

## **Normativa Técnica para el Diseño de Estructuras de Soporte y Subestaciones Tipo Poste conforme al RETIE**

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) establece requisitos específicos para la instalación de estructuras de soporte en redes de distribución aérea y subestaciones tipo poste en Colombia, enfocados en garantizar la seguridad y estabilidad estructural.

### **Estructuras de Soporte en Redes Aéreas (Artículo 3.20.4)**

Las estructuras que soportan redes de distribución aérea, como torres, postes de concreto, postes metálicos, madera, y materiales poliméricos reforzados, deben estar certificadas y cumplir con estrictos criterios de diseño y seguridad:

1. **Resistencia a la Rotura:** Todas las estructuras deben tener una tensión de rotura mínima que supere la suma de las tensiones mecánicas generadas por los esfuerzos aplicados, multiplicada por un factor de seguridad. Este cálculo debe considerar la carga total de los cables de la red y cualquier otro elemento que interactúe con la estructura. En caso de modificación de la configuración original, el responsable debe verificar la conformidad con este requisito.
2. **Materiales Especiales y Aplicación en Áreas de Difícil Acceso:** Se permite el uso de postes de materiales como metal y polímeros reforzados, con resistencias de 250 a 510 kgf, en lugares de difícil acceso y con baja concentración de personas. Estas estructuras deben probarse en laboratorios para garantizar su adecuación a las condiciones ambientales del sitio de instalación.
3. **Postes para Áreas Rurales de Baja Circulación:** En zonas rurales con baja afluencia de personas, se permite el uso de postes de hasta 7 m de altura para redes secundarias y 6 m para acometidas aisladas, siempre que cumplan con la resistencia mínima de 250 kgf.
4. **Prohibiciones y Criterios de Seguridad:** No se permite el uso de postes de madera para soportar transformadores, y cualquier poste o cruceta que presente defectos estructurales (fisuras o deterioro) debe ser retirado o reemplazado.
5. **Altura e Interdistancias para Alumbrado Público:** En áreas urbanas y semiurbanas, las estructuras deben tener alturas e interdistancias adecuadas para soportar sistemas de alumbrado público, cumpliendo con los requisitos del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).
6. **Ubicación y Conexión a Tierra:** Los postes deben ubicarse en zonas peatonales o franjas de infraestructura pública, evitando las calzadas de tráfico vehicular. Además, se requiere una conexión a tierra en postes de concreto o metálicos, excepto en sistemas de baja tensión, para mitigar riesgos de descargas eléctricas.

### **Requisitos para Subestaciones Tipo Poste (Artículo 3.23.3)**

Las subestaciones con transformadores montados sobre postes deben cumplir las siguientes condiciones estructurales y de seguridad:

1. Carga de Rotura según Potencia del Transformador: En áreas urbanas, se permite la instalación de transformadores en un solo poste, siempre que este cumpla con los valores mínimos de carga de rotura. Para transformadores de hasta 112.5 kVA, se requiere una resistencia de rotura mínima de 510 kgf, mientras que para unidades de hasta 250 kVA, el poste debe soportar al menos 1050 kgf.
2. Protección Contra Sobrecorrientes y Sobretensiones: Toda subestación tipo poste debe incluir protección contra sobrecorrientes y dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) en el lado primario, instalados en proximidad a los bujes del transformador para prevenir daños por picos de tensión.
3. Conexión a Tierra del Transformador: El neutro y la carcasa del transformador deben estar conectados a tierra de forma sólida y diferenciada entre los sistemas de media y baja tensión, para garantizar seguridad y evitar fallos operacionales.
4. Consideraciones Adicionales para Instalaciones Existentes: Para instalaciones previas a la vigencia del reglamento que presenten riesgos de contacto accidental con partes energizadas, se deben implementar medidas correctivas para evitar incidentes.
5. Normativa de Urbanismo: En áreas urbanas, debe evitarse el uso de estructuras de doble poste para transformadores, por razones estéticas y de movilidad. También se recomienda atender la normativa de planeamiento urbano para minimizar el impacto visual y asegurar una integración adecuada en el espacio público.

### **Normativa Técnica para el Diseño Estructural de Apoyos y Postes Eléctricos en Colombia conforme a las NTC**

En Colombia, las Normas Técnicas Colombianas (NTC) regulan los aspectos técnicos y constructivos para el diseño de apoyos y postes eléctricos en redes de distribución y transmisión, cubriendo desde las especificaciones de materiales hasta los requerimientos de resistencia mecánica y protección ambiental. Estas normativas buscan garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia de las estructuras empleadas en infraestructuras eléctricas, tanto en áreas urbanas como rurales, bajo diversas condiciones ambientales. A continuación, se detallan los aspectos clave de cada NTC aplicable al diseño y uso de apoyos y postes eléctricos:

1. **NTC 1329:** Esta norma establece los requisitos de carga mínima de rotura para postes de concreto en redes de distribución, con especificaciones tanto para baja como para media tensión. Los postes de concreto deben cumplir con cargas de rotura mínimas de 510 kgf en baja tensión y 1050 kgf en media tensión, según su altura y ubicación. Además, la norma detalla la profundidad de empotramiento, recomendando que sea el 10% de la longitud del poste, más 60 cm adicionales, para asegurar la estabilidad estructural.
2. **NTC 2050:** Enfocada en la seguridad de los conductores, esta norma especifica el uso de aisladores de vidrio o porcelana para soportar los conductores en redes eléctricas aéreas, y enfatiza el cumplimiento de alturas y distancias de seguridad según el área de instalación. Esto garantiza que los elementos de soporte minimicen los riesgos eléctricos y mecánicos para los usuarios y el entorno.
3. **NTC 2616:** Esta normativa regula las cargas mínimas y los requisitos de protección anticorrosiva de los herrajes metálicos empleados en las estructuras eléctricas. Se especifica que estos herrajes deben soportar cargas mínimas de 1,000 kgf y contar con un recubrimiento galvanizado de al menos 85 micras, especialmente en zonas con alta exposición climática, para asegurar su durabilidad y resistencia a la corrosión.
4. **NTC 6183:** Esta norma describe los requerimientos específicos para crucetas de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) utilizadas en redes de media tensión. Las crucetas deben resistir una carga mínima de 600 kgf y deben ser adecuadas para condiciones ambientales adversas, incluyendo exposición a rayos UV y humedad, para asegurar su estabilidad estructural a largo plazo.
5. **NTC 1920:** Dirigida a postes metálicos en redes de media tensión, esta norma exige una resistencia mínima de rotura de 1,200 kgf y un recubrimiento galvanizado en caliente de al menos 100 micras para aumentar la durabilidad en entornos húmedos o de exposición constante a la intemperie.

