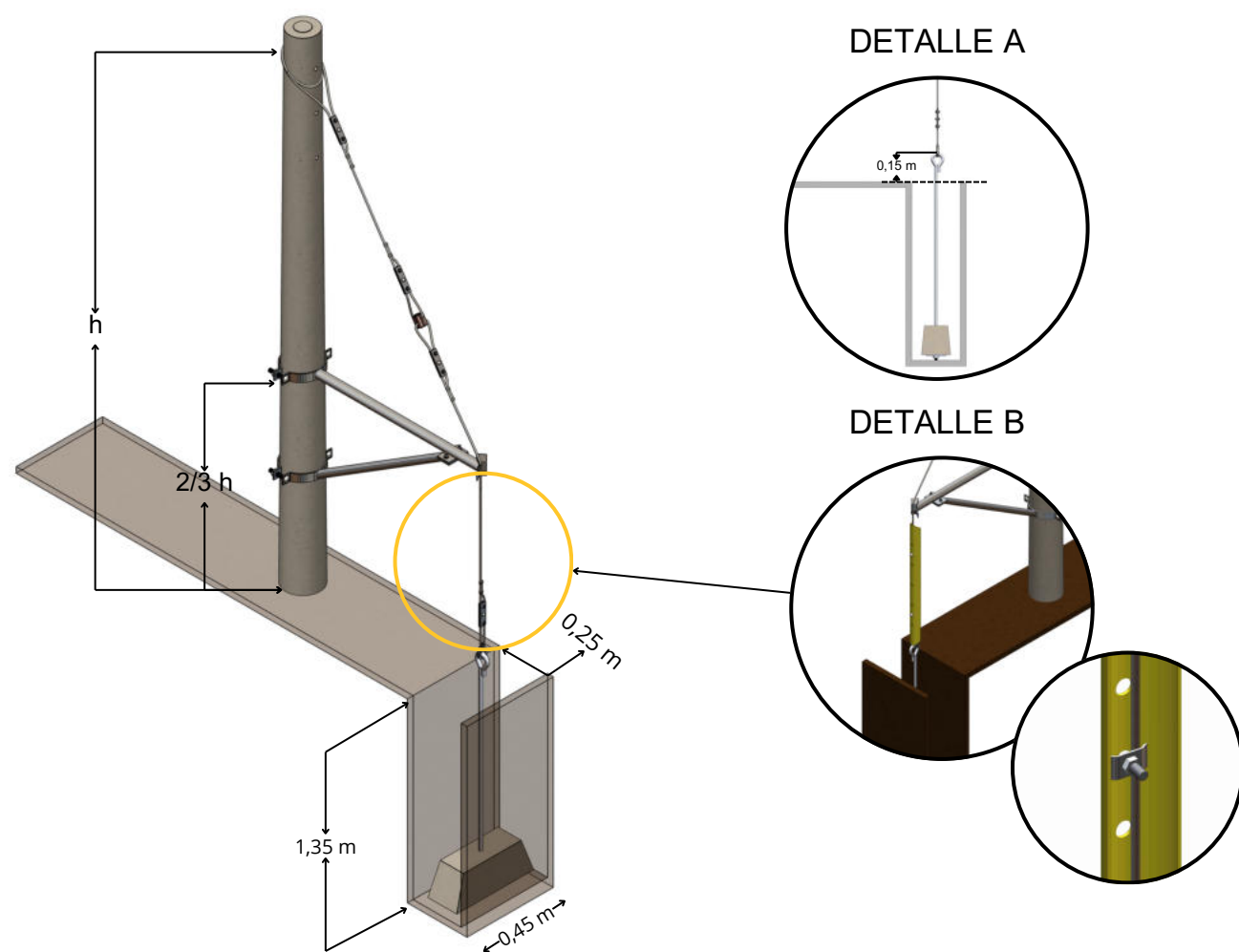


Figura 41. Retenida terminal con cuerda de guitarra para baja tensión.

