

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMERICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, LICENCIATURA  
EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:**

**OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN EL  
DISEÑO DE LABORATORIOS DE EQUIPO DE CÓMPUTO EN COLEGIOS  
TÉCNICOS PROFESIONALES SEGÚN NEC Y NORMA IEC**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:**

**JEFFRY ANDRÉS LÓPEZ GARITA.**

**TUTOR:**

**ING. BILLY RETANA PEÑA**

**SAN JOSÉ.**

**MARZO, 2026.**



## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a mi hijo.

## **Agradecimiento**

Agradezco al sistema social y político que me brinda las posibilidades de estudiar y trabajar, teniendo movilidad social, oportunidad que no todas las personas tienen en Latinoamérica.

## Tabla de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Tabla de contenidos .....	6
Figuras .....	12
Tablas .....	14
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	15
Planteamiento del Problema .....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos Específicos .....	16
Justificación .....	16
Antecedentes.....	17
Limitaciones. ....	25
Equipos de medición. ....	25
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO O DE REFERENCIA.....	27
Normativas .....	27
NEC 2020 .....	27
IEC.....	27
NFPA.....	27
Magnitudes eléctricas.....	28
Corriente Eléctrica.....	28
Voltaje (Diferencia de Potencial).....	28
Resistencia Eléctrica.....	28
Potencia Eléctrica.....	28

Concepto básico de la puesta a tierra .....	28
Puesta a tierra del equipo.....	29
Componentes de la puesta a tierra del equipo .....	29
Naturaleza de un electrodo de puesta a tierra. ....	32
Instalación del electrodo según su resistente.....	34
Cálculo de la resistencia a tierra.....	37
Tratamiento del terreno .....	39
Equipotencialidad en sistemas de puesta a tierra .....	40
Comprobadores de tierra (resistencia).....	41
Tierra aislada: fundamento técnico y aplicación en sistemas eléctricos .....	41
Tomacorrientes con protección por falla a tierra (GFCI).....	44
Tomacorrientes estándar en instalaciones eléctricas. ....	46
Equivalencia en milímetros de cuadrados de cable AWG. ....	47
Costos .....	48
Costo de Materiales .....	48
<b>Costo de Mano de Obra</b> .....	48
<b>Vida Útil</b> .....	49
Valor Actual Neto (VAN) .....	49
Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	49
Relación entre VAN y TIR.....	50
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.</b> .....	51
Tipo de enfoque.....	51
Proceso de análisis y recolección de datos. ....	52
Variables.....	52
<b>CAPÍTULO IV: DESARROLLO.</b> .....	56

Comparación entre normas NEC 2020 y IEC 60364-5-54:2011+amd1:2021. ....	56
Criterio de resistencia de puesta a tierra. ....	57
Efectividad del sistema. ....	60
Conexión de equipos .....	65
Materiales permitidos. ....	67
Restricción de aluminio. ....	74
Identificación y diferenciación de los conductores de puesta a tierra. ....	76
Dimensionamiento y cálculo de los conductores de protección y puesta a tierra. ....	80
Unión en cajas metálicas y receptáculos .....	86
Resumen comparativo. ....	94
Recopilación de datos del sistema de puesta a tierra del centro educativo. ....	97
Especificaciones Técnicas de Prototipos DIE (2021) .....	97
Catálogo de Prototipos DIE – 2018.....	97
Planos arquitectónicos del Laboratorio de Cómputo de 72 m <sup>2</sup> – Actualización 2025	97
Caracterización técnica del laboratorio de cómputo tipo MEP .....	98
Condiciones de diseño relevantes de prototipos.....	98
Solicitud de información al DIE:.....	100
Memoria de cálculo del diseño eléctrico. ....	100
Tomacorrientes y salidas de potencia:.....	100
Iluminación:.....	101
Ventilación: .....	101
Acometidas eléctricas:.....	102
Información aportada por el DIE:.....	102
Diferencias de diseño en los sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de CTP.....	103

Criterio de resistencia del electrodo de puesta a tierra .....	103
Dimensionamiento del conductor del electrodo de puesta a tierra.....	104
Comparación y Equivalencia del electrodo o electrodos. ....	106
Punto de unión entre el conductor de puesta a tierra y el electrodo.....	108
Identificación y código de colores del conductor de protección (PE) y del conductor de puesta a tierra funcional (FE) .....	110
Puesta a tierra para equipos de cómputo: Tierra aislada (IG) versus Tierra funcional (FE) con malla equipotencial. ....	112
Fundamentación técnica y normativa para el uso de tomas con tierra aislada (IG) y la implementación de malla equipotencial .....	116
Uso de tomacorrientes con tierra aislada (IG).....	116
Implementación de una malla equipotencial .....	117
Comparación técnica de los conductores de protección PE y EGC en laboratorios de equipo de cómputo .....	118
Uso de canalizaciones metálicas como conductor de protección.....	120
Diferencia en lista de materiales.....	120
Diferencia técnica entre conductores.....	123
Conductor tipo THHN/THWN-2, criterio NEC.....	124
Conductor tipo H07V-K, criterio IEC.....	126
Comparación técnica general .....	127
Estimación de costos de sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de CTP.....	129
Costos de mano de obra:.....	129
Costos según la norma NEC 2020.....	132
Costos según la norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021:.....	134

Diferencia de costos entre implementación conforme NEC 2020 e IEC 60364-5-54. .....	137
Consideraciones sobre el mantenimiento del sistema de puesta a tierra. ....	138
Evaluación financiera. ....	139
Vida útil del proyecto (n). ....	140
Evaluación económico-social mediante VAN y TIR de las alternativas normativas .....	142
Determinación del beneficio social anual mediante el costo esperado de daño de laptops .....	143
Cálculo del beneficio social anual.....	144
Determinación del factor presente de anualidad .....	144
VAN y TIR.....	146
. Recomendaciones de sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de CTP.....	148
Integración de los resultados obtenidos.....	148
Incorporación de la malla equipotencial dentro del estudio.....	149
Análisis económico comparativo .....	149
Recomendación técnica final.....	150
Conclusiones y recomendaciones.....	151
Conclusiones.....	151
Conclusión Uno. ....	151
Conclusión dos. ....	152
conclusión tres. ....	153
conclusión cuatro.....	155
conclusión 5.....	156
Recomendaciones.....	158

Desarrollar investigaciones aplicadas en laboratorios de cómputo ubicados en centros educativos específicos. ....	158
Ampliar la investigación sobre la disponibilidad, costo y aplicación de conductores en milímetros cuadrados en Costa Rica. ....	159
Verificación institucional de mediciones de puesta a tierra en centros educativos..	160
Propuesta de programa académico especializado en diseño y verificación de sistemas de puesta a tierra mediante vinculación universidad–institución.....	161
Propuesta .....	163
Fuentes de Referencias .....	166
ANEXOS.....	172
Anexo A, diseño de prototipo.....	172
Anexo B: Presupuesto de laboratorio de 72 metros cuadrados. ....	177
Anexo C: Correo electrónicos recibidos del DIE. ....	178
Anexo D: cotización de materiales y estimación costos. ....	185
Anexo E: lista de materiales y costos de materiales NEC.....	196
Anexo F: lista de materiales y costos adicionales de la norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021 .....	200
Anexo G: Cotización de equipo de cómputo.....	202
Anexo H: Cotización de mano de obra.....	203
Anexo I: ficha técnica de conductores cotizados. ....	204

## Figuras

Figura 1 Conductor del electrodo de puesta a tierra.....	30
Figura 2 Conductor de puesta a tierra y conductor de puesta a tierra de los equipos. ....	31
Figura 3 Definiciones de los términos utilizados en la puesta a tierra. ....	32
Figura 4 Componentes del electrodo de puesta a tierra.....	34
Figura 5 Gráfica de resistencia vs. profundidad del electrodo de puesta a tierra. ....	35
Figura 6 Gráfica de electrodos de puesta a tierra en paralelo.....	36
Figura 7 Gráfica de decremento de resistencia vs. número de electrodos de puesta a tierra interconectados.....	36
Figura 8 Factores de Multiplicación para Varias Varillas.....	39
Figura 9 Tomacorriente IG.....	44
Figura 10 Toma corriente GFCI.....	46
Figura 11 Efectividad del sistema de puesta a tierra, NEC 2020.....	61
Figura 13 Materiales permitidos como conductores de puesta a tierra de equipos según el artículo 250.118.....	68
Figura 14 Identificación de conductores 6 AWG o menores. ....	76
Figura 15 Identificación de conductores 4AWG o mayores.....	77
Figura 16 Tabla comparativa sobre identificación.....	78
Figura 17 Ejemplo de aplicación de tabla 250.122.....	81
Figura 18 Tabla 250.122.....	82
Figura 19 Tabla 250.66.....	83
Figura 20 Criterio de utilización de tablas IEC.....	84
Figura 21 Materiales para conductor de puesta a tierra.....	85
Figura 22 Tabla de resumen sobre cálculos sobre conductores de tierra. ....	85
Figura 23 Conexión de receptáculo según el artículo 250.146.....	87
Figura 24 Montaje de receptáculo según el artículo 250.146(A).....	88
Figura 25 Montaje de receptáculo con tapa según el artículo 250.146(A).....	89
Figura 26 Figura explicativa del artículo 250.146(D).....	90
Figura 27 Conexión de caja según el artículo 250.148(A).....	91
Figura 28 Comparación del uso de receptáculos y cajas según cada norma. ....	92

Figura 29 Distribución geométrica de electrodos.....	108
Figura 30 Tomacorriente de tierra aislada NEC 2020.....	112
Figura 31 Malla dedicada a equipos de tecnología de la información. ....	114

## Tablas

Tabla 1 Equivalencia de área de conductores AWG (solo cobre).....	47
Tabla 2 acrónimos usados en NEC y IEC. ....	57
Tabla 3 Resumen Criterio de resistencia de puesta a tierra. ....	59
Tabla 4 Efectividad del sistema de puesta a tierra según NEC 2020 e IEC 60364-5-54. .	64
Tabla 5 Resumen de cláusulas.....	66
Tabla 6 Tabla comparativa de materiales según norma. ....	71
Tabla 7 Resumen de restricciones de conductores de aluminio. ....	75
Tabla 8 Tabla de contenidos en prototipos del DIE: .....	99
Tabla 9 Dimensionamiento del conductor del electrodo de puesta a tierra.....	105
Tabla 10 comparación de criterios de electrodos según normas. ....	106
Tabla 11 Comparación del punto de unión entre el conductor de puesta a tierra y el electrodo. ....	109
Tabla 12 Identificación de conductores.....	111
Tabla 13 Comparación de tierra aislada y malla equipotencial.....	115
Tabla 14 Equivalencias de conductores IEC y NEC .....	119
Tabla 15 Ajuste necesario del diseño DIE y Norma IEC.....	121
Tabla 16 Tabla comparativa de conductores utilizados. ....	128
Tabla 17 Mano de obra.....	130
Tabla 18 Costos de mano de obra totales. ....	130
Tabla 19 Cargas sociales. ....	131
Tabla 20 Resumen de costos según norma NEC 2020.....	133
Tabla 21 Costo total de materiales y mano de obra según NEC 2020. ....	134
Tabla 22 Costos de mano de obra, materiales y malla en norma IEC.....	136
Tabla 23 Diferencia de costos entre implementación conforme NEC 2020 e IEC 60364-5-54.....	137
Tabla 24 Valor Presente de Beneficios. ....	145
Tabla 25 Calculo VAN y TIR .....	146

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **Planteamiento del Problema**

La seguridad eléctrica en las construcciones es una prioridad que requiere la incorporación de sistemas de puesta a tierra normado. Las normativas internacionales como el Código Eléctrico Nacional 2020 (NEC) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) ofrecen lineamientos distintos para el diseño y construcción de estos sistemas, lo que implica diferencias en los costos de instalación, mantenimiento y materiales a utilizar. Las diferencias pueden impactar considerablemente el presupuesto y la eficiencia de los sistemas de puesta a tierra en las edificaciones. Sin un análisis comparativo, los diseñadores no saben cuál normativa implica mayor cantidad de gastos.

En Costa Rica, el Ministerio de Educación Pública (MEP), puede adquirir equipos de cómputo, de tecnologías de la información, máquinas y herramientas fabricadas en países que cumplen con una norma totalmente diferente al NEC 2020, norma incorporada en el país, según el decreto numero 36979 -MEIC y sus reformas. Los equipos de estas características deben de tener una adaptación a sus recomendaciones, con el fin de aplicar la norma adoptada por el país, lo cual provoca una serie de cambios en sus costos o diseño en caso de ser diseñados en su país de origen.

Planteamiento del problema: ¿Cómo podemos comparar los costos del sistema de puesta a tierra diseñado según las normativas Código Eléctrico Nacional 2020 (NEC) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), para identificar cuál es el diseño más económico y eficiente en los laboratorios de equipo de cómputo en colegios técnicos profesionales?

### **Objetivo General**

Analizar las diferencias en el diseño y los costos de los sistemas de puesta a tierra para los laboratorios de equipo de cómputo en colegios técnicos profesionales, con el fin de determinar cuál es el más eficiente económicamente, utilizando como referencia las normativas presentes en el NEC 2020 y la IEC 60364-5-54:2011+amd1:2021.

## **Objetivos Específicos**

- Comparar los valores de resistencia y materiales necesarios para cumplir las normativas NEC 2020 en el artículo 250 parte VI, VII y la norma IEC 60364-5-54:2011+amd1:2021.
- Recopilar los datos de diseño para obtener información de las condiciones específicas de los sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de colegios técnicos profesiones, mediante medios oficiales del MEP.
- Determinar las diferencias de diseño de los sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de colegios técnicos profesionales, siguiendo las directrices del NEC 2020 en el artículo 250 parte VI, VII y la norma IEC 60364-5-54:2011+amd1:2021.
- Estimar los costos asociados a la implementación de cada sistema de puesta a tierra, considerando los costos de materiales.
- Elaborar una recomendación basada en el análisis comparativo, destacando el sistema de puesta a tierra más eficiente y económico para la implementación en edificaciones.

## **Justificación**

Desde el año 2008, Costa Rica adoptado el Código Eléctrico Nacional (NEC), originario de los Estados Unidos, como la norma para los diseños eléctricos en el país, basándose en la guía del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). Paralelamente, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) ofrece un conjunto de reglamentos y recomendaciones para el diseño eléctrico, presentando una alternativa viable y globalmente reconocida, pero no adoptada en Costa Rica.

La implementación de sistemas de puesta a tierra correcto es necesario para la seguridad eléctrica en las construcciones. Este documento propone comparar la eficiencia económica de los costos de los sistemas de puesta a tierra bajo el amparo del NEC y la IEC. La relevancia de esta comparativa se fundamenta en la necesidad de evaluar si la normativa elegida por Costa Rica es económicamente más rentable o si mantiene la igualdad en los costos comparada con la normativa IEC.

El estudio se centrará en la comparación de los sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de colegios técnicos profesionales. Se reconoce que los resultados pueden variar según la construcción; sin embargo, la meta es establecer bases para la generación de precedentes, datos y cuestionamientos que puedan influir en futuras decisiones normativas y prácticas de diseño en el país. Este enfoque aportará a la comunidad profesional y académica una perspectiva comparativa entre estas dos normativas en el ámbito de la ingeniería eléctrica, ya que se impone solo una en el país.

Esta justificación destaca la importancia de un análisis de las opciones normativas disponibles, buscando determinar la más beneficiosa desde un punto de vista de costos, generando así, una contribución valiosa tanto para el desarrollo profesional como académico en el campo de la ingeniería eléctrica en Costa Rica.

El Ministerio de Educación Pública (MEP), realiza compra de equipos de informática, ups individuales para cada computadora, equipo de robótica, impresoras 3D, equipos de redes, sin tener como objetivo el cumplimiento de una norma en específico y estos equipos puede requerir un sistema de puesta a tierra específico, para el cual la infraestructura no está diseñada. Así que una comparación de los sistemas contribuye a equiparar esos cambios los sistemas eléctricos.

### **Antecedentes**

A continuación, se presentan los antecedentes nacionales que sirven como guía para la elaboración de este proyecto de graduación, generando bases por medio del uso de la información realizada de la por otros autores en curso:

Antecedente nacional N°1

Institución: Universidad Internacional De Las Américas.

Tema: Rediseño Eléctrico y Análisis Comparativo de Costos para el cambio de un Sistema Convencional de Alimentadores por medio de Tubería y Cable a un Sistema Combinado de Ducto Barra y Cable Armado para un Hotel Vertical.

Autor: Sergio Armando Venegas Chaves.

Año: 2025.

El autor ha definido una secuencia de cálculos que le permite especificar la demanda eléctrica para el complejo, dimensionar los alimentadores principales de acuerdo con el Código Eléctrico Nacional y establecer criterios técnicos. Emplea el diseño gráfico del sistema eléctrico a través de un diagrama unifilar, que proporciona claridad en la estructura propuesta y facilita su interpretación durante las fases de ejecución.

El documento tiene como objetivo determinar la viabilidad técnica, normativa y económica de la solución propuesta. Con ese fin, se pretende realizar análisis comparativos entre la propuesta de rediseño y el sistema convencional. Propongo en el proyecto un conjunto de cálculos financieros relevantes para el análisis técnico y de costos (Venegas Chaves, 2025).

Antecedente nacional N°2

Institución: Universidad Internacional De Las Américas.

Tema: Estudio de cargabilidad eléctrica de un condominio vertical ubicado en Escazú para suplir energía a un centro de carga con cargadores inteligentes marca Wallbox.

Autor: Nadja Monge Mora.

Año: 2024.

El autor realiza una revisión de las condiciones actuales de la infraestructura y la demanda de carga de vehículos eléctricos de los residentes y tomando en cuenta los costos de instalación con los métodos tradicionales, planea implementar cargadores inteligentes Wallbox que se adapten a la infraestructura existente y cumplan con la demanda de carga requerida por las necesidades de transporte de los condóminos (Monge Mora, 2024).

Establecer parámetros y requisitos que deben cumplirse para gestionar adecuadamente la creciente demanda, lo que implica un centro de carga para vehículos. Evaluar los posibles cambios en la infraestructura eléctrica y las obras civiles basándose en el estado del condominio (Monge Mora, 2024).

El autor determinó las necesidades y condiciones actuales, seleccionó el cargador estacionario de una marca específica que se adaptó a los requisitos establecidos. Teniendo el modelo, diseñó la

modificación del estacionamiento del condominio seleccionando estratégicamente el lugar donde se instalará (Monge Mora, 2024).

Antecedente nacional N°3

Institución: Universidad Internacional De Las Américas.

Tema: Propuesta para precalentamiento de agua potable empleando bombas de calor para un edificio hospitalario con ubicación en la ciudad de Cartago, costa rica.

Autor: Braulio E. González Cruz.

Año: 2024.

González Cruz (2024) señala que el costo energético del calentamiento de agua es uno de los componentes significativos del uso total de energía de un hospital. Afirma que el consumo de energía para el calentamiento de agua está influenciado por el grado de demanda de agua, los requisitos de temperatura, la eficiencia de los sistemas de calefacción y la caracterización del clima. También menciona que un enfoque electromecánico para reducir el consumo de energía puede mejorar el rendimiento del sistema de calefacción. Para esto, recopiló datos de procesos existentes. Este mismo patrón de datos que debe seguirse en el presente estudio, González Cruz (2024) lo lleva a cabo metodológicamente. Presenta una serie de tablas y gráficos para mostrar al lector un formato claro y visual, para consulta, verificación y toma de decisiones al final de su trabajo.

Antecedente nacional N°4

Institución: Universidad Internacional De Las Américas.

Tema: Valoración del sistema actual de Iluminación y propuesta basado en tecnología LED para la gramilla del Estadio Nacional según las normativas aprobadas por FIFA.

Autor: Jeremy Arguedas Montero.

Año: 2023.

Arguedas Montero (2023) realiza la recolección de datos, que analiza a través del diseño gráfico y la modelación tridimensional, creando una copia casi exacta del Estadio Nacional y lleva a cabo

un estudio de iluminación. Con esto, demostró ahorros de energía, ahorros de mantenimiento y una reducción de las emisiones de CO2 al medio ambiente.

Además, Arguedas Montero (2023) realizó un análisis de retorno de inversión donde demostró los ahorros en diferentes aspectos que tendrá el proyecto y determinó si la propuesta de iluminación con tecnología LED es viable para aplicaciones deportivas de este nivel. Utilizó cálculos financieros y recursos de comparación de costos para encontrar cuál es más económico y útil para la aplicación.

Antecedente nacional N°5

Institución: Universidad Internacional De Las Américas.

Tema: Auditoría energética para un sistema de aire acondicionado del edificio de las oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica

Autor: Catalina Elena Aragón Azofeifa.

Año: 2023

A medida que se desarrolla la investigación, Aragón Azofeifa (2023) actualiza el inventario de equipos en operación e identifica qué sectores del edificio sirven. Verifica los planos mecánicos existentes y, basándose en ellos, comienza el estudio de factores que podrían estar influyendo en un rendimiento inadecuado. La recopilación de información permitirá aprovechar todas las oportunidades de mejora que el sistema requiere. En el caso del autor, ver un plano eléctrico proporcionó la información necesaria para la toma de decisiones en su proyecto; una medida que se puede aplicar a este documento.

Antecedente nacional N°6

Institución: Universidad Internacional De Las Américas.

Tema: Diseño de un sistema de generación de energía renovable por medio de un sistema fotovoltaico y aerogeneradores, para la empresa align technology de costa rica.

Autor: Scott Salazar Céspedes.

Año: 2020.

Salazar Céspedes, S. (2020), en su proyecto final de graduación para la empresa Align Technology, estudia configuraciones de puesta a tierra para el funcionamiento de sistemas de generación de energía renovable con el fin de garantizar su seguridad y eficiencia.

Salazar Céspedes, S. (2020) realiza un análisis detallado de los sistemas de puesta a tierra para la instalación de paneles solares y turbinas eólicas, lo que enfatiza un buen diseño de puesta a tierra, estabilidad y seguridad de las instalaciones. El uso de este enfoque hace posible la configuración y el cálculo para su implementación en su conjunto, además de una comparación de tecnologías en el sistema de puesta a tierra y equipos.

Antecedente internacional N°1

Institución: Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tema: Análisis de Normativa de Puesta a Tierra para Sistemas Fotovoltaicos.

Autor: Paúl Sebastián Garay Córdova y Carmen María Toledo Illescas.

Año: 2023.

El estudio de Garay Córdova y Toledo Illescas (2023) realizó un análisis de las regulaciones de puesta a tierra para sistemas fotovoltaicos, incluyendo normas y regulaciones globales (IEEE, IEC y NEC). En este estudio se describirán todos los detalles del proceso de diseño y las mejores prácticas en cuanto a la instalación de sistemas de puesta a tierra para aplicaciones fotovoltaicas, basándose tanto en aspectos técnicos como de seguridad.

Los hallazgos demostraron que existe una necesidad de sistemas de puesta a tierra suficientes porque el sistema fotovoltaico es sensible a las condiciones atmosféricas, se espera una atención especial para que sea operable y duradero.

En su artículo, Garay Córdova y Toledo Illescas explicaron algunas de las diferencias en los requisitos de puesta a tierra entre las regulaciones europeas y americanas que forman la base para el diseño y verificación de los sistemas de puesta a tierra en diferentes situaciones regulatorias. Es aún más necesario, como mencionan los estudios, aplicar métodos de optimización económica

respecto al sistema de puesta a tierra aplicado en instalaciones de edificios para determinar cuáles son los mejores y más seguros a aplicar en el edificio dependiendo de su situación particular.

Antecedente internacional N°2

Institución: Universidad Técnica De Cotopaxi, Ecuador.

Tema: Análisis del sistema de protección de puesta a tierra y apantallamiento eléctrico en una planta minera.

Autor: Orbea García Jefferson Marcelo.

Año: 2023.

En su investigación, Orbea García (2023) muestra la importancia de un sistema de puesta a tierra (SPT) en la promoción de la seguridad y el rendimiento de la arquitectura industrial. Para la descripción y evaluación del sistema de puesta a tierra y el sistema de protección de blindaje eléctrico en el contexto de una planta minera, se mencionan mediciones de resistividad del suelo y en este artículo, utilizamos el software ETAP para modelar y simular el SPT bajo una combinación de descargas atmosféricas y fallas eléctricas internas

Se utiliza la norma IEEE-80 para la medición de voltajes de paso y contacto permisibles, utilizando métodos de elementos finitos para la protección contra descargas atmosféricas. Esto nos permite detectar riesgos potenciales, luego mitigarlos y optimizar la instalación eléctrica, mediante la simulación y modelado del propio SPT. Se proporcionan requisitos estándar para IEC 62305 e IEEE 142, y regulaciones relevantes a nivel local para salvaguardar y habilitar el funcionamiento de los sistemas eléctricos en plantas industriales.

Estas y referencias similares pueden ser útiles para realizar un análisis económico y técnico de los sistemas de puesta a tierra con respecto a las diversas normas de construcción y, por lo tanto, también los esfuerzos comparativos entre normas y el eventual impacto en el diseño.

Antecedente internacional N°3

Institución: Universidad Nacional del centro del Perú.

Tema: Evaluación de la eficiencia de aditivos en el tratamiento de puestas de tierra en Huancayo.

Autor: Cartolín León Ana Luisa.

Año: 2021.

Cartolín León (2021) investigó la eficiencia de varios aditivos en sistemas de puesta a tierra. Su examen se concentró en medir la resistividad eléctrica del suelo y la resistencia de los sistemas sujetos a diferentes tipos de aditivos como el cemento conductor y la bentonita. Basado en métodos de medición estandarizados como el método de Wenner, el autor también afirmó que el cemento conductor es de alguna manera más efectivo para reducir la resistencia a tierra que la bentonita.

La investigación también evaluó el potencial económico de incorporar estos aditivos en los sistemas de puesta a tierra. El informe indicó que el cemento conductor es más caro que la bentonita, dada la mejor eficiencia que proporciona, aunque el precio puede ser un poco más alto al considerar las ventajas de la seguridad y la longevidad del sistema. Para los propósitos de este material, el análisis de costos en este tipo es beneficioso ya que les ayuda a comparar los estándares.

Antecedente internacional N°4

Institución: Universidad Nacional del centro del Perú.

Tema: Optimización del diseño de puestas a tierra, utilizando elementos finitos en la constitución.

Autor: Richard Deyvit Lozano Campos.

Año: 2020.

Un procedimiento de optimización producido por Lozano Campos (2020) incluyó el examen de diferentes materiales y configuraciones de la malla de puesta a tierra, así como un software especial para modelar diferentes escenarios. El resultado demostró que, al optimizar el diseño, no solo es más seguro para su uso, sino que también mejora la eficiencia operativa general y puede ahorrar considerables costos de instalación y mantenimiento.

Este método utilizado en la Subestación Constitución presentó un escenario de la vida real que ilustró cómo las técnicas de optimización pueden aplicarse a la puesta a tierra en el diseño eléctrico para la construcción o instalación de sistemas de instalación eléctrica. Estos tipos de

modificaciones de diseño reducen costos, y la forma en que el autor contrasta los materiales se utiliza en este documento, ya que podría haber diferencias de material de un estándar a otro.

Antecedente internacional N°5.

Institución: Holt Enterprises, Incorporated.

Tema: Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, based on the 2020 NEC

Autor: Mike Holt

Año: 2020.

Según Holt (2020) en su libro, "Guía Ilustrada de Mike Holt para Entender los Requisitos del NEC para Conexión a Tierra y Puesta a Tierra, basada en el NEC 2020", describe, instruye e ilustra los estándares relacionados con los sistemas de puesta a tierra de acuerdo con el NEC. Este texto destaca el hecho de que una mala conexión a tierra es la causa de una gran proporción de problemas de calidad y seguridad eléctrica. Presenta ilustraciones, así como aplicaciones prácticas del autor, para facilitar el uso, diseño y cálculo basados en artículos específicos del NEC.

El enfoque de Holt constituye una base teórica y práctica sólida, particularmente cuando se trata de la evaluación técnica y económica de los sistemas de puesta a tierra en edificios. Al desglosar cada artículo del NEC con respecto a la conexión a tierra y la puesta a tierra, el autor proporciona una guía paso a paso que ayudará en la correcta integración de estos sistemas para reducir los peligros eléctricos y aumentar la eficiencia.

Antecedente internacional N°6.

Institución: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

Tema: Diseño del electrodo de puesta a tierra para un sistema HVDC.

Autor: Enrique Gaona Estrada.

Año: 2019.

Basado en un análisis de la arquitectura de la tecnología HVDC, diseñó el electrodo de puesta a tierra para este tipo de sistema en su investigación. El estudio también aborda las diferencias en los niveles de voltaje de paso y de contacto que no afectan el rendimiento de producción de las aves y las limitaciones de corriente que hacen que los humanos y los animales estén seguros. De manera similar, analizan las condiciones de operación del electrodo, considerando características como las corrientes de desequilibrio bipolar y las implicaciones de la corrosión en la infraestructura. El diseño debe proporcionar los componentes del electrodo para soportar el trabajo durante el ciclo de vida del proyecto o para reemplazarlos cuando sea necesario. Este estudio ayuda en el proceso de optimización del diseño para hacer que los sistemas de puesta a tierra en aplicaciones HVDC sean eficientes y seguros.

### **Limitaciones.**

#### **Equipos de medición.**

Se desarrollará una investigación con referencia al Laboratorio de Prototipos de Computación de 72 m<sup>2</sup> según lo establecido por la Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo (DIE-MEP) y para su uso como diseño base para aplicación nacional, no como un sitio basado en una región espacial específica.

Una limitación de nuestra investigación es la ausencia de dispositivos de medición de resistividad del suelo y resistencia del sistema de puesta a tierra. Esta limitación no es irrazonable, porque como un diseño de prototipo reproducible en el país, las condiciones del terreno pueden ser drásticamente diferentes dependiendo de cómo se disponga el laboratorio, lo que haría que cualquier medición particular sea impráctica de realizar y no podría ser técnicamente representativa para el alcance del estudio.

De manera similar, los planos oficiales del prototipo acuerdan que el estudio del suelo y la verificación in situ son responsabilidades del profesional encargado de llevar a cabo el trabajo, las cuales están fuera del diseño base y, por lo tanto, del estudio actual.

En consecuencia, el análisis se lleva a cabo dentro de los criterios normativamente estandarizados del NEC 2020 y la IEC 60364-5-54, basados en valores de referencia y metodología

de prescripción que han sido permisivos con esos estándares, con el propósito de comparación técnica y económica, ya que no es posible incluir mediciones realizadas en el campo.

En caso de necesitarse datos correspondientes de medición, se tomarán valores ideales para realizarlos o de una localización en específico.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO O DE REFERENCIA**

En este capítulo se muestran los referentes teóricos necesarios para la comprensión de este documento, según la perspectiva del autor.

### **Normativas**

Este documento se basa en dos normativas eléctricas, utilizadas por los gobiernos de diversos países, generadas por dos sistemas que buscan objetivos claros seguridad y estandarización.