6. **NTC 422:** Esta normativa especifica las propiedades mecánicas y dimensionales de los perfiles de acero al carbono utilizados en herrajes para redes eléctricas. Se requiere una resistencia mínima de 250 MPa y tolerancias dimensionales estrictas, asegurando una distribución uniforme de cargas y una resistencia mecánica adecuada para su uso en estructuras de soporte.
7. La norma **ISO 9223** establece un marco técnico riguroso para evaluar la corrosividad atmosférica, indispensable en el diseño y protección de estructuras de soporte metálicas como postes y apoyos en redes de distribución eléctrica. Esta normativa clasifica el ambiente en categorías de corrosividad (C1 a CX) basadas en variables clave, tales como la concentración de contaminantes atmosféricos (SO<sub>2</sub> y cloruros), humedad relativa, y temperatura, permitiendo así una predicción cuantitativa de las tasas de corrosión para materiales metálicos. En ambientes clasificados como C3 a C5 (corrosividad media a muy alta), la norma recomienda un recubrimiento mínimo de galvanizado en caliente de 85 micras o el empleo de tratamientos avanzados como recubrimientos dúplex. En entornos de clase CX (extrema corrosividad), son necesarios recubrimientos adicionales o sistemas de protección catódica. La aplicación de ISO 9223 en la selección de materiales para postes y apoyos garantiza la integridad estructural, optimizando la durabilidad en función de las condiciones ambientales específicas, y minimizando los costos de mantenimiento por deterioro prematuro debido a la corrosión.
8. La **NTC 1329** regula los requisitos de diseño, fabricación y pruebas de postes de concreto y otros materiales utilizados en redes de distribución de energía eléctrica, estableciendo parámetros específicos de resistencia mecánica y durabilidad. Define las cargas de rotura mínimas y los procedimientos de ensayo, incluyendo pruebas de flexión y compresión, para garantizar que los postes soporten condiciones de viento, cargas mecánicas generadas por los cables y otros factores ambientales sin deformaciones permanentes. Además, especifica la calidad del concreto, la disposición y tamaño de los refuerzos internos, y los acabados superficiales, que deben ser lisos y libres de porosidades para prevenir la corrosión. La norma asegura la estabilidad estructural y la resistencia necesaria en postes sometidos a cargas estáticas y dinámicas, maximizando su durabilidad en zonas con condiciones climáticas adversas.

9. La **NTC 776** define los requisitos específicos para postes de madera empleados en redes aéreas de energía eléctrica, cubriendo aspectos como selección de madera, dimensiones, tratamiento, y resistencia. Esta norma requiere que los postes se fabriquen únicamente con maderas de alta densidad, tales como pino, eucalipto, o teca, y estipula un tratamiento preservativo a presión (creosota o sales de cobre, cromo y arsénico - CCA) para garantizar una vida útil prolongada en condiciones ambientales adversas. Los postes deben cumplir con dimensiones precisas: diámetros mínimos entre 15 y 20 cm en el tope y longitudes que varían entre 7 y 12 metros, dependiendo del tipo de instalación. La resistencia a la flexión mínima especificada es de 500 kgf, medida a una distancia de 60 cm del tope. Además, la norma incluye pruebas de carga aplicadas a 20 cm del extremo superior para verificar la capacidad estructural, exigiendo que la deflexión bajo carga no exceda el 3% de la longitud libre del poste y que la deformación residual sea inferior al 0.15%. Esta especificación técnica asegura que los postes de madera sean aptos para soportar condiciones ambientales variables y las cargas mecánicas típicas en redes aéreas de distribución eléctrica.
10. La **NTC 1056** establece los requisitos de diseño, fabricación, y pruebas para postes de concreto pretensado utilizados en redes de distribución de energía eléctrica. Esta norma especifica que el concreto debe tener una resistencia a la compresión mínima de 350 kg/cm<sup>2</sup>, con un contenido de cemento que garantice durabilidad y resistencia estructural bajo condiciones ambientales adversas. Los postes deben contar con refuerzos pretensados con alambres de alta resistencia, cada uno con una carga de ruptura mínima de 1750 MPa, asegurando estabilidad frente a esfuerzos mecánicos significativos. Las dimensiones de los postes varían según la aplicación, y se establece una altura mínima de 8 metros para redes de baja tensión y 12 metros para media tensión, con diámetros específicos en el extremo superior e inferior que cumplen con estándares de rigidez estructural. En cuanto a la carga de trabajo, la norma exige una capacidad mínima de 500 kgf, medida a 20 cm de la cima del poste, y una resistencia de flexión tal que la deflexión máxima bajo carga no exceda el 3% de la longitud libre del poste, con una deformación permanente menor al 0.1%. Esta norma garantiza que los postes de concreto pretensado cumplan con los requisitos de rigidez, durabilidad y resistencia, proporcionando estabilidad en su uso en redes eléctricas aéreas.

11. La **NTC 2222** establece los lineamientos técnicos para la fabricación, diseño y pruebas de herrajes utilizados en redes de distribución de energía eléctrica, tales como abrazaderas, soportes y conectores. En esta norma, se especifican los requisitos de resistencia a la tracción y torsión, particularmente en ambientes de alta carga y condiciones ambientales adversas. Los herrajes deben estar fabricados con acero galvanizado, cumpliendo con un recubrimiento mínimo de zinc de 86  $\mu\text{m}$  (micrómetros) para asegurar resistencia a la corrosión y prolongar su vida útil en entornos exteriores. La carga de trabajo para cada herraje debe exceder los 700 kgf, asegurando una deformación mínima en situaciones de alta tensión mecánica. Los métodos de prueba, tanto de tracción como de impacto, exigen que los herrajes no presenten fracturas ni deformaciones permanentes que superen el 1% de la longitud original. Además, la NTC 2222 detalla criterios de diseño estructural y espesor de material, en función del diámetro y longitud de los herrajes, para que estos puedan resistir el esfuerzo mecánico de líneas de distribución y las condiciones climáticas del sitio de instalación. Esta norma es clave en la selección de herrajes para garantizar la integridad estructural y operativa de las redes eléctricas aéreas.

