

Implementación de sistema de puesta a tierra en GAD Municipal del Cantón El Empalme, mediante la normativa IEEE-80.

Implementation of grounding system in the Municipal GAD of El Empalme Canton, through the IEEE-80 standard.

Silvia Virginia Taipe Quilligana



Ingeniero eléctrico, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-5010-5466>*

Erick Alexander Alvarado Delgado



Ingeniero eléctrico, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador

<https://orcid.org/0009-0006-7224-9034>

Luis David Reyes Jipa



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador

<https://orcid.org/0009-0000-3743-8485>

Washington Omar Parrales Villigua

Ingeniero eléctrico, Universidad Técnica Estatal de Quevedo,

<https://orcid.org/0009-0004-8344-608X>

Taipe Quilligana, S. V., Alvarado Delgado, E. A., Reyes Jipa, L.D., & Parrales Villigua, W. O. (n.d.). Implementación de sistema de puesta a tierra en GAD Municipal del Cantón El Empalme, mediante la normativa IEEE-80. *Ingeniería E Innovación*, 14(1). <https://doi.org/10.21897/rii.4223>

Copyright: © 2025 Universidad de Cordoba. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acreditan.

Recibido: 12/01/2026

Aprobado: 17/02/2026

Publicado: 23/02/2026

RESUMEN

El sistema propuesto de la presente investigación se encuentra orientado a fortalecer la seguridad operacional y garantizar la protección del personal administrativo, equipos electromecánicos y la infraestructura del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón El Empalme mediante una metodología técnica experimental que verifica las condiciones operativas eléctricas y los parámetros de seguridad, confiabilidad, flexibilidad, accesibilidad y reserva del sistema de protección de puesta a tierra. Esta metodología se encuentra adaptada en la conformación de normativas y regulaciones vigentes, específicamente en la regulación nacional e internacional de la Normativa IEEE 80, incorporando técnicas de recopilación de datos para la medición de resistividad del suelo mediante el método denominado Wenner y el uso de herramientas tecnológicas de simulación computacional ETAP, optimizando la configuración del sistema de malla de puesta a tierra y de niveles de tensiones de paso y contacto. Por ende, el análisis verifica la importancia de un diseño adecuado del sistema de puesta a tierra para la correcta operación, mantenimiento en relación con la disipación de corrientes de falla, descargas atmosféricas, minimizando riesgos eléctricos y promoviendo la seguridad para los trabajadores y funcionarios, dispositivos tecnológicos e infraestructura de las instalaciones del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón El Empalme.

Palabras clave: Puesta a tierra; Seguridad eléctrica; Normativa IEEE 80; Resistividad del suelo.

ABSTRACT

The proposed system of this research is aimed at strengthening operational safety and guaranteeing the protection of administrative personnel, electromechanical equipment and the infrastructure of the Municipal Decentralized Autonomous Government of the Canton of El Empalme through an experimental technical methodology that verifies the electrical operating conditions and the parameters of safety, reliability, flexibility, accessibility and reserve of the laying protection system to the ground. This methodology is adapted in the conformation of current standards and regulations, specifically in the national and international regulation of the IEEE 80 Standard, incorporating data collection techniques for the measurement of soil resistivity through the method called Wenner and the use of technological tools of ETAP computational simulation, optimizing the configuration of the grounding mesh system and levels of step and contact voltages. Therefore, the analysis verifies the importance of an adequate design of the grounding system for the correct operation, maintenance in relation to the dissipation of fault currents, atmospheric discharges, minimizing electrical risks and promoting safety for workers and officials, technological devices and infrastructure of the facilities of the Municipal Decentralized Autonomous Government of the Canton of El Empalme

Keywords: Grounding; Electrical safety; IEEE 80 standard; Soil resistivity.

INTRODUCCIÓN

La seguridad eléctrica en edificaciones públicas salvaguarda la protección de las personas y de los sistemas electromecánicos mediante el sistema de puesta a tierra que permite la disipación controlada de corrientes de falla y descargas eléctricas, reduciendo el riesgo de accidentes y daños a la infraestructura. Un diseño inadecuado o la ausencia del sistema genera condiciones operativas inseguras, afectando los servicios y el cumplimiento de los estándares laborales en las instalaciones del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón El Empalme. V. M. N. Dladla, (2023)

El presente artículo evidencia la inexistencia de un sistema de puesta a tierra funcional, incrementando la vulnerabilidad frente a fallas eléctricas, descargas atmosféricas, eventos transitorios y esta situación resalta la necesidad de una solución técnica que garantice la seguridad eléctrica y confiabilidad operativa, alineada con la normativa vigente IEEE 80. El diseño de un sistema de puesta a tierra orientado a mejorar las condiciones de protección eléctrica en una instalación pública estudia las propiedades del suelo y de la red eléctrica. M. Unde and V. Tathe, (2020)

La implementación del sistema de puesta a tierra determina un análisis técnico del terreno y se integra herramientas de modelación y simulación que permiten evaluar el desempeño del sistema propuesto bajo distintos escenarios de operación. Por lo tanto, se garantiza la reducción de riesgos eléctricos, optimiza la estabilidad del sistema eléctrico, gestiona la seguridad en infraestructuras institucionales y promueve el cumplimiento normativo y el desarrollo de instalaciones eléctricas bajo los parámetros de seguridad, confiabilidad, accesibilidad, reserva y flexibilidad. A. C. Michael, (2025)

I. Diseño de un sistema de puesta a tierra

El diseño de un sistema de puesta a tierra proporciona un camino de baja impedancia que permite el flujo controlado de corrientes eléctricas hacia el suelo en condiciones normales o de falla que se susciten en la instalación eléctrica. Su función principal es proteger la integridad física de las personas, equipos e infraestructura de la institución pública frente a sobrevoltajes, descargas atmosféricas o cortocircuitos, disipando la energía peligrosa de manera segura, confiable y permitiendo desviar la corriente de falla hacia el suelo y minimizando los riesgos eléctricos. Ximena Zhou, (2024)

II. Método Wenner de medición de la resistencia del terreno

El método de Wenner se basa en la medición de la resistencia aparente del terreno mediante la inyección de una corriente eléctrica continua o de baja frecuencia en el suelo por dos electrodos exteriores (C1 y C2), y se mide la diferencia de potencial entre dos electrodos interiores (P1 y P2) situados en una posición de línea recta y a una separación paralela. El procedimiento del método de Wenner determina la resistencia aparente medida del suelo ($\Omega \cdot m$), separación equidistante entre los electrodos (metros) y el registro de la resistencia medida (ohmios). Rodriguez Guizaán, (2022)

III. Plataforma integral ETAP

La implementación de la herramienta ETAP garantiza la seguridad, eficiencia y el cumplimiento

normativo en proyectos eléctricos en análisis, diseño, simulación y operación de sistemas eléctricos de potencia, incluyendo sistemas de puesta a tierra en relación con la aplicación en Generación, Transmisión, Distribución y su módulo escalable permite establecer estudios de flujo de carga, cortocircuito, coordinación de protecciones y la optimización del sistema de puesta a tierra.