#### **NEC 2020**

Según Electrical Safety Foundation International (s.f.), el Código Eléctrico Nacional (NEC) 2020 es un conjunto de estándares de seguridad eléctrica desarrollado por la National Fire Protection Association (NFPA) en los Estados Unidos. El NEC establece los requisitos mínimos para la instalación de sistemas eléctricos y equipos, con el objetivo de garantizar la seguridad de personas y propiedades contra los peligros eléctricos.

#### **IEC**

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) es una organización mundial que desarrolla y publica normas internacionales para tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas. Estas normas buscan garantizar la seguridad, eficiencia y compatibilidad de productos y sistemas eléctricos y electrónicos, facilitando el comercio global y fomentando la innovación tecnológica a través de la colaboración con expertos de diversas industrias y gobiernos (International Electrotechnical Commission, s.f.).

#### **NFPA**

"La National Fire Protection Association (NFPA) establece estándares y códigos para la prevención de incendios y la seguridad contra incendios (National Fire Protection Association [NFPA], 2020). La NFPA es ampliamente reconocida por su publicación de los códigos NFPA 70 (National Electrical Code) y NFPA 101 (Life Safety Code). Estos códigos son utilizados en diversas industrias para garantizar la seguridad y el cumplimiento de normativas."

## **Magnitudes eléctricas.**

Las magnitudes eléctricas definen características físicas sobre el fenómeno, su entendimiento mejorara la lectura del documento, a continuación, se citarán 5 magnitudes eléctricas:

### **Corriente Eléctrica.**

"El flujo de carga, o corriente, es el efecto que tratamos de establecer en un circuito eléctrico. La corriente es una reacción al voltaje aplicado y no el factor que pone al sistema en movimiento." (Boylestad, 2004, p. 2).

### **Voltaje (Diferencia de Potencial).**

"La diferencia de potencial, o voltaje, entre dos puntos es la causa ('presión') que impulsa el flujo de carga o corriente a través de un circuito." (Boylestad, 2004, p. 2).

### **Resistencia Eléctrica.**

"La oposición al flujo de carga en un circuito es la resistencia, la cual determina la velocidad a la cual los electrones pueden fluir a través de un conductor." (Boylestad, 2004, p. 2).

### **Potencia Eléctrica.**

"La potencia en un circuito eléctrico es el producto del voltaje y la corriente, que refleja la tasa a la cual se consume o se entrega energía en el sistema." (Boylestad, 2004, p. 2).

## **Concepto básico de la puesta a tierra**

Oropeza (2012), mención el concepto de puesta a tierra y como este tiene una relación con los materiales conductores, esto lo menciona de la siguiente manera:

Se asume que el planeta Tierra tiene un potencial cero, que puede ser un excelente o pésimo conductor eléctrico, esto dependerá del grado de humedad. del tipo de terreno que puede ser orgánico, arenoso, arcilloso, rocoso, roca volcánica, etc.

Al asumir que el planeta Tierra tiene un potencial cero, todas las partes metálicas que normalmente no transportan energía eléctrica de los equipos eléctricos deben igualarse al potencial del planeta Tierra, para que no exista una diferencia de potencial que pudiera representar un peligro para los seres humanos.

Los conceptos básicos para el entendimiento de la puesta a tierra se basan en el funcionamiento normal de un circuito eléctrico y en la aplicación de la Ley de Ohm.

La ley de Ohm es la siguiente: La corriente eléctrica que circula en un circuito eléctrico es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica.  $V=I/R$ , donde I = Corriente (Amperios), V = Tensión (Voltios), R = Resistencia (Ohmios). (p.12)

Este autor genera un andamiaje en los conceptos sobre sistemas de puesta a tierra, como es utilizado de manera teórica y práctica, así como la relación matemática de la ley de Ohm.

### **Puesta a tierra del equipo**

Los sistemas a puesta a tierra cumplen finalidad 3 objetivos según Oropeza (2012):

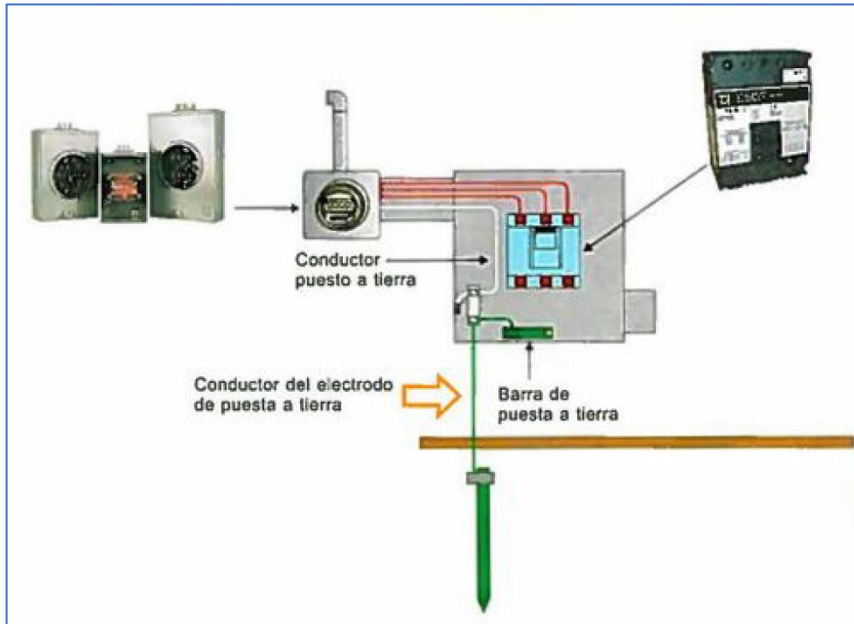
- A) Limitar el potencial entre las partes metálicas no conductoras de la electricidad de la planta, comercios, edificios, unidades de vivienda y la tierra a un valor seguro bajo condiciones normales de operación y condiciones de falla eléctrica.
- B) Tener un potencial uniforme en todas las partes de la estructura y de los equipos.
- C) Tener una trayectoria efectiva de baja impedancia, para que circule la corriente de falla a tierra.

### **Componentes de la puesta a tierra del equipo**

Los sistemas de puesta a tierra contienen componentes y puntos de unión ya definidos en este documento, Oropeza (2012) señala los componentes: “Electrodo de puesta a tierra. Conductor del electrodo de puesta a tierra. Conductor de puesta a tierra del equipo. Puente de unión principal. Puente de unión del sistema.” (p.48).

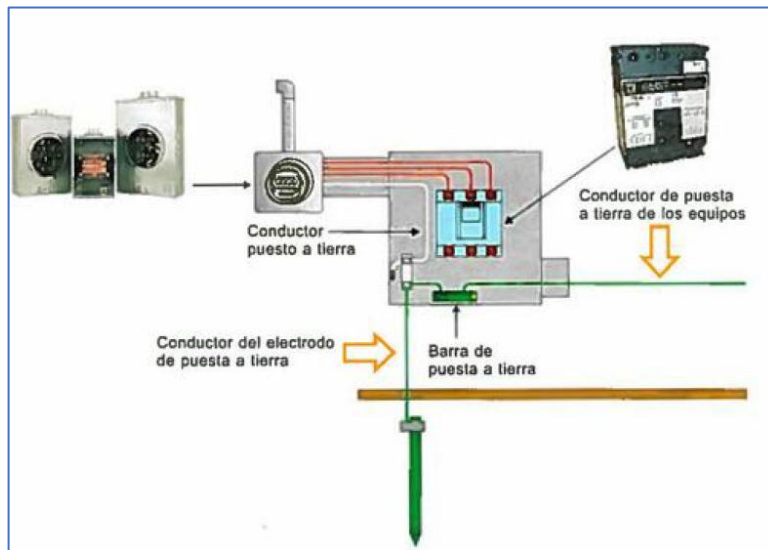
Estos elementos son descritos por medio de imágenes, que diagraman su conexión y cableado, a continuación, se presentaran las imágenes:

Figura 1 Conductor del electrodo de puesta a tierra.



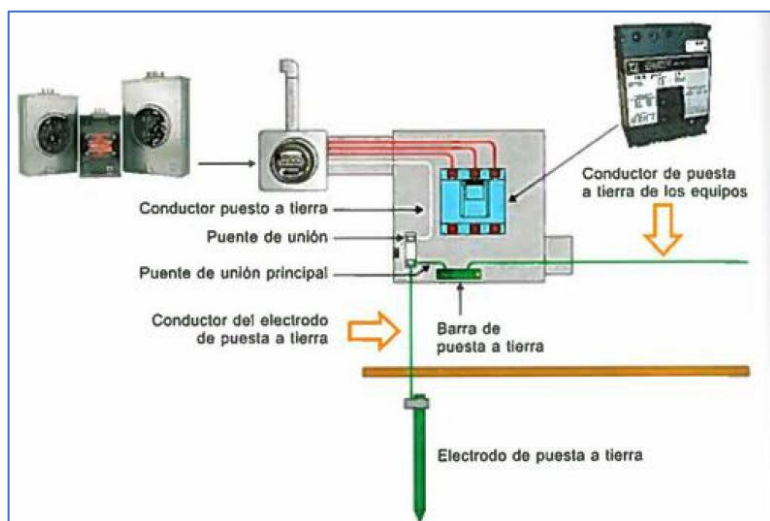
Nota 1Esta imagen demuestra el cableado de únicamente el electrodo a tierra (Oropeza, 2012, p.49).

Figura 2 Conductor de puesta a tierra y conductor de puesta a tierra de los equipos.



Nota 2: La imagen representa el cableado de los elementos, su nombre y como se envía el conductor a los equipos (Oropeza Ángeles, 2012, p. 49).

Figura 3 Definiciones de los términos utilizados en la puesta a tierra.



Nota 3 Muestra la de manera visual las definiciones presentadas en el NEC (Oropeza, 2012, p. 50).

Las imágenes mostradas por Oropeza, 2012, muestran la instalación física de un sistema, pero no se indica si este pertenece a una normativa en común.

### **Naturaleza de un electrodo de puesta a tierra.**

Oropeza (2012) comenta mediante tres términos el comportamiento de la resistencia en el electrodo de puesta a tierra de los cuales se citarán textualmente de la siguiente manera:

La resistencia de un electrodo de puesta a tierra que sirve para que pase a través de él la corriente eléctrica. Actualmente tiene tres elementos:

**Resistencia del electrodo de puesta a tierra.** Las varillas de acero con cubierta de cobre, las tuberías metálicas de agua, la estructura metálica del inmueble, el electrodo empotrado en concreto, el anillo de tierra y otros electrodos son comúnmente utilizados como sistemas de electrodos de puesta a tierra. Estos son usualmente de una sección transversal para que su resistencia sea una parte menor de la resistencia total del sistema de tierra.

**Resistencia de contacto entre el electrodo de puesta a tierra y la tierra.** Esto es mucho menor de lo que se piensa. Si el electrodo de puesta a tierra está libre de pintura y

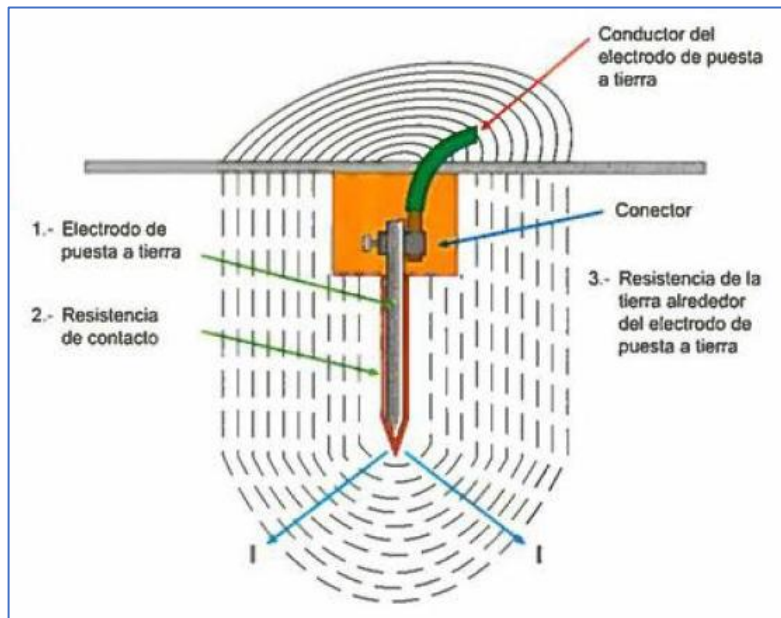
grasa, y la tierra se encuentra firmemente compactada, se puede concluir que la resistencia de contacto es despreciable. La oxidación de un electrodo de acero tiene poco efecto o es despreciable; el óxido del acero está fácilmente mojado con agua y tendrá una resistencia menor que los mejores suelos. Pero si una tubería de acero se encuentra oxidada, en la parte dañada no será efectiva y la resistencia a tierra.

**Resistencia de la tierra alrededor del electrodo de puesta a tierra.** Un electrodo de puesta a tierra que se entierre dentro de la tierra con una resistividad uniforme radiará corriente en todas las direcciones. Alrededor de un electrodo se tienen líneas de tierra, todas son iguales en espesor.

Las líneas más cercanas al electrodo de puesta a tierra naturalmente tienen una superficie más pequeña y así presentan la resistencia más alta. Las líneas de tierra siguientes son más grandes en área y presentan menor resistencia. Finalmente, se deberá conservar una distancia alrededor del electrodo puesta a tierra, de tal manera que, si se adicionan líneas de tierra, no se incremente significativamente la resistencia de la tierra alrededor del electrodo de puesta a tierra (Oropeza, 2012, p.58).

El autor muestra una imagen generando las líneas de tierra y señalando los puntos descritos de manera visual.

Figura 4 Componentes del electrodo de puesta a tierra.



Nota 4 Se señalan los componentes del sistema y se representan las líneas (Oropeza, 2012, p. 58).

### **Instalación del electrodo según su resistente.**

Las normas brindan valores de resistencia, los electrodos pueden tener variaciones de esa resistencia, Oropeza (2012) menciona lo siguiente:

Cuando se instala un electrodo de puesta a tierra y resulta que al realizar la medición de la resistencia no tiene un valor bajo, existen las siguientes opciones para disminuir el valor de la resistencia a tierra:

Utilizar un electrodo de puesta a tierra largo dentro del terreno.

Utilizar electrodos de puesta a tierra múltiples.

Tratamiento del terreno.

Al utilizar electrodos de puesta a tierra con una longitud menor a 3 m, se obtendrán resistencias a tierra altas. Pero si se instalan varillas con una longitud de 3 m, se obtendrá un valor de resistencia menor (Oropeza, 2012, p.59).

El autor además muestra un diagrama que los muestra como disminuye la resistencia del electrodo a puesta a tierra con respecto a su profundidad.

Figura 5 Gráfica de resistencia vs. profundidad del electrodo de puesta a tierra.



Nota 5. La grafica demuestra el aumento de la resistencia ante mayor profundidad y su afectación en los sistemas de puesta a tierra (Oropeza, 2012, p. 59).

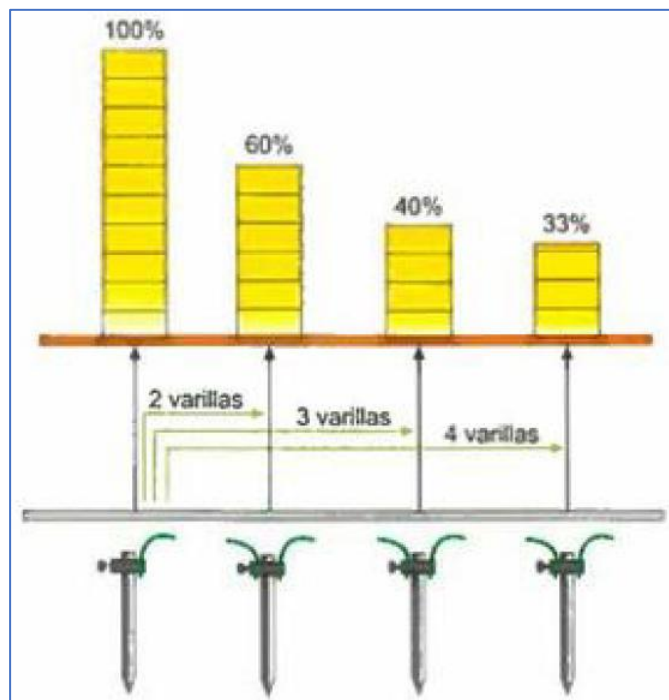
Oropeza (2012), también describe el segundo punto, el cual se basa en la cantidad de electrodos a utilizar, lo menciona de la siguiente manera:

Si se utilizan dos o más electrodos de puesta a tierra conectados al mismo sistema de tierra, se proveerán caminos en paralelo, creando en efecto dos resistencias en paralelo. La regla de dos resistencias en paralelo no se aplica exactamente. Es decir, el resultado de la resistencia a tierra no es la mitad de la resistencia a tierra individual (asumiendo que son de la misma longitud y están enterradas a la misma profundidad).

La reducción de dos electrodos de puesta a tierra iguales es aproximadamente del 60%. Si son utilizados tres electrodos de puesta a tierra, la reducción será aproximadamente del 40%.

Si son 4 electrodos de puesta a tierra, la reducci3n ser3 del 33%. Cuando se utilizan m3ltiples electrodos de puesta a tierra, estos deber3n espaciarse por lo menos la longitud de ellos. Existen muchas razones te3ricas para esto, pero solo se necesita conocer la siguiente curva. Por ejemplo, si se tienen dos varillas espaciadas 3 m, la resistencia bajar3 aproximadamente el 60%. Si el espacio entre las varillas se incrementa a 6 m, la reducci3n ser3 aproximadamente del 50% (p. 60).

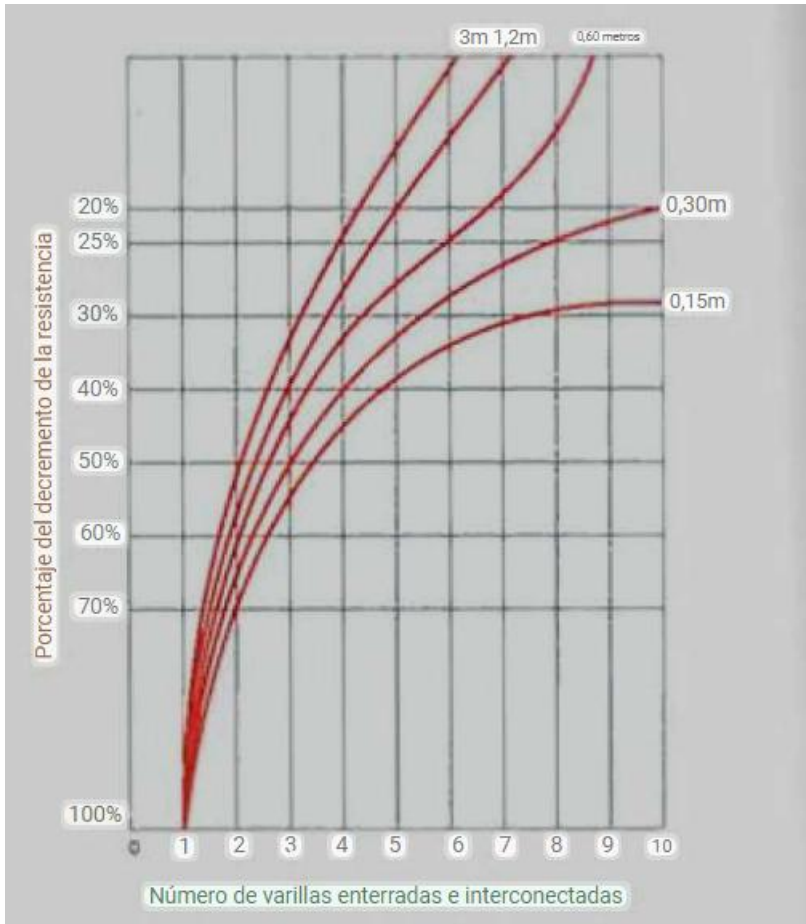
Figura 6 Gr3fica de electrodos de puesta a tierra en paralelo.



Nota 6. Se muestra el Decremento de la resistencia a tierra en porcentajes con la utilizaci3n de electrodos de puesta a tierra m3ltiples (Oropeza, 2012, p.60).

Tambi3n se puede mostrar la gr3fica que los indica cuanto puede variar la resistencia, seg3n n3mero de electrodos y la distancian entre ellas a continuaci3n:

Figura 7 Gr3fica de decremento de resistencia vs. n3mero de electrodos de puesta a tierra interconectados.



Nota 7. Las líneas rojas muestran la distancia entre electrodo (Oropeza, 2012, p.60).

### Cálculo de la resistencia a tierra

Oropeza (2012), Muestra una ecuación para saber la resistencia del electrodo de puesta a tierra, lo detalla a continuación:

La resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra puede calcularse y medirse. Tanto la NOM-001-SEDE-2012 como el NEC-2014 requieren que la resistencia a tierra sea de 25 ohmios o menos para un electrodo de puesta a tierra del tipo varilla, tubería o placa.

No se debe interpretar que un valor de 25 ohmios es un valor satisfactorio de resistencia a tierra para un sistema de puesta a tierra.

Los cálculos han sido simplificados grandemente por las fórmulas de H. B. Dwight. Una fórmula simplificada para un electrodo con una precisión del 15% de resistencia de una varilla de diámetro de 5/8" (16 mm) y una longitud de 3 m (10 pies), enterrada en la tierra con una resistividad uniforme  $\rho$  ( $\Omega$ -cm), es la siguiente:

$$R_G(\text{varilla})(\Omega) = \frac{\rho(\Omega - \text{cm})}{298 \text{ cm}}$$

Una regla para los sistemas de tierra de 2 a 24 varillas, espaciadas una longitud de la varilla en configuración lineal, triangular, circular o cuadrada, es que proveerá una resistencia de puesta a tierra dividida por el número de varillas y multiplicada por el factor F.

Las Fórmulas desarrolladas por H. B. Dwight para el cálculo de la resistencia a tierra de un electrodo de puesta a tierra

Las siguientes fórmulas desarrolladas por H. B. Dwight incluyen el efecto de las imágenes:

Para una varilla:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \frac{\ln 4L}{a} - 1 \right)$$

Donde:

R = resistencia, en ohmios ( $\Omega$ )

L = longitud de la varilla, en cm

a = radio de la varilla, en cm

$\rho$  = resistividad del suelo, en  $\Omega$ -cm

El factor F que comenta el autor mencionado anteriormente utiliza la siguiente imagen:

Figura 8 Factores de Multiplicación para Varias Varillas.

Número de varillas	F
2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.80
dieciséis	1.92
20	2.00
24	2.16

Nota 8. Estos factores se aplican al agregar un numero de varillas (Oropeza, 2012, p. 61).

### **Tratamiento del terreno**

Los terrenos pueden tener una alta resistencia, la cual se puede disminuir con aditivos, Oropeza (2012), lo comenta de la siguiente manera:

El tratamiento químico del terreno es una buena medida cuando la resistencia del electrodo de puesta a tierra es muy alta o cuando el terreno es muy duro o rocoso.

Se debe considerar el efecto corrosivo sobre el electrodo de puesta a tierra; el sulfato de magnesio, el sulfato de cobre y la roca de sal ordinaria son materiales no corrosivos.

El sulfato de magnesio es el menos corrosivo, pero la roca de sal es más barata y de menor trabajo para aplicar en la trinchera alrededor del electrodo de puesta a tierra.

El tratamiento químico no es una solución permanente para mejorar la resistencia a tierra del electrodo de puesta a tierra. Los químicos son gradualmente lavados por la lluvia y por el drenaje natural a través del terreno. Dependiendo de lo poroso del terreno y de la lluvia, el periodo de reemplazo variará. En las épocas más severas se requerirá otro tratamiento.

El tratamiento químico tiene la ventaja de reducir la variación por temporadas en la resistencia a tierra, lo que resulta en un terreno sin tratamiento en épocas de lluvias y épocas secas naturalmente.

Esta medida es útil para estabilizar la resistencia a tierra, aunque se debe tener en cuenta la necesidad de mantenimiento y reemplazo periódico del tratamiento químico aplicado (p.62).

### **Equipotencialidad en sistemas de puesta a tierra**

La equipotencialidad se entiende, en términos de seguridad eléctrica, como la condición en la cual todas las partes conductoras accesibles de una instalación se mantienen prácticamente al mismo potencial eléctrico. Esto no ocurre de forma natural; se logra mediante la interconexión deliberada de dichas partes metálicas a través de conductores apropiados y su vinculación directa con el sistema de puesta a tierra. La lógica detrás de esta práctica es relativamente simple desde el punto de vista físico, aunque su implementación requiere cierto cuidado en el diseño: si distintos elementos metálicos permanecen al mismo potencial, la probabilidad de que aparezcan diferencias de tensión peligrosas entre ellos se reduce de manera considerable (Gómez Expósito, 2011).

Ahora bien, cuando se observa una instalación eléctrica real —no el esquema ideal de un plano— es evidente que la cantidad de superficies metálicas presentes en una edificación es mucho mayor de lo que inicialmente se supone. Carcasas de equipos, canalizaciones, bandejas porta cables, estructuras metálicas de soporte e incluso partes de los tableros eléctricos forman parte de ese conjunto conductor disperso dentro de la instalación. Bajo condiciones normales estas superficies permanecen eléctricamente inactivas; sin embargo, si ocurre una falla de aislamiento o una corriente de defecto, alguno de esos elementos puede quedar energizado durante un intervalo breve. Es ahí donde aparece el problema técnico: si dos superficies metálicas cercanas quedan a potenciales distintos, la tensión de contacto puede manifestarse de forma inmediata.

La interconexión equipotencial intenta precisamente evitar ese escenario. Al unir eléctricamente las distintas masas metálicas de la instalación —algo que, dicho sea de paso, muchos diseños subestiman— se obliga a que todas ellas evolucionen hacia un mismo nivel de potencial. Dicho de otra manera, la corriente de falla encuentra un camino de baja impedancia hacia el sistema

de puesta a tierra, mientras que las tensiones de contacto entre superficies metálicas se mantienen dentro de valores mucho más bajos.

Si nos fijamos bien, la equipotencialidad no sustituye al sistema de puesta a tierra. Tampoco pretende hacerlo. Lo que hace es trabajar junto a él, reforzando su comportamiento eléctrico durante condiciones de falla. En términos prácticos, esto significa que las corrientes de defecto pueden ser conducidas de forma controlada hacia tierra, al tiempo que se reduce el riesgo de descargas eléctricas sobre los usuarios de la instalación y se limita la posibilidad de daños en los equipos conectados. Es una medida técnica sencilla en apariencia, pero cuando se analiza desde el punto de vista de la seguridad eléctrica, su presencia —o su ausencia— cambia por completo el comportamiento del sistema.

### **Comprobadores de tierra (resistencia)**

Los comprobadores de tierra, también conocidos como medidores de resistencia de tierra, son dispositivos que se usan para medir la resistencia eléctrica del sistema de puesta a tierra en una instalación eléctrica. Los comprobadores de tierra operan mediante la inyección de una corriente eléctrica en el sistema de puesta a tierra y la medición del voltaje resultante, calculando la resistencia según la ley de Ohm (Fluke Corporation, 2023).

### **Tierra aislada: fundamento técnico y aplicación en sistemas eléctricos**

El concepto de tierra aislada dentro de los sistemas eléctricos de baja tensión debe interpretarse desde una perspectiva funcional y no literal. No se trata de un sistema eléctricamente independiente de la puesta a tierra general, sino de una configuración en la cual se controla intencionalmente la trayectoria del conductor de protección, con el fin de reducir la circulación de corrientes no deseadas y perturbaciones electromagnéticas sobre equipos sensibles.

Si se analiza el sistema desde su origen, el punto de referencia se establece en el secundario del transformador, donde el neutro se conecta a tierra. A partir de este punto, en una instalación convencional, los conductores de puesta a tierra comparten múltiples trayectorias a través de canalizaciones metálicas y estructuras, lo que permite la circulación de corrientes parásitas. Estas corrientes, aunque de baja magnitud, generan diferencias de potencial en el sistema de tierra debido a las caídas de tensión asociadas a la impedancia de los conductores (IEEE, 2000, sec. 1.4).

Bajo este contexto, la tierra aislada introduce una modificación en la topología del sistema. Se implementa un conductor de puesta a tierra que se extiende desde el tablero de origen hasta el punto de utilización, manteniendo continuidad eléctrica sin establecer contacto con canalizaciones metálicas u otros caminos conductivos durante su recorrido. En el punto final, el receptáculo dispone de un terminal de tierra eléctricamente aislado de la caja metálica, de manera que el equipo conectado referencia su potencial exclusivamente a dicho conductor (NFPA, 2020, Art. 250.146(D)).

El fenómeno que se busca mitigar no está asociado directamente a corrientes de falla, sino a corrientes de fuga, componentes armónicas y acoplamientos capacitivos propios de equipos electrónicos modernos. Estas corrientes circulan por los sistemas de puesta a tierra y generan diferencias de potencial que pueden inducir ruido eléctrico y afectar el desempeño de equipos sensibles. En particular, la presencia de múltiples trayectorias de retorno favorece la formación de bucles de tierra, los cuales permiten la circulación de corrientes no deseadas que degradan la calidad de las señales eléctricas (Barnes, 2003, p. 245).

Desde un punto de vista normativo, el NEC 2020 contempla esta configuración como una solución específica para la reducción de interferencias. En este sentido, se establece que se permite el uso de receptáculos con terminal de puesta a tierra aislado cuando se requiera minimizar el ruido eléctrico en el conductor de tierra (NFPA, 2020, Art. 250.146(D), traducción propia). Es importante señalar que esta disposición no está orientada a mejorar la protección contra fallas eléctricas, sino a optimizar el desempeño de los sistemas en presencia de perturbaciones electromagnéticas.

En aplicaciones como laboratorios de cómputo, donde existe una alta concentración de equipos electrónicos con fuentes conmutadas y sistemas de comunicación, la estabilidad del potencial de referencia resulta crítica. Las variaciones en el sistema de tierra pueden traducirse en errores de transmisión, fallos intermitentes y comportamientos no deseados en los equipos. En este tipo de entornos, la implementación de tierra aislada permite reducir la influencia de corrientes parásitas y mantener una referencia de potencial más estable, mejorando la confiabilidad operativa del sistema (IEEE, 2000, sec. 8.5).

Conviene aclarar que la tierra aislada no sustituye el sistema de puesta a tierra general de la instalación. Su función es complementaria y se enfoca en el control del ruido eléctrico, no en la

disipación de corrientes de falla. Esta distinción resulta fundamental para comprender su aplicación correcta dentro del diseño de sistemas eléctricos.

### **Tomacorrientes de tierra aislada.**

Para comprender el funcionamiento de un tomacorriente de tierra aislada, basta con visualizar la ruta física de la conexión. En las instalaciones convencionales, el conductor de puesta a tierra suele compartir contacto con canalizaciones metálicas y tableros de paso; esto, inevitablemente, lo expone a corrientes parásitas y ruido eléctrico proveniente de otras cargas industriales.