12. La **NTC 1093** especifica los procedimientos para determinar la penetración de agentes preservantes en maderas tratadas, permitiendo evaluar la efectividad de los tratamientos para resistir deterioro biológico y ambiental. Esta norma define métodos técnicos precisos para medir la profundidad de la impregnación de preservativos como sales de cobre, arsénico y creosota, mediante pruebas que incluyen el uso de indicadores específicos que reaccionan químicamente con los componentes del preservativo. Los ensayos suelen implicar el uso de reactivos colorimétricos, como el ácido crómico o la p-dimetilaminobenzaldehído, los cuales permiten verificar que la penetración alcance al menos el 75% del espesor transversal del material en condiciones estándar. Para aplicaciones en postes y estructuras eléctricas, la norma requiere que los agentes preservantes se apliquen de modo uniforme, cubriendo al menos 12 mm de profundidad desde la superficie externa hacia el núcleo, en maderas expuestas a condiciones de alta humedad o a la intemperie.

13. La **NTC 1057** establece los requisitos y métodos de prueba para evaluar la retención de preservantes en maderas tratadas, asegurando que la madera alcance un nivel de preservación adecuado para resistir condiciones ambientales adversas y prolongar su vida útil en estructuras como postes y apoyos eléctricos. La norma especifica que la retención mínima de preservantes debe alcanzar valores de hasta  $12 \text{ kg/m}^3$  para maderas expuestas en ambientes rurales y de al menos  $24 \text{ kg/m}^3$  para instalaciones en ambientes industriales o costeros, donde la exposición a factores corrosivos es mayor. Los ensayos de retención se realizan mediante técnicas gravimétricas, en las que se mide la cantidad de agente preservante absorbido por la madera antes y después del tratamiento. Para postes y apoyos, se requiere una retención uniforme en toda la sección transversal de la madera, especialmente en su parte enterrada, para evitar fallas estructurales derivadas de la degradación biológica. Esta norma es fundamental en contextos donde los postes o apoyos estarán en contacto directo con el suelo o sometidos a condiciones de humedad constante, garantizando la durabilidad y estabilidad de la infraestructura eléctrica.
14. La **NTC 2083** establece requisitos precisos para la preservación de maderas utilizadas en aplicaciones estructurales, especialmente en el contexto de postes y apoyos para redes eléctricas. Especifica el tipo y la cantidad de preservativo a aplicar, así como la profundidad de penetración requerida en función de la clase de exposición de la madera. Para maderas expuestas a la intemperie, es obligatoria una retención mínima de  $6,4 \text{ kg/m}^3$  de agente preservativo, mientras que para maderas en contacto directo con el suelo, se incrementa a  $9,6 \text{ kg/m}^3$ . Además, la norma define los procesos de tratamiento, como la impregnación a presión (usualmente con arseniato de cobre cromatado o CCA), que deben asegurar una penetración uniforme hasta una profundidad mínima de 10 mm en el duramen para garantizar resistencia a hongos, termitas y otros organismos degradadores. La **NTC 2083** también especifica los métodos de prueba, incluyendo la evaluación de penetración y retención mediante extracción de testigos y análisis químicos, para asegurar la uniformidad del tratamiento y la durabilidad de la madera. En la aplicación de postes eléctricos, la norma obliga a que se mantenga la integridad estructural de la madera bajo condiciones de uso prolongado y en climas agresivos, garantizando así la seguridad y la vida útil de la estructura en entornos eléctricos.

15. la **NTC 1966** define los requisitos técnicos para los conectores de compresión utilizados en conductores eléctricos, con especial atención a aquellos en redes de distribución y transmisión eléctrica. Esta norma establece los criterios de diseño, fabricación y pruebas de calidad para asegurar que los conectores soporten adecuadamente las condiciones mecánicas y eléctricas a las que serán sometidos en el servicio. Los conectores deben cumplir con una resistencia mínima a la tensión equivalente al 95% de la resistencia mecánica del conductor, asegurando una conexión sólida y continua. También se especifican pruebas de envejecimiento acelerado para verificar la resistencia a la corrosión, especialmente en ambientes con alta humedad o en zonas costeras. La NTC 1966 incluye procedimientos de ensayo eléctrico, como la medición de caída de tensión, para evaluar la eficiencia de la transmisión de corriente a través del conector; este valor no debe exceder 1.5 veces la caída de tensión del conductor para mantener la continuidad y minimizar pérdidas energéticas. Además, la norma detalla los materiales permitidos, que suelen incluir aluminio y cobre electrolítico, especificando los tratamientos de superficie como el anodizado o el estañado para mejorar la conductividad y la resistencia a la corrosión, factores clave para asegurar la longevidad y seguridad de las conexiones en estructuras de apoyo en redes eléctricas.

16. La **NTC 5193** establece los requisitos para la fabricación y evaluación de postes de madera utilizados en redes de distribución eléctrica. En cuanto a las cargas, los postes deben ser evaluados para determinar la carga de rotura y la carga de trabajo mediante ensayos estáticos. Para la carga de rotura, se especifica que el poste debe resistir una carga aplicada a 20 cm de la cima sin romperse, y la carga de trabajo no debe causar una deformación superior al 3% de la longitud libre del poste. Además, una vez retirada la carga, la deformación permanente no debe exceder el 0.15% de la longitud libre del poste. En los ensayos de resistencia mecánica, los valores de carga de rotura mínima son establecidos de acuerdo con el tipo de madera y la clase del poste, y deben cumplir con una resistencia mínima de 510 kgf para postes de 8 metros y hasta 1350 kgf para postes de 14 metros. La norma también establece que la humedad de la madera durante los ensayos debe ser del 27%, ya que la capacidad de carga varía significativamente con el contenido de humedad. La madera utilizada debe ser tratada y certificada para garantizar su resistencia a la intemperie y su durabilidad a largo plazo.