IV. Herramienta Telurómetro FLUKE de medición de resistencia de puesta a tierra

El Telurómetro es un dispositivo de medición precisa en la resistencia de los sistemas de puesta a tierra y permite la evaluación de la calidad del sistema de conexión al suelo. Las características del Telurómetro FLUKE con la configuración de cuatro picas se determina en colocar cuatro electrodos alineados en el terreno y variar sus distancias para la obtención de lecturas a diferentes profundidades para medir la resistividad del terreno, método de Wenner. Margaret Lorentzou, (2003)

V. Normativa IEEE 80

La normativa IEEE 80 se encuentra orientado en especial a sistemas de alta tensión tales como las subestaciones, sus principios destacan en sistemas de alta y baja tensión las cuales determinan voltajes de 220V o 110V. Para los sistemas de baja tensión en relación con los sistemas de puesta a tierra se rigen a regulaciones técnicas estrictas debido a salvaguardar la integridad física del personal operativo, mantenimiento, equipos industriales e infraestructuras de los entornos residenciales, comerciales e industriales del sistema energético. Edgar Altamirano, (2024)

1. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio adoptó una modalidad descriptiva-comparativa para la recopilación y análisis de datos para identificar el sistema eléctrico de la infraestructura y evidenciado que el GAD Municipal del Cantón El Empalme cuenta con dos fases y un neutro, sin un sistema de puesta a tierra. Se llevo a cabo una comparación entre la situación actual de la instalación eléctrica sin un sistema de puesta a tierra y las condiciones óptimas mediante la implementación, configuración de mallas, materiales conductores y métodos de resistividad del terreno en base a las normativas regulatorias.

1.1. Materiales

El proyecto de implementación de un sistema de puesta a tierra se desarrollando mediante la utilización de materiales como papel A4, lapiceros y calculadora para cálculos técnicos, asegurando la recopilación de datos. Se emplearon recursos tecnológicos tales como Laptop, teléfono celular, impresora y software como ETAP, Word, Excel y PowerPoint para la organización y presentación. Además, se utilizó herramientas como equipo de soldadura exotérmica, equipos de protección personal, herramientas manuales el multímetro o Telurómetro FLUKE para la medición de la resistividad del suelo, permitiendo evidenciar el proyecto antes de la construcción del sistema.

1.2. Métodos

La metodología aplicada en esta investigación es cuantitativa-analítica, centrada en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con la implementación del sistema de puesta a tierra

y se empleó el método experimental que permite observar y registrar el estado actual del sistema eléctrico del GAD Municipal del Cantón El Empalme, detectando la ausencia de puesta a tierra y evidenciando riesgos eléctricos presentes en las instalaciones de la institución pública.

A partir del método inductivo, se generaron parámetros de necesidades y criterios técnicos para diseñar una solución adecuada en función de las condiciones del área de estudio y además, el método investigativo permitió la recopilación de información sobre los elementos para la configuración del sistema de puesta a tierra, análisis de la resistividad del suelo, tipo de instalación, normativas vigentes y riesgos asociados a la falta de puesta a tierra

1.3. Diseño de la investigación

El procedimiento para la implementación del sistema de puesta a tierra se encuentra dividido en cuatro fases. En la primera fase, se emplea un diagnóstico del sistema eléctrico del GAD Municipal del Cantón El Empalme. La segunda fase aborda la selección del tipo de puesta a tierra. La tercera fase determina los datos para el sistema de puesta a tierra. Finalmente, en la cuarta fase, se determina el plan de mantenimiento, monitoreo del sistema y el cumplimiento normativo de la instalación.

1.4. Fase 1: Diagnostico del sistema eléctrico del GAD Municipal del Cantón El Empalme

1.4.1. Evaluación del sistema eléctrico

Mediante el estudio técnico de la evaluación del sistema eléctrico, se evidencio la operación funcional del sistema eléctrico para satisfacer los requerimientos básicos de la institución. Sin embargo, se identificó la ausencia de la protección del sistema de puesta a tierra en los equipos eléctricos, representando un riesgo de gran escala ante fallas de aislamiento, descargas eléctricas o sobrecargas, comprometiendo la seguridad integral de los trabajadores, equipos eléctricos e infraestructura.

La inspección técnica evidencia que los tableros principales y secundarios mantienen una distribución organizada en tres niveles: planta baja, primer piso y segundo piso, con tableros distribuidos según las cargas de fuerza, iluminación y aire acondicionado de la institución. Sin embargo, los tableros de las distintas plantas no cuentan con el sistema de puesta a tierra implementado, representando un riesgo para la seguridad eléctrica, como se aprecia en la Figura 1 del tablero principal.

Figura 1: Tablero de distribución general.



Elaboración propia

La inspección en el área exterior evidencio que el generador de respaldo REMINGTON GF-50 no dispone de un sistema de puesta a tierra, deficiencias en el calibre de conductores y empalmes inseguros que podrían desarrollar un sobrecalentamiento y fallas en el sistema eléctrico. Por ende, mediante las observaciones el sistema se mantiene operativo, aunque es necesario implementar un sistema de puesta a tierra y corregir las deficiencias identificadas, como se representa en Figura 2.

Nota. El Tablero de distribución corresponde a los equipos y puntos de consumo que reciben energía desde los tableros secundarios y el Generador eléctrico se encuentra en funcionamiento para el respaldo energético en caso de fallas críticas que se pueden suscitar dentro del sistema.

