MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo hace parte integral del Documento Técnico del proyecto denominado "CONSTRUCCIÓN ALUMBRADO PUBLICO SOLAR FOTOVOLTAICO EN VÍA AL DUYA, ACCESO PRINCIPAL DEL MUNICIPIO DE OROCUE, DEPARTAMENTO DE CASANARE", y tiene como propósito sustentar técnica y normativamente el diseño del sistema de puesta a tierra adoptado para las luminarias fotovoltaicas autónomas proyectadas.

2. MARCO NORMATIVO APLICABLE

El diseño y selección del sistema de puesta a tierra se desarrolla en cumplimiento de la normativa técnica vigente, en particular:

– Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, Artículo 15, numeral 15.3.
– Norma IEC 60364-5-54.
– Norma IEEE 142 (Green Book).
– Norma IEC 62305.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL PROYECTO

El proyecto corresponde a un sistema de alumbrado público implementado mediante luminarias solares autónomas tipo Kit Solar 60 W LI, y Kit Solar 35 W LI, con autonomía de 36 horas, sin interconexión a la red eléctrica convencional. El sistema de puesta a tierra está orientado a la disipación de sobretensiones transitorias y a la protección de equipos electrónicos.

4. CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO

Las condiciones geotécnicas predominantes en el departamento de Casanare y zonas con características similares corresponden a suelos arcillosos y franco-arcillosos, con sectores puntuales de suelos secos y compactos que pueden presentar resistividades elevadas.

Para efectos de diseño se adopta una resistividad base de 150 Ω·m. No obstante, se prevé la implementación de medidas de mejora del terreno, ya que por experiencia en la zona, la resistividad del terreno depende de la humedad relativa, ya que muchas veces se realizaron medidas de resistividad del terreno obteniendo

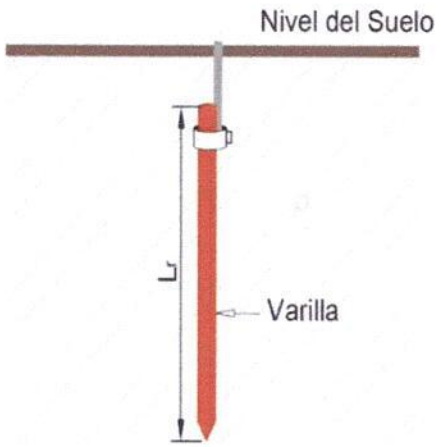
valores muy diferentes en las épocas de invierno y verano, por tal motivo para disminuir el valor de resistividad se contempla el uso de químico para tratamiento de suelos.

5. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Cada punto de alumbrado contará con un sistema de puesta a tierra individual, conformado por:

- Electrodo vertical: varilla de acero inoxidable austenítico de 2,4 m de longitud y 5/8" de diámetro.
- Conductores tipo fleje de acero inoxidable de 7/8" x 1,2 mm.
- Conectores mecánicos certificados.
- Tratamiento químico para mejoramiento del terreno.

Todos los componentes serán homogéneos, eliminando riesgos de corrosión galvánica y garantizando una vida útil mínima estimada de quince (15) años, en la siguiente configuración:



6. MEMORIA DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

La resistencia de puesta a tierra para una varilla vertical se determina mediante la ecuación de Dwight, adoptada por IEEE 142:

$$R = \frac{\rho}{4\pi L_r}\left[Ln\left(\frac{4L_r}{b}\right) - 1\right]$$

Donde:
ρ = resistividad del terreno (Ω·m)
L = 2,4 m
b = 0,0075 m

Para una resistividad base de 150 Ω·m se obtiene una resistencia aproximada de 61,2 Ω.

En sectores donde la resistividad natural del terreno sea superior, se incorpora un tratamiento químico de tierras de quince (15) kilogramos por punto de puesta a tierra, el cual actúa reduciendo la resistividad efectiva del suelo alrededor del electrodo, mejorando la conductividad y la estabilidad del sistema en el tiempo.

La aplicación del tratamiento químico permite reducir la resistividad efectiva del terreno a valores del orden de 60–80 Ω·m, lo cual se traduce en resistencias de puesta a tierra inferiores a 40 Ω, asegurando el cumplimiento del objetivo funcional del sistema incluso en condiciones desfavorables.

7. ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO NORMATIVO

El RETIE no establece un valor máximo único de resistencia de puesta a tierra para sistemas fotovoltaicos autónomos de alumbrado público sin conexión a red. En estos casos, el cumplimiento se evalúa a partir de la idoneidad del diseño y la efectividad del sistema para disipar sobretensiones.