17. La **NTC 172** establece las especificaciones para el diseño, fabricación y evaluación de postes de concreto para redes de distribución eléctrica. En particular, se enfoca en los postes de concreto utilizados en redes de media tensión. La norma define los requisitos de resistencia a la compresión, especialmente en los postes fabricados mediante las técnicas de concreto armado y pretensado. Los postes deben ser capaces de resistir cargas estáticas de rotura mínima de 510 kgf para redes de baja tensión y 750 kgf para redes de media tensión (hasta 34.5 kV). En cuanto a la flexibilidad, se establece que los postes no deben deformarse más del 3% de su longitud libre cuando se les aplique una carga de trabajo de hasta el 50% de su carga de rotura. Además, la resistencia a la tracción es un parámetro clave que debe ser evaluado a través de ensayos específicos, siendo obligatorio que los postes resistan fuerzas de tensión y torsión sin fracturarse. Para el proceso de fabricación, los postes deben ser curados adecuadamente en condiciones controladas, y sus dimensiones deben estar dentro de los márgenes establecidos para asegurar una permanente integridad estructural. Adicionalmente, los postes deben ser sometidos a pruebas de resistencia a la intemperie, como exposición a agentes ambientales extremos (agua, humedad, heladas) para asegurar su durabilidad en condiciones severas.

18. La **ASTM D4923** proporciona las especificaciones para los tubos y postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio (FRP) utilizados en aplicaciones estructurales, incluyendo soportes para redes de distribución eléctrica. Esta norma especifica los requisitos de resistencia mecánica y rigidez, así como la durabilidad frente a la exposición a condiciones ambientales adversas. Los postes fabricados bajo esta norma deben demostrar una resistencia a la flexión mínima de 300 MPa y una resistencia a la compresión de 200 MPa. Además, deben cumplir con ensayos de impacto y deformación para garantizar su estabilidad estructural en caso de cargas repentinas, como vientos fuertes o impactos accidentales. La norma también requiere pruebas de resistencia a la radiación UV y la humedad, evaluando la capacidad del material para mantener sus propiedades mecánicas después de 1000 horas de exposición a condiciones climáticas simuladas. Para aplicaciones eléctricas, se especifica una resistencia dieléctrica mínima de 25 kV/mm, garantizando que los postes puedan operar de manera segura en redes de media tensión. Esta norma asegura que los soportes de FRP fabricados cumplan con estándares de alta durabilidad y resistencia para su implementación en entornos exigentes.

19. La **ASTM G155** especifica los métodos y condiciones para las pruebas de resistencia a la intemperie de materiales no metálicos mediante exposición a luz artificial, específicamente utilizando lámparas de arco de xenón. Esta norma es clave para evaluar la durabilidad de materiales utilizados en estructuras de soporte en redes eléctricas, como postes y aisladores de materiales compuestos o recubrimientos protectores. Las pruebas bajo ASTM G155 simulan el deterioro que los materiales experimentan debido a la exposición prolongada a factores como luz solar, humedad y temperaturas extremas. La norma establece diversos ciclos de prueba, como ciclos de 102 minutos de exposición a luz ultravioleta y 18 minutos de condensación de humedad. Además, se especifican niveles de irradiancia, normalmente de  $0.35 \text{ W/m}^2$  a  $340 \text{ nm}$  para simular condiciones de luz solar directa. Este método permite evaluar la estabilidad de color, resistencia al agrietamiento, pérdida de brillo y otros indicadores de degradación, asegurando que los materiales utilizados en estructuras eléctricas mantengan sus propiedades bajo condiciones climáticas adversas, minimizando la necesidad de reemplazos y mantenimiento frecuente.
20. La **ASTM D2244** establece los métodos y procedimientos para cuantificar cambios de color en materiales utilizando sistemas de coordenadas cromáticas. Esta norma es fundamental para evaluar la estabilidad de color en recubrimientos y materiales poliméricos de estructuras de soporte en redes eléctricas, como postes y aisladores, especialmente en condiciones de exposición prolongada a la intemperie. ASTM D2244 se basa en la medición de diferencias de color mediante el sistema de coordenadas CIELAB y otros sistemas de color, permitiendo calcular la variación en  $\Delta E$  (diferencia de color total) con alta precisión. Los valores de  $\Delta E$  suelen indicarse en rangos específicos según la resistencia al cambio que se requiera; por ejemplo, para recubrimientos de alta resistencia se espera un  $\Delta E < 2$  tras pruebas de exposición, mientras que para materiales de menor resistencia este valor puede ser mayor. La norma también incluye recomendaciones para la calibración de equipos de medición y considera factores de iluminación y geometría, proporcionando una evaluación técnica detallada que garantiza que los materiales en exteriores mantengan su apariencia y rendimiento visual en condiciones de exposición ambiental severas.

21. La **ASTM D4923** regula los parámetros técnicos de tubos y perfiles de plástico reforzado con fibra de vidrio (FRP) empleados en aplicaciones estructurales, como soportes y postes eléctricos. Define una resistencia a la tracción mínima de 103 MPa (15,000 psi) y una resistencia a la compresión mínima de 165 MPa (24,000 psi), con una resistencia a la flexión mínima de 138 MPa (20,000 psi). Además, se especifica una prueba de resistencia al impacto, donde los perfiles deben soportar una energía de impacto de al menos 20 J sin presentar fisuras. Para resistencia a la absorción de humedad, la norma limita el incremento de peso máximo al 1% tras una inmersión de 24 horas en agua a 23°C, asegurando que las propiedades mecánicas y estructurales no se vean comprometidas en condiciones de exposición a la intemperie o humedad elevada. Esta norma también contempla evaluaciones de resistencia a la intemperie, protegiendo los elementos de FRP de deterioros mecánicos causados por radiación UV o cambios de temperatura.
22. La **ASTM D570** establece los procedimientos para evaluar la absorción de agua en materiales plásticos, crítica para mantener la integridad de aislación en estructuras eléctricas. En el ensayo estándar, el material se sumerge en agua a 23°C por un período de 24 horas; el incremento de peso permitido no debe exceder el 0.5% para materiales aplicados en exteriores. Para aplicaciones de alta humedad o ambientes intensamente húmedos, la norma recomienda pruebas adicionales de absorción a temperaturas elevadas de hasta 100°C, donde la absorción máxima permitida es proporcional a las aplicaciones específicas de cada material. Este límite de absorción asegura que el material mantenga sus propiedades dieléctricas y mecánicas, evitando fallos de aislación eléctrica. Además, la ASTM D570 proporciona directrices para realizar mediciones de absorción en plásticos reforzados, especificando la reducción de propiedades mecánicas debido a ciclos de humedad prolongada y exposición a altas temperaturas.
23. La **ASTM D149** describe los métodos para medir la rigidez dieléctrica de materiales aislantes, una propiedad fundamental en componentes sometidos a altos voltajes. La norma establece que los materiales deben resistir un mínimo de 10 kV/mm de intensidad de campo eléctrico antes de romperse. La prueba se realiza aplicando un voltaje incremental a una tasa controlada de 500 V/s hasta la ruptura, registrando la intensidad máxima soportada. Esta norma especifica condiciones de prueba como humedad relativa (máximo 50%) y temperatura controlada (23°C  $\pm$  2°C), debido a que la humedad y la temperatura pueden alterar la resistencia dieléctrica del material. ASTM D149 también recomienda realizar pruebas en muestras de espesores de 1 a 3 mm, permitiendo extrapolar resultados para aplicaciones específicas, como soportes y postes en redes eléctricas, asegurando la prevención de fallos eléctricos bajo condiciones operacionales de alto voltaje.