Figura 2: Generador de respaldo energético



Elaboración propia

1.4.2. Corrección de deficiencias del sistema eléctrico

La corrección de las deficiencias del sistema eléctrico permite eliminar los riesgos de incendio, descargas eléctricas y fallas operativas identificadas durante la evaluación técnica del GAD Municipal del Cantón El Empalme. Sin embargo, aunque la instalación se encuentra en funcionamiento, la ausencia del sistema de puesta a tierra, junto con deficiencias en conductores y empalmes, representa una condición insegura que compromete la integridad operativa de la infraestructura. Por lo tanto, para corregir estas deficiencias se considera la implementación del sistema de puesta a tierra para el tablero principal y generador de respaldo, corrección del calibre de conductores, inspección de empalmes y la incorporación de protecciones eléctricas que reduzcan el riesgo de cortocircuitos e incendios. Kenneth Hernández, (2025)

Finalmente, las instalaciones del GAD Municipal del Cantón El Empalme integra materiales ante las deficiencias eléctricas tales como “varillas de puesta a tierra de cobre electrolítico 5/8, conductor de puesta a tierra AWG #4 y AWG #10 THHN/THWN, barra equipotencial de cobre electrolítico perforado, conectores de tipo abrazaderas de cobre o soldadura exotérmica, caja PVC de inspección de puesta a tierra, interruptores termomagnéticos tipo curva C o D, interruptores diferenciales 2P o 4P con sensibilidad de 30 mA, dispositivo de protección contra

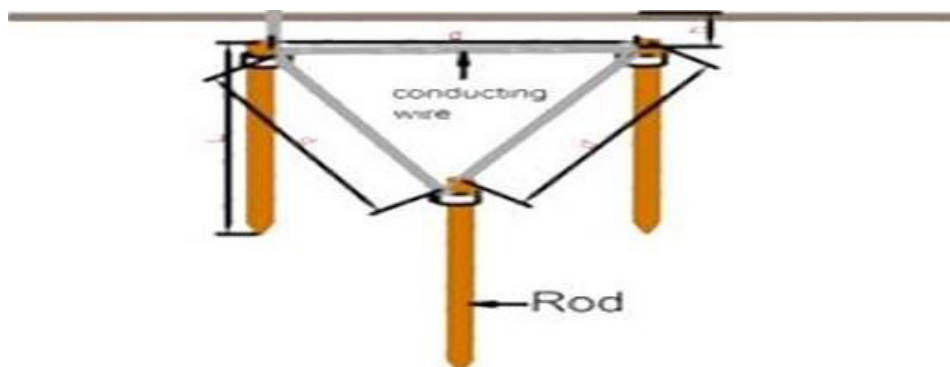
sobretensiones (DPS) de tipo clase II, cajas de paso eléctricas IP54, conectores de empalme eléctricos de tipo mecánicos o de compresión, tubería PVC eléctrica de protección y señalización de seguridad eléctrica.

1.5. Fase 2: Selección del tipo de puesta a tierra

1.5.1. Selección del tipo de sistema de puesta a tierra

En la presente investigación se ha seleccionado un sistema de puesta a tierra de tipo triangular, su sistema se encuentra compuesto por tres varillas de cobre interconectadas mediante un conductor de cobre desnudo con un tipo de soldadura exotérmica. La elección se adecua en relación con las condiciones del terreno, disponibilidad de espacio y la resistividad del suelo del GAD Municipal del Cantón El Empalme. Por lo tanto, el sistema de tipo triangular resulta adecuado por su simplicidad, bajo costo y efectividad, proporcionando una dispersión eficiente de corrientes de falla y protección frente a descargas eléctricas para evitar riesgos o accidentes en las instalaciones de la entidad pública comprometiendo la integridad de los trabajadores, equipos eléctricos e infraestructura.

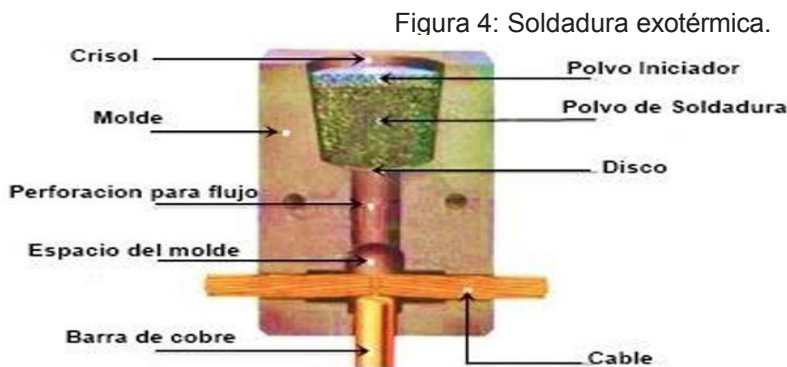
Figura 3: Sistema de puesta a tierra tipo triangular



Elaboración propia

1.5.2. Instalación y conexión del conductor

En la instalación y conexión del conductor para la puesta a tierra se determina que cada una de las tres varillas de cobre se encontrarán enterradas verticalmente en las puntas del triángulo y mantendrán una profundidad mínima de 1.8 metros. Las varillas mantendrán un sistema interconectado mediante un conductor desnudo de cobre de calibre 2/0 AWG, formando una malla cerrada que permite garantizar la continuidad eléctrica, durabilidad del sistema eléctrico y además se empleara un equipo de soldadura exotérmica para evitar conexiones mecánicas que pueden presentar fallas por corrosión o aflojamiento térmico con el transcurso del tiempo. Kenneth Hernández, (2025)



Elaboración propia

En el sistema de puesta a tierra se utilizó gel conductor alrededor de las varillas, permitiendo la conserva de la humedad, mejora la conductividad del terreno y disminuye la resistencia del sistema energético. Además, se realizó la instalación de un pozo de revisión plástico en un vértice de la malla, para la accesibilidad de mediciones y mantenimiento predictivo. Finalmente, se integró un conductor en dirección a un gabinete metálico de 60×40×20 cm, que funciona como nodo de integración, interconectando las varillas con las estructuras y equipos de referencia del sistema a tierra.