La configuración IG (Isolated Ground) cambia esta lógica radicalmente. Aquí, el conductor de protección viaja aislado —sin tocar las estructuras metálicas intermedias— y se conecta directamente hasta el punto de puesta a tierra del sistema. Al eliminar esos puentes metálicos, aseguramos una trayectoria limpia y estable para los equipos sensibles. Esta arquitectura coincide con lo descrito en la literatura técnica: “El propósito de un sistema de puesta a tierra aislada no es mejorar la seguridad, sino reducir el ruido en equipos electrónicos sensibles mediante la provisión de una trayectoria dedicada de puesta a tierra.” (McPartland, 2012, p. 327, traducción propia)

En consecuencia, su función principal no consiste en incrementar la protección frente a descargas eléctricas —aspecto que depende del sistema general de puesta a tierra—, sino en optimizar la estabilidad electromagnética del entorno donde operan los equipos. Este elemento actúa sobre la calidad del desempeño eléctrico del sistema, reduciendo interferencias y favoreciendo condiciones de operación más estables para los dispositivos conectados.

Figura 9 Tomacorriente IG.



Nota: Imagen de tomacorriente con tierra aislada modelo 5362-IG, 20 A, 125 V, tipo NEMA 5-20R, utilizada con fines ilustrativos del dispositivo analizado. Adaptado de Leviton Manufacturing Co., Inc. (s. f.).

### **Tomacorrientes con protección por falla a tierra (GFCI)**

Los tomacorrientes con protección por falla a tierra, denominados Ground-Fault Circuit Interrupter (GFCI), están orientados a la protección de las personas frente a descargas eléctricas. Su función consiste en detectar corrientes de fuga hacia tierra y abrir el circuito de forma automática cuando se presenta esta condición.

El funcionamiento eléctrico del GFCI se basa en un principio directo: el balance de corrientes entre conductores. La corriente que circula por el conductor activo debe retornar íntegramente por el neutro. El dispositivo supervisa esa relación de manera continua. Mientras ambas magnitudes coinciden, el sistema opera con normalidad. Basta, sin embargo, una desviación—incluso del orden de miliamperios— para que el equipo interprete que parte de la corriente está derivándose hacia tierra, situación que podría involucrar el cuerpo humano u otro camino no previsto.

Ante esta discrepancia, el GFCI actúa sin demora. Interrumpe el circuito en milisegundos.

Desde una perspectiva conceptual, el comportamiento puede resumirse así:

- Corriente de salida igual a corriente de retorno → operación normal.
- Corriente de salida distinta de corriente de retorno → desconexión inmediata.

La literatura técnica describe este mecanismo señalando que:

Los interruptores por falla a tierra comparan la corriente que circula por el conductor no puesto a tierra con la que retorna por el conductor puesto a tierra, e interrumpen el circuito cuando la diferencia indica una fuga de corriente hacia tierra.” (McPartland, 2012, p. 514, traducción propia)

Esto convierte al GFCI en uno de los dispositivos más efectivos para prevenir electrocución en ambientes donde existe riesgo de contacto con tierra.

Figura 10 Toma corriente GFCI.



Nota. Imagen de tomacorriente con protección por falla a tierra (GFCI) de 15 A con botones de prueba y restablecimiento, utilizada con fines ilustrativos del dispositivo analizado. Adaptado de ANKO (s. f.).

### **Tomacorrientes estándar en instalaciones eléctricas.**

Operativamente, un tomacorriente estándar resuelve la entrega de energía mediante tres puntos de conexión física bien definidos. El conductor activo (fase) se encarga del suministro, mientras que el neutro cierra el circuito permitiendo el retorno de la corriente hacia la fuente.

En condiciones de operación normal, el flujo eléctrico se confina exclusivamente a este bucle entre fase y neutro; el conductor de protección permanece en espera, sin transportar carga alguna. Su función crítica se activa únicamente ante una falla de aislamiento: al ofrecer una trayectoria de baja impedancia, el conductor de tierra 'captura' la corriente de falla y fuerza la apertura inmediata del dispositivo de protección contra sobre corriente, despejando así el riesgo.

La literatura técnica describe esta función señalando que: “El conductor de puesta a tierra de equipos proporciona una trayectoria de baja impedancia para la corriente de falla, facilitando la operación de los dispositivos de protección contra sobre corriente.” (McPartland, 2012, p. 142, traducción propia)

### **Equivalencia en milímetros de cuadrados de cable AWG.**

Para efectos de comparación técnica entre sistemas normativos, resulta necesario expresar el área de conductores definidos bajo el sistema American Wire Gauge (AWG) en unidades métricas. El Código Eléctrico Nacional proporciona las propiedades geométricas del conductor metálico en términos de circular mils, correspondientes exclusivamente al área del material conductor, sin considerar aislamiento o recubrimientos.

La normativa establece: “El Capítulo 9, Tabla 8 presenta el área y el diámetro aproximados de los conductores.” (NFPA, 2020, Capítulo 9, Tabla 8, traducción propia).

Lo anterior indica que la tabla suministra el área aproximada del conductor en sí mismo, lo cual permite realizar conversiones directas al sistema internacional de unidades. Para esta investigación, la conversión se realizó utilizando la relación:

$$1 \text{ circular mil} = 0,0005067 \text{ mm}^2$$

De esta forma se obtiene el área geométrica equivalente del cobre utilizada en el análisis comparativo con conductores especificados bajo normativa IEC.

Tabla 1 Equivalencia de área de conductores AWG (solo cobre).

<b>Tamaño AWG</b>	<b>Área (circular mils)</b>	<b>Área equivalente (mm<sup>2</sup>)</b>
12	6.530	3,31

10	10.380	5,26
8	16.510	8,37
6	26.240	13,30
4	41.740	21,15
3	52.620	26,66
2	66.360	33,63

Nota. Datos base de NFPA (2020, Cap. 9, Tabla 8); conversión a mm<sup>2</sup> realizada para el área del conductor de cobre sin aislamiento.

### **Costos**

El análisis de costos en los sistemas de puesta a tierra es necesario para determinar la viabilidad económica de su implementación, si se puede ahorrar presupuestando otros materiales que cumplan con la norma. Los costos se pueden dividir en varias categorías principales: materiales, mano de obra, mantenimiento y vida útil del sistema. A continuación, se presenta una revisión teórica sobre estos aspectos, utilizando dos autores como referencia para comparar los costos de los sistemas de puesta a tierra según las normativas NEC e IEC.

El término "costo" en el contexto de la evaluación de proyectos de inversión se refiere al valor monetario total de los recursos que se deben sacrificar para obtener un bien o servicio específico. Los costos pueden clasificarse de diversas maneras dependiendo de su naturaleza y comportamiento en relación con el nivel de actividad de la empresa o proyecto (Serrano Rodríguez, 2011, p. 19).

#### **Costo de Materiales**

El costo de materiales en un proyecto de inversión se refiere al gasto asociado con la adquisición de todos los insumos necesarios para llevar a cabo el proyecto. Este costo puede incluir materias primas, componentes, herramientas y otros materiales directos necesarios para la construcción, producción o implementación del proyecto (Serrano Rodríguez, 2011, p. 175).

#### **Costo de Mano de Obra**

El costo de mano de obra se refiere a los gastos asociados con el empleo de trabajadores necesarios para realizar un proyecto de inversión. Este costo incluye salarios, beneficios, seguros y otros gastos relacionados con el personal (Serrano Rodríguez, 2011, p. 177).

## Vida Útil

La vida útil de un activo es el período durante el cual se espera que el activo sea funcional y rentable para el proyecto. Este concepto es fundamental en la evaluación de proyectos de inversión, ya que afecta la depreciación, el mantenimiento y la rentabilidad general del proyecto (Serrano Rodríguez, 2011, p. 182).

## Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un método para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión, calculando la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo futuros generados por el proyecto y el valor de la inversión inicial. El VAN se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Cf_t}{(1+r)^t} - C_0$$

$Cf_t$  representa los flujos de caja en el período  $t$ .

$r$  es la tasa de descuento.

$t$  es el período de tiempo.

$C_0$  es la inversión inicial.

Un VAN positivo indica que el proyecto es rentable, ya que los flujos de caja descontados superan la inversión inicial. Un VAN negativo sugiere que el proyecto no debería ser aceptado porque no genera suficientes flujos de caja para cubrir la inversión inicial (Serrano Rodríguez, 2011, p. 91).

## Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que el VAN de todos los flujos de caja de un proyecto sea igual a cero. La TIR se utiliza para evaluar la viabilidad de un proyecto de inversión. Matemáticamente, se define como la tasa  $r$  que satisface la siguiente ecuación:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{Cf_t}{(1 + TIR)^t} - C_0$$

La TIR es la tasa de retorno esperada de un proyecto. Si la TIR es mayor que la tasa mínima de rendimiento requerida (o el costo de capital), el proyecto es considerado viable (Serrano Rodríguez, 2011, p. 96).

### **Relación entre VAN y TIR**

El VAN y la TIR son métodos complementarios para la evaluación de proyectos de inversión. El VAN proporciona una medida absoluta del valor agregado por el proyecto, mientras que la TIR ofrece una medida relativa de la rentabilidad. El uso conjunto de ambos métodos permite tomar decisiones de inversión más informadas (Serrano Rodríguez, 2011, p. 106).

### **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.**

Se presentará el tipo de enfoque y datos que representa la metodología utilizada en el documento.

#### **Tipo de enfoque**

El tipo de enfoque que se utiliza en la presente investigación es cuantitativo, debido a que se toman parámetros medibles físicamente, calculables y que se puede estudiar estadísticamente los cuales serán comparados con una norma la cual utiliza valores matemáticos puntuales, esto en el área de iluminación.

Hernández, Fernández y Baptista (2010) presenta la siguiente característica del enfoque cuantitativo:

La recolección de los datos se fundamenta en la medición (se miden las variables o conceptos contenidos en las hipótesis). Esta recolección se lleva a cabo al utilizar procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica. Para que una investigación sea creíble y aceptada por otros investigadores, debe demostrarse que se siguieron tales procedimientos. Como en este enfoque se pretende medir, los fenómenos estudiados deben poder observarse o referirse en el “mundo real” (p. 5).

Los datos físicos como dimensiones de la edificación, carga eléctrica y la información técnica de planos y con ellos se procede a realizar los cálculos y análisis de costos, con las cuales se evaluarán las instalaciones, comparando las normas mencionadas.

Hernández (2010) menciona que el enfoque es cuantitativo “debido a que los datos son producto de mediciones se representan mediante números (cantidades) y se deben analizar a través de métodos estadísticos” (p. 5), por esta razón se utilizan cálculos en financieros, materiales y especificaciones técnicas, basadas en datos físicos. Con lo anterior se vuelve a definir el enfoque que se utilizara en la presente investigación.

## Proceso de análisis y recolección de datos.

Para este documento, el proceso de análisis y recolección de datos se estructura en dos etapas fundamentales. Inicialmente, se realizará una revisión de los sistemas de puesta a tierra, enfocándose en las normativas NEC e IEC. Esta revisión establecerá una los requerimientos en cada norma y marcará sus diferencias.

Posteriormente, se procederá con la recolección de datos mediante los medios oficiales del MEP. Estos datos cumplen los requerimientos de un sistema y se deben acoplar a otro sistema de ser necesario, para calcular sus costos.

### Variables

Hernández, Fernández y Baptista (2010) define “una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse” (p.93).

Tabla 1. Variables con la técnica, instrumentos e indicadores para el estudio.

<b>Objetivo</b>	<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Definición instrumental</b>
Comparar los valores de resistencia y materiales necesarios para cumplir las normativas NEC 2020 en el artículo 250 parte VI, VII y la norma IEC 60364-5-54:2011+amd1:2021.	Requisitos y recomendación de las normativas NEC e IEC.	Número de requisitos y recomendaciones comparados.	Conjunto de normas y guías que establecen los criterios para el diseño e implementación de sistemas de puesta a tierra.	Revisión y comparación de los capítulos y secciones de las normativas NEC e IEC relacionadas con sistemas de puesta a tierra.	Documentos de las normativas NEC e IEC, tablas comparativas manuales.

<p>Recopilar los datos de diseño para obtener información de las condiciones específicas de los sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de colegios técnicos profesiones, mediante medios oficiales del MEP.</p>	<p>Datos de diseño.</p>	<p>Complejidad y cantidad de datos recopilados.</p>	<p>Información específica sobre las características estructurales y eléctricas de la edificación.</p>	<p>Recopilación de datos sobre la estructura, materiales, sistemas eléctricos y otros aspectos relevantes de la edificación.</p>	<p>Formularios de recolección de datos, entrevistas con personal técnico y de ingeniería.</p>
<p>Determinar las diferencias de diseño de los sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de colegios técnicos</p>	<p>Requerimientos del sistema de puesta a tierra, en cada norma.</p>	<p>Cantidad de requerimientos.</p>	<p>Proceso de recopilación de datos y comparaciones de una norma a otra.</p>	<p>Especificación de técnicas del sistema de puesta a tierra bajo normativas NEC e IEC.</p>	<p>Planos técnicos, guías y manuales técnicos de NEC e IEC.</p>

profesionales, siguiendo las directrices del NEC 2020 en el artículo 250 parte VI, VII y la norma IEC 60364-5-54:2011+amd1:2021.					
Estimar los costos asociados a la implementación de cada sistema de puesta a tierra, considerando materiales, mano de obra, mantenimiento y vida útil.	Costos de implementación de sistemas de puesta a tierra.	Costo total del diseño.	Estimación financiera que incluye todos los gastos necesarios para la implementación y mantenimiento de un sistema de puesta a tierra.	Cálculo de costos de materiales, mano de obra, mantenimiento y vida útil para cada diseño.	Tablas de costos, listas de precios de materiales y mano de obra, cálculo de costos.
Elaborar una recomendación basada en el análisis comparativo, destacando el sistema de sistema de	Resultados comparativos de los requerimientos del diseño de sistema de	Rentabilidad de cada norma.	Proceso de evaluación y comparación de los requerimientos del sistema de puesta a tierra en	Análisis de los resultados obtenidos de la comparación de normativas, evaluación de requerimiento, análisis de	Reportes de análisis comparativos, criterios de evaluación de eficiencia y costos, tablas

<p>puesta a tierra más eficiente y económico para la implementación en edificaciones.</p>	<p>puesta a tierra en cada norma.</p>		<p>términos de rentabilidad.</p>	<p>costos y mediciones de campo.</p>	<p>de análisis manuales.</p>
---	---------------------------------------	--	----------------------------------	--------------------------------------	------------------------------

Nota: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO IV: DESARROLLO.**

### **Comparación entre normas NEC 2020 y IEC 60364-5-54:2011+amd1:2021.**

Las normas mencionadas anteriormente pueden mantener similitudes, igualdades o simplemente pueden ser totalmente diferentes, para hacer una comparación adecuada, se tomarán los artículos que tienen la atención necesaria según las condiciones de laboratorios de equipo de cómputo en colegios técnicos profesionales.

Se dividirá el tema en 8 secciones para comprender de forma más ágil las normativas, estos puntos son:

1. Criterio de resistencia de puesta a tierra.
2. Efectividad del sistema.
3. Conexión de equipos.
4. Materiales permitidos.
5. Restricción de aluminio.
6. Identificación y diferenciación de los conductores de puesta a tierra.
7. Dimensionamiento y cálculo de los conductores de protección y puesta a tierra.
8. Unión en cajas metálicas

Dividir el tema en esos 8 ejes generan una mejor ruta para la comparación de la norma y poder en este documento realizar los cálculos de materiales y cuáles son los necesarios. Si es necesario una imagen comparativa o explicativa de lo que desea desarrollar la norma.

Se realizará una tabla comparativa, la cual tendrá 3 partes, el artículo de referencia NEC y el artículo de referencia IEC, su diferencia y una imagen de ser necesario.

Por medio de siguiente cuadro definiremos términos comunes mencionados por medio acrónimos, para facilitar la comprensión del lector.

Tabla 2 acrónimos usados en NEC y IEC.

<b>Norma</b>	<b>Acrónimo</b>	<b>Nombre en inglés</b>	<b>Nombre en español</b>
NEC	EGC	Equipment Grounding Conductor	Conductor de puesta a tierra de equipos
NEC	GEC	Grounding Electrode Conductor	Conductor del electrodo de puesta a tierra
IEC	PE	Protective Earthing conductor	Conductor de protección
IEC	FE	Functional Earthing conductor	Conductor de puesta a tierra funcional
IEC	PEN	Protective Earth and Neutral	Conductor combinado PE–N

Nota: Elaboración propia.

La norma NEC, se rige por **artículos**, la norma IEC 60364-5-54:2011, por **clausulas**, cuando hablamos de artículos los referimos a NEC y cuando el presente documento indique clausulas se está mencionando la norma IEC, esto se menciona con la intención de focalizar y facilitar la lectura del documento.

### **Criterio de resistencia de puesta a tierra.**

El NEC 2020 dentro del artículo 250, parte VII incluye el valor de resistencia máximo que puede tener un solo electrodo de puesta a tierra. El valor máximo permitido es de 25 ohmios, si este valor es superado permite la instalación de un segundo electrodo, el cual se puede instalar sin la necesidad de una segunda medición, esto se presenta el Artículo 250.53(A)(2) indica textualmente que “cuando se utilice un solo electrodo, la resistencia a tierra no deberá exceder los 25 ohmios” (NEC 2020, p. 70-134)

La otra norma analizada, la IEC 60364-5-54, en la Cláusula 542.2.2 (p. 68), no fija un valor numérico único, sea máximo o mínimo de resistencia, pero establece lo siguiente, “el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra deberá ser tal que se garantice el funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y la seguridad de las personas”. Esto permite que el diseñador eléctrico o persona profesional encargada de la obra optimizar el sistema según el tipo de instalación, el esquema de conexión a tierra y las condiciones del suelo, esto genera una serie de variantes, ya que se requiere un equipo de medición y conocimientos del tipo de terreno a colocar el electrodo, lo cual puede variar o disminuir a uno el número de electrodos, además de los posibles tratamientos químicos que puede ser aplicado a la tierra para bajar el resistencia.

La norma IEEE 1100 destaca que los sistemas de puesta a tierra para equipos electrónicos deben proporcionar un camino de baja impedancia a tierra, ya que una menor impedancia ayuda a minimizar el ruido eléctrico y los problemas relacionados con la calidad de la energía en equipos sensibles (IEEE, 1999). En este contexto, muchas instalaciones que albergan equipos electrónicos sensibles adoptan valores de resistencia de puesta a tierra del orden de  $5 \Omega$  o menos como objetivo de diseño (IEEE, 1999), aclarando que incluso valores más bajos pueden ser beneficiosos para el rendimiento del sistema. Sin embargo, estos valores deben interpretarse como criterios de ingeniería y buenas prácticas, no como requisitos obligatorios de cumplimiento.

Según consultas directas por medio de correo electrónico a la DIE, el valor utilizado para diseño del sistema es menor o igual a 25 ohmios. (DIE-MEP, comunicación personal, 2024).

Tabla 3 Resumen Criterio de resistencia de puesta a tierra.

<b>Norma / Fuente</b>	<b>Artículo / Cláusula</b>	<b>Valor de resistencia de puesta a tierra</b>	<b>Criterio normativo o técnico</b>
NEC 2020	Art. 250.53(A)(2), Parte VII (p. 70-134)	25 $\Omega$ (máximo) para un solo electrodo	La NEC 2020 establece que la resistencia de un solo electrodo de puesta a tierra no debe superar los 25 ohmios. Cuando se excede este valor, se puede instalar un segundo electrodo que no requiere una segunda medición. No es un valor indexado por rendimiento, sino más bien un requisito para establecer el número de electrodos.
IEC 60364-5-54	Cláusula 542.2.2 (p. 68)	No fija valor numérico	La norma no impone un valor máximo ni un valor mínimo de resistencia. Esto significa que la resistencia del sistema de puesta a tierra debe garantizar el correcto funcionamiento de los dispositivos de protección y la seguridad de las personas.
IEEE 1100 (Emerald Book)	IEEE Std 1100-1999	$\approx 5 \Omega$ o menos (referencia)	De acuerdo con la IEEE 1100, se recomienda un sistema de puesta a tierra de baja impedancia para dispositivos electrónicos sensibles. Se señala que muchas instalaciones establecen valores de 5 $\Omega$ o menos como objetivo de diseño, enfatizando que estas son prácticas de ingeniería aceptadas y no condiciones legalmente obligatorias.
DIE-MEP (Costa Rica)	Comunicación personal (2024)	$\leq 25 \Omega$	Según consultas realizadas por correo electrónico, el valor utilizado como criterio de diseño para los sistemas de puesta a tierra en laboratorios de cómputo del MEP es igual o menor a 25 $\Omega$ .

Nota: Elaboración propia, en base a normas mencionadas en el cuadro.

La tabla demuestra que el NEC 2020 especifica un límite de 25  $\Omega$  para definir el uso de electrodos de puesta a tierra, mientras que no se especifica un valor numérico en la IEC 60364-5-54 y se deja al profesional decidir según las condiciones del sistema. Al mismo tiempo, el IEEE 1100 fomenta, como buena práctica, que se utilice una resistencia más baja (alrededor de 5  $\Omega$ ) para mejorar el rendimiento de equipos electrónicos sensibles, aunque no es en absoluto obligatorio. El criterio DIE-MEP es consistente con el del NEC, utilizando 25  $\Omega$  como valor de referencia en diseños institucionales.

## **Efectividad del sistema.**

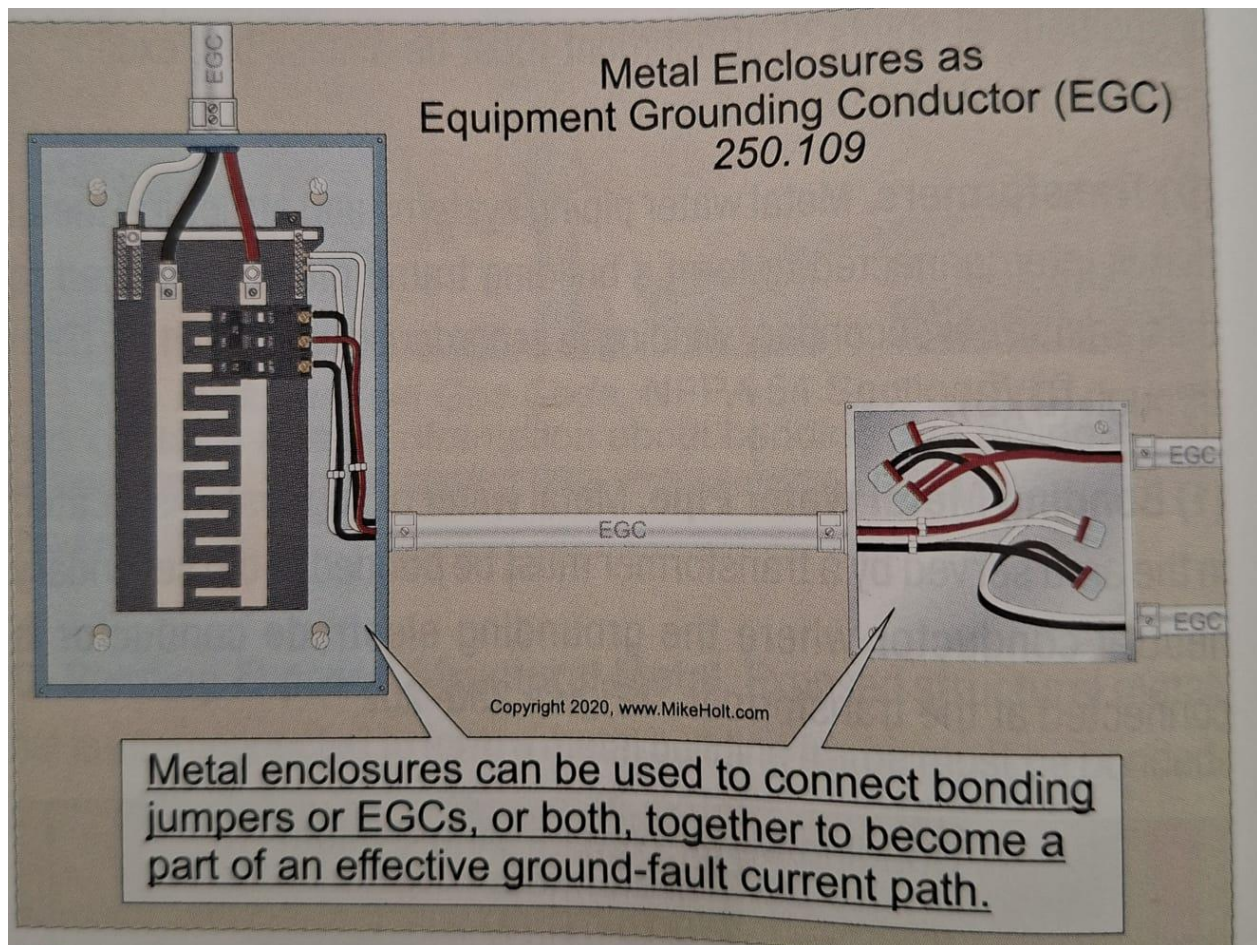
La efectividad de un sistema a puesta a tierra garantiza de forma total la continuidad de la corriente por el conductor apropiado y diseñado para ese trabajo, esto resguarda la vida de los usuarios de los equipos y la instalación, particularmente en laboratorios de equipo de cómputo donde existen equipos electrónicos sensibles, los cuales puede tener carcazas metálicas, también los registros, cajas cuadras, rectangulares, octogonales.

El NEC 2020, en el Artículo 250.109, establece de manera necesaria la utilización de un sistema de puesta a tierra eficaz al indicar que:

Envolventes metálicas. Se permitirá el uso de envolventes metálicos para conectar puentes de unión o conductores de puesta a tierra de equipos, o ambos, juntos para formar parte de una trayectoria efectiva de la corriente de falla a tierra. Las cubiertas y los accesorios metálicos unidos a estos envolventes metálicos se deben considerar conectados a puentes de unión o conductores de puesta a tierra de equipos o ambos. (National Fire Protection Association [NFPA], 2020, art. 250.109, p. 70-160)

El anterior artículo de la normativa NEC 2020, no define la efectividad del sistema de puesta a tierra con un valor de resistencia, si no que se debe de mantener una trayectoria de baja resistencia para que la corriente fluya en caso de una descarga. La normativa se enfoca en asegurar que todas las partes metálicas no portadoras de corriente estén correctamente unidas y conectadas al conductor de puesta a tierra de equipos, si ocurre una falla, la corriente alcance un valor suficiente para accionar los dispositivos diseñados para la protección.

Figura 11 Efectividad del sistema de puesta a tierra, NEC 2020



Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 163)

La figura anterior ejemplifica como toda la estructura metálica no conductora tiene una continuidad eléctrica.

La Norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021 explica que la efectividad del sistema de puesta a tierra desde el funcionamiento, relacionando la efectividad del sistema con la resistencia del electrodo de puesta a tierra y su resistencia para garantizar operación de los sistemas de protecciones. La Cláusula 542.2.2 establece que:

La eficacia de cualquier electrodo de puesta a tierra depende de su configuración y de las condiciones locales del suelo. Se deben seleccionar uno o más electrodos de puesta a tierra adecuados a las condiciones del suelo y al valor de resistencia a tierra requerido (International Electrotechnical Commission [IEC], 2011/2021, cl. 542.2.2, p. 11–12).

Parafraseando la norma IEC en este párrafo la cual explica que el sistema de puesta a tierra debe tener una conexión a tierra que sea “fiable y adecuada para los requisitos de protección de la instalación” y capaz de conducir las corrientes de defecto “sin peligro debido a esfuerzos térmicos, electromecánicos o tensiones de contacto peligrosas” (IEC, 2011/2021, cl. 542.1.4, p. 10). Estas cláusulas enfocan al diseñador o profesional a cargo de la obra a considerar la resistividad del suelo, la geometría del electrodo, la corrosión y las condiciones ambientales, aspectos que influyen directamente en la efectividad del sistema.

La Norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021 aborda la efectividad del sistema de puesta a tierra desde un enfoque funcional, no solo se considera el electrodo de puesta a tierra, sino también la trayectoria completa de la corriente a través de las carcassas de los equipos, las cajas y envolventes metálicas, las canalizaciones y las tuberías metálicas, las cuales deben estar unidas al sistema o sistemas diseñados para protección y disparo.

En relación con las carcassas y partes metálicas accesibles, la IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021 define: “La parte conductora expuesta (masa): parte conductora de un equipo que puede ser tocada y que no está normalmente bajo tensión, pero que puede quedar bajo tensión cuando falla el aislamiento básico.” (International Electrotechnical Commission [IEC], 2011/2021, cl. 541.3.1, p. 8, traducción propia).

La definición anterior define el termino masas y que estén conectadas a un conductor de protección de tierra, ante una falla, la corriente pueda circular desde la masa metálica del equipo hacia el sistema de puesta a tierra.

Esta exigencia se refuerza en la Cláusula 543.1.1, la cual establece que el conductor de protección debe ser capaz de cumplir con las condiciones necesarias para la desconexión automática de la alimentación, siendo apto para soportar los esfuerzos térmicos y mecánicos producidos por la corriente de falla durante el tiempo de actuación del dispositivo de protección (IEC, 2011/2021, cl. 543.1.1, p. 13–14). De esta forma, la trayectoria de la corriente de falla queda claramente definida desde la masa del equipo hasta el punto de puesta a tierra.

La continuidad eléctrica al electro a tierra en la norma IEC, no debe ser interrumpida de ninguna manera, por ningún dispositivo de desconexión o conexión, debe de ser permanente, esto según la cláusula 543.3.3, citada seguidamente: “

Los conductores de protección deberán garantizar una continuidad eléctrica permanente. No se permitirá que dispositivos de maniobra, de control o de protección interrumpan el conductor de protección, ni se admitirán conexiones que puedan comprometer la continuidad eléctrica del trayecto de protección. (International Electrotechnical Commission [IEC], 2011/2021, cl. 543.3.3, p. 16, traducción propia).

En tuberías metálicas y otras partes conductoras no mencionadas, como, por ejemplo, cerchas metálicas del techo, estructuras metálicas en la que este montado equipo electrónico o eléctrico, la IEC establece que estas deben integrarse al sistema mediante la unión equipotencial de protección, con el fin de reducir las diferencias de potencial peligrosas. Esto según la cláusula 544.1.1:

Los conductores de unión de protección destinados a la conexión equipotencial principal deberán conectar las partes conductoras extrañas al terminal principal de puesta a tierra, con el fin de reducir las diferencias de potencial peligrosas que puedan presentarse en caso de defecto. (International Electrotechnical Commission [IEC], 2011/2021, cl. 544.1.1, p. 19, traducción propia).

La tabla a continuación ilustra que no solo es una función de resistencia que el sistema de puesta a tierra puede considerarse bueno, sino también si la corriente de falla tiene un camino continuo y confiable. La NEC 2020 aborda estas preocupaciones con una estricta continuidad al requerir que todas las partes metálicas que no llevan corriente estén adecuadamente unidas para proporcionar funcionalidad oportuna a los dispositivos de protección. La IEC 60364-5-54, por concomitancia, va más allá y también considera el conductor de protección, la continuidad permanente, así como la unión equipotencial de estructuras metálicas, lo que lleva a un diseño de sistema más completo. Los dos estándares proporcionan tanto una ruta segura como efectiva para la corriente de falla, protegiendo a los humanos y equipos electrónicos sensibles.