24. La **ASTM G155** define procedimientos de exposición acelerada para materiales no metálicos sometidos a intemperie utilizando lámparas de arco de xenón. En este estándar, los materiales deben resistir radiación ultravioleta, humedad, y temperaturas elevadas en un ciclo que simula condiciones ambientales extremas. Las muestras se someten a ciclos de irradiación de hasta  $0.55 \text{ W/m}^2$  a  $340 \text{ nm}$  y temperaturas que pueden alcanzar los  $63^\circ\text{C}$  en ciclos de 102 minutos de luz y 18 minutos de condensación. Este método es crucial para soportes y postes eléctricos en exteriores, asegurando que los materiales mantengan sus propiedades mecánicas y apariencia ante la exposición a los elementos climáticos.
25. La **ASTM D648** establece la metodología para determinar la temperatura de deflexión bajo carga (HDT) de plásticos, especificando una carga de  $1.82 \text{ MPa}$ . Este valor se aplica hasta que el material alcanza una deflexión de  $0.25 \text{ mm}$ , proporcionando una indicación de la resistencia térmica del material. Los valores de HDT son esenciales para componentes estructurales en postes y soportes que puedan estar expuestos a altas temperaturas, ya que un HDT superior a  $90^\circ\text{C}$  asegura que el material mantendrá su rigidez y funcionalidad en condiciones térmicas elevadas.
26. La **ASTM A123** cubre los requisitos para galvanización en caliente de componentes de acero, definiendo espesores de recubrimiento en función del grosor del acero. Para elementos de  $5 \text{ mm}$  o más, el espesor mínimo de recubrimiento debe ser de  $85 \text{ }\mu\text{m}$  (micrómetros) o  $600 \text{ g/m}^2$ , mientras que, para elementos de menos de  $5 \text{ mm}$ , el espesor mínimo es de  $70 \text{ }\mu\text{m}$ . Este recubrimiento ofrece protección contra la corrosión para soportes y postes en ambientes exteriores y garantiza una vida útil prolongada en condiciones de exposición al aire libre y humedad.
27. La **ASTM B633** especifica recubrimientos de zinc para piezas de acero mediante procesos de electrolgalvanización, enfocándose en aplicaciones donde el espesor del recubrimiento y la resistencia a la corrosión son críticos. Para componentes de soportes eléctricos, el recubrimiento mínimo de zinc es de  $12 \text{ }\mu\text{m}$  en ambientes de baja corrosión y  $25 \text{ }\mu\text{m}$  en condiciones industriales o exteriores. Además, la norma establece pruebas de adhesión y resistencia a la corrosión en niebla salina durante 96 horas para validar la durabilidad del recubrimiento en ambientes exigentes.

28. La **ASTM A653** cubre las especificaciones para láminas de acero galvanizado por inmersión en caliente, estableciendo distintas clases de recubrimiento de zinc, como G90, donde se aplica 275 g/m<sup>2</sup> de zinc. Este recubrimiento asegura una protección contra la corrosión que es ideal para componentes de soportes eléctricos y postes, donde el acero está expuesto a condiciones exteriores. La norma también detalla propiedades mecánicas mínimas, como un límite de fluencia de 230 MPa y resistencia a la tracción de 310 MPa para cumplir con los requisitos de rendimiento estructural.

29. La **ASCE 104** proporciona guías para la especificación y diseño de estructuras de transmisión, enfatizando la resistencia al viento y la estabilidad estructural de soportes y postes. Para cada tipo de estructura, la norma exige cálculos de carga basados en presiones de viento que pueden alcanzar los 960 N/m<sup>2</sup> para áreas de alta exposición. La ASCE 104 también establece factores de seguridad para cargas vivas y combinaciones de carga de hasta 1.5, garantizando que las estructuras de soporte mantengan su integridad bajo condiciones ambientales severas y variables.

A continuación, se presenta un cuadro de referencia técnica que consolida los requisitos y especificaciones principales de las NTC, RETIE y ASTM aplicables al diseño y construcción de apoyos y postes eléctricos. Este cuadro facilita la consulta y el cumplimiento de los lineamientos normativos en el diseño de infraestructuras eléctricas en Colombia:

Requisito	Normativa Aplicable	Descripción Técnica	Especificaciones y Consideraciones Constructivas
<b>Evaluación de Corrosividad Atmosférica y Protección de Materiales Metálicos</b>	ISO 9223	Clasifica la corrosividad ambiental en categorías (C1 a CX) basadas en concentraciones de SO <sub>2</sub> , cloruros, humedad relativa y temperatura, prediciendo tasas de corrosión en metales.	En ambientes de corrosividad C3 a C5, se requiere un recubrimiento galvanizado de al menos 85 micras o recubrimientos dúplex. En corrosividad CX, se deben aplicar recubrimientos adicionales o protección catódica para mantener la integridad estructural y reducir el mantenimiento.