Recolección de datos en el campo

La recolección de datos determino un diagnóstico para las instalaciones eléctricas del GAD Municipal del Cantón El Empalme, el cual mantienen un sistema de puesta a tierra adecuado, incumpliendo con las normativas de seguridad operacional para los usuarios como los equipos tecnológicos y por ende, se generan riesgos de descargas eléctricas y daños a dispositivos sensibles. Para el análisis respectivo del sistema de puesta a tierra se ejecutó visitas técnicas y mediciones de resistividad del suelo con la herramienta Telurómetro siguiendo el método de Wenner. Rodríguez Salazar, (2022)

Por consiguiente, la recolección de datos en el campo permite garantizar un sistema de puesta a tierra adecuado sin perjudicar el sistema eléctrico de la institución pública y además salvaguardar la integridad física de los funcionarios y empleadores. El estudio técnico determinado evidencio que no existe un sistema de puesta a tierra y además un sistema eléctrico deficiente el cual se desarrolló el debido mantenimiento operativo de las instalaciones rigiéndose a las normativas de instalación, operación y mantenimiento de sistemas eléctricos en instituciones públicas. Paola Villegas, (2024)

Mediciones de la resistividad del suelo

Para asegurar una correcta implementación, se generó las mediciones respectivas de la resistividad del suelo mediante el método de Wenner, utilizando un equipo FLUKE. El presente procedimiento consiste en colocar cuatro electrodos alineados en el terreno y variar sus distancias para obtener lecturas a diferentes profundidades en el terreno del GAD Municipal del Cantón El Empalme. Las mediciones respectivas destacan el estudio técnico en relación con las normativas operacionales de instalación, mantenimiento predictivo y operación de sistemas

de puesta a tierra en instituciones.

Las mediciones de la resistividad del suelo destacan en relación con el estudio técnico determinado en la Figura (5), evaluando las propiedades técnicas de la resistividad del suelo para generar su respectivo análisis de resistividad sobre la integración del sistema de puesta a tierra para la institución del Gad Municipal del Cantón El Empalme y además se destacó la utilización de la herramienta Telurómetro para su respectiva medición de resistividad.

Figura 5: Mediciones de la resistividad del suelo.



Elaboración propia

Mediante la utilización del telurómetro en modo de cuatro picas (Figura 4), se aplicó una intensidad de corriente entre las dos picas exteriores y las interiores miden la diferencia de potencial para garantizar un sistema de puesta a tierra adecuado en relación con los parámetros de confiabilidad, seguridad, accesibilidad, reserva y flexibilidad para el GAD Municipal del Cantón El Empalme. Mediante el sistema de puesta a tierra de tipo triangular se establece la seguridad técnica para salvaguardar la integridad de los trabajadores, equipos e infraestructura. Diego Monga, (2025)

Figura 6: Configuración a 4 picas.



Elaboración propia

1.6. Fase 3: Datos del sistema de puesta a tierra

Datos eléctricos y caracterización del suelo

Los cálculos del sistema de puesta a tierra se desarrollan en la tabla 1 y la tabla 2, se establecen

los parámetros necesarios para dimensionar el sistema de puesta a tierra y su ubicación de instalación para el GAD Municipal del Cantón El Empalme.

Tabla 1: Instalación, accesibilidad y requisitos de diseño del sistema de puesta a tierra.

Datos	Especificación
Ubicación del poste	Municipio en el área trasera y el paso peatonal
Acceso	Herramientas; excavación limitada a <2 m; espacio restringido para mallas >3 m.
Tipo de electrodos	Varillas verticales de 1.8 m de longitud
Conductor	Cobre desnudo calibre 2/0 AWG, interconexión mediante soldadura exotérmica
Conductor horizontal enterrado	Cobre desnudo, profundidad 30–60 cm; separación de 2 m entre varillas
Conductor de bajada (si aplica)	Cable chicote enterrado
Mejora del terreno	Uso de bentonita o cemento conductor
Aislamiento superficial	Grava mínima de 5 cm
Longitud total mínima conductores	≥ 9 m (según recomendaciones Schwarz e IEEE-80)

Elaboración propia

Tabla 2: Datos eléctricos y características del suelo.

Datos	Especificación
Potencia del transformador	50 kVA
Nivel de tensión	7620/120-240V
Tiempo de despeje de falla (ts)	0,5 s
Corriente máxima estimada	Ifalla calculada a partir de $Z \approx 5,5\%$
Resistencia de puesta tierra (Rg) objetivo	10 Ω
Ubicación del terreno	Zona rural semi-húmeda
Tipo de suelo	Arcilloso agrícola con piedras de río
Resistividad estimada	10 a 100 Ω *m, mediante mediciones reales por el método de Wenner

Elaboración propia

La impedancia del transformador se asumió en 5,5 %, valor típico para transformadores de distribución de 50 kVA conforme a normas IEEE C57 e IEC 60076. Este valor se adopta en ausencia de la placa del fabricante y permite estimar de forma conservadora la corriente máxima de cortocircuito. Mediante esta impedancia, se calculó la corriente de falla utilizada en el diseño y verificación del sistema. Las mediciones de resistencia en campo determinaron los valores mínimo y máximo de la resistividad del GAD Municipal del Cantón El Empalme, beneficiando al estudio técnico para el respectivo análisis de los parámetros de la viabilidad técnica-económica del sistema de puesta a tierra.

Por consiguiente, sus datos de resistividad son necesarios para la integración del sistema de

puesta a tierra y se proporcionan de manera detallada en la siguiente tabla 3 A. C. Michael, (2025). Sin embargo, las variaciones estacionales del cantón El Empalme, entre la época seca y lluviosa, influyen en la resistividad del suelo y comprometiendo el sistema de puesta a tierra. Por ende, el sistema mantiene un criterio que garantice su efectividad durante todo el año, considerando el incremento de la resistividad en época seca, debido a la disminución de la humedad del suelo, reducción de la resistividad en época lluviosa, que mejora temporalmente la conductividad del terreno.

Tabla 3: Mediciones del terreno.

Parámetros	Valor
Resistividad mínima	19,20 $\Omega \cdot m$
Resistividad máxima	40,31 $\Omega \cdot m$

Elaboración propia

La tabla 4 proporciona una base sólida y segura para dimensionar un sistema de puesta a tierra sin sobredimensionarlo innecesariamente que ocasionen pérdidas económicas e incluso daños de protección en el sistema e incluso poner en riesgo la integridad física de los funcionarios, equipos electrónicos e infraestructura del GAD Municipal del Cantón El Empalme.