Tabla 4 Efectividad del sistema de puesta a tierra según NEC 2020 e IEC 60364-5-54.

<b>Norma</b>	<b>Artículo / Cláusula</b>	<b>Enfoque de la efectividad</b>	<b>Criterio principal establecido</b>
NEC 2020	Art. 250.109 (p. 70-160)	Enfoque funcional y de seguridad	La efectividad del sistema de puesta a tierra se basa en garantizar una trayectoria efectiva de la corriente de falla mediante la correcta unión y conexión de envolventes, carcasas y partes metálicas no portadoras de corriente al conductor de puesta a tierra de equipos. No define un valor de resistencia específico.
NEC 2020	Art. 250.109 (interpretación técnica)	Continuidad eléctrica	El NEC prioriza la baja resistencia del trayecto de falla, entendida como continuidad eléctrica adecuada, sin asociar la efectividad a un valor numérico de resistencia del electrodo.
IEC 60364-5-54	Cl. 542.2.2 (p. 11-12)	Enfoque funcional basado en condiciones del terreno	La efectividad del electrodo depende de su configuración y de las condiciones locales del suelo, debiendo seleccionarse uno o más electrodos que permitan alcanzar la resistencia necesaria para el correcto funcionamiento de los dispositivos de protección.
IEC 60364-5-54	Cl. 542.1.4 (p. 10)	Seguridad y desempeño	El sistema de puesta a tierra debe ser fiable, capaz de conducir corrientes de defecto sin generar riesgos térmicos, electromecánicos ni tensiones de contacto peligrosas.
IEC 60364-5-54	Cl. 541.3.1 (p. 8)	Definición de masas	Define las masas como partes conductoras accesibles que pueden quedar bajo tensión en caso de falla del aislamiento y que deben conectarse al conductor de protección.

IEC 60364-5-54	Cl. 543.1.1 (p. 13–14)	Capacidad del conductor de protección	El conductor de protección debe soportar los esfuerzos térmicos y mecánicos de la corriente de falla y permitir la desconexión automática de la alimentación.
IEC 60364-5-54	Cl. 543.3.3 (p. 16)	Continuidad permanente	Se exige continuidad eléctrica permanente del conductor de protección, prohibiendo dispositivos de maniobra o protección que interrumpan dicha continuidad.
IEC 60364-5-54	Cl. 544.1.1 (p. 19)	Unión equipotencial	Las partes conductoras extrañas (tuberías, estructuras metálicas, cerchas) deben conectarse mediante unión equipotencial para reducir diferencias de potencial peligrosas.

Nota: Elaboración propia, en base a normas mencionadas en el cuadro.

### Conexión de equipos

La conexión de equipos al sistema de puesta a tierra, son esenciales para mantener la seguridad eléctrica, evitar recalentamientos, contactos flojos, cualquier percance que elimine la continuidad desde la conexión al electrodo.

El NEC 2020, El Código Eléctrico Nacional (NEC) 2020 presenta como conectar a tierra los equipos que puedan energizar sus partes metálicas. En el Artículo 250.110:

Equipo sujeto en el lugar (fijo) o conectado mediante métodos de alambrado permanente. Las partes metálicas expuestas, normalmente no portadoras de corriente de equipos fijos alimentados por, o que contienen conductores o componentes que es probable que puedan ser energizados, se deben conectar a un conductor de puesta a tierra de equipos bajo cualquiera de las siguientes condiciones:

- (1) Si están dentro de una distancia de 2.5 m (8 pies) verticalmente o 1.5 m (5 pies) horizontalmente de la tierra o de objetos metálicos puestos a tierra y con los que las personas puedan hacer contacto
- (2) Si están localizados en un lugar húmedo o mojado y no están aislados
- (3) Si están en contacto eléctrico con metales
- (4) Si están en un lugar (clasificado como) peligroso, como se indica en los Artículos 500 a 517

(5) Si son alimentados por un método de alambrado que provee un conductor de puesta a tierra del equipo, excepto como se permite en 250.86, Excepción No. 2, para secciones cortas de envolventes metálicos.

(6) Si el equipo opera con cualquier terminal a más de 150 volts a tierra. (National Fire Protection Association [NFPA], 2020, art. 250.110, p. 70-161).

Este artículo posee una serie de excepciones y además el artículo 250.112 presenta una serie de artículo específicos, los cuales tiene una conexión referenciada, ramificada a otros artículos del NEC 2020, artículos que no pertenecen en algunos casos al artículo 250, parte VI y VII.

La norma IEC mencionada en este documento y ya citadas las cláusulas, representadas en la tabla:

Tabla 5 Resumen de cláusulas

Clausula:	Resumen:
541.3.1	Definición de masa, parte conductora accesible que puede energizarse en caso de falla del aislamiento básico.
543.1.1	Requisitos del conductor de protección para permitir la desconexión automática de la alimentación.
543.3.3	Continuidad eléctrica permanente del conductor de protección.
544.1.1	Conexión equipotencial principal de partes conductoras extrañas al terminal principal de puesta a tierra.

Nota: Elaboración propia.

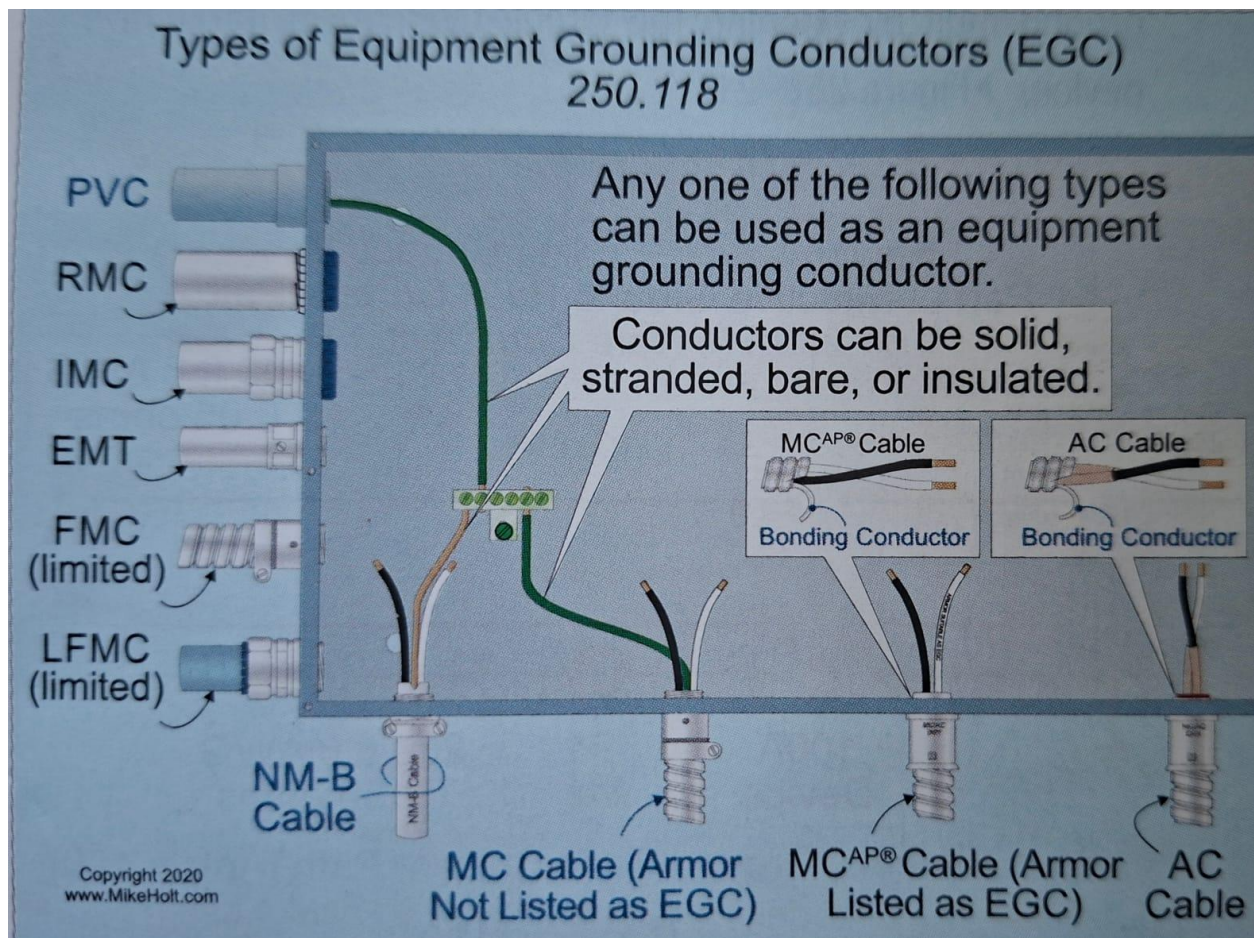
La tabla anterior resumen las conexiones, pero la norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021, no contempla equipos específicos o realiza una serie de excusiones como lo hace el NEC 2020.

### **Materiales permitidos.**

La selección de los materiales permitidos como conductores de protección es un elemento necesario para el diseño y la seguridad del sistema de puesta a tierra, ya que de eso depende la existencia de una trayectoria efectiva, continua y confiable para la corriente en caso de una falla. En la protección de los equipos y el área económica de la instalación el material apropiado es indispensable, ya que una falla que no tenga la trayectoria deseada puede dañar equipo de alto valor económico, especialmente en laboratorios de equipo de cómputo, donde existe una alta concentración de equipos con carcazas metálicas y sistemas electrónicos sensibles.

Citando una parte del artículo 250. 118 se especifica los siguiente: Tipos de conductores de puesta a tierra de equipos. El conductor de puesta a tierra de equipos, tendido junto con, o conteniendo conductores del circuito debe ser uno o más, o una combinación de los siguientes: (National Fire Protection Association [NFPA], 2020, art. 250.118, p. 70-144). Seguidamente el articulo menciona 14 posibles materiales para canalizar el conductor y que también posibilidades de materiales para ser parte del conductor.

Figura 12 Materiales permitidos como conductores de puesta a tierra de equipos según el artículo 250.118



Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 163)

La figura anterior muestra los tipos de conductores comerciales y canalizaciones permitidas según el artículo 250.118, además una ilustración de sus formas. los accesorios de dichos cables armados o en tubería también forman parte de los materiales de la instalación, siempre y cuando no interrumpan la trayectoria de la corriente en una falla, al combinar accesorios metálicos y plástico.

Lista completa:

1. Conductores de cobre, aluminio o aluminio recubierto de cobre, sólidos o trenzados, aislados, cubiertos o desnudos.
2. Conduit metálico rígido (RMC).
3. Conduit metálico intermedio (IMC).
4. Tubería metálica eléctrica (EMT).
5. Conduit metálico flexible (FMC), cuando se instale de acuerdo con las condiciones de longitud y protección establecidas en el NEC.
6. Conduit metálico flexible hermético a los líquidos (LFMC), bajo las limitaciones establecidas en el código.
7. Armadura de cables tipo AC (Armored Cable).
8. Cubierta metálica de cables tipo MI (Mineral-Insulated Cable).
9. Canalizaciones metálicas listadas como adecuadas para su uso como conductor de puesta a tierra de equipos.
10. Bandejas porta cables metálicos listadas, cuando estén identificadas para ser utilizadas como EGC.
11. Estructura metálica de sistemas tipo cablebus, cuando esté listada como conductor de puesta a tierra de equipos.
12. Envolventes metálicas de sistemas de barras (busways), cuando estén listadas y diseñadas para servir como conductor de protección.
13. Cubierta metálica de cables tipo MC (Metal-Clad Cable), cuando esté identificada y listada para proporcionar una trayectoria efectiva de la corriente de falla.
14. Otros sistemas o dispositivos listados, específicamente identificados para su uso como conductor de puesta a tierra de equipos.

El Artículo 250.118 del NEC 2020 avala el uso de canalizaciones metálicas y armaduras de cables como conductores de puesta a tierra de equipos, para cables armados, con forro metálico, lo que permite incorporar esa parte a la infraestructura metálica existente al sistema de protección, reduciendo la necesidad de conductores dedicados.

Existe una prohibición en el artículo 250.121(B), que indica lo siguiente: (B) Estructura metálica del edificio o estructura. El acero estructural de un edificio o estructura no se debe utilizar como conductor de puesta a tierra de equipos. (National Fire Protection Association [NFPA], 2020, art. 250.121, p. 70-146).

La normativa IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021 genera una sección de los materiales permitidos como conductores de protección, desde un enfoque práctico y restrictivo, priorizando que los materiales utilizados garanticen una trayectoria continua en caso de una falla de corriente, sin depender o utilizar de forma generalizada de la infraestructura metálica de la edificación

Para este tipo de materiales, conductores de protección utilizados, presenta la cláusula 543.2 titulado tipos de conductores de protección, la contraparte del artículo 250.118.

Citado la cláusula 543.2.1, sobre tipos de conductores de protección, menciona lo siguiente:

Los conductores de protección pueden ser conductores incluidos en cables multiconductor, conductores aislados o desnudos dispuestos en una envolvente común, o conductores fijos aislados o desnudos, siempre que cumplan con los requisitos establecidos para su sección y su continuidad eléctrica. (International Electrotechnical Commission [IEC], 2011/2021, cl. 543.2.1, p. 15, traducción propia).

La norma IEC no presenta una especificación tan amplia y específica como la brinca el NEC 2020, sobre las disposiciones de conductores, es más general.

En cuanto al uso de envolventes, canalizaciones y estructuras metálicas, la IEC adopta una más restrictiva que el NEC 2020. Parafraseando la Cláusula 543.2.2 establece que las envolventes metálicas de equipos de aparamenta (palabra utilizada por IEC para equipos eléctricos de conexión, control, protección y medida como interruptores, celdas, cuadros) de baja tensión o las canalizaciones prefabricadas solo pueden utilizarse como conductores de protección si cumplen simultáneamente con tres condiciones: garantizar continuidad eléctrica permanente protegida contra deterioro químico o mecánico, cumplir con las secciones mínimas requeridas y permitir conexiones en puntos específicamente previstos para tal fin (IEC, 2011/2021, cl. 543.2.2). Este

requisito limita de forma significativa el uso de canalizaciones metálicas como conductor de protección principal.

La cláusula 543.2.3 indica que no se debe de tomar los siguientes elementos como conductor de protección: tuberías metálicas de agua, tuberías que transporten gases o líquidos inflamables, elementos estructurales sometidos a esfuerzos mecánicos, cables de soporte, ni bandejas o escaleras porta cables.

La normativa IEC es más restrictiva que el NEC 2020, para eso crearemos un cuadro comparativo:

Tabla 6 Tabla comparativa de materiales según norma.

Nº	Material / Elemento	NEC 2020 (Art. 250.118)	IEC 60364-5- 54	Observación técnica comparativa
1	Conductores de cobre, aluminio o aluminio recubierto de cobre (sólidos o trenzados, aislados o desnudos)	Aceptado	Aceptado	Ambos códigos aceptan conductores dedicados como PE/EGC.
2	Conduit metálico rígido (RMC)	Aceptado como EGC	Condicionado	IEC solo lo admite si cumple continuidad, sección y puntos de conexión (cl. 543.2.2).
3	Conduit metálico intermedio (IMC)	Aceptado como EGC	Condicionado	En IEC no es aceptado automáticamente como PE.
4	Tubería metálica eléctrica (EMT)	Aceptado como EGC	No aceptado	IEC no reconoce EMT como PE directo.

5	Conduit metálico flexible (FMC)	Aceptado con limitaciones	No aceptado	IEC prohíbe conductores sometidos a esfuerzos mecánicos (cl. 543.2.3).
6	Conduit metálico flexible hermético a los líquidos (LFMC)	Aceptado con limitaciones	No aceptado	IEC no permite conduits flexibles como PE.
7	Armadura de cables tipo AC	Aceptado	Condicionado	IEC permite armaduras solo si garantizan continuidad eléctrica permanente.
8	Cubierta metálica de cables tipo MI	Aceptado	Aceptado	Ambos códigos reconocen MI como trayectoria efectiva de falla.
9	Canalizaciones metálicas listadas como EGC	Aceptado	Condicionado	IEC solo las admite si cumplen requisitos estrictos (cl. 543.2.2).
10	Bandejas porta cables metálicos listadas	Aceptado	Prohibido	IEC prohíbe bandejas como PE (cl. 543.2.3).
11	Estructura metálica de sistemas tipo cablebus	Aceptado	No aceptado	IEC no reconoce cablebus como conductor de protección.
12	Envolventes metálicas de sistemas de barras (busways)	Aceptado	Condicionado	IEC solo las permite si están diseñadas como PE (cl. 543.2.2).

13	Cubierta metálica de cables tipo MC	Aceptado (si está listada)	Condicionado	IEC exige continuidad eléctrica garantizada y sección adecuada.
14	Otros sistemas o dispositivos listados	Aceptado	Condicionado	IEC exige evaluación técnica, no aceptación automática.

Nota: Elaboración propia.

La tabla muestra los materiales aceptados por el NEC 2020 de color verde y aceptados por IEC, de color naranja los condicionados y los rojos los que no es posible usarlos según la descripción de la tabla, cabe recordar EGC, siglas de Equipment Grounding Conductor, en español Conductor de puesta a tierra de equipos y EP, siglas de Protective Earth, en español conductor de protección. Se puede decir que son equivalentes en cada norma.

A continuación, explicaremos de manera resumida la tabla anterior:

Por otro lado, el NEC 2020 es más permisivo y prescriptivo en su aceptación de materiales que pueden servir como conductores de puesta a tierra del equipo (EGC), permitiendo una amplia gama de conductos, armaduras y envolventes metálicas, siempre que estén listados e instalados correctamente como se demuestra en la sección de la tabla. De esta manera, el conductor de protección puede integrarse en la infraestructura metálica de la instalación.

A diferencia de la IEC 60364-5-54, que es más estricta y práctica, poniendo énfasis en la continuidad eléctrica permanente, la resistencia mecánica y la fiabilidad del camino de protección. Como resultado, muchos componentes reconocidos por el NEC pueden ser tratados como "condicionales" o específicamente excluidos en la IEC, particularmente aquellos bajo estrés mecánico o conectados con conexiones no aseguradas.

Desde la perspectiva del diseño, estas diferencias significan que los sistemas basados en la IEC a menudo necesitan el uso de conductores de protección dedicados, mientras que, con aquellos según el NEC, otros elementos metálicos existentes pueden ser adoptados como caminos de falla. Esta diferencia afecta la complejidad del diseño, los materiales y los costos de implementación,

particularmente en cualquier instalación con equipos electrónicos sensibles como laboratorios de computación.

### **Restricción de aluminio.**

Debido a la corrosión, degradación y generación de sulfatos, algunos materiales conductores tienen una serie de restricciones sobre el aluminio y recomienda el cobre, estas están incorporadas en ambas normas NEC y IEC. Las normas quieren disminuir el riesgo eléctrico por fátiga térmica, química y de características eléctricas.

El NEC 2020 adopta una serie de condiciones para la utilización de aluminio como conductor de puesta a tierra y de protección, de acuerdo con el Artículo 250.120(B):

Los conductores de puesta a tierra de equipos, de aluminio y de aluminio recubierto de cobre, desnudos, cubiertos o aislados deben cumplir lo siguiente:

- (1) A menos que sea parte de un método de cableado adecuado del Capítulo 3, los conductores desnudos o cubiertos no deben instalarse donde estén sujetos a condiciones corrosivas o en contacto directo con concreto, mampostería o la tierra.
- (2) Las terminaciones hechas dentro de envolventes exteriores que están listados e identificados para el medio ambiente se permitirán a no más de 450 mm (18 in) de la parte inferior de la envolvente.
- (3) Los conductores de aluminio o de aluminio recubiertos de cobre que se encuentran afuera de edificios o envolventes no deben terminar a menos de 450 mm (18 pulg.) de la tierra, a menos que terminen dentro le conector de conductores. un sistema

El articulo presenta restricciones del aluminio, mientras las condiciones sean favorables para el material se pueden usar, condiciones como el contacto con el concreto, mampostería o la tierra, pueden generar condiciones corrosivas desfavorables.

Pero es permitido como cable conductor de protección, según la tabla 250.122, del NEC 2020.

La Norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021 adopta un criterio más restrictivo y preventivo, basado en la vida útil del sistema de puesta a tierra, debido a la degradación de las características del aluminio. Citando la cláusula 542.3.1: Los conductores de aluminio no deben utilizarse como conductores de puesta a tierra (IEC 60364-5-54, cl. 542.3.1, p. 13, traducción propia). Totalmente elimina, prohíbe su uso.

La norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021, permite con restricciones el uso de aluminio como conductor de protección (PE) por encima del nivel del suelo. Esto expuesto en la cláusula 543.1.3, la cual indica que se acepta siempre y cuando no se un cable multiconductor y su área transversal mínima sea de 16 milímetros cuadrados, con el fin de compensar su menor resistencia mecánica y térmica frente a corrientes de falla

Tabla 7 Resumen de restricciones de conductores de aluminio.

<b>Criterio técnico</b>	<b>NEC 2020 (Art. 250)</b>	<b>IEC 60364-5-54</b>
Uso enterrado (conexión al electrodo)	Permitido solo si forma parte de un cable listado o canalización	Prohibido como conductor de tierra (Cl. 542.3.1)
Contacto con concreto	Prohibido si está desnudo o solo cubierto (250.120(B))	Restringido por criterios de deterioro químico
Terminación en exteriores	Altura mínima de 450 mm sobre el suelo (250.64(A)(3))	Prohibido en contacto con suelo o enterrado
Sección mínima como PE	Según Tabla 250.122	$\geq 16 \text{ mm}^2$ si es conductor independiente (543.1.3)

Nota: Elaboración propia.

La tabla anterior ilustra que el NEC 2020 permite el uso del conductor de protección bajo condiciones específicas de construcción e instalación, y tiene requisitos particulares para su terminación y dimensionamiento. Por el contrario, la IEC 60364-5-54 es considerablemente más conservadora, ya que prohíbe el uso del conductor de protección en contacto directo con el suelo y

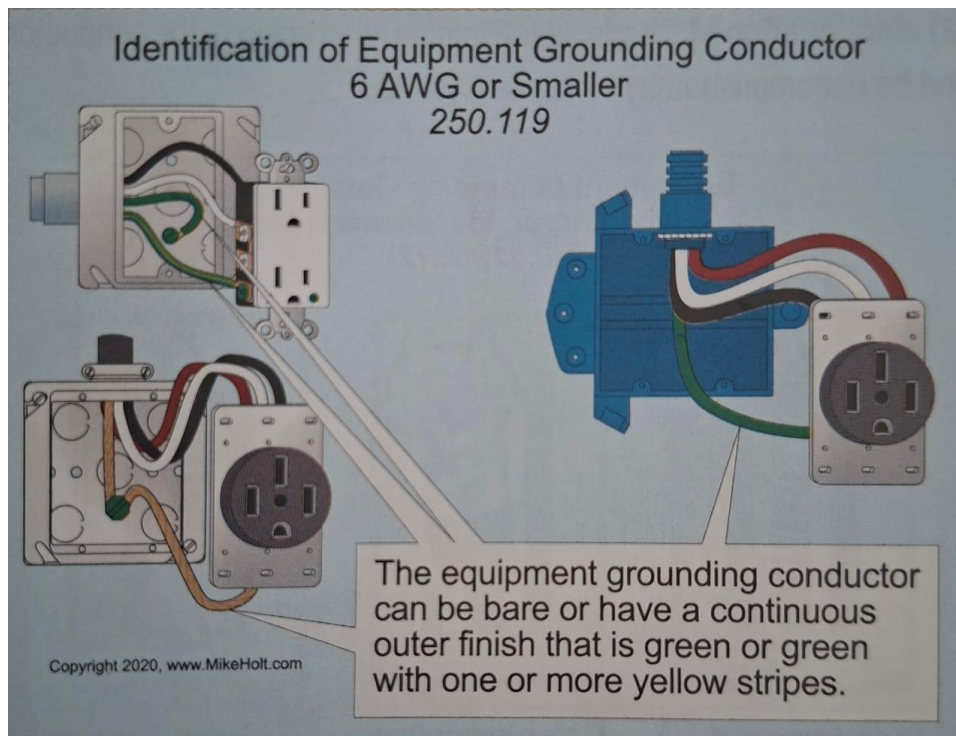
establece secciones mínimas más grandes para conductores independientes. Esto indica que la flexibilidad de construcción es una política principal del NEC, y la durabilidad con prevención de corrosión y la fiabilidad general del sistema de puesta a tierra es una política clave de la IEC.

### **Identificación y diferenciación de los conductores de puesta a tierra.**

La identificación y diferenciación de colores disminuyen el riesgo en la instalación, ya que es una señalización clara para los profesionales de la obra en construcción y mantenimiento.

El artículo 250.119, del NEC 2020 menciona la identificación de colores, para cables menores o iguales a 6 AWG, se debe de utilizar el color verde o verde con franjas amarillas.

Figura 13 Identificación de conductores 6 AWG o menores.

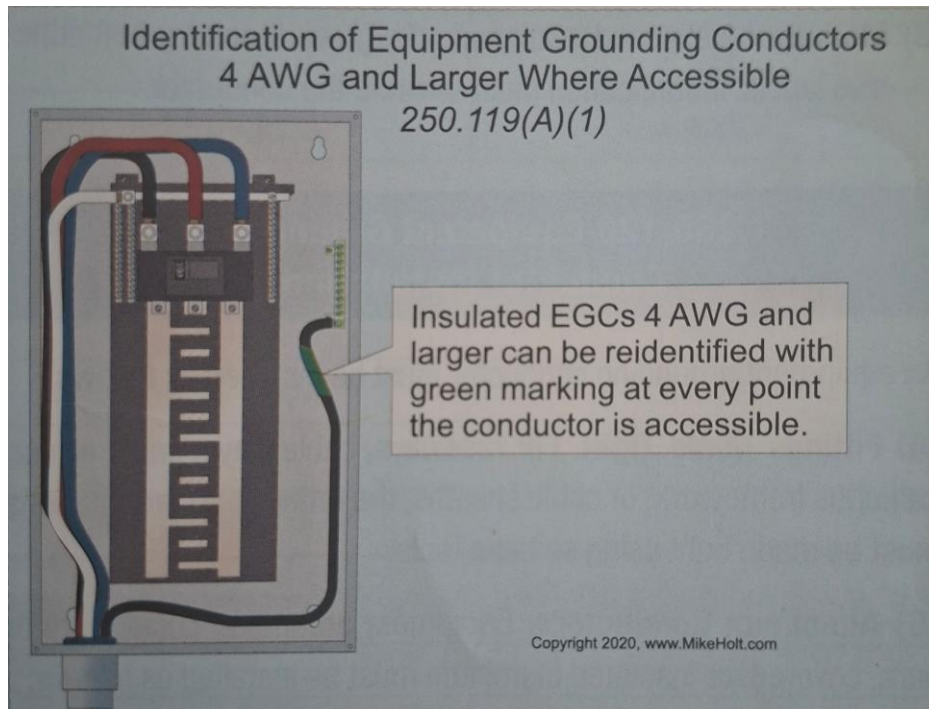


Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 167)

El NEC 2020 no indica si el conductor que se dirige al electrodo debe o no ir identificado con un color.

Para conductores mayores o iguales a 4 AWG se identifican solo los puntos que puedan ser accesible y fácilmente visibles, no su totalidad. Según el artículo 250.119(A)(1).

Figura 14 Identificación de conductores 4AWG o mayores



Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 167)

El artículo 250.119(A)(2), indica que los conductores pueden tener el color del aislante identificado, pueden ser cubierto de cinta del color a identificar o pueden ser pintados. Presenta 3 métodos. De acuerdo con la Cláusula 514.3.1 de la IEC 60364-5-54, los conductores de protección (PE) deben identificarse obligatoriamente y de forma continua mediante la combinación de colores verde y amarillo, aplicada a lo largo de toda la longitud del conductor, sin importar su sección transversal. La norma IEC no establece excepciones por calibre, ni permite la identificación parcial únicamente en puntos de fácil acceso...

La contraparte en este documento la norma IEC prohíbe el uso de la combinación verde-amarillo para cualquier conductor que no cumpla funciones de protección, eliminando cualquier posibilidad de confusión con otros conductores.

En cuanto al conductor de puesta a tierra, es decir, el conductor que conecta el borne principal de tierra con el electrodo, la IEC permite que este sea aislado o desnudo, siempre que su función sea identificable dentro del sistema de puesta a tierra, si el conductor es aislado, se recomienda la misma identificación verde-amarillo.

Figura 15 Tabla comparativa sobre identificación.

<b>Criterio</b>	<b>NEC 2020</b>	<b>IEC 60364-5-54</b>	<b>Comentario</b>
Conductor de protección	EGC (Equipment Grounding Conductor)	PE (Protective Earth)	Diferencia conceptual: NEC enfoca función de falla; IEC distingue función de protección
Color obligatorio	Verde o verde con franjas amarillas	Verde-amarillo exclusivamente	IEC elimina errores visuales
Aplicación por calibre	≤ 6 AWG: color continuo obligatorio	Sin distinción por sección	IEC es uniforme para cualquier calibre
Conductores ≥ 4 AWG	Identificación solo en puntos accesibles (Art. 250.119(A)(1))	Identificación continua en toda la longitud	Mayor claridad y trazabilidad en IEC
Métodos alternativos	Permitidos: cinta, pintura o aislamiento (Art. 250.119(A)(2))	No permitidos como método principal	NEC ofrece flexibilidad; IEC prioriza estandarización
Conductor hacia el electrodo	No exige color específico	Puede ser verde-amarillo o desnudo claramente identificable	IEC mantiene coherencia visual del sistema
Uso de conductor desnudo	Permitido	Permitido en casos específicos	Ambos lo permiten, con mayor control IEC

Uso del color verde-amarillo	Permitido solo para EGC	Prohibido para cualquier otro conductor	Reduce errores humanos en IEC
Identificación funcional (PE, FE, PEN)	No formalizada	Normalizada	Ventaja IEC en instalaciones complejas

Nota: Elaboración propia.

A continuación, explicaremos la tabla anterior y resumiremos el tema:

La tabla compara las directrices para identificar conductores de protección de acuerdo con el NEC 2020 con la IEC 60364-5-54 e indica diferencias conceptuales y prácticas. El NEC caracteriza el uso del conductor como EGC (Conductor de Puesta a Tierra del Equipo) y la conducción de corriente de falla se utiliza como criterio de identificación, permitiendo así una mayor variedad de opciones de identificación por color, cinta o pintura, especialmente para conductores de gran calibre.

Por el contrario, con la IEC, se adopta el concepto de PE y se promueve un enfoque estandarizado y preventivo que restringe todas las líneas conductoras al color verde-amarillo sin distinción por sección. Esta imagen uniforme minimiza errores durante la instalación, operación y mantenimiento, lo cual es particularmente beneficioso para instalaciones complicadas o en el caso de múltiples sistemas de protección.