La incorporación del tratamiento químico de tierras constituye una medida técnicamente aceptada y ampliamente utilizada para garantizar el desempeño del sistema en suelos de alta resistividad, sin afectar la durabilidad ni generar riesgos ambientales, siempre que se utilicen productos certificados y compatibles con el entorno.

8. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DEL TRATAMIENTO QUÍMICO

El uso de compuestos mejoradores de conductividad alrededor del electrodo de puesta a tierra permite:
– Reducir la resistividad del suelo circundante.
– Mantener condiciones de humedad estables.
– Mejorar la disipación de corrientes impulsivas.
– Garantizar valores de resistencia adecuados durante la vida útil del sistema.

La dosificación de quince (15) kilogramos por electrodo se considera suficiente y conservadora para las condiciones del proyecto.

9. VERIFICACIÓN DE TENSIONES DE PASO, CONTACTO Y TRANSFERENCIA

De conformidad con lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, Artículo 15, y los criterios de seguridad definidos en la norma IEEE 80, el sistema de puesta a tierra proyectado ha sido verificado frente a la ocurrencia de tensiones de paso, contacto y transferencia, con el fin de garantizar la protección de las personas y la operación segura de la infraestructura de alumbrado público.

El sistema corresponde a luminarias fotovoltaicas autónomas de baja potencia, sin conexión a la red eléctrica convencional, por lo cual no se presentan corrientes de falla sostenidas asociadas a defectos de aislamiento. Las solicitaciones eléctricas relevantes están asociadas principalmente a eventos transitorios de corta duración, tales como sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas.

La configuración adoptada, compuesta por un electrodo de puesta a tierra individual por punto de alumbrado, conductores de baja impedancia tipo fleje de acero inoxidable y la correcta equipotencialización de todas las partes metálicas accesibles del poste, la luminaria y los equipos asociados, permite limitar los gradientes de potencial generados durante dichos eventos.

La resistencia de puesta a tierra obtenida, junto con la homogeneidad de los materiales empleados y la continuidad eléctrica del sistema, contribuye a mantener las diferencias de potencial dentro de valores admisibles. Adicionalmente, en los puntos donde se identifican condiciones de alta resistividad del terreno, la aplicación de tratamiento químico mejorador de conductividad reduce la resistividad superficial del suelo, disminuyendo los gradientes de potencial y, en consecuencia, las tensiones de paso.

En cuanto a las tensiones de contacto y transferencia, la vinculación equipotencial de los elementos metálicos accesibles al sistema de puesta a tierra asegura que no se presenten diferencias de potencial peligrosas para las personas durante condiciones normales de operación ni durante eventos transitorios.

Con base en lo anterior, se concluye que el sistema de puesta a tierra diseñado cumple con los criterios de seguridad exigidos por la normativa vigente respecto a tensiones de paso, contacto y transferencia, sin requerir la implementación de mallas adicionales ni configuraciones especiales, dadas las características del sistema fotovoltaico autónomo y su nivel de riesgo.

CONCLUSIÓN

Con base en las condiciones reales del terreno del área de influencia del proyecto, el análisis normativo aplicable y la configuración del sistema de alumbrado público fotovoltaico autónomo, se concluye que el sistema de puesta a tierra diseñado es técnica y normativamente adecuado para garantizar la seguridad de las personas y la protección de los equipos.

La resistencia de puesta a tierra obtenida, mejorada en los puntos de alta resistividad mediante la aplicación de tratamiento químico del terreno, permite una disipación efectiva de las sobretensiones transitorias de origen atmosférico. El uso de conductores de baja impedancia tipo fleje, la homogeneidad de los materiales y la continuidad eléctrica del sistema aseguran un comportamiento estable y confiable durante la vida útil del proyecto.

Asimismo, la correcta equipotencialización de todas las partes metálicas accesibles, junto con la reducción de los gradientes de potencial en el entorno del electrodo, permite mantener las tensiones de paso, contacto y transferencia dentro de valores admisibles de seguridad, conforme a los criterios establecidos en el RETIE y la norma IEEE 80, sin que se requiera la implementación de mallas adicionales ni configuraciones especiales.

En consecuencia, el sistema de puesta a tierra propuesto cumple con los objetivos funcionales y de seguridad exigidos por la normativa vigente, resultando técnicamente viable, seguro y apropiado para el proyecto de ampliación del servicio de alumbrado público mediante sistemas fotovoltaicos autónomos en en el municipio de Orocue, departamento de Casanare.