<b>Resistencia a la Intemperie en Materiales No Metálicos</b>	ASTM G155	Especifica métodos para probar la durabilidad de materiales mediante exposición a lámparas de xenón, simulando luz solar, humedad y temperaturas extremas.	Los ciclos de prueba incluyen 102 minutos de exposición UV y 18 minutos de condensación de humedad, con irradiancia de 0.35 W/m <sup>2</sup> a 340 nm. Evalúa estabilidad de color, resistencia al agrietamiento y brillo, para garantizar durabilidad en exteriores sin reemplazo frecuente.
<b>Resistencia y Durabilidad de Postes de Concreto en Redes de Distribución</b>	NTC 1329	Define los parámetros de diseño y prueba de postes de concreto, asegurando resistencia mecánica y durabilidad frente a cargas de viento y tensión de cables.	Establece cargas de rotura mínimas y ensayos de flexión y compresión, especificando calidad de concreto y refuerzos. Los acabados deben ser lisos, libres de porosidades para evitar corrosión, garantizando estabilidad estructural.
<b>Estabilidad de Color en Recubrimientos y Materiales Poliméricos</b>	ASTM D2244	Establece procedimientos para cuantificar cambios de color en recubrimientos mediante coordenadas cromáticas, usando el sistema CIELAB y variación $\Delta E$ .	Se espera $\Delta E < 2$ para recubrimientos de alta resistencia tras exposición. Incluye calibración de equipos y considera factores de iluminación y geometría para garantizar apariencia visual en ambientes severos.
<b>Especificaciones de Tubos y Perfiles de Plástico Reforzado</b>	ASTM D4923	Regula las propiedades de tracción (103 MPa), compresión (165 MPa) y flexión (138 MPa) en tubos y perfiles FRP para aplicaciones estructurales, como postes.	Requiere resistencia al impacto de 20 J sin fisuras y limita la absorción de humedad al 1% tras 24 horas a 23°C. Protege los elementos de FRP de deterioro UV y temperaturas variables.
<b>Absorción de Agua en Materiales Plásticos</b>	ASTM D570	<u>Establece el procedimiento para medir absorción de agua en plásticos. esencial para mantener la aislación en estructuras eléctricas.</u>	Permite un incremento máximo de peso de 0.5% tras inmersión de 24 horas a 23°C. Para ambientes de alta humedad, permite absorción proporcional según el uso, asegurando propiedades dieléctricas y mecánicas.

<b>Recubrimiento de Galvanizado en Caliente para Componentes de Acero</b>	ASTM A123	Define espesores de recubrimiento en galvanización en caliente para protección anticorrosiva en acero. Para acero de 5 mm o más, el espesor mínimo es de 85 $\mu\text{m}$ o 600 $\text{g/m}^2$ ; para menos de 5 mm, el mínimo es de 70 $\mu\text{m}$ .	La galvanización garantiza la durabilidad de soportes y postes en ambientes exteriores, prolongando la vida útil bajo condiciones de exposición y humedad. Ideal para aplicaciones en estructuras de redes de distribución eléctrica.
<b>Recubrimiento de Zinc para Acero mediante Electro galvanización</b>	ASTM B633	Establece recubrimientos de zinc por electro galvanización para piezas de acero, con espesores de 12 $\mu\text{m}$ en baja corrosión y 25 $\mu\text{m}$ en ambientes industriales o exteriores.	Requiere pruebas de adhesión y resistencia a la corrosión mediante niebla salina durante 96 horas. Este recubrimiento asegura la protección de componentes estructurales en soportes eléctricos, prolongando la resistencia a la corrosión.
<b>Recubrimiento Galvanizado por Inmersión en Caliente para Láminas de Acero</b>	ASTM A653	Cubre clases de recubrimiento, como G90, aplicando 275 $\text{g/m}^2$ de zinc en láminas de acero galvanizado, garantizando protección en exteriores.	Asegura un límite de fluencia mínimo de 230 MPa y resistencia a la tracción de 310 MPa, cumpliendo con los requisitos estructurales para soportes y postes eléctricos, en entornos de exposición a la intemperie.
<b>Conectores de Compresión para Redes de Distribución y Transmisión</b>	NTC 1966	Define requisitos para conectores de compresión en conductores eléctricos, garantizando resistencia a la tensión del 95% del conductor y especifica pruebas eléctricas y de corrosión.	Los conectores deben pasar pruebas de envejecimiento y resistencia a la corrosión en alta humedad, manteniendo la caída de tensión en menos de 1.5 veces la del conductor. Materiales incluyen aluminio y cobre, con tratamientos como anodizado o estañado para mejorar la conductividad y resistencia a la corrosión.
<b>Postes de Madera para Redes Aéreas</b>	NTC 776	Establece requisitos para postes de madera en redes eléctricas, incluyendo selección de madera, dimensiones y resistencia. Requiere	Postes de 15-20 cm de diámetro en el tope y 7-12 metros de longitud. Resistencia a la flexión de 500 kgf a 60 cm del tope. Deflexión máxima del 3%

		maderas de alta densidad (pino, eucalipto, teca) con tratamiento preservativo (creosota o CCA).	bajo carga y deformación residual de 0.15%.
<b>Preservación de Madera para Uso Estructural</b>	NTC 2083	Define requisitos para la preservación de maderas en estructuras eléctricas. Especifica retención mínima de preservativo (6.4 kg/m <sup>3</sup> en exteriores y 9.6 kg/m <sup>3</sup> en contacto con suelo).	Impregnación a presión con CCA y penetración mínima de 10 mm en el duramen para resistencia a hongos y termitas. Pruebas incluyen extracción de testigos y análisis químico para garantizar la durabilidad de la madera.
<b>Evaluación de Cargas en Postes de Madera</b>	NTC 5193	Especifica métodos para evaluar carga de rotura y carga de trabajo en postes de madera. Carga de rotura a 20 cm de la cima sin fractura y carga de trabajo con deflexión máxima del 3%.	Cargas mínimas de rotura de 510 kgf (8 m) hasta 1350 kgf (14 m), con contenido de humedad de la madera en 27% durante ensayos. Garantiza resistencia a condiciones ambientales.
<b>Resistencia Dieléctrica de Materiales Aislantes</b>	ASTM D149	Define métodos para medir la rigidez dieléctrica en materiales aislantes bajo alto voltaje, con resistencia mínima de 10 kV/mm.	Ensayo a 500 V/s hasta ruptura, con humedad máxima de 50% y temperatura controlada de 23°C ±2°C. Muestras de 1-3 mm de espesor. Asegura prevención de fallos eléctricos en soportes sometidos a alto voltaje.
<b>Retención de Preservantes en Madera Tratada</b>	NTC 1057	Establece métodos de prueba para evaluar la retención de preservantes en maderas, asegurando su durabilidad en estructuras de soporte.	Retención mínima de 12 kg/m <sup>3</sup> para ambientes rurales y 24 kg/m <sup>3</sup> en zonas industriales/costeras. Pruebas gravimétricas para medir absorción en toda la sección transversal, esencial para postes en contacto con el suelo.
<b>Diseño y Especificación de Estructuras de Transmisión</b>	ASCE 104	Proporciona guías de diseño para estructuras de transmisión, destacando resistencia al viento. Exige cálculos de carga para presiones	Factores de seguridad de hasta 1.5 en cargas vivas y combinaciones de carga. Garantiza integridad estructural de soportes en condiciones de exposición a