En términos generales, el NEC se centra en la flexibilidad constructiva, mientras que la IEC enfatiza la claridad y accesibilidad en la información sobre el funcionamiento del sistema de puesta a tierra y en la seguridad operativa, cuestiones críticas en instalaciones con equipos electrónicos altamente sensibles (como laboratorios de computación).

## **Dimensionamiento y cálculo de los conductores de protección y puesta a tierra.**

El dimensionamiento adecuado de los conductores de protección y de puesta a tierra, es un eje fundamental para la seguridad eléctrica y la activación de dispositivos de seguridad.

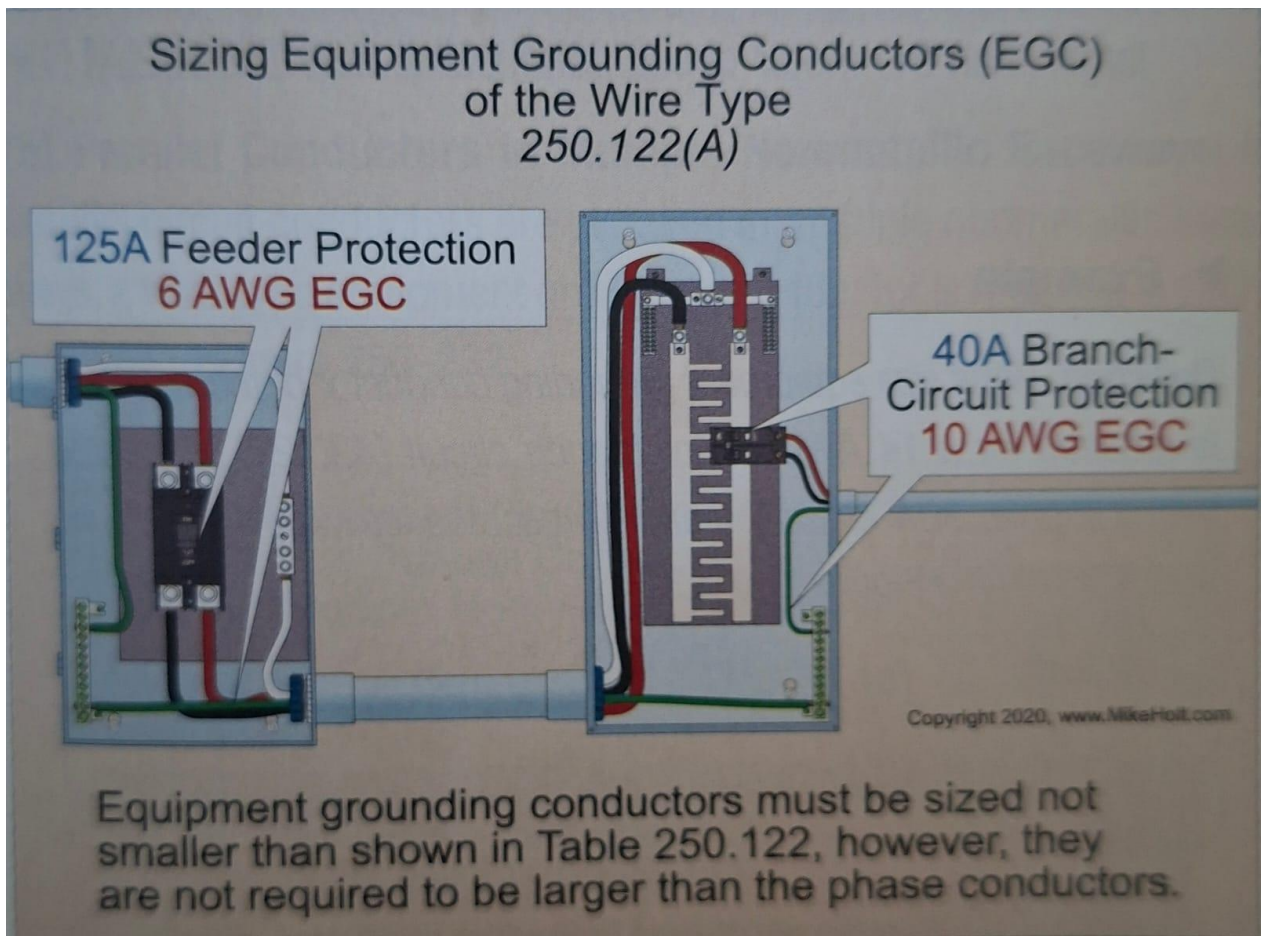
El NEC 2020 establece el dimensionamiento del conductor de puesta a tierra de equipos (EGC) principalmente mediante criterios tabulados, en relación de la capacidad de corriente de la protección contra sobre corriente que protege el circuito.

Parafraseando el artículo 250.122, el cual explica el uso de la tabla 250.122, la selección del conductor de puesta a tierra, el cual debe de soportar la corriente en caso de una falla, hasta que el dispositivo de protección sobre corriente se dispare interrumpido el paso de la corriente por el circuito. El artículo cuenta con varios puntos, estos destinados a variaciones, según los equipos o edificaciones específicas, no generales.

El artículo Artículo 250.122(B) presenta una leve variación cuando se desea aumentar el calibre del conductor de puesta a tierra por la caída de tensión, esto debe de realizar de manera proporcional, para mantener una relación con los conductores de línea y conductor de puesta a tierra.

En la figura 7 se muestra un ejemplo y un boceto de los conductores calculados, según la tabla de la figura 8.

Figura 16 Ejemplo de aplicación de tabla 250.122



Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 169)

Figura 17 Tabla 250.122

Table 250.122 Sizing Equipment Grounding Conductor	
Overcurrent Protective Device Rating	Copper Conductor
15A	14 AWG
20A	12 AWG
25A–60A	10 AWG
70A–100A	8 AWG
110A–200A	6 AWG
225A–300A	4 AWG
350A–400A	3 AWG
450A–500A	2 AWG
600A	1 AWG
700A–800A	1/0 AWG
1,000A	2/0 AWG
1,200A	3/0 AWG

Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 169)

Para el dimensionamiento del conductor del electrodo de puesta a tierra (GEC), el código utiliza el artículo 250.66, aunque esta fuera de los límites planteados en este documento se comentara, para tener un punto de comparación con IEC. el Artículo 250.66, su dimensionamiento se basa en el conductor activo de mayor sección del sistema, empleando una tabla específica que establece un límite máximo práctico. El Artículo posee variaciones según el tipo de instalaciones específica que se realice.

Figura 18 Tabla 250.66.

<b>Table 250.66 Grounding Electrode Conductor</b>	
<b>AWG or Area of Parallel Copper Conductors</b>	<b>Copper Grounding Electrode Conductor</b>
2 AWG or Smaller	8 AWG
1 or 1/0 AWG	6 AWG
2/0 or 3/0 AWG	4 AWG
Over 3/0 through 350 kcmil	2 AWG
Over 350 through 600 kcmil	1/0 AWG
Over 600 through 1,100 kcmil	2/0 AWG
Over 1,100 kcmil	3/0 AWG

Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 147)

La norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021, plantea una forma de calculo que varía del NEC 2020. Esta se basa en la cláusula 543.1, el cual se puede parafrasear en dos puntos:

El primero en la utilización de tablas, 54.2, 54.3 y 54.4, estas responden a diferentes criterios. Los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Figura 19 Criterio de utilización de tablas IEC

Tabla IEC	Se utiliza cuando...	Depende de...	Tipo de criterio
54.2	PE acompaña a fases	Sección del conductor de fase	Eléctrico
54.3	PE es independiente	Material y protección mecánica	Mecánico
54.4	Conductor PEN	Sección y material	Seguridad reforzada

Nota: Elaboración propia.

El segundo método es cálculo térmico, basado en la energía de la corriente de falla, la cual usa una ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{I^2 t}{k^2}}$$

Donde:

- S es la sección del conductor (mm<sup>2</sup>),
- I es la corriente de falla (A),
- t es el tiempo de desconexión (s),
- k es un coeficiente dependiente del material y del aislamiento del conductor.

Es un método muy exacto para calcular el conductor ideal, ya que lleva variables específicas, pero a su vez un método que lleva más tiempo en su cálculo, según el tamaño de la instalación.

Para el conductor de puesta a tierra, el conductor que se une al electrodo (earthing conductor) no se dimensiona en función de la corriente de falla, sino con criterios de resistencia mecánica, durabilidad y continuidad eléctrica a largo plazo. Esto se fundamenta en la cláusula 542.3.1 y 543.1.1.

La norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021, restringe materiales y dimensiones.

Figura 20 Materiales para conductor de puesta a tierra.

Material	¿Permitido por IEC?	Sección mínima utilizada
Cobre	Sí	16 mm <sup>2</sup>
Acero	Sí	50 mm <sup>2</sup>
Aluminio	No	Prohibido (Cl. 542.3.1)

Nota: Elaboración propia.

Que no se confunda con tabla 54.1, que dimensiona y brinda las características del electrodo.

Figura 21 Tabla de resumen sobre cálculos sobre conductores de tierra.

Criterio	NEC 2020	IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021
Conductor de protección. Nombre brindado en inglés y acrónimo	EGC (Equipment Grounding Conductor)	PE (Protective Earth)
Método principal de dimensionamiento (protección)	Tabla 250.122	Tablas 54.2, 54.3 y 54.4 o cálculo térmico
Variable base del cálculo del conductor de protección	Corriente nominal del dispositivo de protección (OCPD)	Sección del conductor de fase o cálculo I <sup>2</sup> t
Uso de tablas	Obligatorio	Alternativo al cálculo
Ajuste por aumento de conductores de fase	Proporcional obligatorio (Art. 250.122(B))	Implícito según método usado
Conductor hacia el electrodo. Nombre brindado en inglés y acrónimo	GEC (Grounding Electrode Conductor)	Earthing conductor
Método de dimensionamiento del conductor al electrodo	Tabla 250.66	Criterios mecánicos y de durabilidad
Relación con conductores de fase (electrodo)	Directa	No directa
Uso de cálculo térmico para el conductor al electrodo	No aplica	No aplica
Materiales permitidos (electrodo-conductor)	Cobre y aluminio permitidos con restricciones	Cobre y acero permitidos; aluminio prohibido
Sección mínima típica (conductor al electrodo)	Según Tabla 250.66	16 mm <sup>2</sup> Cu / 50 mm <sup>2</sup> Fe
Base normativa principal	Art. 250.122 y 250.66	Cl. 543.1, 542.3.1 y 543.1.1

Nota: Elaboración propia.

Resumiremos la tabla anterior y tema con lo siguiente

La tabla enumera las condiciones estándar requeridas para el nombramiento y dimensionamiento de conductores de protección y puesta a tierra según NEC 2020 e IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021, y describe las distinciones conceptuales y metodológicas que se aplican.

El NEC describe el conductor de protección como EGC y el conductor al electrodo como GEC, basando su dimensionamiento principalmente en tablas prescriptivas relacionadas con la corriente nominal del dispositivo de protección contra sobre corriente. Esto simplifica el diseño y estandariza el resultado (pero no es flexible). Sin embargo, el conductor PE frente al conductor de puesta a tierra está mejor definido por la IEC ya que se presenta de manera más sistemática y funcional, permitiendo la medición de PE utilizando tablas o cálculo térmico basado en la sección del conductor de fase y las condiciones de instalación.

En cuanto a la relación del conductor con el electrodo, la IEC no relaciona su sección directamente con el conductor de fase, sino que se basa en criterios de resistencia mecánica, durabilidad y resistencia a la corrosión, prohíbe el uso de aluminio y define secciones mínimas típicas.

El NEC enfatiza principalmente la simplicidad y uniformidad del diseño, y la IEC proporciona opciones técnicas más amplias y eficiencia, contribuyendo así a grandes discrepancias en el uso de materiales, áreas de conductores y costos de instalación involucrados en los sistemas de puesta a tierra de laboratorios de computación.

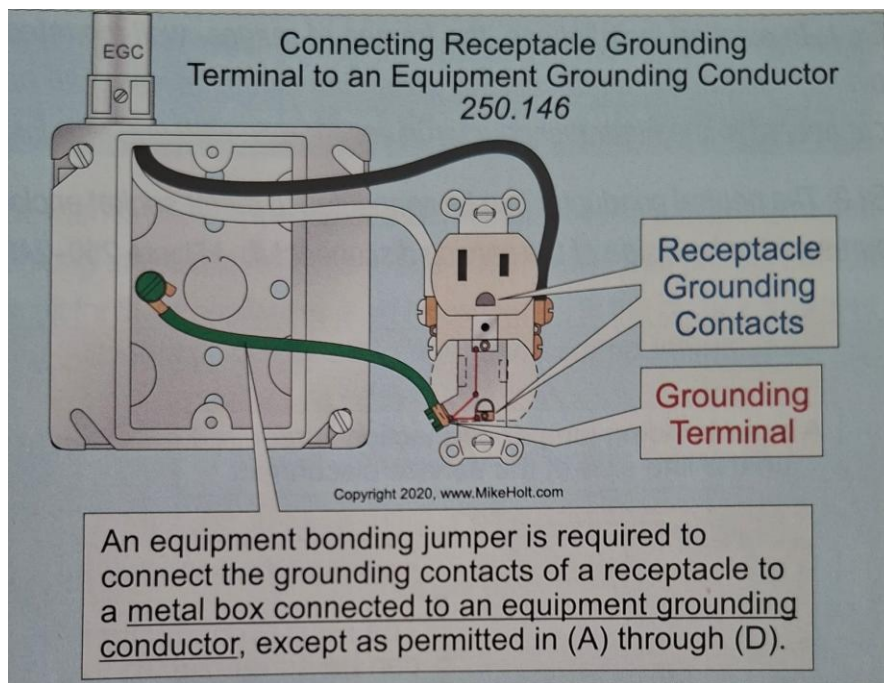
### **Unión en cajas metálicas y receptáculos**

La unión (bonding) eléctrica de cajas metálicas, envolventes y canalizaciones constituye un requisito para las dos normas garantizar la continuidad del conductor de protección y la correcta trayectoria de la corriente de falla. En instalaciones eléctricas, una caja metálica que no se encuentre correctamente unida al sistema de puesta a tierra puede energizarse, producir calentamiento y un incendio o el contacto con una persona, la cual recibirá el impacto eléctrico.

Para los receptáculos el NEC 2020, tiene el artículo 250.146, que cita lo siguiente:

La Conexión del terminal de puesta a tierra del receptáculo a un conductor de puesta a tierra de equipos. Se debe usar un puente de unión del equipo para conectar el terminal de puesta a tierra de un receptáculo del tipo con terminal de puesta a tierra a una caja metálica que está conectada a un conductor de puesta a tierra de equipos, excepto lo permitido en 250.146(A) hasta (D). El puente de unión del equipo debe estar dimensionado de acuerdo con la Tabla 250.122. (National Fire Protection Association [NFPA], 2020, art. 250.146, p. 70-140).

Figura 22 Conexión de receptáculo según el artículo 250.146



Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 176)

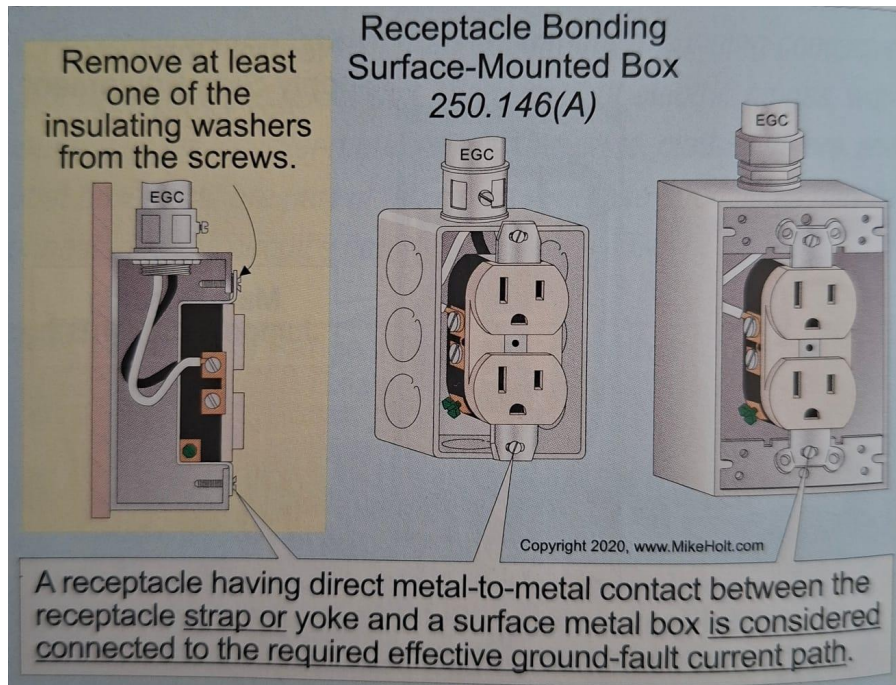
El artículo 250.146, es claro en indicar la conexión de la caja metálica por medio de un conductor a la terminal del receptáculo como lo muestra la figura 13, cabe destacar que en la norma IEC no permite usar las estructuras, en el caso de la figura 13 sería la caja y la tubería EMT como conductor de protección (PE). A su vez realizar esta práctica en el NEC 2020 cumple el artículo

250.109, creando una trayectoria efectiva para la corriente, articulo ya comentado en este documento.

El artículo 250.146, tiene una serie de incisos para casos específicos, estos se parafrasearán:

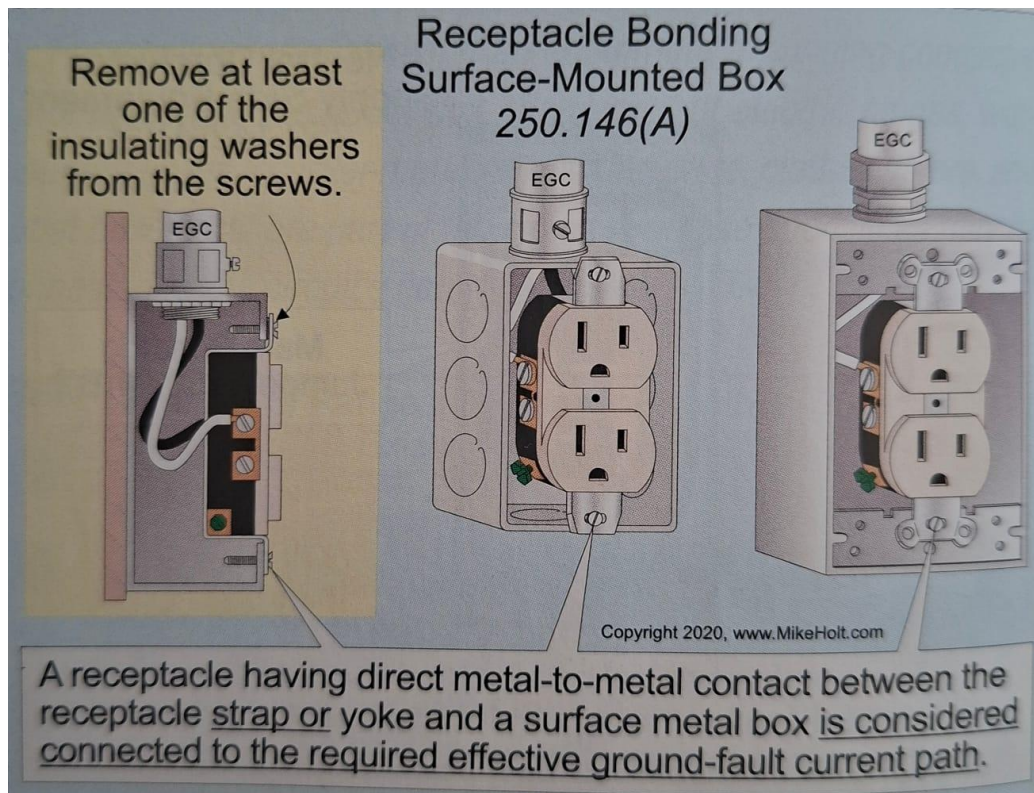
(A) Caja montada en superficie: El articulo 250.146 (A), especifica que el tornillo de fijación a del receptáculo, con la caja metálica es tomado como un conductor de tierra ya que toma la estructura como una trayectoria eficiente de la corriente, como se muestra en la figura 14, ahora si la caja metálica monta el receptáculo en una tapa la unión de los tornillos se puede tomar como una trayectoria permitida siempre que no se una tapa plana, debe detener la forma física que proteja los tonillos, como se muestra en figura:

Figura 23 Montaje de receptáculo según el artículo 250.146(A)



Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 176).

Figura 24 Montaje de receptáculo con tapa según el artículo 250.146(A)



Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 176).

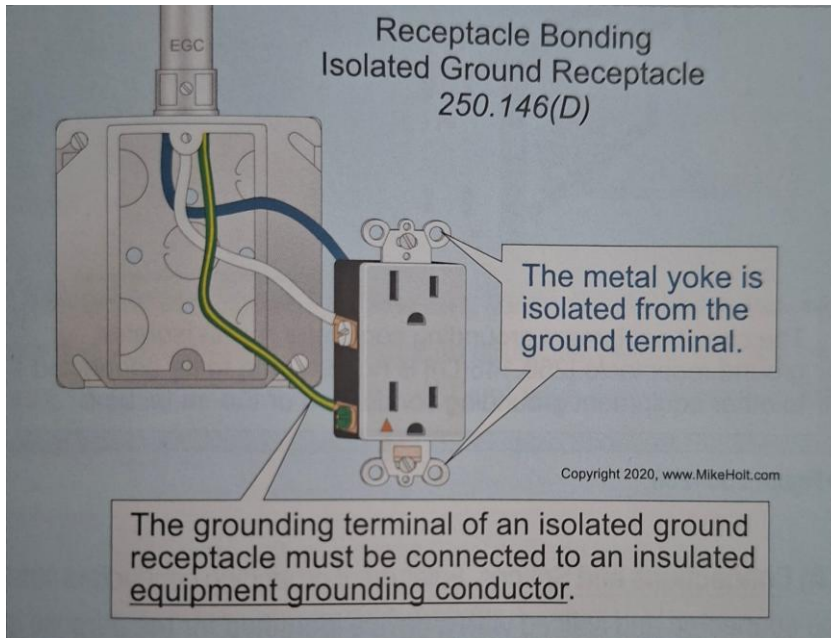
(B) Receptáculos con conexión a tierra automática. Los tornillos de receptáculo listados como de conexión a tierra automática establecen la conexión del equipo entre los tornillos del receptáculo y una caja metálica.

(C) Cajas de suelo. Las cajas de suelo metálicas listadas deben establecer la ruta de conexión entre la horquilla del receptáculo y una caja metálica.

(D) Receptáculos de tierra aislados. El terminal de conexión a tierra de un receptáculo de tierra aislado debe estar conectado a un conductor de conexión a tierra del equipo aislado, pero la

estructura de la caja debe estar conectada a la tierra destinada para los equipos (EGC), las partes metálicas del receptáculo deben de estar conectadas a la tierra aislada solamente. Figura 250-251

Figura 25 Figura explicativa del artículo 250.146(D).



Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 177).

Para las cajas metálicas el NEC 2020, presenta el artículo 250.148, que comenta lo siguiente:

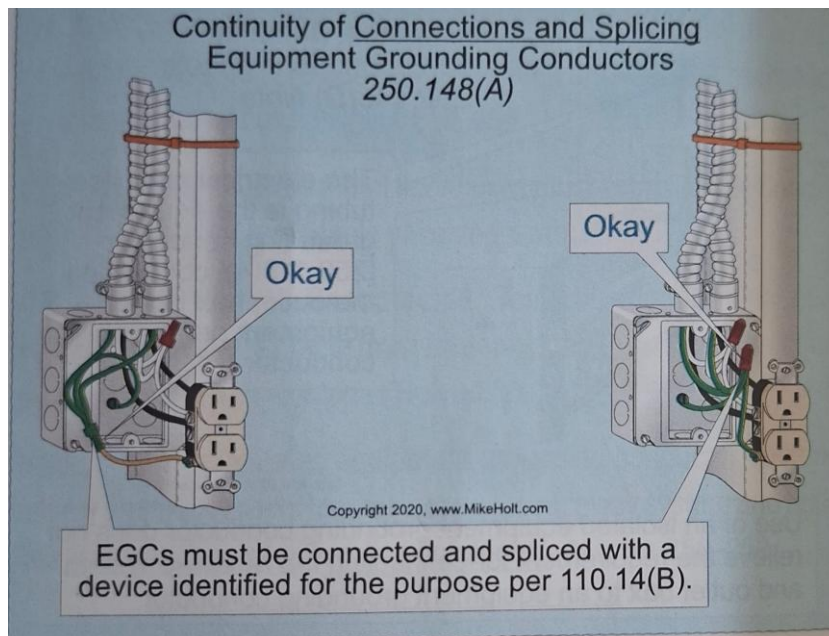
Continuidad de los conductores de puesta a tierra de equipos y fijación en cajas. Si los conductores del circuito están empalmados dentro de una caja o terminan dentro o soportado por una caja en un equipo, todos los conductores de puesta a tierra de equipos del tipo cable asociados con cualquiera de esos conductores del circuito, se deben conectar

dentro de la caja o a la caja de acuerdo con 250.8 y 250.148(A) hasta (D). (National Fire Protection Association [NFPA], 2020, art. 250.148, p. 70-141).

El artículo es claro la obligación de colocar un cable a tierra, si la caja cuenta con un empalme, esto en caso de que el empalme falle mecánicamente, sea conductor de corriente y toque la caja metálica, produciendo un riesgo. Esto se muestra en la figura

El artículo tiene 3 incisos, los cuales aseguran el uso de un cable de conexión de tierra si tienen empalmes y además garantiza que se utilicen materiales listados para la ejecución de los empalmes.

Figura 26 Conexión de caja según el artículo 250.148(A)



Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 178).

La contraparte de la norma NEC 2020, la Norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021, en el caso de receptáculos, no permite utilizar una parte metálica de la infraestructura como trayectoria de puesta a tierra y no tiene casos específicos en los cuales se puedan aceptar y cuando no, siempre debe estar conectado a un conductor de protección

(PE). Los receptáculos son vistos como masa, la cláusula 543.2.1, el cual anteriormente se había misionado en este documento y definido el término masa.

La caja metálica que contenga uniones o partes activas deben de tener un conductor de protección (PE) conectado, esto según la cláusula 542.4.1 la cual se cita: “En toda instalación donde se utilice la conexión equipotencial de protección, se debe disponer un borne principal de puesta a tierra, al cual se deben conectar los conductores de protección.” (IEC, 2011/2021, cl. 542.4.1, p. 13, traducción propia).

En instalaciones conforme a la IEC 60364-5-54, una caja metálica que tiene un tomacorriente debe conectarse directamente al conductor de protección (PE), ya que constituye una masa metálica accesible cuya continuidad eléctrica debe garantizarse para asegurar la protección contra choques eléctricos.

Figura 27 Comparación del uso de receptáculos y cajas según cada norma.

<b>Criterio</b>	<b>NEC 2020</b>	<b>IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021</b>	<b>Diferencia</b>
Enfoque normativo	Regula por elementos específicos (cajas, receptáculos).	Regula por principios generales (masas, PE, continuidad).	El NEC es más descriptivo por dispositivo; la IEC exige análisis global del sistema.
Conductor de protección (definición)	EGC – Equipment Grounding Conductor: conductor destinado a conectar las partes metálicas no portadoras de corriente al sistema de puesta a tierra.	PE – Protective Earthing conductor: conductor destinado a fines de seguridad para conectar las masas metálicas accesibles al sistema de puesta a tierra.	Ambos cumplen la misma función de protección, pero con terminología distintas.
Conexión de caja metálica	Debe conectarse al EGC si hay empalmes o equipos (Art. 250.148).	Debe conectarse al PE por ser masa accesible (cl. 541.3.1, 543.3.1).	En IEC la conexión al PE es siempre obligatoria.
Uso de la caja como conductor de protección	Permitido bajo condiciones para trayectoria efectiva de falla (Art. 250.109).	Solo permitido si se garantiza continuidad eléctrica (cl. 543.2.3).	En la práctica, la IEC no recomienda usar la caja como PE.
Receptáculo con puesta a tierra	El receptáculo se conecta al EGC mediante conductor o	El receptáculo se conecta directamente al PE (cl. 543.2.1, 543.3.1).	La IEC exige conductor dedicado; el NEC

	punto de unión (Art. 250.146).		permite unión indirecta.
Tornillos de montaje como medio de puesta a tierra	Permitidos en casos específicos (Art. 250.146(A)).	No aceptados como único medio de protección.	Diferencia importante en criterios de confiabilidad.
Receptáculos de tierra aislada	Permitidos y regulados (Art. 250.146(D)).	No reconocidos como concepto normativo.	La IEC separa tierra de protección (PE) y tierra funcional (FE).
Empalmes dentro de cajas metálicas	Requiere continuidad del EGC dentro de la caja (Art. 250.148).	Requiere empalme del PE y conexión a la caja (cl. 543.3.1).	Ambos buscan evitar la energización accidental de la caja.
Continuidad del conductor de protección	Asegurada mediante EGC y elementos metálicos listados.	Debe estar asegurada en todo momento mediante PE continuo (cl. 543.3.1).	La IEC es más estricta en continuidad permanente.
seguridad	Trayectoria efectiva de corriente de falla.	Equipotencialidad y continuidad del PE.	Diferente enfoque, mismo objetivo de seguridad.

Nota: Elaboración propia.

Comentaremos la tabla anterior:

La tabla presenta una comparación de estándares para la conexión y protección de equipos y envolventes metálicos, con varios enfoques regulatorios, aunque comunes a todos los ECs y los códigos de conducta. El NEC 2020 proporciona una guía detallada sobre todos los componentes de la instalación, incluidos cajas y receptáculos, permitiendo ciertos elementos metálicos para su uso en el camino de falla dentro de ciertas restricciones. Este sistema permite una mejor instalación, pero introduce criterios variables para la conectividad aceptable.

En contraste, el IEC 60364-5-54 adopta un enfoque global y más funcional y se basa en el concepto de masas, el conductor de protección (PE) y la continuidad eléctrica permanente. Esta es la base de este estándar, donde la conexión al conductor de protección es una necesidad para todas las partes metálicas accesibles, donde los elementos

estructurales solo se utilizan como el principal medio de protección, con especial atención a los conductores dedicados y la equipotencialidad del sistema.

En la práctica, es más flexibilidad constructiva para el NEC y confiabilidad y claridad del sistema de protección para el IEC. Es este último el que es más adecuado para el uso y mantenimiento del sistema. Sin embargo, ambos estándares intentan el mismo objetivo: proporcionar un camino seguro para la corriente de falla y mitigar los riesgos eléctricos para las personas y los equipos, un problema que es de particular preocupación dentro de los laboratorios de equipos informáticos.