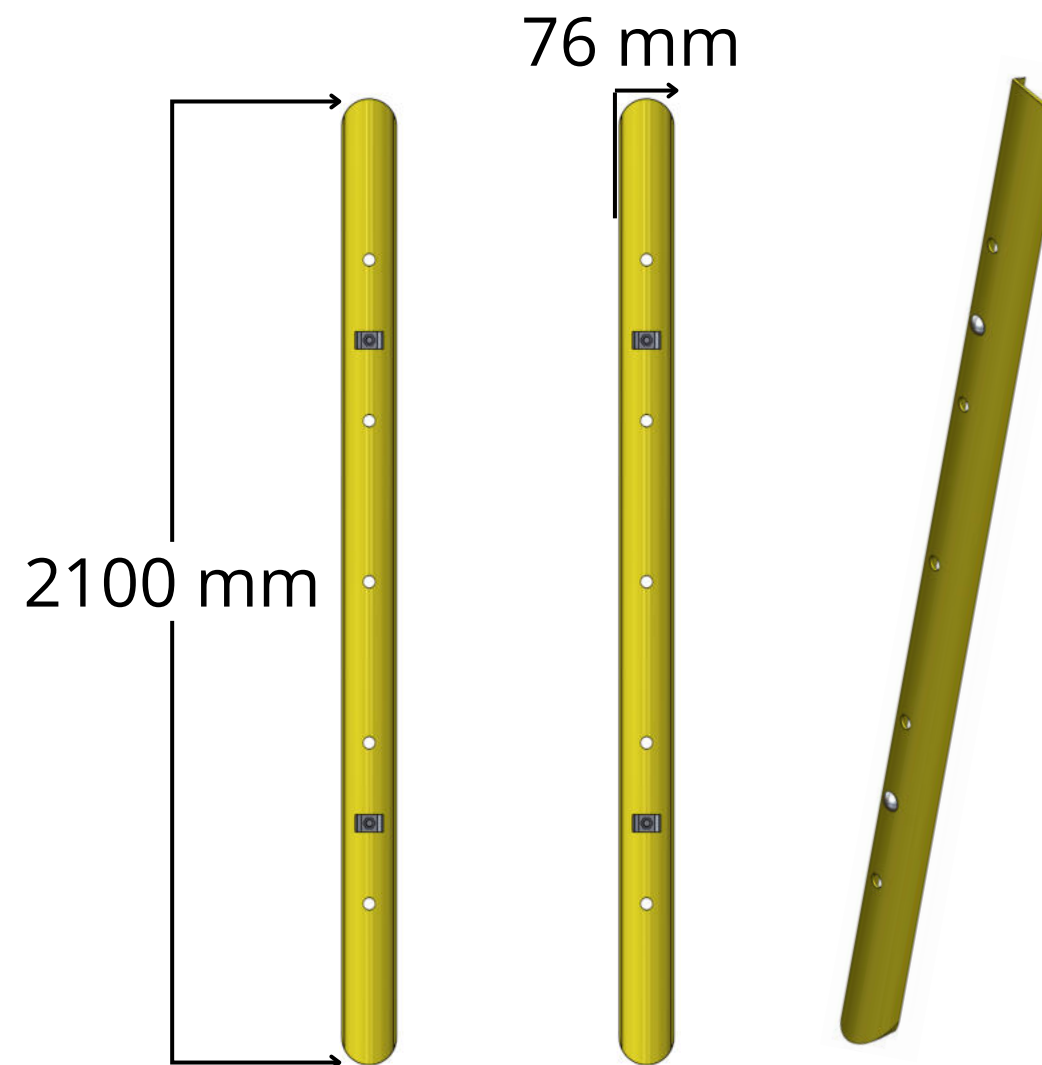


Figura 42. Protector guarda de señalización para retenidas.

C) TABLA DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

Tipo	Aplicación	Ventajas
Retenida a tierra (ángulo a tierra)	Cuando hay espacio para anclar en el suelo	Menor costo, instalación simple
Retenida con cuerda de guitarra	Sin espacio lateral, obstáculos en vía	No requiere espacio lateral

Tabla 66. Tipos de Retenida Normalizados

Parámetro	TE-1001 (A tierra)	TE-1002 (Guitarra)
Distancia horizontal del anclaje	$\geq h/2$ (mitad altura poste)	N/A (vertical)
Ángulo respecto a horizontal	45° (óptimo)	N/A
Altura del puntal de compresión	N/A	$2/3 \times h$
Altura mínima grapa superior	0.15 m desde extremo	0.15 m desde extremo
Altura mínima aislador tensor	2.5 m desde suelo	2.5 m desde suelo

Tabla 67. Dimensiones Geométricas de Instalación

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- D.1.** La distancia mínima $h/2$ garantiza un ángulo de retenida cercano a 45° (óptimo mecánicamente).
- D.2.** En suelos blandos o con nivel freático alto, aumentar profundidad de cimentación a 1.50 m.
- D.3.** En estructuras terminales, la retenida debe estar en dirección opuesta a la línea.
- D.4.** Verificar servidumbres y permisos antes de instalar anclajes en predios privados.
- D.5.** No instalar retenidas sobre vías vehiculares; usar configuración de guitarra.
- D.6.** El cable de acero debe instalarse sin empalmes en toda su longitud.