		de viento de hasta 960 N/m <sup>2</sup> .	vientos fuertes.
<b>Herrajes en Redes de Distribución</b>	NTC 2222	Define los requisitos de diseño, fabricación y pruebas para herrajes en redes eléctricas (abrazaderas, soportes, conectores), garantizando su resistencia en condiciones adversas.	Herrajes de acero galvanizado con recubrimiento mínimo de 86 µm de zinc y carga de trabajo superior a 700 kgf. Pruebas de tracción e impacto requieren que no se produzcan fracturas ni deformaciones permanentes superiores al 1%.
<b>Penetración de Preservantes en Maderas</b>	NTC 1093	Especifica métodos para medir la profundidad de penetración de preservantes en maderas, asegurando protección frente al deterioro biológico y ambiental en postes eléctricos.	La penetración del preservante debe cubrir al menos el 75% del espesor transversal de la madera. En postes expuestos a humedad o intemperie, la profundidad mínima de preservante es de 12 mm, aplicándose de forma uniforme para asegurar durabilidad.
<b>Postes de Concreto Pretensado</b>	NTC 1056	Establece requisitos para postes de concreto pretensado en redes de energía, enfocados en resistencia estructural y durabilidad bajo condiciones ambientales adversas.	Resistencia mínima a la compresión de 350 kg/cm <sup>2</sup> ; refuerzos pretensados de alta resistencia con carga de ruptura de 1750 MPa. Altura mínima de 8 m para baja tensión y 12 m para media tensión, con carga de trabajo mínima de 500 kgf. La deflexión bajo carga no debe exceder el 3% de la longitud libre y la deformación permanente es menor al 0.1%.
<b>Postes de Concreto para Media Tensión</b>	NTC 172	Define requisitos para postes de concreto en redes de media tensión, asegurando resistencia a cargas de rotura y durabilidad en ambientes severos.	Carga de rotura mínima de 510 kgf para baja tensión y 750 kgf para media tensión (hasta 34.5 kV). Deflexión máxima del 3% bajo el 50% de la carga de rotura y resistencia a tracción probada en ensayos de torsión y tensión. Requiere curado controlado y pruebas

			de resistencia a intemperie para asegurar durabilidad en condiciones ambientales extremas.
<b>Carga Mínima de Rotura en Postes de Concreto</b>	NTC 1329	Especifica los requisitos de carga mínima de rotura para postes de concreto en redes de distribución, asegurando estabilidad estructural bajo carga.	Para baja tensión: rotura mínima de 510 kgf; para media tensión: 1050 kgf. Profundidad de empotramiento recomendada: 10% de la longitud del poste + 60 cm.
<b>Seguridad en Conductores y Aisladores</b>	NTC 2050	Detalla la selección de aisladores (vidrio o porcelana) y las distancias de seguridad en redes aéreas para minimizar riesgos eléctricos y mecánicos.	Alturas y distancias de seguridad específicas según el área de instalación. Uso obligatorio de aisladores que soporten condiciones ambientales para prevenir riesgos.
<b>Cargas y Protección Anticorrosiva en Herrajes Metálicos</b>	NTC 2616	Regula las cargas mínimas y protección anticorrosiva en herrajes de estructuras eléctricas, asegurando durabilidad en ambientes corrosivos.	Carga mínima: 1,000 kgf. Revestimiento galvanizado de al menos 85 µm en áreas de alta exposición climática para resistencia contra corrosión.
<b>Crucetas de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio</b>	NTC 6183	Establece requisitos específicos para crucetas de PRFV en redes de media tensión, garantizando resistencia bajo exposición ambiental.	Resistencia mínima de 600 kgf. Adaptadas para soportar rayos UV y humedad prolongada, asegurando estabilidad a largo plazo.
<b>Postes Metálicos para Media Tensión</b>	NTC 1920	Norma para postes metálicos, detallando la carga de rotura y requisitos de protección anticorrosiva en redes de media tensión.	Resistencia mínima de rotura de 1,200 kgf. Recubrimiento galvanizado de al menos 100 µm para durabilidad en ambientes expuestos a humedad e intemperie constante.
<b>Propiedades de Perfiles de Acero al Carbono</b>	NTC 422	Define propiedades mecánicas y dimensionales de perfiles de acero al carbono para herrajes, asegurando resistencia y distribución uniforme de cargas.	Resistencia mínima de 250 MPa. Tolerancias dimensionales estrictas para cargas distribuidas uniformemente y resistencia mecánica en estructuras de soporte.