### Resumen comparativo.

Para resumir la información brindada, vamos a comparar los datos por medio de una tabla resumida:

<b>Comparación</b>	<b>NEC 2020 (NFPA 70)</b>	<b>IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021</b>	<b>Diferencia</b>
Criterio de resistencia de puesta a tierra	Establece un valor máximo de 25 $\Omega$ para un solo electrodo; si se supera, se permite un segundo electrodo sin nueva medición (Art. 250.53(A)(2)).	No fija un valor numérico; exige que la resistencia garantice el funcionamiento de las protecciones y la seguridad de las personas (cl. 542.2.2).	El NEC simplifica el diseño; la IEC exige análisis del suelo, esquema de puesta a tierra y mediciones, aumentando precisión y posible costo inicial.
Efectividad del sistema de puesta a tierra	Se basa en la existencia de una trayectoria efectiva de corriente de falla mediante envolventes, canalizaciones y EGC (Art. 250.109).	Se basa en la continuidad total del sistema, desde las masas hasta el electrodo, sin interrupciones (cls. 542.1.4, 543.1.1, 543.3.3).	IEC adopta un enfoque más integral y conservador, adecuado para entornos con equipos electrónicos sensibles.
Conexión de equipos	Define explícitamente qué equipos deben conectarse al EGC y en qué condiciones (Art. 250.110).	No lista equipos; exige que toda masa accesible esté conectada al PE y al sistema equipotencial (cls. 541.3.1, 544.1.1).	NEC es descriptivo; IEC obliga análisis del sistema.
Materiales permitidos como	Lista explícita de 14 tipos de	Define tipos generales de PE y restringe	IEC reduce la dependencia de la

conductores de protección	conductores, canalizaciones y envolventes metálicas aceptadas como EGC (Art. 250.118).	severamente el uso de envolventes y estructuras metálicas (cls. 543.2.1, 543.2.2, 543.2.3).	infraestructura metálica, incrementando seguridad, pero aumentando cantidad de conductores dedicados.
Restricción del aluminio	Permite aluminio como EGC bajo condiciones específicas de instalación y protección (Art. 250.120(B)).	Prohíbe el aluminio como conductor de puesta a tierra (earthing conductor) y restringe su uso como PE (cls. 542.3.1, 543.1.3).	IEC prioriza durabilidad y vida útil; NEC ofrece mayor flexibilidad constructiva.
Identificación y diferenciación de conductores	EGC identificado en verde o verde/amarillo; requisitos varían según calibre (Art. 250.119).	PE identificada obligatoriamente en verde-amarillo en toda su longitud, sin excepciones (cl. 514.3).	IEC elimina los errores visuales.
Dimensionamiento del conductor de protección	Se basa en la corriente nominal del dispositivo de protección mediante la Tabla 250.122.	Se basa en tablas 54.2, 54.3 y 54.4 o en cálculo térmico ( $I^2t$ ) (cl. 543.1).	IEC permite un dimensionamiento más preciso; NEC simplifica el cálculo.
Conductor hacia el electrodo de puesta a tierra	GEC dimensionado según Tabla 250.66, en función del conductor de fase mayor.	Earthing conductor dimensionado por criterios mecánicos y de durabilidad; aluminio prohibido (cls. 542.3.1, 543.1.1).	En IEC el conductor al electrodo no depende del conductor de fase, sino de su función estructural.
Unión en cajas metálicas y receptáculos	Permite el uso de cajas y canalizaciones como parte de la trayectoria de falla bajo condiciones (Arts. 250.146, 250.148, 250.109).	Exige que cajas y tomacorrientes estén conectados directamente al PE, sin depender de la estructura metálica (cls. 541.3.1, 543.3.1, 542.4.1).	IEC obliga a PE dedicado para cada masa; NEC permite soluciones constructivas más flexibles.
Seguridad	Enfoque en trayectoria efectiva de corriente de falla.	Enfoque en equipotencialidad, continuidad y confiabilidad del sistema.	Ambos buscan seguridad, pero IEC ofrece mayor robustez para laboratorios de cómputo.

Notas: Elaboración propia. EGC = Equipment Grounding Conductor (NEC). PE = Protective Earthing conductor (IEC).

La tabla demuestra que NEC 2020 e IEC 60364-5-54 deben cumplir el mismo objetivo final de seguridad eléctrica, excepto que su punto de vista difiere. El NEC se aplica al diseño utilizando un criterio prescriptivo y simplificado con valores, tablas y listas bien definidos para ayudar en el diseño e implementación de la instalación, con la posibilidad de incluir también elementos metálicos de la infraestructura como parte del camino de la corriente de falla. Esto conduce a una reducción de la complejidad del diseño y de los gastos iniciales.

En comparación, la IEC presenta un enfoque funcional y de base amplia; el rendimiento del sistema de puesta a tierra se basa no solo en un valor de resistencia, sino en la continuidad total del sistema, la equipotencialidad y la fiabilidad a largo plazo. Esto pone presión sobre el diseñador para inspeccionar las condiciones del suelo, el esquema de puesta a tierra, los materiales utilizados y la sostenibilidad del sistema, lo que lleva a una solución más confiable, particularmente útil cuando se aplica a laboratorios de equipos informáticos y entornos de dispositivos electrónicos sensibles.

En resumen, el NEC da prioridad a la usabilidad y la homogenización, mientras que la IEC da prioridad a la funcionalidad y la calidad del sistema. Ambos estándares son técnicamente válidos, pero impactan de manera diferente en las decisiones de diseño, la selección de materiales y los costos que son centrales para el análisis comparativo en este trabajo propuesto.

## **Recopilación de datos del sistema de puesta a tierra del centro educativo.**

El Ministerio de Educación Pública (MEP), presenta un área específica para la infraestructura de la edificación es educativas, denominada Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo (DIE), entidad competente en materia de diseño, normalización y ejecución de infraestructura educativa pública en Costa Rica.

Esta área del MEP, publica los documentos y diseños de manera pública, además tiene diseños ya establecidos los cuales se aplican en todos los centros educativos, estandarizados, esto se publican en la página: [die.mep.go.cr](http://die.mep.go.cr).

Para el presente documento será basado en los laboratorios de equipo de cómputo, utilizaremos los siguientes documentos disponibles al día 9 de ene. Del 2026:

### **Especificaciones Técnicas de Prototipos DIE (2021)**

Este documento establece los criterios generales constructivos, eléctricos y de coordinación de instalaciones aplicables a los prototipos de infraestructura educativa del MEP. Incluye un apartado específico de especificaciones eléctricas, donde se definen lineamientos sobre canalizaciones, acometidas, tableros, protecciones, etiquetado, materiales eléctricos y cumplimiento de códigos y normativas aplicables.

### **Catálogo de Prototipos DIE – 2018**

El catálogo recopila los modelos arquitectónicos oficiales utilizados por el MEP, incluyendo módulos académicos, administrativos y técnicos, con sus respectivas áreas, usos y criterios de diseño. Dentro de este catálogo está el prototipo de laboratorio de cómputo de 72 m<sup>2</sup>.

### **Planos arquitectónicos del Laboratorio de Cómputo de 72 m<sup>2</sup> – Actualización 2025**

Este documento corresponde al plano arquitectónico específico del laboratorio de cómputo, actualizado al año 2025, donde se detallan dimensiones, distribución espacial, capacidad de usuarios, alturas, elementos constructivos y uso del espacio. Dicho plano permite caracterizar técnicamente el laboratorio como una edificación destinada al uso intensivo de equipos electrónicos y de cómputo, condición fundamental para el análisis posterior del sistema de puesta a tierra

Los planos contractivos y estructurales de un laboratorio de equipo de cómputo presentan, los diseños eléctricos que contemplan el sistema depuesto a tierra, los laboratorios de equipo de cómputo del MEP cuentan con una acometida individual, separada del resto del colegio, con un medidor de corriente propio, esto para mantener un historial del consumo energético de los laboratorios.

### **Caracterización técnica del laboratorio de cómputo tipo MEP**

De acuerdo con la documentación analizada, el laboratorio de cómputo tipo del MEP presenta las siguientes características generales:

- Área aproximada: 72 m<sup>2</sup>
- Capacidad: 28 estudiantes
- Uso principal: enseñanza técnica y académica mediante el uso de computadoras y equipo electrónico
- Condición de ocupación: espacio de uso continuo durante la jornada educativa, de 7:00am a 4:20pm, si el centro educativo tiene sección nocturna de 5pm a 9am.
- Cargas: predominio de cargas electrónicas sensibles, computadoras, monitores, equipos de red, regletas, UPS, además un equipo de aire acondicionado.

### **Condiciones de diseño relevantes de prototipos.**

Los documentos del DIE cumplen con la normativa NEC 2020 y las especiaciones de diseño solicitas por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), no presentan cálculos, pero si especificaciones técnicas para su comprensión, cumpliendo a cabalidad lo normado en el país.

Los prototipos para un laboratorio de 72 metros cuadrados según la información recopilada contemplan la siguiente información, brindada en un documento de 8 laminas:

Tabla 8 Tabla de contenidos en prototipos del DIE:

<b>Lamina.</b>	<b>Contenido.</b>
1/8 (Anexo A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planta de distribución arquitectónica,</li> <li>• Planta arquitectónica de techos,</li> <li>• Elevaciones generales,</li> <li>• Notas, tabla de acabados</li> </ul>
2/8 (Anexo A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secciones de pared</li> <li>• Corte general</li> <li>• Detalles</li> </ul>
3/8 (Anexo A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detalles ventanearía</li> </ul>
4/8 (Anexo A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detalles de cielo suspendido antisísmico.</li> </ul>
5/8 (Anexo A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantas estructurales.</li> <li>• Tabla columnas</li> <li>• detalles y notas estructurales</li> </ul>
6/8 (Anexo A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortes estructurales.</li> <li>• Detalles estructurales</li> </ul>
7/8 (Anexo A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planta aguas pluviales,</li> <li>• Detalles, notas y simbología</li> </ul>
8/8 (Anexo A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planta de iluminación,</li> <li>• Planta de abanicos</li> <li>• Planta de tomacorrientes generales</li> <li>• -planta de tomacorrientes computo,</li> <li>• Detalles, notas y simbología</li> <li>• Directorio de tableros</li> </ul>

Nota: Elaboración propia.

La tabla anterior muestra la información estructural y de diseño eléctrico necesaria para tomar decisiones, crear listas de materiales y cotizaciones.

La recopilación de información de parte de las fuentes oficiales del MEP, genera la información necesaria para el desarrollo de este documento, generando una base sólida. Esta edificación se mantiene a nivel nacional, pero la tierra, el terreno físico en que se construye puede variar y eso genera cambios en la resistencia del terreno y la resistencia del electrodo a tierra, no se está estudiando un centro específico, así que no se puede obtener datos del terreno y sus características.

### **Solicitud de información al DIE:**

Se realiza la recopilación de datos, realizando una consulta técnica al DIE, sobre el diseño de laboratorios de cómputo de 72 metros cuadrados, la dirección contesta de manera positiva brindando el criterio técnico sobre el diseño, el cual se menciona a continuación de manera resumida: Se anexan los correos recibidos por el DIE, en el Anexo C.

### **Memoria de cálculo del diseño eléctrico.**

Lastimosamente, no cuentan con la memoria de cálculo para el diseño eléctrico, dado que obedecen a una contratación del 2016, los cuales se están actualizando la versión al año 2025, ahora bien, el diseño eléctrico lo realiza un Ingeniero Eléctrico o electromecánico colegiado y lo que se realiza tomando como base la norma NFPA 70, conocido como NEC 2020 (Código Eléctrico Nacional), así como los diferentes Decretos Ejecutivos vigentes a nivel nacional (MEIC-36979 y posteriores).

### **Tomacorrientes y salidas de potencia:**

Voltaje Estándar: El sistema nacional estandar opera a 120V para tomas generales y 240V para equipos de alta potencia (cocinas, tanques de agua caliente, etc).

Configuración Física: Tipo B polarizados (dos planas más una redonda de tierra).

Resistencia a la Manipulación (TR): Según la sección 406.12 del NEC, es obligatorio el uso de tomacorrientes marcados como "Tamper Resistant" (TR) en unidades educacionales y otras áreas específicas si se instalan a menos de 1.7 metros de altura.

Protección GFCI: Es indispensable instalar tomacorrientes con Interruptor de Circuito por Falla a Tierra (GFCI) en áreas húmedas como cocinas, baños, áreas de lavandería y exteriores para prevenir descargas eléctricas.

Puesta a Tierra: Todos los tomacorrientes en construcciones nuevas deben contar con polo a tierra para desviar sobrecargas y proteger los aparatos.

Cableado Recomendado: Se debe utilizar cable calibre 12 AWG (preferible) o mínimo 14 AWG para circuitos de iluminación general.

Alturas Comunes: Aunque el NEC no dicta una altura mínima obligatoria para áreas generales, se recomienda instalarlos entre 30 y 40 cm desde el nivel de piso terminado (AFF) por práctica estándar, o bien a 1,20m NSPT en zonas inundables.

### **Iluminación:**

En Costa Rica, el Código Eléctrico Nacional NEC 2020 NFPA 70, rige el diseño de iluminación, enfocándose en la seguridad (protección contra fallas a tierra, interruptores de tres vías en pasillos) y exigiendo requisitos mínimos de carga (10 VA/m<sup>2</sup>) y materiales certificados (UL, NOM-ANCE, CSA, ETL etc.). El NEC no es un manual de buen desempeño, sino de seguridad, por lo que se complementa con manuales de diseño para detalles como caída de voltaje y crecimiento futuro, requiriendo planeación de cableado y la selección adecuada de componentes certificados para cumplir con las normas locales.

Requisitos Mínimos: Las instalaciones deben considerar una carga mínima de 10 VA por metro cuadrado para circuitos de iluminación.

Pasillos: Pasillos de más de 3.05 metros requieren iluminación adecuada y controles de tres vías en cada extremo.

Materiales Certificados: Se deben usar materiales y equipos con certificaciones nacionales (ECA) o internacionales (UL, CSA, IEC) reconocidas, seleccionados por profesionales.

### **Ventilación:**

El diseño de ventilación para edificaciones humanas se rige por el uso de normas internacionales como ASHRAE y NFPA, además del Código Eléctrico Nacional (NEC) (NFPA

70) para aspectos eléctricos, con la reciente oficialización de la versión NEC 2020. La normativa se centra en la seguridad, definiendo requisitos para la ventilación mecánica y complementando el NEC, que, aunque enfocado en electricidad, indirectamente afecta la ventilación al exigir protecciones (GFCI/AFCI) y requisitos de instalación.

#### **Acometidas eléctricas:**

El Código Eléctrico Nacional (NEC 2020) exige dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) y mejoras en la seguridad, como interruptores GFCI y medios de desconexión de emergencia, aplicando el estándar de la NFPA 70 para proteger vidas y propiedades. Los cambios recientes, oficializados en 2024, enfatizan la instalación de supresores en las acometidas de unidades educacionales nuevas y la necesidad de un buen sistema de puesta a tierra (idealmente  $<25$  Ohm), con asesoramiento profesional y equipos certificados (UL 1449).

#### **Información aportada por el DIE:**

Además de la información anterior la dirección aportó la lista de materiales eléctricos necesarios para construcción y puesta en marcha del laboratorio, esta se anexa el presente documento. Se encuentra en el anexo B.

## **Diferencias de diseño en los sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de CTP.**

Para abordar el Objetivo Específico 3, se lleva a cabo un estudio técnico comparativo entre el diseño eléctrico del Laboratorio de Computación de 72 m<sup>2</sup> del Ministerio de Educación Pública (MEP), que fue actualizado por última vez en 2025, en relación con los principios de diseño establecidos en el Código Eléctrico Nacional NEC 2020 (Artículo 250, Partes VI y VII) y las normas basadas en IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021.

El análisis se basa directamente en los planos eléctricos oficiales, el diagrama unifilar, la simbología, así como las Especificaciones Técnicas del Prototipo DIE para observar las diferencias reales en el diseño del sistema de puesta a tierra cuando se emplean los dos estándares para el mismo laboratorio, y mantener el área, el espacio y el diseño arquitectónico uniformes.

### **Criterio de resistencia del electrodo de puesta a tierra**

Las Especificaciones Técnicas para los Prototipos DIE que utiliza el MEP para diseñar laboratorios de computación estipulan que la resistencia del sistema de puesta a tierra debe ser igual o inferior a 25  $\Omega$  (de acuerdo con el Código Eléctrico Nacional adoptado en Costa Rica). El artículo 250.53(A)(2) del NEC 2020 especifica que, si se utiliza un electrodo tipo varilla, la resistencia medida debe ser de 25  $\Omega$  o menos. Si no lo es, entonces el código prevé la instalación de un segundo electrodo separado según la norma, y eso sin el requisito de una nueva medición de resistencia, con la condición de que se cumpla el requisito normativo.

La IEC 60364-5-54, por otro lado, adoptó un enfoque diferente. Esta norma no impone un límite numérico fijo para la resistencia del electrodo de puesta a tierra. En su lugar, exige que la resistencia del sistema sea lo suficientemente baja como para garantizar el funcionamiento efectivo de los dispositivos de protección y la seguridad de las personas, de acuerdo con el esquema de puesta a tierra, las corrientes de falla y las condiciones del suelo.

En términos tanto de diseño como de modelado, DIE-MEP y NEC utilizan, al menos en cuanto al diseño, un valor de referencia cuantitativo  $\leq 25 \Omega$  por diseño, para estandarizar el sistema de puesta a tierra para edificios repetitivos, y la IEC es una interpretación detallada sobre el

comportamiento del sistema de puesta a tierra para edificios idénticos, aunque no es una cifra de referencia.

### **Dimensionamiento del conductor del electrodo de puesta a tierra.**

El diseño eléctrico para el laboratorio MEP especifica un conductor de puesta a tierra desnudo de calibre #8 AWG para la conexión entre la entrada del servicio eléctrico y el electrodo de puesta a tierra.

El dimensionamiento del conductor del electrodo según el NEC 2020 es como se indica en la Tabla 250.66, que asocia el calibre del conductor de fase con el calibre mínimo permitido para el conductor de puesta a tierra. En el caso de conductores de fase de cobre de calibre #4 AWG, el conductor de puesta a tierra mínimo permitido es de calibre #8 AWG, lo que significa que este diseño MEP cumple con el requisito normativo relevante.

Por el contrario, según la IEC 60364-5-54 (ver Tabla 54.1), la sección mínima requerida del conductor del electrodo, que es de cobre desnudo y enterrado, es de 25 mm<sup>2</sup> y 16 mm<sup>2</sup> si está protegido para la corrosión., basándose en la consideración de la resistencia mecánica, durabilidad y protección contra la corrosión del conductor del electrodo. Dado que el conductor de calibre #8 AWG tiene aproximadamente 8.37 mm<sup>2</sup>, según los criterios de la IEC, sería necesario un conductor con aproximadamente tres veces el área de sección transversal sin protección a la corrosión y con protección el doble.

Tabla 9 Dimensionamiento del conductor del electrodo de puesta a tierra.

<b>Criterio</b>	<b>Diseño MEP</b>	<b>NEC 2020 (Tabla 250.66)</b>	<b>IEC 60364-5-54 (Tabla 54.1)</b>
Elemento enterrado	Electrodo (varilla)	Electrodo (varilla)	Electrodo (varilla)
Condición del conductor del electrodo	Conductor acoplado al electrodo, no enterrado en su longitud	Conductor no enterrado	Conductor no enterrado
Material del conductor	Cobre desnudo	Cobre	Cobre
Calibre / sección especificada	#8 AWG	#8 AWG (mínimo permitido)	16 mm <sup>2</sup> (criterio mecánico mínimo)
Sección transversal equivalente	8,37 mm <sup>2</sup>	8,37 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
Criterio normativo de dimensionamiento	Especificación del plano	Relación con conductor de fase #4 AWG	Resistencia mecánica y durabilidad del conductor
Cumplimiento normativo	—	Cumple	No cumple
Incremento requerido respecto al diseño MEP	—	No requiere	≈ 2 veces mayor sección

Nota: Elaboración propia con datos brindados por el DIE y Normas mencionadas.

Tabla anterior indica que, aunque el electrodo de puesta a tierra está enterrado, el conductor del electrodo solo está conectado al electrodo y corre fuera del suelo, lo que afecta directamente los criterios de dimensionamiento. Con el enfoque del NEC 2020, el calibre #8 AWG utilizado en el diseño MEP es adecuado ya que el dimensionamiento del conductor del electrodo se basa en la relación con el calibre del conductor de fase, cumpliendo con lo establecido en la Tabla 250.66. En comparación, la IEC 60364-5-54 establece secciones mínimas del conductor del electrodo basadas en criterios de resistencia mecánica y durabilidad, independientemente de si el conductor está enterrado o no, requiriendo una sección mínima de 16 mm<sup>2</sup>. Debido a estas diferencias regulatorias, esto afecta directamente la sección del conductor necesaria para el mismo laboratorio, incluso cuando la geometría física del electrodo y su conexión permanecen iguales.

## Comparación y Equivalencia del electrodo o electrodos.

Según la Dirección de Infraestructura Educativa del MEP (DIE-MEP), el sistema de puesta a tierra es una instalación eléctrica para laboratorios de equipos informáticos con una base basada en los resultados de pruebas de resistividad del suelo. Normalmente, se proporcionan tres varillas de puesta a tierra como configuración, lo cual es una posibilidad de baja resistencia en la mayoría de los suelos de Costa Rica. El diseño de las tres varillas Coperweld de 3 metros de largo y 19 mm de diámetro introducidas por DIE-MEP

Desde la perspectiva de la norma IEC 60364-5-54, las varillas especificadas por DIE-MEP cumplen y superan los requisitos mínimos ya que los requisitos de la IEC para electrodos tipo varilla incluyen un diámetro mínimo de 14 mm, teniendo en cuenta parámetros mecánicos y de durabilidad (IEC, 2011/2021, cl. 542.2.2).

En términos de configuración geométrica, el arreglo en forma de triángulo, línea o anillo cerrado utilizado por DIE-MEP está, siempre que las protecciones eléctricas funcionen correctamente, en línea con la norma establecida por la IEC. La IEC no especifica una forma.

Tabla 10 comparación de criterios de electrodos según normas.

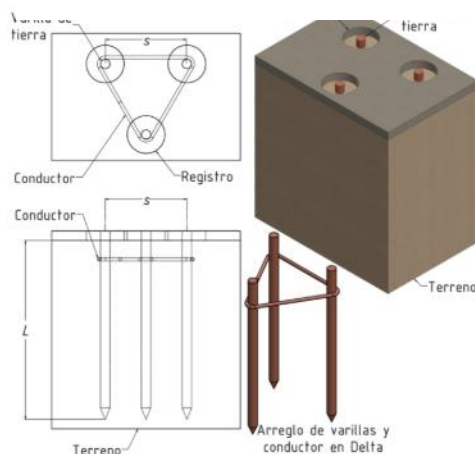
<b>Criterio</b>	<b>Diseño DIE-MEP</b>	<b>Requisito IEC 60364-5-54</b>	<b>Cumplimiento IEC</b>	<b>Observación técnica</b>
Tipo de electrodo	Varilla Coperweld (acero recubierto de cobre)	Se permiten electrodos tipo varilla de acero recubierto de cobre	Cumple	El tipo de electrodo utilizado por la DIE-MEP es aceptado por la IEC
Longitud de la varilla	3 m	La norma no establece una longitud mínima específica	Cumple	La longitud se define en función de la resistividad del suelo
Diámetro de la varilla	19 mm	Diámetro mínimo de 14 mm	Cumple	El diámetro supera el mínimo exigido por la IEC
Cantidad de varillas	3 unidades	La norma no fija una cantidad específica	Cumple	La cantidad depende del valor de resistencia requerido

Separación entre varillas	Aproximadamente 3 m (igual a su longitud)	Basada en criterios de desempeño eléctrico	Cumple	La separación evita el apantallamiento entre electrodos
Configuración geométrica	Triángulo, línea o anillo cerrado	La norma no especifica una forma obligatoria	Cumple	Cualquier configuración es válida si asegura la actuación de las protecciones
Criterio de resistencia	Diseño orientado a baja resistencia del sistema	No se establece un valor numérico fijo	Cumple	La IEC prioriza el funcionamiento seguro de las protecciones

Nota: Elaboración propia con datos brindados por el DIE y Normas mencionadas.

La tabla muestra que el sistema de electrodos de puesta a tierra diseñado por DIE-MEP cumple con los requisitos de la norma IEC 60364-5-54 en todos los aspectos, incluyendo, pero no limitado a, tipo, dimensiones, cantidad y disposición de las varillas según los criterios técnicos necesarios. La IEC no impone valores geométricos o de resistencia fijos; en su lugar, se enfatiza el rendimiento del sistema, y según el diseño basado en la resistividad del suelo, esa condición se cumple efectivamente.

Figura 28 Distribución geométrica de electrodos.



$$R_e = \frac{1}{3} \cdot \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 + \frac{2L}{s} \right]$$

$R_e$ : Resistencia a tierra de la Delta [ $\Omega$ ]  
 $L$ : Longitud enterrada de las varillas [m]  
 $d$ : Diámetro de las varillas [m]  
 $\rho$ : Resistividad del terreno [ $\Omega \cdot m$ ]  
 $s$ : Longitud de un lado del triángulo equilátero [m]  
 $\ln$ : Logaritmo natural

Nota: Fuente: Dirección de Infraestructura Educativa del Ministerio de Educación Pública (DIE-MEP), comunicación institucional vía correo electrónico.

Figura muestra la configuración de electrodos de puesta a tierra mediante arreglo triangular (delta) con varillas interconectadas.

### Punto de unión entre el conductor de puesta a tierra y el electrodo.

Basado en las directrices formales de DIE sobre cómo debe realizarse la conexión entre un conductor de puesta a tierra y cada varilla en el diseño de puesta a tierra, se recomienda la soldadura exotérmica. Esta técnica facilita una conexión duradera que tiene baja resistencia eléctrica y es altamente resistente, lo que reduce el riesgo de aflojamiento mecánico y corrosión durante la vida útil de la instalación.

De acuerdo con el NEC 2020, la soldadura exotérmica está permitida y debe considerarse como una de las formas más confiables de realizar conexiones de puesta a tierra, según el Artículo 250.8. Además, el Artículo 250.68(A) establece que, si se utiliza soldadura exotérmica para la conexión del conductor al electrodo, no es necesario que un punto de unión sea accesible para

inspección, ya que es una conexión permanente e irreversible. Es una buena manera de colocar conexiones, que están enterradas o incrustadas en concreto, en la posición adecuada.

Por su parte, la IEC 60364-5-54, específicamente la Cláusula 542.3.2, considera que la soldadura exotérmica es un método aceptable y preferible para conectar el conductor de puesta a tierra con el electrodo. Este tipo de conexión también se indica como satisfactorio en términos de continuidad eléctrica y alta resistencia a la corrosión, que son elementos cruciales para proporcionar la continuidad eléctrica y resistencia necesarias para el correcto funcionamiento del sistema de puesta a tierra durante su vida útil. Además, la IEC establece que las conexiones soldadas pueden estar enterradas o no ser accesibles, lo cual no es cierto para las conexiones mecánicas, que requieren accesibilidad para inspección y mantenimiento.

Tabla 11 Comparación del punto de unión entre el conductor de puesta a tierra y el electrodo.

<b>Criterio</b>	<b>Práctica DIE–MEP (Información oficial)</b>	<b>NEC 2020</b>	<b>IEC 60364-5-54</b>
Método de unión conductor–electrodo	Soldadura exotérmica en cada varilla de puesta a tierra	Permitida y reconocida como método confiable (Art. 250.8)	Permitida y recomendada para uniones permanentes (Cl. 542.3.2)
Tipo de unión	Unión permanente e irreversible	Unión permanente	Unión permanente
Uso de conectores mecánicos	No recomendado para la unión al electrodo	Permitidos solo si están listados y accesibles	Permitidos solo si son accesibles
Accesibilidad del punto de unión	No requerida	No requerida cuando se usa soldadura exotérmica (Art. 250.68(A))	No requerida para uniones soldadas
Comportamiento frente a corrosión	Alta resistencia	Alta resistencia	Alta resistencia
Continuidad eléctrica	Muy alta	Muy alta	Muy alta
Adecuación para uniones enterradas	Totalmente adecuada	Totalmente adecuada	Totalmente adecuada

Nota: Elaboración propia en base a información suministrada por el DIE, MEP, NEC y IEC.

De la tabla anterior, se ha observado que con respecto al conductor de puesta a tierra y el electrodo, el Ministerio de Educación Pública recomienda la "soldadura exotérmica", basada en la

información oficial de la Dirección de Infraestructura Educativa (DIE). Este criterio se alinea completamente con lo establecido tanto en el NEC 2020 como en la IEC 60364-5-54, que reconocen la soldadura exotérmica como el método más confiable para conexiones permanentes, especialmente cuando están enterradas o son inaccesibles. Los tres enfoques destacan que este tipo de conexión ofrece una mayor continuidad eléctrica, menor impedancia y mejor rendimiento contra la corrosión en comparación con las conexiones mecánicas, lo que la convierte en una solución técnicamente robusta para los laboratorios de equipos informáticos.

### **Identificación y código de colores del conductor de protección (PE) y del conductor de puesta a tierra funcional (FE)**

En el diseño eléctrico del laboratorio de computación del Ministerio de Educación Pública (MEP), según las Especificaciones Técnicas y notas en los planos elaborados por la Dirección de Infraestructura Educativa (DIE), se especifica que todos los circuitos deben incluir un conductor de puesta a tierra identificado por el color verde. Se describe la práctica institucional adoptada para identificar el conductor de protección en edificios educativos, asegurando una señalización clara para el personal técnico encargado de la instalación, inspección y mantenimiento del sistema eléctrico.

Refiriéndose a las normativas nacionales, el Código Eléctrico Nacional NEC 2020, en el Artículo 250.119, permite la identificación de los conductores de puesta a tierra del equipo (EGC) por verde sólido, verde con rayas amarillas, u otros medios de identificación permanente. Basado en las regulaciones mencionadas, una especificación desarrollada por el MEP y la DIE encarna y cumple completamente con los requisitos de identificación sin ninguna influencia en la seguridad eléctrica o la continuidad del sistema de puesta a tierra del laboratorio de computación.

En comparación, la especificación introducida en la IEC 60364-5-54, como se detalla en la Cláusula 514.3, adopta una regla más restrictiva respecto a la identificación de conductores asociados con la puesta a tierra. A nivel de norma internacional, el conductor de protección (PE) debe identificarse exclusivamente por el código bicolor verde-amarillo, y este color se utiliza únicamente para funciones de protección. De manera similar, respecto al conductor de puesta a tierra funcional (FE) propuesto en la IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021, la norma no prescribe ningún color obligatorio, pero específicamente establece que el verde-amarillo no aplica y además

requiere que su identificación se realice con otros colores acompañados de un marcado claro y permanente. Esta distinción indica una inconsistencia en la estandarización internacional, que no compromete la seguridad eléctrica pero sí afecta el cumplimiento con el marco de la IEC.

Tabla 12 Identificación de conductores.