Tabla 4: Valor de resistividad del terreno (ρ)

Opción	Justificación	Valor sugerido ρ
Promedio h=2	Valor promedio en h=2m del terreno	25,65 $\Omega \cdot m$
Valor de tendencia	Valor representativo dada por la media de los datos.	27,21 $\Omega \cdot m$
Máximo medido	Útil si el terreno es muy heterogéneo o diseño crítico	40.3 $\Omega \cdot m$

Elaboración propia

Valores referenciales del sistema de puesta a tierra

La Tabla 5, establece los valores máximos de resistencia de puesta a tierra según la aplicación, garantizando la seguridad integral de las personas, equipos e infraestructura del GAD Municipal del Cantón El Empalme. Las subestaciones de alta tensión se estipula que se requieren la mínima resistencia (1 Ω), mientras que aplicaciones como estructuras metálicas y acometidas de bajo voltaje permiten valores mayores (20–25 Ω). Universidad Politécnica Salesiana, (2025)

Tabla 5: Valores referenciales del sistema de puesta a tierra

Aplicación del sistema de puesta a tierra	Valores máximos de resistencia
Usados para subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 Ω
Protección contra rayos.	10 Ω
Redes para equipos electrónicos sensibles	10 Ω
Subestaciones de media tensión.	10 Ω
Estructuras y torres metálicas	20 Ω
Punto neutro para acometida de bajo voltaje.	25 Ω

Elaboración propia

1.7. Plan de mantenimiento y cumplimiento normativo del sistema de puesta a tierra Normativas para el personal y maquinarias

En la implementación y operación del sistema de puesta a tierra del GAD Municipal del Cantón El Empalme, es indispensable el cumplimiento de normativas técnicas y de seguridad eléctrica, con el objetivo de proteger tanto al personal operativo como a las instalaciones y equipos eléctricos. La normativa IEEE 80 es el ente regulatorio para el diseño seguro de sistemas de puesta a tierra en subestaciones e instalaciones eléctricas, estableciendo protocolos para el control de tensiones de paso, contacto y malla, minimizando los riesgos eléctricos de electrocución durante fallas a tierra.

Normativas técnicas aplicables al diseño y mantenimiento del sistema de puesta a tierra

La aplicación de la normativa IEEE Std 80 en el sistema de puesta a tierra del GAD Municipal del cantón El Empalme se justifica debido a la naturaleza del sistema eléctrico evaluado, el cual integra transformadores de potencia, tableros de distribución y un generador de respaldo, configuraciones que pueden generar corrientes de falla a tierra. La normativa IEEE 80 proporciona criterios técnicos para el diseño, cálculos y verificación de sistemas de puesta a tierra capaces de controlar de forma segura las tensiones de paso, contacto y malla. Sebastián Hossain, (2021)

Además, mediante la normativa se permite adaptar el diseño del sistema de puesta a tierra a las condiciones reales del suelo, considerando resistividad, variaciones estacionales y tiempos de despeje de falla. La adopción de IEEE 80 complementa las normas nacionales NTE INEN y los lineamientos de seguridad de máquinas establecidos en la UNE-EN ISO 12100, proporcionando un marco técnico que garantiza la seguridad eléctrica, confiabilidad operativa y la protección de las personas, equipos e infraestructura del GAD Municipal del cantón El Empalme. Henry Farooq, (2021)

Plan de mantenimiento del sistema de puesta a tierra

El plan de mantenimiento del sistema de puesta a tierra del GAD Municipal del Cantón El Empalme debe mantener inspecciones periódicas con el personal de mantenimiento correspondiente para las mediciones de resistencia de tierra y verificación de la integridad de los conductores y electrodos.

Según la normativa IEEE 80 estas evaluaciones permiten detectar incrementos en la resistencia del terreno, corrosión de electrodos o conexiones defectuosas que puedan comprometer la eficacia del sistema. Además, se debe establecer un cronograma de mantenimiento preventivo donde se integre los registros técnicos, informes de medición y acciones correctivas. John Erazo, (2022)

Además, la normativa IEEE 80 y las disposiciones técnicas establecen los criterios de diseño y evaluación de los sistemas de puesta a tierra y se destaca que el plan presentado tiene un carácter técnico–referencial. En este sentido, se establece que la ejecución del mantenimiento, inspecciones periódicas, registro de mediciones y la aplicación de acciones correctivas quedarán

a cargo del personal de mantenimiento del GAD Municipal del Cantón El Empalme, quien deberá definir y cumplir un cronograma interno acorde con las condiciones del terreno y la criticidad de la instalación, garantizando así una aplicación práctica, continua y efectiva del sistema de puesta a tierra.

Por consiguiente, las normativas para el diseño de un sistema de puesta a tierra en el GAD Municipal del Cantón El Empalme se destacan en el siguiente apartado:

- IEEE 80: Diseño seguro de sistemas de puesta a tierra y control de tensiones de paso.
- Normas NTE INEN: Requisitos para instalaciones eléctricas y seguridad en edificaciones
- UNE-EN ISO 12100: Principios de identificación y reducción de riesgos eléctricos.
- INSHT: Lineamientos de seguridad y salud ocupacional aplicables a instalaciones eléctricas.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. Diseño y simulación de puesta a tierra con el software ETAP

En esta sección se presenta el diseño del sistema de puesta a tierra basado en la norma IEEE 80, considerando parámetros como la corriente de falla, resistividad del terreno y tensiones de paso y contacto. Mediante los resultados obtenidos se dimensionó la malla de puesta a tierra con sus conductores y varillas, asegurando que los niveles de tensión estén dentro de los límites permitidos y evidenciándose en la tabla 6, los cálculos y simulaciones respectivas del sistema.

$$I_{N\text{-primario}} = \frac{S}{V_1} = \frac{50000}{7620} = 6,56 \left[A \right] \quad (1)$$

La impedancia total referida al primario se determina en el siguiente apartado:

$$Z_{\text{Trafo-1}} = \frac{Z\% \cdot (V_{F-N})^2}{S} = \frac{(5,5\%) \cdot (7620)^2}{50000} = 63,87 \left[\Omega \right] \quad (2)$$