<b>Tubos y Postes de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (FRP)</b>	ASTM D4923	Especifica los requisitos para postes y tubos de FRP en aplicaciones estructurales y eléctricas, incluyendo resistencia mecánica y durabilidad ambiental.	Resistencia a la flexión mínima de 300 MPa y a la compresión de 200 MPa. Resistencia dieléctrica de 25 kV/mm. Requiere pruebas de UV y humedad para 1000 horas y ensayos de impacto y deformación.
<b>Absorción de Agua en Materiales Plásticos</b>	ASTM D570	Describe los procedimientos para medir la absorción de agua en plásticos, asegurando la integridad de aislación eléctrica en ambientes húmedos.	Absorción máxima de 0.5% en 24 h a 23°C. Para condiciones extremas, pruebas adicionales a 100°C. Importante para mantener propiedades dieléctricas y mecánicas en ambientes de alta humedad.
<b>Rigidez Dieléctrica de Materiales Aislantes</b>	ASTM D149	Establece métodos para medir la rigidez dieléctrica en materiales, crucial para componentes en redes de media y alta tensión.	Resistencia mínima de 10 kV/mm. Ensayo a 500 V/s hasta ruptura, en condiciones de 50% HR y 23°C ±2°C. Pruebas recomendadas para espesores de 1-3 mm.
<b>Exposición Acelerada para Materiales No Metálicos</b>	ASTM G155	Define los procedimientos de exposición a condiciones de intemperie simulada, evaluando la durabilidad de materiales no metálicos ante condiciones UV y humedad.	Ciclos de irradiación de hasta 0.55 W/m <sup>2</sup> a 340 nm, con temperaturas de hasta 63°C. Ciclo típico: 102 minutos de luz y 18 minutos de condensación, asegurando resistencia en exteriores.
<b>Temperatura de Deflexión Bajo Carga (HDT)</b>	ASTM D648	Especifica la metodología para determinar la HDT de plásticos, indicando la resistencia térmica del material bajo carga.	Ensayo con carga de 1.82 MPa hasta una deflexión de 0.25 mm. HDT superior a 90°C es crítico para postes y soportes en ambientes de alta temperatura.

Resistencia a la Rotura de Estructuras	RETIE Artículo 3.20.4 (a)	Las estructuras de soporte deben cumplir con una tensión de rotura mínima que supere el valor de las tensiones combinadas de todos los esfuerzos mecánicos que actúan sobre ellas. Esto incluye la suma de esfuerzos resultantes de los cables de la red, accesorios adicionales, y otros elementos externos, multiplicada por un factor de seguridad establecido.	Realizar cálculos de diseño y modelación de tensiones bajo diferentes condiciones de carga, considerando factores de viento, peso de conductores, y accesorios. Validar que la tensión de rotura se mantenga bajo condiciones modificadas y que esté en conformidad con las especificaciones normativas del RETIE, asegurando el desempeño mecánico sin deformación permanente.
Materiales Especiales y su Certificación	RETIE Artículo 3.20.4 (b)	Se permite el uso de postes metálicos o de materiales poliméricos reforzados con resistencia a la rotura entre 250 kgf y 510 kgf en lugares de difícil acceso o con baja concentración de personas, siempre que la estructura esté certificada en un laboratorio conforme a condiciones ambientales similares al sitio de instalación.	Utilizar exclusivamente materiales certificados, conforme a pruebas de laboratorio en condiciones equivalentes al entorno de instalación, para garantizar resistencia y durabilidad. Aplicar procedimientos de instalación específicos que mitiguen efectos ambientales adversos, como exposición a humedad o cambios térmicos extremos, minimizando riesgos de fallo estructural.
Uso de Postes en Áreas Rurales	RETIE Artículo 3.20.4 (c)	En zonas rurales de baja circulación de personas, se permite el uso de postes de hasta 7 m para redes secundarias y de hasta 6 m para acometidas aisladas, con una	Realizar análisis de altura y resistencia conforme a las normativas de seguridad en cruces de vías, asegurando que los postes proporcionen la altura mínima establecida para garantizar distancias

		resistencia mínima de 250 kgf.	de seguridad adecuadas en zonas rurales. Los cálculos deben reflejar el comportamiento mecánico bajo condiciones de carga específicas.
Prohibición del Uso de Madera para Transformadores	RETIE Artículo 3.20.4 (d)	No se permite el uso de postes de madera para soportar transformadores en redes eléctricas de distribución.	Seleccionar materiales de mayor resistencia y durabilidad (como concreto o metálicos) en instalaciones que requieran el soporte de transformadores. Esta especificación busca reducir riesgos de deterioro estructural y mejorar la estabilidad bajo cargas continuas y en presencia de esfuerzos adicionales.
Seguridad y Condiciones de los Materiales	RETIE Artículo 3.20.4 (f)	Cualquier poste o cruceta que presente fisuras, desgastes o cualquier otro deterioro que comprometa la seguridad estructural debe ser reemplazado o no instalado.	Implementar inspecciones rigurosas y continuas para verificar el estado físico de los componentes de la estructura. Realizar pruebas de esfuerzo en elementos detectados con posibles fallos y planificar el reemplazo inmediato de materiales defectuosos para garantizar condiciones seguras de operación a largo plazo.
Uso de Materiales Sintéticos en Suspensión	RETIE Artículo 3.20.4 (g)	Los postes en suspensión pueden ser fabricados con materiales sintéticos, siempre que su resistencia a la rotura sea superior a 250 kgf y estén certificados	Asegurar que los postes suspendidos tengan una resistencia mecánica probada en laboratorio y adaptada a las condiciones climáticas locales, tales como temperatura, humedad, y

		para condiciones ambientales particulares del lugar de instalación.	velocidad de viento. Los análisis deben incluir la carga de rotura con margen de seguridad superior al límite normativo.
Alturas e Interdistancias para Alumbrado Público	RETIE Artículo 3.20.4 (h)	En zonas urbanas y semiurbanas, la altura y espaciado de las estructuras deben ajustarse para soportar sistemas de alumbrado público, cumpliendo los requisitos establecidos en RETILAP para evitar riesgos de interferencia o deficiencia en la iluminación.	Calcular la altura y el espaciado para cumplir con los objetivos del RETILAP. Validar que la instalación minimice las sombras o áreas no iluminadas y que permita una integración adecuada con las redes de alumbrado público en zonas urbanas, mejorando la visibilidad y seguridad de las áreas aledañas.
Distancias Mínimas de Seguridad	RETIE Artículo 3.20.4 (i)	Al instalar postes o estructuras, se deben cumplir con las distancias mínimas de seguridad establecidas en el Título 10 del RETIE para evitar contactos accidentales y garantizar la protección del personal de mantenimiento y la población en general.	Durante la instalación, medir y garantizar las distancias establecidas para diferentes niveles de tensión. Efectuar inspecciones y ajustes periódicos para asegurar el cumplimiento continuo de los requisitos de seguridad, especialmente en áreas de alta afluencia de personas o tráfico vehicular.