<b>Criterio</b>	<b>MEP / DIE (Planos y Especificaciones)</b>	<b>NEC 2020</b>	<b>IEC 60364-5-54</b>
Conductor de protección	Conductor de tierra	EGC (Equipment Grounding Conductor)	PE (Protective Conductor)
Color especificado para protección	Verde sólido	Verde sólido, verde con franjas amarillas u otro medio de identificación (Art. 250.119)	Verde-amarillo exclusivamente (Cl. 514.3)
Uso del color verde sólido	Permitido	Permitido	Prohibido
Uso del color verde-amarillo	No especificado	Permitido	Obligatorio para PE
Conductor de puesta a tierra funcional	No especificado	No definido explícitamente	FE (Functional Earthing Conductor)
Color del conductor FE	—	—	No normalizado; prohibido verde-amarillo (Cl. 514.3)
Identificación adicional FE	—	—	Marcación clara y permanente (rotulación “FE”)
Impacto normativo	Cumple normativa nacional	Cumple	Requiere cambio de color para conformidad IEC

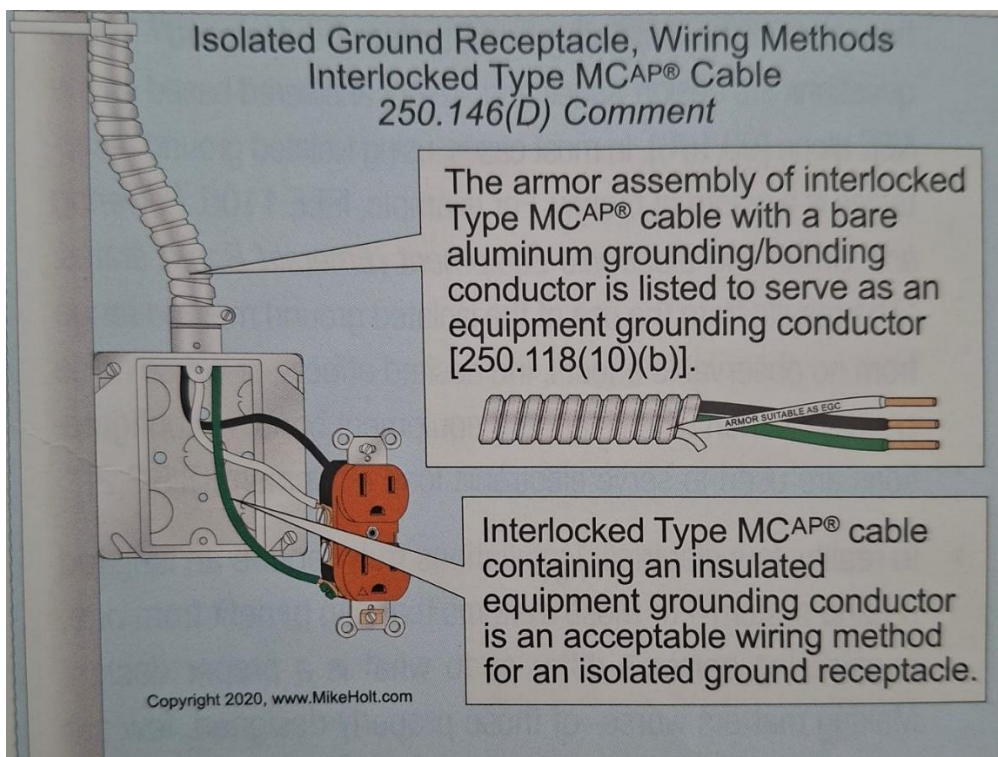
Nota: Elaboración propia en base a información suministrada por el DIE, MEP, NEC y IEC.

Según la tabla, el diseño MEP y DIE muestra que el conductor de protección ha sido desarrollado con un color verde sólido, según el NEC 2020 y como se estipula en las regulaciones nacionales. Sin embargo, la IEC 60364-5-54 solo requiere el código bicolor verde-amarillo para el conductor de protección (PE) y prohíbe su uso para otros conductores. El conductor de puesta a tierra funcional (FE) no tiene un color estandarizado y debe estar claramente identificado y no puede usar verde-amarillo. Esta diferencia no afecta la seguridad eléctrica del sistema, pero sí afecta el cumplimiento con la estandarización internacional bajo el enfoque de la IEC. diseño eléctrico del laboratorio de computación del Ministerio de Educación.

## Puesta a tierra para equipos de cómputo: Tierra aislada (IG) versus Tierra funcional (FE) con malla equipotencial.

Un tomacorriente de tierra aislada (IG), típicamente distinguido por su color rojo, se utiliza en el diseño eléctrico y la estructura de los laboratorios de equipos informáticos del Ministerio de Educación Pública (MEP), y se basa en las Especificaciones Técnicas de la Dirección de Infraestructura Educativa (DIE). Tal resolución se aplica con el objetivo de lograr el máximo rendimiento de los equipos electrónicos sensibles, lo que reduce el ruido eléctrico y la interferencia electromagnética que pueden ser un obstáculo para el funcionamiento de las computadoras y otros sistemas de tecnología de la información. Los tomacorrientes IG están además respaldados por el Artículo 250.146(D) del NEC 2020, que estipula que el conductor de puesta a tierra debe estar eléctricamente aislado de la caja metálica y el conducto, siempre que la conexión del conductor de puesta a tierra al sistema de puesta a tierra general del edificio también se realice de esta manera. Así, el NEC considera que el control del ruido eléctrico se puede lograr aislando la trayectoria del conductor de tierra del tomacorriente sin modificar la tierra o cambiar el sistema de puesta a tierra del edificio.

Figura 29 Tomacorriente de tierra aislada NEC 2020.



Nota: Tomado de Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, Based on the 2020 NEC (p. 179).

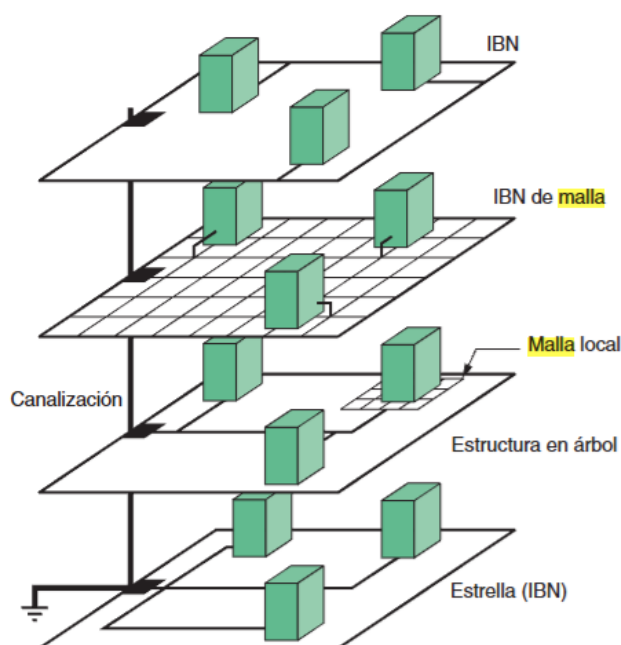
La figura anterior demuestra la instalación de un receptáculo de tierra aislada, usualmente fabricados de color rojo o naranja, con un triángulo verde.

El receptáculo de tierra aislada (IG – Tierra Aislada) no elimina la necesidad del sistema de puesta a tierra adecuado. Su función es separar el camino del conductor de puesta a tierra del equipo, conocido como EGC – Conductor de Puesta a Tierra del Equipo, del resto de las masas metálicas y conductos del sistema eléctrico.

Por otro lado, el marco de la IEC 60364-5-54, que está respaldado por la Enmienda 1 (AMD1:2021), ofrece una orientación diferente en el manejo de la interferencia eléctrica en instalaciones que contienen equipos sensibles. Según las normas internacionales, la separación del conductor de protección (PE) de las masas metálicas no se considera una forma legítima de reducir el ruido, ya que esto pondría en peligro la seguridad eléctrica. Por lo tanto, la separación del PE de los recintos metálicos está prohibida para cualquier propósito por la IEC, y el sistema de protección debe continuar permanentemente (IEC 60364-5-54, cl. 543.2).

Para mitigar el control del ruido eléctrico al mismo tiempo que no se aísla el conductor de protección, la IEC introduce el concepto de puesta a tierra funcional (FE) y enfatiza la malla de equipotencialidad. Esta malla es la disposición física y espacial del sistema eléctrico que consiste en una red de conductores enlazados enterrados bajo el suelo del laboratorio, coordinados en una estructura de cuadrícula o, por el contrario, en configuraciones de malla, anillo equipotencial o combinadas, siempre que se cumplan tasas de baja impedancia y diferentes caminos de conexión. Según la IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021, Cláusula 545.3, es necesario conectar esta malla al Terminal Principal de Tierra Funcional (MFET) y al sistema de electrodos de puesta a tierra del edificio; también debe conectarse con racks de datos, bandejas de cables, conductos metálicos, estructura del edificio y masas metálicas del equipo, y permitir que el potencial eléctrico de todas las partes conductoras accesibles y las referencias funcionales trabajen juntas.

Figura 30 Malla dedicada a equipos de tecnología de la información.



Nota: Adaptado de Guía de diseño de instalaciones eléctricas, por Schneider Electric, 2010, p. 459.

El principio técnico profundo a este enfoque es que el control del ruido electromagnético se logra a través de la equipotencialidad del entorno y no separando conductores. Cuando las masas metálicas y las referencias de trabajo se mantienen iguales en un potencial eléctrico, esto resulta en una reducción de la brecha de potencial local y, por lo tanto, bajo impacto, y la presencia de una corriente parasitaria de alta frecuencia (corriente parásita, que es la causa predominante de interferencia en equipos informáticos, y por lo tanto limita la operación de la brecha de potencial local), para evitar interferencias. En esta aplicación, el conductor de protección (PE) sirve principalmente como soporte de seguridad eléctrica para el sistema eléctrico, y el conductor de puesta a tierra funcional (FE) contribuye a una referencia segura para el correcto funcionamiento del sistema electrónico.

Tabla 13 Comparación de tierra aislada y malla equipotencial.

Criterio técnico	MEP / NEC 2020 – Tierra aislada (IG)	IEC 60364-5-54 – Tierra funcional (FE) + malla equipotencial
Marco normativo	Especificaciones Técnicas DIE – MEP	IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021
Artículo / cláusula principal	NEC 250.146(D)	Cl. 543.2 y Cl. 545.3
Elemento característico	Tomacorriente con tierra aislada (IG), color rojo	Infraestructura de puesta a tierra funcional
Filosofía de control del ruido	Aislar el conductor de tierra del tomacorriente	Igualar potenciales del entorno
Separación del PE de masas metálicas	Permitida en el tomacorriente	Prohibida
Conductor de protección (PE)	Puede no unirse a la caja metálica	Siempre unido a masas metálicas
Conductor funcional (FE)	No definido	Definido explícitamente (AMD1:2021)
Elementos adicionales requeridos	Conductor IG dedicado	Malla equipotencial + MFET
Tipo de solución	Localizada (en el punto de consumo)	Estructural (en el edificio)
Ubicación física	En el tomacorriente y canalización	Enterrada bajo el suelo del laboratorio
Configuración aceptada	Conductor aislado	Malla, anillo o combinación
Interconexión con equipos	A través del tomacorriente	Racks, bandejas, canalizaciones y masas
Continuidad del sistema de protección	Parcial	Total, y permanente
Seguridad eléctrica	Cumple NEC	Prioritaria según IEC
Aplicación típica	Laboratorios básicos de cómputo	Laboratorios TIC y entornos críticos

Nota: Elaboración propia en base a información suministrada por el DIE, MEP, NEC y IEC.

Comentando la tabla anterior, se muestra que existen dos enfoques muy diferentes para controlar el ruido eléctrico en los laboratorios de equipos informáticos, como se presenta en la tabla. En su MEP, basado en el NEC 2020, se utilizan tomas de tierra aisladas (IG) para reducir el ruido aislando el conductor de tierra en el punto de consumo, sin modificar la estructura física del sistema de puesta a tierra del edificio. La alternativa IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021 utiliza una propuesta estructural, donde el conductor de protección siempre se conecta con las masas metálicas y el ruido se gestiona con una puesta a tierra funcional (FE) y una malla equipotencial enterrada conectada al MFET y a todos los componentes metálicos del laboratorio. La diferencia

no viola el principio de seguridad eléctrica de ninguno de los dispositivos; sin embargo, implica una mayor complejidad de construcción y costos bajo la arquitectura IEC, a cambio de una mejor estabilidad eléctrica y compatibilidad electromagnética para los equipos informáticos.

### **Fundamentación técnica y normativa para el uso de tomas con tierra aislada (IG) y la implementación de malla equipotencial**

El diseño de los sistemas de puesta a tierra en laboratorios de equipo de cómputo debe garantizar, de forma prioritaria, la seguridad de las personas, la protección de los equipos y el correcto funcionamiento de los dispositivos de protección eléctrica. Para ello, las normativas vigentes establecen criterios mínimos obligatorios, dejando ciertas soluciones técnicas como opciones de diseño sujetas al criterio del proyectista y a las condiciones específicas de la edificación.

#### **Uso de tomacorrientes con tierra aislada (IG)**

El Código Eléctrico Nacional (NEC 2020) contempla el uso de tomacorrientes con tierra aislada (Isolated Ground, IG) como una alternativa permitida para instalaciones donde se conectan equipos electrónicos sensibles. De acuerdo con el Artículo 250.146(D), estos tomacorrientes permiten que el conductor de puesta a tierra del equipo (EGC) se mantenga eléctricamente aislado de las canalizaciones metálicas, con el fin de reducir la interferencia electromagnética y las corrientes parásitas que pueden afectar el desempeño de los equipos de tecnología de la información.

Cabe señalar que el NEC no establece el uso de tomacorrientes IG como un requisito obligatorio para laboratorios de equipo de cómputo; sin embargo, autoriza su implementación siempre que se garantice una trayectoria efectiva de corriente de falla, conforme a lo indicado en los Artículos 250.4(A)(5) y 250.109. En este sentido, el tomacorriente con tierra aislada constituye una mejora funcional orientada al desempeño del sistema, sin sustituir ni modificar el sistema de puesta a tierra general de la edificación.

En los laboratorios de cómputo diseñados por la Dirección de Infraestructura Educativa del Ministerio de Educación Pública (DIE-MEP), la incorporación de tomacorrientes IG responde a criterios de estandarización institucional y a la necesidad de asegurar condiciones adecuadas de

operación para los equipos informáticos, manteniendo el cumplimiento del NEC 2020 y evitando soluciones constructivas de mayor complejidad.

### **Implementación de una malla equipotencial**

La decisión de incorporar una malla equipotencial en el laboratorio de cómputo responde a criterios técnicos claros: mejorar el comportamiento electromagnético del sistema eléctrico y aprovechar las posibilidades que la normativa permite en el diseño. La IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021 no obliga a adoptar una topología específica de equipotencialización; sin embargo, sí exige que el sistema de puesta a tierra garantice la seguridad de las personas y el funcionamiento adecuado de los equipos conectados. Dentro de ese marco, el uso de una malla constituye una alternativa válida y técnicamente consistente.

La Cláusula 542.2.2 establece que la resistencia y la configuración del sistema deben permitir la actuación efectiva de las protecciones. Esto abre espacio para seleccionar configuraciones que mejoren el control de gradientes de potencial y faciliten la dispersión de corrientes de falla. En la práctica, una malla equipotencial ayuda a uniformar el potencial eléctrico en el área intervenida. Reduce diferencias locales. Limita tensiones de contacto no deseadas. Y proporciona un entorno más estable para la operación de cargas electrónicas sensibles.

La Cláusula 545.3 va en la misma línea al contemplar conductores funcionales dispuestos en anillo o malla en instalaciones con equipos de tecnologías de la información. En este tipo de ambientes —donde abundan fuentes conmutadas, armónicos y transitorios— mantener continuidad equipotencial mejora la referencia de tierra. Disminuye interferencias electromagnéticas. Controla corrientes parásitas. El sistema se vuelve más predecible.

Al trasladar este enfoque al laboratorio de cómputo tipo de 72 m<sup>2</sup> del MEP, diseñado como prototipo replicable, la malla interna permite fijar un desempeño eléctrico base que no dependa en exceso de las variaciones del terreno entre sitios. No se dispone de estudios de resistividad específicos. Aun así, la red equipotencial interna refuerza la distribución de corrientes y estabiliza las condiciones eléctricas del recinto. Es una medida de robustez de diseño.

Desde el punto de vista técnico-económico, su instalación demanda más conductores, más conexiones y mayor dedicación constructiva. Eso es cierto. Pero la inversión se traduce en mayor estabilidad operativa, menor susceptibilidad a perturbaciones y mejores condiciones de

funcionamiento para los equipos electrónicos. Bajo esta óptica, implementar la malla no responde solo a un cumplimiento normativo; representa una decisión de ingeniería orientada a confiabilidad, desempeño y calidad del entorno eléctrico en el largo plazo.

### **Comparación técnica de los conductores de protección PE y EGC en laboratorios de equipo de cómputo**

Esta comparación técnica se centra en analizar el conductor de protección, que se llama EGC (Conductor de Puesta a Tierra del Equipo) en el marco regulatorio NEC 2020 y PE (conductor de puesta a tierra de protección) en la norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021, así como el conductor del electrodo de puesta a tierra (GEC / conductor de puesta a tierra). El elemento de tierra funcional (FE) se excluye intencionadamente, ya que no forma parte del diseño normativo obligatorio para la protección contra descargas eléctricas en los laboratorios de equipos informáticos analizados. Así, también se realizó la comparación de las especificaciones técnicas de los planes oficiales del Ministerio de Educación Pública (DIE-MEP) y las de NEC 2020 e IEC 60364-5-54, para encontrar cualquier diferencia en diseño, dimensionamiento, identificación e impacto constructivo.

El dimensionamiento del conductor de protección según los planos oficiales para el DIE-MEP (actualización 2025):

- Para circuitos derivados de 20 A (iluminación y tomacorrientes) cobre #12 AWG, color verde.
- Para alimentadores principales de 40 A: cobre #8 AWG.

Se alinea con el NEC 2020 que define el tamaño del EGC basándose en el dispositivo de protección contra sobre corriente en la Tabla 250.122. Para proteger un circuito a 20 A, la cantidad mínima requerida de conductor de protección es cobre #12 AWG.

En la IEC 60364-5-54, Tabla 54.2, sin embargo, por el contrario, se adopta no solo para el PE sino para el tamaño del PE basado directamente en la sección del conductor de fase (S). Esto significa que, para el conductor de fase con un tamaño  $S \leq 16 \text{ mm}^2$ , el conductor PE debe tener la misma sección que el conductor de fase. Por otro lado, la norma permite el cálculo térmico que se

aplica a la parte del PE con máxima eficiencia para una corriente de falla dada y el tiempo de despeje del sistema de protección.

Tabla 14 Equivalencias de conductores IEC y NEC

Uso en el laboratorio	DIE-MEP / NEC 2020	Equivalencia real	Requisito IEC	Cable IEC que se compra
Circuitos de 20 A (tomas e iluminación)	#12 AWG Cu	3,31 mm <sup>2</sup>	PE igual al conductor de fase	2,5 mm <sup>2</sup> Cu (mínimo)
Recomendación práctica IEC	—	—	—	4 mm <sup>2</sup> Cu (mejor opción)
Alimentador de 40 A	#8 AWG Cu	8,37 mm <sup>2</sup>	PE igual al conductor de fase	10 mm <sup>2</sup> Cu

Nota: Nota: Elaboración propia en base a información suministrada por el DIE, MEP, NEC y IEC.

Por medio de los siguientes puntos explicaremos los valores de calibres de conductores en milímetros, vistos en la tabla anterior:

- Para la norma IEC 60364-5-54, se utilizan secciones estandarizadas en milímetros cuadrados (mm<sup>2</sup>) en lugar de calibres AWG.
- La dimensión del conductor de protección (PE) se determina por la sección del conductor de fase, no por el interruptor automático como en el NEC.
- Cuando la sección para conductores de fase es igual o menor a 16 mm<sup>2</sup>, como se indica según la Tabla 54.2, el PE debe tener la misma sección que el conductor de fase.
- Después de definir el conductor de fase en AWG, su equivalencia real en mm<sup>2</sup> es una referencia técnica.
- Finalmente, la última sección del conductor PE debe corresponder a alguna sección estándar IEC, y elegir una equivalente o más inmediatamente superior a la equivalencia real obtenida.
- El conductor #12 AWG corresponde a 3.31 mm<sup>2</sup> en circuitos derivados de laboratorio (20 A), por lo que el mínimo IEC PE es 2.5 mm<sup>2</sup>, y se recomienda 4 mm<sup>2</sup> para resistencia mecánica y durabilidad.

- Para alimentadores principales (40 A), el conductor #8 AWG sería 8.37 mm<sup>2</sup>, por lo que la sección IEC estandarizada relevante es 10 mm<sup>2</sup>, tanto para fase como para PE.

La norma IEC exige elegir un conductor de protección de acuerdo con la sección transversal del conductor de fase y los valores estandarizados en mm<sup>2</sup>, lo que corresponde a conductores que tienen una sección transversal mayor que los de la norma NEC.

### **Uso de canalizaciones metálicas como conductor de protección.**

El NEC 2020 permite que algunos conductos metálicos, como EMT, IMC y RMC, operen independientemente como EGC, siempre que se asegure la continuidad eléctrica (Art. 250.118). Sin embargo, DIE-MEP, aunque se basa en el conducto EMT, requiere explícitamente la instalación de un conductor de cobre físico dentro de todos los conductos, lo cual es un criterio más conservador que el mínimo requerido por el NEC.

La IEC 60364-5-54 es aún más restrictiva. La cláusula 543.2.3 prohíbe el uso de conductos metálicos como conductores de protección, excepto en sistemas prefabricados específicamente diseñados que aseguren una continuidad permanente y verificable. En este sentido, la práctica implementada por el MEP sigue más de cerca la filosofía de seguridad de la IEC que la permisividad del NEC.

### **Diferencia en lista de materiales.**

La Dirección de Infraestructura educativa del MEP, brindo el presupuesto de materiales y costos, el cual se adjunta a este documento como anexo.

Se realiza una comparación de los materiales, perteneciente al sistema de puesta a tierra que presenta el diseño y requerimientos del DIE, indicando si cumplen y cuál sería el ajuste necesario.

Tabla 15 Ajuste necesario del diseño DIE y Norma IEC.

Material / Elemento	Cantidad según DIE-MEP	Cumplimiento NEC 2020	Cumplimiento IEC 60364-5-54	Ajustes necesarios para cumplir IEC
Varillas de puesta a tierra Coperweld 3 m × 19 mm	3 unidades	Cumple	Cumple	No requiere ajuste; diámetro y longitud superan el mínimo IEC
Conductor de puesta a tierra desnudo #8 AWG (enterrado)	30 m	Cumple (Tabla 250.66)	No cumple	Sustituir por conductor de cobre $\geq 25 \text{ mm}^2$ si está enterrado sin protección
Soldadura exotérmica cable-varilla	9 cargas	Cumple	Cumple	No requiere ajuste
Molde para soldadura exotérmica	1 unidad	Cumple	Cumple	No requiere ajuste
Barra de cobre principal de tierra (50 × 10 × 7 mm)	1 unidad	Cumple	Cumple	Verificar su función como MET/MFET según IEC
Terminal de entallar tipo ojo #3/0 AWG	6 unidades	Cumple	Cumple	Calibre elevado, pero técnicamente aceptable
Anclajes tipo prisionero 3/8" × 2"	4 unidades	Cumple	Cumple	No requiere ajuste
Cable THHN #12 AWG (circuitos de 20 A)	≈ 550 m	Cumple	Cumplimiento parcial	Sustituir conductor de protección por cobre 4 mm <sup>2</sup> verde-amarillo (PE)
Cable THHN #10 AWG (alimentadores)	24 m	Cumple	No cumple	Reemplazar conductor de protección por cobre 10 mm <sup>2</sup> verde-amarillo
Cable THHN #8 AWG (protección / tierra)	≈ 37 m	Cumple	No cumple	Sustituir por conductor PE de 10 mm <sup>2</sup> conforme a IEC
Cable THHN #4 AWG (acometida)	60 m	Cumple	Cumplimiento parcial	El conductor PE asociado debe tener sección equivalente ( $\geq 16 \text{ mm}^2$ si aplica)

Tubería EMT como canalización	Varias partidas	Permitido	No permitido como PE	Mantener EMT solo como canalización y agregar PE dedicado
Identificación del conductor de protección	Aplicada según NEC	Cumple	No cumple	Implementar identificación verde-amarillo obligatoria
Tomacorrientes IG / hospitalarios	19 unidades	Cumple	No reconocido como sistema separado	Mantener tomacorrientes y asegurar equipotencialidad mediante PE común
Barra de tierra en tableros	1 unidad (implícita)	Cumple	Cumple	Verificar conexión a barra principal de equipotencialidad
Malla o anillo de puesta a tierra	No incluida	No requerida	Recomendable	Incorporar anillo o malla para mejorar equipotencialidad

Elaboración propia en base a información suministrada por el DIE, MEP, NEC y IEC.

Una tabla presenta la comparación general entre los principales materiales eléctricos utilizados en el laboratorio de computación de 72 m<sup>2</sup> según la información oficial publicada por la Dirección de Infraestructura Educativa del MEP (DIE-MEP). Para cada material, se investiga su conformidad con el Código Eléctrico Nacional (NEC 2020) y la norma internacional IEC 60364-5-54, además de los ajustes necesarios para cumplir con los requisitos de equivalencia normativa.

Generalmente, la DIE-MEP prevé un diseño y materiales que cumplen completamente con el NEC 2020, es decir, la utilización de conductos metálicos como camino de protección, calibres más pequeños para conductores enterrados y esquemas de identificación más flexibles. Por lo tanto, el sistema de protección a tierra y eléctrico puede implementarse sin modificaciones en el contexto de este código.

Sin embargo, en comparación con ese diseño, de acuerdo con la norma IEC 60364-5-54, se encuentran modificaciones específicas principalmente relacionadas con los conductores de protección (PE) y el conductor de puesta a tierra enterrado. Debido a los requisitos establecidos en la IEC, se requieren secciones mínimas más grandes con identificación uniforme (verde-amarillo) para promover la resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión, así como la continuidad eléctrica a largo plazo.

En cuanto a los electrodos de puesta a tierra en esta configuración, las especificaciones de la DIE-MEP de varillas Coperweld de 3 metros de largo y 19 mm de diámetro son satisfactorias y superan los estándares (mínimos) de la IEC, por lo que no son necesarios ajustes. Por otro lado, la soldadura exotérmica y la barra de puesta a tierra principal son aceptadas por ambas normas; proporciona una conexión permanente y de baja impedancia.

En contraste, los requisitos del NEC incluyen elementos como conductos EMT, receptáculos de tierra aislados y la ausencia de malla de puesta a tierra o anillo perimetral que son aceptables bajo el NEC, pero requieren ajustes o complementos bajo la IEC, ya que la IEC enfatiza la equipotencialidad del sistema y los conductores de protección dedicados.

La tabla ilustra que, de acuerdo con el NEC 2020, el diseño base para la DIE-MEP es aceptable y cumple técnicamente con los requisitos de la IEC 60364-5-54, aunque hay algunos ajustes que incluir en términos de aumentos de sección, cambios de identificación, inclusión de elementos de equipotencialidad y el diseño cumple con todos los aspectos relacionados con la seguridad y durabilidad para los requisitos de la norma IEC.

### **Diferencia técnica entre conductores.**

Se analizará la diferencia entre los conductores cotizados y sus características en este apartado, se anexa la ficha técnica de los conductores en el anexo I.

Para realizar la comparación entre los sistemas de puesta a tierra y distribución eléctrica evaluados bajo NEC 2020 y IEC 60364, fue necesario partir de un elemento básico del sistema: el conductor. En este trabajo se consideraron dos referencias comerciales incluidas dentro de la cotización del proyecto. Por un lado, el conductor THHN/THWN-2 marca Viakon, típico en instalaciones diseñadas bajo el Código Eléctrico Nacional (NEC). Por otro, el conductor TM SuperFlex H07V-K, el cual responde a criterios de fabricación y clasificación asociados a normativa IEC.

Ambos conductores están fabricados con cobre electrolítico, y esto no es un detalle menor. El cobre sigue siendo el material dominante en instalaciones eléctricas de potencia porque combina tres propiedades difíciles de igualar al mismo tiempo: conductividad eléctrica elevada, comportamiento mecánico aceptable durante el tendido y buena estabilidad frente a procesos de

oxidación. Dicho esto, el parecido prácticamente termina ahí. Cuando se revisa el aislamiento, las temperaturas admisibles o incluso la filosofía normativa detrás de cada conductor, aparecen diferencias claras que vale la pena examinar con cierto cuidado.

### **Conductor tipo THHN/THWN-2, criterio NEC.**

El conductor THHN/THWN-2 corresponde a un cable de cobre utilizado en sistemas de distribución de baja tensión en edificaciones industriales y comerciales. Su nomenclatura proviene de la clasificación establecida por los organismos de certificación norteamericanos y, aunque a primera vista parece solo una combinación de letras, en realidad describe las condiciones de operación del conductor.

La designación THHN se interpreta de la siguiente manera: la letra T indica que se trata de un aislamiento termoplástico (Thermoplastic). La primera H señala que el conductor es resistente al calor (Heat resistant). La segunda H especifica la temperatura máxima de operación del aislamiento, la cual alcanza 90 °C. Finalmente, la letra N indica la presencia de una cubierta externa de nylon (Nylon jacket).

Ahora bien, el conductor también incorpora la clasificación THWN-2, lo cual amplía su campo de aplicación. En este caso, la letra W indica que el conductor puede instalarse en ambientes húmedos (Wet locations), mientras que el sufijo 2 establece que la temperatura máxima de operación continúa siendo 90 °C tanto en ambientes secos como húmedos.

Desde el punto de vista constructivo, este conductor se fabrica con cobre electrolítico suave multihilo. En calibres comprendidos entre 14 AWG y 4/0 AWG, el conductor suele estar formado por 19 hilos de cobre, lo que proporciona una flexibilidad suficiente para permitir su instalación en canalizaciones eléctricas, bandejas portacables o tuberías metálicas. No es un conductor extremadamente flexible, pero tampoco es rígido; está, por decirlo así, en un punto intermedio que funciona bien para instalaciones de potencia.

El sistema de aislamiento se compone de dos capas claramente diferenciadas. La primera corresponde al aislamiento primario de PVC, mientras que la segunda es una cubierta de poliamida (nylon). Aquí conviene detenerse un momento.

El PVC, o policloruro de vinilo, es un polímero termoplástico que se ha utilizado durante décadas como material aislante en cables eléctricos. Su popularidad no es casual. Presenta buena rigidez dieléctrica, resistencia aceptable frente a productos químicos y una estabilidad térmica razonable para aplicaciones de baja tensión. En términos simples, el PVC funciona como la barrera eléctrica que mantiene la corriente confinada dentro del conductor.

La cubierta de nylon, en cambio, cumple otra función. No es el aislamiento principal, sino una protección mecánica adicional. Esta capa mejora la resistencia del conductor frente a abrasión, aceites, combustibles y otros agentes químicos que suelen aparecer en ambientes industriales. Además —y esto se nota cuando se instalan kilómetros de cable en obra— el nylon reduce la fricción del conductor al deslizarse dentro de la tubería.