Diagnosticando una corriente de cortocircuito en el lado primario de:

$$I_{cc\text{-primario}} = \frac{V_1}{Z_{\text{Trafo-1}}} = \frac{7620}{63,87} = 119,303 \left[A \right] \quad (3)$$

Por consiguiente, del lado secundario referido al secundario se determina $Z_{\text{Trafo-2}}$, determinando que la falla de una fase a tierra opera con la mitad del devanado

$$Z_{\text{Trafo-2}} = \frac{Z\% \cdot (V_{F-N})^2}{\frac{S}{2}} = \frac{(5,5\%) \cdot (120)^2}{25000} = 0,03168 \left[\Omega \right] \quad (4)$$

La corriente de cortocircuito en el secundario se determina en el siguiente apartado, evidenciando un valor estipulado de 3787,87 [A]:

$$I_{cc-\text{secundario}} = \frac{V_1}{Z_{\text{Trafo}-2}} = \frac{120}{0,03168} = 3787,87 \text{ [A]} \quad (5)$$

En los presentes cálculos se determinó que la corriente máxima de falla a tierra (**IG**) para el transformador monofásico de 50 kVA evidencio una diferencia entre los dos lados del equipo primario y secundario. En el lado primario de 7,62 kV, corriente de cortocircuito es de 119,30 A, limitada por la elevada impedancia del sistema (63,87 Ω). Por otra parte, en el secundario de 240 V, la corriente alcanzó un valor mayor 3787,87 A, debido a mantener una baja impedancia (0,03168 Ω).

Los valores obtenidos mediante el Método de Elemento Finito para calcular la impedancia en un transformador monofásico, alcanzando 3,5280 % en el modelo 2D, 3,5095 % en el 3D y 3,41 %. Por consiguiente, los resultados determinan que variaciones en la impedancia tienen un impacto en las corrientes de falla, siendo más elevadas en condiciones de baja impedancia del sistema del GAD Municipal del Cantón El Empalme. J. M. Orbea García, (2025)

Tabla 6: Corriente máxima de falla a tierra (**IG**)

Parámetro	Lado Primario (7,62 kV)	Lado Secundario (240/120 V)
Potencia del transformador (S)	50 kVA	50 kVA
Voltaje nominal (V)	7620 V	240 V
Corriente nominal (I_n)	6,56 A	208,33 A
Impedancia referida al lado correspondiente (Z)	63,87 Ω	0,03168 Ω
Corriente de cortocircuito (I_{CC})	119,303 A	3787,87 A

Elaboración propia

2.2. Impedancia del conductor por longitud

Para un conductor #2 AWG de cobre, a temperatura ambiente (20–25 °C): cable \approx 0.00528 Ω /m.

Fuente: tabla de resistencias o catálogos como NEC / IEC / tablas de fabricantes Donde:

- $R_{\text{cable}} = 0.00528 \text{ } \Omega/\text{m}$
- $L = 10 \text{ m}$ (longitud entre el neutro y la conexión a tierra)

$$Z_{\text{cable}} = 0.00528 \times 10 = 0.0528 [\Omega]$$

$$Z_{\text{retorno}} = Z_{\text{Trafo}} + Z_{\text{cable}} = 0.03168 + 0.0528 = 0.08448 [\Omega] \quad (6)$$

Para un conductor de cobre #2 AWG de 10 metros, la impedancia calculada fue de 0,0528 Ω , considerando una resistividad de 0,00528 Ω/m a temperatura ambiente. Sumando esta impedancia a la del transformador (0,03168 Ω), se obtiene una impedancia resultante de 0,08448 Ω . El factor Sf resultante es aproximadamente 0,00682 S, indicando que solo un 0,682 % de la corriente de falla total circulará por el sistema de puesta a tierra del GAD Municipal del Cantón El Empalme.

Tabla 7: Impedancias del sistema.

Elemento	Valor	Unidad	Observación
Impedancia del conductor (10 m)	0.0528	Ω	Conforme a características físicas
Impedancia del transformador	0.03168	Ω	Dato de fabricante o estimado
Impedancia total de retorno	0.08448	Ω	Suma de impedancias (transformador + conductor)

Elaboración propia

Se determina las características del conductor seleccionado y la capa superficial en la Tabla 8.

Tabla 8: Características del conductor y capa superficial (grava).

Parámetro	Valor	Unidad	Observación
Calibre del conductor	2/0 AWG	—	Cobre
Diámetro aproximado	9.27	mm	Según tabla AWG
Sección transversal	67.43	mm ²	Área efectiva del conductor
Impedancia del conductor (10 m)	0.0528	Ω	$0.00528 \Omega/m \times 10 \text{ m}$
Tipo de superficie	Grava	—	Capa aislante superficial de 10 cm
Factor de decremento	0.692	—	Reduce riesgo eléctrico de paso/contacto

Elaboración propia

En la siguiente Tabla 9, se determina el sistema de varillas de puesta a tierra, evidenciando que la elección y el posicionamiento de los electrodos en el diseño tipo triangular mejora la eficiencia del sistema al facilitar una dispersión de la corriente de falla. Por lo tanto, se determinó que la resistencia de una varilla vertical del sistema de puesta a tierra, considerando una resistividad del suelo de 27,21 $\Omega \cdot m$, longitud de 1,8 m y diámetro de 5/8" (15,875 mm), es aproximadamente 4,81 Ω .

Tabla 9: Sistema de varillas de puesta a tierra.

Elemento	Cantidad	Longitud	Diámetro	Material	Disposición	Unidad
Varillas verticales	3	1.8	5/8"	Cobre	Triángulo equilátero	m / pulgadas
Soporte conexión	1 por varilla	—	—	Acero	Soldadura exotérmica	—

Elaboración propia

La resistencia total del sistema (R_g) es de $4,093 \Omega$, valor que se mantiene por debajo del límite de 5Ω recomendado para instalaciones de baja tensión bajo la normativa IEEE 80. Determinado la capacidad de disipación de corriente de falla es más de 13 veces superior a lo mínimo requerido. La resistencia mutua de $4,87 \Omega$ representa el 66,9 % de la resistencia total y 101,2 % de la resistencia de las varillas.

Tabla 10: Resistencia de puesta a tierra.

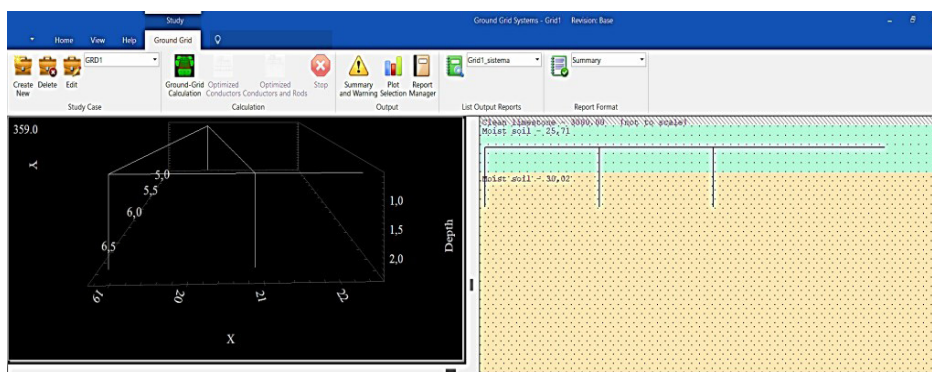
Elemento	Valor	Unidad	Observación
Resistencia malla RC	8.02	Ω	Resistencia de conductores enterrados
Resistencia varillas R3V- Δ	4.81	Ω	Resistencia de varillas conectadas en triángulo
Resistencia mutua Rm	4.87	Ω	Acoplamiento entre malla y varillas
Resistencia total RT	4.81	Ω	Valor calculado
Resistencia total RT	4.093	Ω	Valor simulado ETAP

Elaboración propia

2.3. Software ETAP para el sistema de puesta a tierra

En el diseño del sistema de puesta a tierra se utilizó la herramienta de simulación del software ETAP, los datos obtenidos mediante mediciones con el telurómetro, parámetros definidos durante el diseño de malla. Se ejecuto un análisis del comportamiento del sistema frente a fallas a tierra, evaluando la resistencia, distribución del potencial de tierra y las tensiones de paso y contacto. Finalmente, se evidencia en la Figura 6 la simulación ETAP y los resultados de la normativa IEEE 80 en la Tabla 11.

Figura 6: Simulación ETAP del sistema de puesta a tierra



Elaboración propia

Además, el Sistema Integral de Protección contra Rayos (SIPR), permite ejecutar configuraciones técnicas destinadas a interceptar, conducir y disipar de forma segura las descargas atmosféricas hacia el sistema de puesta a tierra, evitando daños a las personas, equipos eléctricos e infraestructura del GAD Municipal del Cantón El Empalme y se destaca en el siguiente apartado

sus reseñas:

- Intercepción del rayo: El sistema de captación se ubica en el punto más alto de la edificación para recibir directamente la descarga atmosférica y evitar impactos sobre la estructura.
- Conducción segura: Los conductores de bajada permiten canalizar la corriente del rayo de forma controlada hacia el sistema de puesta a tierra, reduciendo sobretensiones peligrosas.
- Disipación: La interconexión con el sistema de puesta a tierra garantiza la disipación de la energía del rayo y mantiene iguales los potenciales eléctricos.
-

Tabla 11: Resultados basados en la norma IEEE 80.

DESCRIPTIVO	CANTIDAD	P. UNITA- RIO	SUBTO- TAL
Tablero metálico 60x40x20cm	1	\$70,00	\$70,00
Cable desnudo 2/0 AWG, 7Hilos, cobre	7	\$13,00	\$91,00
Cable aislado 2/0 AWG Flexible, cobre	15	15	225
Cable aislado 2 AWG Flexible, cobre	6	\$8,00	\$48,00
Saco cemento conductivo 25 libras	2	\$20,00	\$40,00
Pozo de revisión de tierra con tapa	1	\$60,00	\$60,00
Platina aluminio 1/4"x4" (cobre 1/4"x2") 0,5m	1	\$50,00	\$50,00
Varilla Cooperweld 1,80mtrs	3	\$63,00	\$189,00
Pasta de contacto	1	\$20,00	\$20,00
Terminal talón 2/0 AWG	4	\$1,00	\$4,00
Terminal talón 2 AWG	4	\$1,00	\$4,00
Aisladores para barras de 2"	4	\$1,25	\$5,00
Tacos fisher 8	4	\$0,03	\$0,12
Tirafondo 3"x3/8"	10	\$0,75	\$7,50
Molde de Soldadura Exotérmica; Cable 2/0 a Varilla. Tipo T	1	\$150,00	\$150,00
Soldadura Exotérmica 150 gramos	6	\$15,00	\$90,00
Prensa estopa PG21	6	\$5,00	\$30,00
Pernos cadmiados 1/4"x2", con tuerca, doble Arandela plana y anillo.	8	\$0,20	\$1,60
Tubería EMT 1"	3	\$6,00	\$18,00
Grapas EMT 1"	6	\$0,08	\$0,48
Codo EMT 1"	2	\$3,00	\$6,00
Conector EMT 1"	1	\$0,40	\$0,40
Unión EMT 1"	6	\$0,40	\$2,40
Broca para cemento 8mm	1	\$1,00	\$1,00
Disco de corte metal	2	\$1,00	\$2,00
SUBTOTAL			\$1.115,50
IVA 15%			\$151,01
TOTAL			\$1.266,51

Elaboración propia

Tabla 12: Resultados SIPR

DESCRIPTIVO	CANTIDAD	P. UNITA- RIO	SUBTO- TAL
Punta captadora de rayos (pararrayos)	2	\$180	\$360
Mástil para pararrayos	2	\$120	\$240
Conductor de bajada AWG 2/0	40 m	\$18	\$720
Grapas y soportes de fijación	20	\$6	\$120
Conectores exotérmicos	6	\$25	\$150
Barra equipotencial principal 30X5 mm	1	\$95	\$95
Dispositivo de Protección contra Sobretensiones (DPS) Tipo I	1	\$320	\$320
Dispositivo de Protección contra Sobretensiones (DPS) Tipo II $I_n \geq 40kA$	2	\$180	\$360
Caja de inspección para puesta a tierra	2	\$65	\$130
Señalización de seguridad	2	\$15	\$30
SUBTOTAL			\$2.525,00
IVA 15%			\$375,75
TOTAL			\$2.903,75

*Elaboración propia***Tabla 13:** Resultados de materiales de deficiencias eléctricas

DESCRIPTIVO	CANTIDAD	P. UNITA- RIO	SUBTO- TAL
Varilla de puesta a tierra de cobre electrolítico 5/8	2	\$35,00	\$70,00
Conductor AWG #4	30m	\$4,50	\$135,00
Conductor AWG #10 THHN/THWN	50m	\$1,50	\$75,00
Barra equipotencial de cobre electrolítico	1	\$85,00	\$85,00
Conectores de tipo abrazadera de cobre	6	\$6,00	\$36,00
Caja PVC	4	\$5,00	\$20,00
Interruptor termomagnético tipo curva C o D	2	\$28,00	\$56,00
Interruptor diferencial 2P, 30 mA	1	\$65,00	\$65,00
Dispositivo de protección contra sobretensiones	1	\$95,00	\$95,00
Caja de paso IP54	2	\$18,00	\$36,00
Conectores de empalme de tipo mecánico	10	\$2,50	\$25,00
Tubería PVC	12	\$6,00	\$72,00
Señalización de seguridad eléctrica	1	\$25,00	\$25,00
SUBTOTAL			\$824,00
IVA 15%			\$123,60
TOTAL			\$947,60

Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

En conclusión, el diseño y la evaluación del sistema de puesta a tierra del GAD Municipal del Cantón El Empalme, desarrollados conforme a los lineamientos de la normativa IEEE 80 y criterios técnicos especializados, demuestran un desempeño eléctrico seguro y confiable. El análisis teórico, considerando la interacción entre la malla de tierra ($R_C = 8,02 \Omega$), sistema de varillas en configuración triangular ($R_{3V-\Delta} = 4,81 \Omega$) y la resistencia mutua ($R_m = 4,87 \Omega$) bajo las condiciones de resistividad del terreno evaluado, evidenciando un acoplamiento efectivo entre los electrodos enterrados. Estos resultados se validan mediante la simulación en ETAP ($4,093 \Omega$) y las mediciones de campo ($3,460 \Omega$), cuyos valores se mantienen por debajo del límite máximo recomendado de 5Ω para instalaciones críticas. Además, la evaluación de las tensiones de paso, contacto y elevación del potencial de tierra (GPR) indica que los niveles se encuentran dentro de rangos permisibles, garantizando la seguridad del personal y los equipos.

REFERENCIAS

1. V. M. N. Dladla, A. F. Nnachi, and R. P. Tshubwana, "Design, Modeling, and Analysis of IEEE Std 80," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/app13137491.
2. M. Unde and V. Tathe, "Soil Resistivity Measurement and Interpretation Technique," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 10, no. 5, pp. 25–30, 2020.
3. A. C. Michael, "PERFORMANCE ANALYSIS OF SUBSTATION EARTHING SYSTEMS AT ILE-OLUJI POLYTECHNIC, ONDO STATE," vol. 13, Feb. 2025, doi: 10.5281/zenodo.15647100.
4. X. Zhou et al., "1-ohm Impedance Criterion for Diagnosis of Single-Phase Ground Fault of Transmission Line," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 1680–1687, Jun. 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3523266.
5. R. Guizán, I. Colominas, J. París, I. Couceiro, and F. Navarrina, "Numerical analysis and safety design of grounding systems in underground compact substations," *Electric Power Systems Research*.
6. M. I. Lorentzou, N. D. Hatzargyriou "Time domain analysis of grounding electrodes impulse response," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 2, pp. 517–524, Apr. 2003.
7. Edgar Altamirano, "Sistema de puesta a tierra en zonas críticas en el litoral Ecuatoriano," *Escuela Superior Politécnica del Litoral*, Jan. 2024.
8. K. P. Hernández-Cubas, "Calidad y sostenibilidad de los servicios de electricidad. *Revista Electrónica de Ciencias Gerenciales*, vol. 7, no. 12, pp. 204–220, Jan. 2025, doi: 10.35381/gep.v7i12.212.
9. R. Salazar, D. Monga, C. Changoluisa "Parámetros de un sistema de puesta a tierra," *Revista Técnica "energía"*, vol. 19, no. 1, pp. 34–41, Jul. 2022, doi: 10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.514. "Trabajo de Grado Condiciones de seguridad en Instalaciones Electricas -

Final PDF - Paola

12. Villegas”
13. R. Salazar, D. Monga, C. Changoluisa, “Parámetros de un sistema de puesta a tierra”
14. E. De et al., “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL CARRERA DE ELECTRICIDAD TUTOR,” Guayaquil, Feb. 2024.
15. H. Farooq, W. Ali, H. Iqbal, A. Rasool, “Evaluation of the safety performance of a 500-kv ac substation grounding using iee standard 80 2013,”
16. CCSSP 2020: 020 1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing: 16-17th March, 2020, El-Oued, Algeria. IEEE, 2020.
17. V. M. N. Dladla, A. F. Nnachi, and R. P. Tshubwana, “Design, Modeling, and Analysis of IEEE Std 80 Earth Grid Design Refinement Methods Using ETAP,” Applied Sciences (Switzerland), vol. 13, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/app13137491.
18. F. Sinchi-Sinchi, C. Coronel-Naranjo, A. Barragán-Escandón, and F. Quizhpi- Palomeque, “Soil Treatment to Reduce Grounding Resistance by Applying Low- Resistivity Material (LRM) Implemented in Different Grounding Systems Configurations and in Soils with Different Resistivities,” Applied Sciences (Switzerland), vol. 12, no. 9, May 2022, doi: 10.3390/app12094788.
19. S. Committee of the IEEE Power and E. Society, “IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System Sponsored by the Substations Committee IEEE Power and Energy Society,” 2012.
20. la Pequeña Mediana Empresa and J. García Brustenga, “III. OTRAS DISPOSICIONES MINISTERIO DE INDUSTRIA Y TURISMO 6773,” 2025.
21. [Online]. Available: <https://www.boe.es>