Según la ficha técnica del fabricante, el conductor presenta una tensión nominal de 600 V, lo cual lo ubica dentro de la categoría de conductores utilizados en sistemas de distribución de baja tensión en edificaciones.

En cuanto a las condiciones térmicas de operación, el conductor puede trabajar bajo tres niveles claramente definidos: 90 °C en operación normal, 105 °C en condición de emergencia y hasta 150 °C durante eventos de cortocircuito. Este último valor no aparece por casualidad; responde a los criterios establecidos por la norma ICEA P-32-382, que define los límites térmicos admisibles para conductores sometidos a corrientes de falla.

La sigla ICEA corresponde a Insulated Cable Engineers Association, una organización técnica dedicada al desarrollo de estándares para cables eléctricos aislados utilizados en sistemas de potencia. Sus documentos son ampliamente utilizados por fabricantes y diseñadores para determinar capacidades térmicas y criterios de desempeño.

Además, estos conductores cuentan con certificación UL. El acrónimo UL proviene de Underwriters Laboratories, entidad internacional que se dedica a evaluar la seguridad de equipos eléctricos y electrónicos. Cuando un conductor posee certificación UL, significa que ha sido sometido a ensayos de desempeño eléctrico, comportamiento térmico y resistencia a la propagación de la llama bajo condiciones controladas.

### **Conductor tipo H07V-K, criterio IEC.**

El conductor H07V-K pertenece a una familia de conductores armonizados utilizados principalmente en instalaciones eléctricas bajo normativa europea e internacional IEC. Su nomenclatura, al igual que ocurre con THHN, contiene información sobre sus características de operación.

La letra H indica que se trata de un conductor armonizado, es decir, diseñado conforme a normas europeas comunes. El número 07 corresponde a la tensión nominal del conductor, que en este caso es 450/750 V. La letra V indica que el aislamiento está fabricado en PVC, mientras que la letra K identifica que el conductor es flexible.

En cuanto a su construcción interna, este conductor se fabrica con cobre electrolítico flexible Clase V, conforme a la norma EN 60228. En términos prácticos, esto significa que el conductor está formado por un número elevado de filamentos finos de cobre, considerablemente más delgados que los utilizados en conductores rígidos. El resultado es un conductor mucho más flexible, especialmente útil cuando se requiere manipular el cable dentro de tableros o espacios reducidos.

El aislamiento utilizado corresponde a PVC tipo A, según las especificaciones establecidas en las normas UNE 21123 e IEC 60502-1. La denominación tipo A no es simplemente una etiqueta comercial; se trata de una clasificación técnica del compuesto de PVC utilizada en cables eléctricos.

El PVC tipo A se caracteriza por presentar propiedades controladas de rigidez dieléctrica, resistencia térmica, estabilidad química y resistencia al envejecimiento. Estas características permiten que el material mantenga su comportamiento eléctrico durante largos periodos de operación, incluso cuando el conductor está sometido a ciclos térmicos o condiciones ambientales variables.

En cuanto a la tensión nominal, el conductor H07V-K opera a 450/750 V, valor típico para conductores utilizados en circuitos de distribución interna o cableado de equipos.

Desde el punto de vista térmico, el conductor presenta una temperatura máxima de operación continua de 70 °C, con un rango aproximado de funcionamiento entre -30 °C y 70 °C, dependiendo de las condiciones ambientales y del tipo de instalación.

Debido a su elevada flexibilidad, este tipo de conductor suele emplearse en aplicaciones donde el cableado requiere cierto grado de maniobrabilidad: tableros eléctricos, circuitos de control, cableado interno de equipos y trayectorias complejas dentro de canalizaciones.

### **Comparación técnica general**

Si se observa el panorama completo, ambos conductores comparten una base común: el uso de cobre electrolítico como material conductor. Sin embargo, sus diferencias aparecen cuando se analizan el aislamiento y la filosofía de diseño.

El conductor THHN/THWN-2 presenta un sistema de aislamiento más robusto desde el punto de vista mecánico, gracias a la combinación de PVC y cubierta de nylon, lo que mejora su resistencia frente a abrasión y agentes químicos. Además, admite una temperatura de operación continua de 90 °C, lo que resulta ventajoso en instalaciones donde las condiciones térmicas son más exigentes.

El conductor H07V-K, por su parte, se distingue por su flexibilidad, consecuencia directa de su construcción en cobre clase V. Su aislamiento de PVC tipo A cumple adecuadamente las funciones dieléctricas requeridas en instalaciones bajo normativa IEC, aunque con una temperatura de operación menor que la del THHN.

En otras palabras, ambos conductores cumplen funciones similares dentro de un sistema eléctrico, pero responden a criterios de diseño ligeramente distintas. Uno prioriza resistencia mecánica y capacidad térmica; el otro, flexibilidad y facilidad de instalación. Y esa diferencia, aunque parezca menor, termina influyendo en cómo se seleccionan los conductores dentro de un proyecto eléctrico real.

Tabla 16 Tabla comparativa de conductores utilizados.

<b>Característica técnica</b>	<b>Conductor THHN / THWN-2 (NEC 2020)</b>	<b>Conductor H07V-K (IEC 60364)</b>
Norma de referencia	NEC 2020, UL, ICEA	IEC 60364, IEC 60502-1, EN 60228
Material del conductor	Cobre electrolítico suave	Cobre electrolítico flexible
Tipo de conductor	Multihilo (19 hilos en calibres comunes)	Multihilo flexible Clase V
Sistema de aislamiento	PVC con cubierta externa de nylon (poliamida)	PVC tipo A
Significado de la designación	T: Termoplástico, H: resistente al calor, H: 90 °C, N: cubierta de nylon	H: cable armonizado, 07: 450/750 V, V: aislamiento PVC, K: conductor flexible
Tensión nominal	600 V	450 / 750 V
Temperatura máxima de operación	90 °C	70 °C
Temperatura en condición de emergencia	105 °C	no especificada para este tipo
Temperatura máxima en cortocircuito	150 °C (según ICEA P-32-382)	depende del cálculo térmico del conductor
Protección mecánica	Alta, debido a la cubierta de nylon	Media, aislamiento únicamente de PVC
Flexibilidad del conductor	Media	Alta
Aplicaciones típicas	Distribución eléctrica en canalizaciones, instalaciones industriales y comerciales	Cableado interno de equipos, tableros eléctricos y circuitos de control
Certificaciones y estándares	UL (Underwriters Laboratories), ICEA (Insulated Cable Engineers Association)	IEC (International Electrotechnical Commission), EN (European Norm)

Nota. La información técnica presentada en la tabla fue elaborada a partir de las fichas técnicas de los conductores THHN/THWN-2 marca Viakon y TM SuperFlex H07V-K, así como de los criterios establecidos en las normas NEC 2020 (NFPA 70) e IEC 60364 para conductores utilizados en instalaciones eléctricas de baja tensión.

## **Estimación de costos de sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de CTP.**

Para la realización de la estimación de costos, se utilizarán la lista de materiales emitida por el DIE y se encuentra en el anexo C, esta lista muestra la totalidad de materiales para la construcción de la instalación eléctrica, la cual contempla el sistema de puesta a tierra, además se toma la lista recibida también por parte del DIE de materiales para la puesta a tierra de la acometida.

Se procedió a realizar las cotizaciones respectivas de materiales, en caso de la malla solicitada por la norma IEC, realizado la solicitud de cotización con una empresa especialista en sistemas de puesta a tierra, la cual contempla la mano de obra y materiales.

Las cotizaciones de materiales y estimaciones de costos se encuentran en el Anexo D, en los cuales se tomaron los costos de cada producto.

### **Costos de mano de obra:**

Para la mano de obra se usará la calculada por el DIE, esto debido a que tiene una fecha de cálculo de diciembre del 2025, cumple una metodología en la cual se realiza el cálculo con 3 empresas, las cuales cotizan el costo del proyecto y seguidamente los costos son promediados, esto según el DIE. El costo de mano de obra de la malla está incluido en la estimación de costos realizada por una empresa.

Los costos de mano de obra se aplicarán en las dos normas NEC 2020 y IEC, en el caso de la norma IEC, se debe agregar los costos de la malla, pero estos se realizarán en la sección respectiva de costos IEC.

A continuación, vamos a brindar los costos de mano de obra, según DIE:

Tabla 17 Mano de obra.

<b>Trabajo</b>	<b>Subtotal Mano de Obra (C)</b>	<b>Cargas Sociales 26.83% (C)</b>	<b>Total, Mano de Obra Directa (C)</b>
Instalación iluminación y ventilación	199,912.54	53,636.54	253,549.08
Instalación tomacorrientes generales	62,472.67	16,762.45	79,235.12
Instalación tomacorrientes cómputo	93,709.00	25,144.11	118,853.11
Instalación voz y datos	6,247.27	1,676.14	7,923.41
Instalación alimentación A/A	6,247.27	1,676.14	7,923.41

Nota: Elaboración propia en base a información suministrada por el DIE, MEP, NEC y IEC.

La mano de obra usa la metodología del DIE, en la cual se realiza un cálculo por medio de las horas promedio que durara la obra, en el cado de la instalación de aire acondicionado, solo cotizan la conexión eléctrica, no la instalación total del equipo. Para la instalación de voz y solamente se calcula el costo del ponchado de los conectores, no la instalación y configuración de los equipos, esto el DIE lo divide contempla como una labor para el personal contratado en el área de informática, no para el personal relacionado en el área eléctrica.

En el caso de los puntos de instalación de iluminación y ventilación, tomas generales, tomacorrientes de cómputo se calcula la mano de obra se tubería, accesorios, cableado, conexión a tablero, instalación de tablero y tomas.

Para efectos de cálculos usaremos lo datos suministrados por el DIE, pero agregaremos una estimación de costos adicional en el anexo H, esta estimación contempla la instalación eléctrica total, aplicando el IVA del 13%.

Tabla 18 Costos de mano de obra totales.

<b>Concepto</b>	<b>Monto (C)</b>
Subtotal mano de obra	368,588.75
Cargas sociales estimadas	98,895.38
<b>TOTAL, MANO DE OBRA DIRECTA</b>	<b>467,484.13</b>

Nota: Elaboración propia en base a información suministrada por el DIE, MEP, NEC y IEC

Para representar de manera realista el costo total de contratar recursos humanos en el análisis económico de este trabajo, en las dos tablas anteriores de estimación de mano de obra se incluye un recargo de las cargas sociales actuales del empleador en Costa Rica. Las cargas mencionadas representan contribuciones obligatorias que el empleador debe realizar sobre el salario bruto del trabajador, establecidas por el sistema nacional oficial de seguridad social y la legislación laboral.

Se asumió un porcentaje global de 26.83% como aproximado dadas las condiciones actuales, incluyendo las principales contribuciones del empleador, para los fines del cálculo económico realizado en este artículo. Este factor permite un análisis más cercano del costo real para realizar una instalación eléctrica y un tratamiento comparativo de las alternativas regulatorias (NEC e IEC).

El porcentaje utilizado se compone de los siguientes elementos:

Tabla 19 Cargas sociales.

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Descripción</b>
SEM — Seguro de Enfermedad y Maternidad	9.25	Administrado por la CCSS (Caja Costarricense de Seguro Social). Financia servicios médicos, hospitalarios y subsidios por maternidad.
IVM — Invalidez, Vejez y Muerte	5.58	Régimen de pensiones de la CCSS que cubre jubilación, incapacidad permanente y beneficios por fallecimiento.
Asignaciones familiares (FODESAF)	5.00	Aporte al Fondo de Desarrollo Social y Asignaciones Familiares, destinado a programas sociales del Estado.
INA — Instituto Nacional de Aprendizaje	1.50	Financiamiento de formación técnica y capacitación laboral nacional.
FCL — Fondo de Capitalización Laboral	1.50	Ahorro laboral administrado por operadoras de pensiones, disponible por cesantía o retiro quinquenal.
Pensión complementaria obligatoria	2.00	Contribución al régimen administrado por OPC (Operadoras de Pensiones Complementarias).
INS — Seguro de Riesgos del Trabajo	1.00	Cobertura ante accidentes laborales administrada por el INS (Instituto Nacional de Seguros). Valor usado como referencia técnica, ya que puede variar por actividad económica.

Otros aportes menores	—	Contribuciones complementarias de baja incidencia que completan el cálculo global.
-----------------------	---	--

Nota. Porcentajes de cargas sociales patronales estimados con base en tasas vigentes en Costa Rica al momento del desarrollo de la investigación. Datos derivados de contribuciones a la seguridad social reportadas por BDO Costa Rica (2025) y complementadas con información institucional de la CCSS e INS para fines de estimación económica comparativa.

La tabla de desglose de cargas sociales patronales detalla cómo se forma el porcentaje que se aplica al costo de la mano de obra directa. Su función es clara: que el costo laboral utilizado en la estimación económica no sea teórico, sino representativo de la realidad costarricense.

Estas cargas no son opcionales ni administrativas. Son obligaciones legales que el empleador debe cancelar sobre el salario bruto del trabajador. Por eso, cuando se calcula el costo de un proyecto de ingeniería, el salario nominal por sí solo no describe el gasto real. El costo verdadero incluye los aportes al sistema de seguridad social y a los distintos fondos laborales asociados al empleo formal.

Con la normativa vigente en Costa Rica al 10 de febrero de 2026, las cargas sociales patronales alcanzan aproximadamente un 26,83 % del salario. Este porcentaje proviene de los ajustes recientes aplicados al régimen de seguridad social a partir de enero de 2026. En términos prácticos, significa que, por cada colón pagado como salario directo, el empleador debe añadir cerca de una cuarta parte adicional para cumplir con sus obligaciones legales.

El monto corresponde principalmente a los aportes al sistema administrado por la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), junto con otras contribuciones laborales y sociales establecidas por la legislación nacional. Por esta razón, ignorar estas cargas produciría una subestimación inmediata del costo del proyecto y afectaría la validez de la comparación económica entre alternativas de diseño.

### **Costos según la norma NEC 2020.**

Para actualizar los costos de los materiales eléctricos se utilizó como referencia principal la proforma comercial N.º 217816 del proveedor Electrocaribe. Esta proforma sirvió como base para la mayoría de los precios unitarios, ya que cubre gran parte de los materiales del proyecto y coincide adecuadamente con el presupuesto del prototipo analizado.

En lo relativo al sistema de puesta a tierra, se recurrió a la proforma N.º 217832 del mismo proveedor cuando existía correspondencia técnica directa entre los materiales cotizados y los requeridos por el diseño. No obstante, algunos componentes exigían características más específicas. Ocurrió, por ejemplo, con varillas copperweld de diámetro particular, moldes de soldadura exotérmica compatibles con conductor 3/0 AWG y la barra de cobre del sistema. En esos casos se utilizó la cotización N.º 00272125 del proveedor Electro Maz, que sí ofrecía los elementos con las dimensiones y compatibilidad constructiva necesarias.

Este procedimiento no buscó mantener un único proveedor, sino asegurar la equivalencia técnica de los materiales. Primero se verificó la especificación; luego el precio. Así, la estimación económica se apoya en productos realmente disponibles en el mercado y acordes con el diseño eléctrico propuesto. Todas las cotizaciones empleadas se incluyen en el anexo D.

Se generó el anexo F en el cual se coloca la cantidad de materiales cotizados, el material, el costo, impuesto de valor agregado (IVA), y la cotización donde fue tomado el costo. El costo de los materiales no es exento de IVA, ya que la compra y contratación no pasa por el proceso de compra de las juntas administrativas de los centros educativos.

A continuación, se presenta la tabla resume, de los costos asociados a materiales:

Tabla 20 Resumen de costos según norma NEC 2020.

<b>Sección del proyecto</b>	<b>Subtotal</b>	<b>IVA 13%</b>	<b>Total</b>
Acometida eléctrica y sistema de puesta a tierra	¢496.755,03	¢64.578,15	¢561.333,18
Iluminación y ventilación	¢667.403,26	¢86.762,42	¢754.165,68
Tomacorrientes generales	¢126.629,59	¢16.461,85	¢143.091,44
Canalización y tomacorrientes de cómputo	¢170.249,05	¢22.132,38	¢192.381,43
Cableado y conexiones auxiliares	¢191.557,87	¢24.902,52	¢216.460,39
Protección, tableros y alimentación eléctrica	¢497.035,85	¢64.614,66	¢561.650,51
Voz y datos	¢946,45	¢123,04	¢1.069,49
<b>TOTAL, GENERAL</b>	<b>¢2.150.577,10</b>	<b>¢279.575,02</b>	<b>¢2.430.152,12</b>

Nota. Elaboración propia con base en la actualización de precios obtenida de las proformas comerciales de Electrocaribe N.º 217816 y N.º 217832 y la cotización Electro Maz N.º 00272125, emitidas el 04 de febrero de 2026. Los valores incluyen el impuesto al valor agregado (13 %) y corresponden a materiales eléctricos equivalentes a las especificaciones técnicas del prototipo analizado.

La tabla anterior presenta el resumen consolidado de los costos de materiales eléctricos agrupados por sección funcional del proyecto, con base en las cotizaciones comerciales utilizadas para la actualización del presupuesto. Cada sección integra los materiales correspondientes al sistema eléctrico del laboratorio, incluyendo acometida y puesta a tierra, iluminación, tomacorrientes, canalizaciones, cableado, protección eléctrica y redes de comunicación.

Los valores mostrados se desglosan en subtotal de materiales, cálculo del impuesto al valor agregado (13 %) y costo total por sección. Esta organización permite visualizar la distribución del gasto y facilita el análisis comparativo económico desarrollado en el estudio, sirviendo como base para la evaluación del impacto financiero de las alternativas normativas consideradas.

Tabla 21 Costo total de materiales y mano de obra según NEC 2020.

Concepto	Costo (₡)
Materiales eléctricos (incluye IVA)	₡2.430.152,12
Mano de obra directa (incluye cargas sociales)	₡467.484,13
<b>COSTO TOTAL DEL SISTEMA NEC</b>	<b>₡2.897.636,25</b>

Nota: Elaboración propia con base en cotizaciones comerciales (2026) y estimación de mano de obra con cargas sociales vigentes en Costa Rica.

La tabla anterior presenta el resumen consolidado de costos correspondientes a la implementación del sistema eléctrico conforme a la normativa NEC. El monto total se obtiene de la suma del costo actualizado de materiales —basado en cotizaciones comerciales reales— y del costo de mano de obra directa, incluyendo las cargas sociales patronales aplicables en Costa Rica. Este valor constituye la base económica para la comparación posterior con la alternativa normativa IEC desarrollada en el estudio.

### **Costos según la norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021:**

La estimación de costos del sistema eléctrico conforme a la normativa IEC se emplearon cotizaciones comerciales obtenidas de proveedores nacionales especializados en material eléctrico, con el fin de garantizar que los valores utilizados representen condiciones reales de mercado.

La base de materiales del prototipo se mantuvo a partir de la proforma N.º 217816 del proveedor Electrocaribe, la cual contiene una lista amplia de componentes eléctricos utilizados en el laboratorio analizado y permitió establecer una referencia económica homogénea para el

conjunto del sistema. Esta fuente se utilizó como punto de partida para asegurar consistencia metodológica en la comparación entre alternativas normativas.

Para la incorporación de los requerimientos específicos de la normativa IEC, particularmente los conductores de protección identificados en milímetros cuadrados (4 mm<sup>2</sup>, 10 mm<sup>2</sup> y 16 mm<sup>2</sup>), se utilizó la cotización N.º 00272124 del proveedor Electro Maz. Esta selección se debió a que dicha cotización proporciona valores comerciales directos para conductores bajo nomenclatura métrica, característica propia de la normativa IEC, permitiendo ajustar la estimación económica a las condiciones técnicas del diseño.

Adicionalmente, el costo asociado a la malla de puesta a tierra o sistema equipotencial se determinó mediante la cotización emitida por Innovaciones Electromecánicas S.A., en la cual el valor se presenta en dólares estadounidenses. Para su incorporación en el análisis económico se realizó la conversión a moneda local utilizando el tipo de cambio de venta oficial del Banco Central de Costa Rica vigente en la fecha de 10/2/2026, con un costo por dólar de ₡496,18 garantizando uniformidad en la comparación de costos.

Para calcular los costos según la norma IEC; eliminaron los costos de los cables AWG y se agregaran los costos del cable de cobre en milímetros cuadrados, además se agrega el costo de la malla, la cual incluye el costo de sus materiales y su mano de obra, por otro lado, se sustituye el costo de los receptáculos de tierra aislada, los costos a sustituir se encuentran en el anexo F.

Tabla 22 Costos de mano de obra, materiales y malla en norma IEC.

<b>Concepto</b>	<b>Costo (CRC)</b>
Mano de obra	¢467.484,13
Materiales IEC	¢2.985.181,05
Malla puesta a tierra (convertida)	¢670.813,20
<b>TOTAL, GENERAL IEC</b>	<b>¢4.123.478,38</b>

Nota: Elaboración propia con base en proformas de proveedores eléctricos nacionales, presupuesto de mano de obra DIE-MEP y cotización de malla de puesta a tierra; conversión monetaria realizada con el tipo de cambio de referencia vigente.

Los costos presentados corresponden a una estimación económica basada en proformas comerciales de proveedores nacionales y en el presupuesto de mano de obra suministrado por la Dirección de Infraestructura Educativa (DIE-MEP). La mano de obra se mantiene constante para efectos comparativos entre alternativas normativas, mientras que los materiales reflejan los ajustes requeridos para el cumplimiento de la IEC 60364-5-54, incluyendo la conversión de calibres AWG a secciones normalizadas en mm<sup>2</sup> y la sustitución de tomacorrientes de tierra aislada por tomacorrientes estándar. El costo de la malla de puesta a tierra fue originalmente cotizado en dólares estadounidenses y convertido a colones costarricenses utilizando el tipo de cambio de referencia vigente al momento del análisis, por lo que los valores finales deben considerarse como estimaciones y pueden variar según condiciones del mercado y cotización definitiva del proveedor.

## Diferencia de costos entre implementación conforme NEC 2020 e IEC 60364-5-54.

A continuación, se presenta una tabla con las diferencias de costos:

Tabla 23 Diferencia de costos entre implementación conforme NEC 2020 e IEC 60364-5-54.

Concepto	Sistema NEC (₡)	Sistema IEC (₡)	Diferencia (₡)	Variación (%)
Materiales eléctricos	2.430.152,12	2.985.181,05	+555.028,93	+22,84 %
Mano de obra directa	467.484,13	467.484,13	0,00	0 %
Costo de materiales en el Sistema equipotencial / malla	—	301.865,94	+301.865,94	—
Costo de mano de obra en el Sistema equipotencial / malla	—	368.947,26	+368.947,26	—
Costo total del sistema	2.897.636,25	4.123.478,38	+1.225.842,13	+42,31 %

Nota: Elaboración propia.

La tabla anterior presenta la comparación económica entre la implementación del sistema eléctrico conforme a la normativa NEC 2020 y la alternativa desarrollada bajo IEC 60364-5-54. Se observa que el costo total del sistema IEC asciende a ₡4.123.478,38, mientras que el sistema basado en NEC presenta un costo de ₡2.897.636,25, generándose una diferencia de ₡1.225.842,13, equivalente a un incremento aproximado del 42,31 %.

Este aumento no se origina en la ejecución del proyecto, ya que el costo de mano de obra se mantiene constante en ambas alternativas al utilizar la misma estimación provista por el DIE-MEP. Por lo tanto, la variación económica se concentra exclusivamente en el componente de materiales y en la incorporación de elementos adicionales exigidos por la filosofía de diseño de la normativa IEC.

El principal factor que explica la diferencia corresponde a la incorporación del sistema equipotencial de puesta a tierra (malla), el cual no forma parte del diseño base conforme NEC para este prototipo. Este elemento representa por sí solo un incremento de aproximadamente ₡670.813,20, constituyendo el aporte más significativo al aumento del costo total.

Adicionalmente, la normativa IEC exige la utilización de conductores identificados en secciones métricas normalizadas, lo que implica la sustitución de los conductores en calibres AWG del diseño original. Este ajuste genera un incremento adicional en el costo de materiales de

aproximadamente ₡555.028,93, derivado principalmente de la utilización de conductores de mayor sección efectiva para funciones de protección y equipotencialidad.

Desarrollando el tema del gasto de implementación de la malla de equipotencial, en base en la cotización N.º 0016/2026 emitida por la empresa especialista Innovaciones Electromecánicas S.A. (Anexo D), el monto global cotizado para la construcción de la malla de puesta a tierra se desglosa de la siguiente manera:

El costo de materiales en el Sistema equipotencial / malla: ₡301.865,94 Justificación de la partida: Suministro de los componentes físicos e insumos requeridos para conformar la malla.

El costo de mano de obra en el Sistema equipotencial / malla: ₡368.947,26 Justificación de la partida: Ejecución de obra civil, realización de uniones y servicios de ingeniería especializada, lo cual incluye el uso de telurómetro calibrado, registro fotográfico y emisión del informe técnico final.

### **Consideraciones sobre el mantenimiento del sistema de puesta a tierra.**

Todo sistema de puesta a tierra —no importa si se diseñó bajo el enfoque prescriptivo del NEC 2020 o bajo los criterios más exigentes de equipotencialidad de la IEC 60364-5-54— necesita seguimiento. Eso no se negocia. Con el tiempo, la resistencia puede variar y las uniones, sobre todo las mecánicas, tienden a degradarse si no se revisan. Por eso las inspecciones periódicas y las pruebas de continuidad son parte del ciclo normal de vida del sistema.

Ahora bien, en el contexto específico de esta investigación, esos costos de mantenimiento no se incorporaron dentro del análisis económico. No fue un descuido. Se decidió así porque incluirlos, bajo las condiciones reales del sistema educativo público costarricense, habría obligado a trabajar con supuestos poco sólidos.

Si se observa cómo funciona la gestión de infraestructura en los centros educativos, el mantenimiento no se maneja como un rubro independiente por proyecto. Más bien, lo absorben las Juntas Administrativas o Juntas de Educación, que operan con presupuestos globales. Estas instancias contratan servicios externos cuando es necesario o, en su defecto, utilizan el personal técnico ya asignado por el Ministerio de Educación Pública de Costa Rica. Es un esquema operativo práctico, aunque no siempre uniforme entre instituciones.

Dicho en términos simples: actividades como verificar conexiones, ajustar uniones o limpiar registros no generan un costo individualizado para el sistema de puesta a tierra del laboratorio. Se unen dentro del gasto operativo general. Y aquí está el punto clave. Intentar separar ese costo —aislarlo como si fuera exclusivo del sistema de puesta a tierra— no sería consistente con la forma en que realmente se ejecuta el mantenimiento.

Por esa razón, el análisis de rentabilidad se enfocó únicamente en la inversión inicial: materiales y mano de obra directa. Es ahí donde la Dirección de Infraestructura Educativa toma decisiones concretas y donde la diferencia entre aplicar NEC 2020 o IEC 60364-5-54 se vuelve tangible desde el punto de vista financiero. El mantenimiento bajo otra lógica presupuestaria, fuera de las limitaciones de este documento.

### **Evaluación financiera.**

Para complementar el análisis técnico y económico desarrollado en los apartados anteriores, se realiza una evaluación financiera de las alternativas de implementación del sistema eléctrico mediante el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Con estos indicadores ya no se observa solo el costo inicial; también se incorpora el efecto del tiempo sobre el dinero y el rendimiento que genera la inversión.

El VAN permite responder una pregunta directa: si los beneficios futuros realmente compensan el desembolso inicial. Trae todos los flujos económicos al presente y los compara con la inversión. La TIR, por su parte, muestra la tasa de rendimiento propia del proyecto, es decir, qué tan “rentable” resulta la inversión bajo sus propias condiciones de operación.

Al aplicar ambos criterios, la comparación entre alternativas normativas deja de ser únicamente técnica. Pasa a ser económica y cuantificable. De esta manera, el estudio no solo describe diferencias de diseño entre normas, sino que incorpora un fundamento financiero claro para respaldar la decisión dentro del análisis económico del proyecto.

## **Vida útil del proyecto (n).**

Para el desarrollo de la evaluación financiera del presente proyecto, específicamente en el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), se estableció un horizonte de evaluación de 25 años para los sistemas de puesta a tierra analizados. La selección de este periodo se realizó considerando criterios técnicos asociados a la durabilidad de los sistemas electromecánicos, el comportamiento de los materiales eléctricos a lo largo del tiempo y las condiciones de seguridad requeridas para instalaciones eléctricas permanentes en edificaciones educativas.

La infraestructura eléctrica de un laboratorio de cómputo corresponde a una instalación fija diseñada para operar durante largos periodos de servicio. Aunque algunos equipos tecnológicos deben reemplazarse con mayor frecuencia debido a la obsolescencia tecnológica, los sistemas de canalización, conductores, barras de puesta a tierra y conexiones eléctricas poseen una expectativa de operación considerablemente mayor cuando trabajan bajo condiciones normales y reciben mantenimiento preventivo adecuado.

### **1. Vida útil de sistemas electromecánicos según criterios de valoración constructiva**

El Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda establece criterios de depreciación para los diferentes componentes de una edificación, incluyendo los sistemas eléctricos y electromecánicos. El documento señala que los elementos constructivos experimentan un deterioro progresivo conforme transcurre el tiempo de operación, debido al desgaste físico, funcional y tecnológico (Ministerio de Hacienda, 2023, pp. 15–18).

Asimismo, el manual reconoce que los sistemas electromecánicos poseen una vida útil menor que la estructura principal de la edificación, ya que sus componentes están expuestos a condiciones de operación continua y procesos de envejecimiento técnico (Ministerio de Hacienda, 2023, p. 21).

Con base en estos criterios, se considera técnicamente razonable utilizar un horizonte de 25 años para la evaluación económica de instalaciones eléctricas institucionales antes de requerir procesos importantes de modernización o sustitución parcial de componentes.

## **2. Durabilidad y envejecimiento de componentes eléctricos según IEEE**

Desde el punto de vista de ingeniería eléctrica, la vida útil de los sistemas de distribución depende principalmente del comportamiento del aislamiento eléctrico, las condiciones térmicas de operación y el desgaste acumulado de los materiales.

La norma IEEE Std 493-2007 indica que la degradación del aislamiento y el envejecimiento térmico provocan un incremento gradual en la probabilidad de falla conforme aumenta el tiempo de servicio de los equipos eléctricos (IEEE, 2007, pp. 73–75).

De igual manera, la IEEE Std 1458-2017 establece que los interruptores automáticos y componentes utilizados en aplicaciones industriales y comerciales pueden alcanzar periodos de servicio aproximados entre 20 y 30 años cuando operan dentro de condiciones normales de carga y mantenimiento (IEEE, 2017, pp. 9–11).

Tomando en consideración estos criterios, materiales como conductores de cobre THHN/THWN, tubería EMT, barras equipotenciales y conexiones exotérmicas pueden conservar sus propiedades eléctricas y mecánicas durante periodos cercanos a los 25 años, siempre que se mantengan dentro de los límites de operación establecidos por las normativas NEC 2020 e IEC 60364-5-54.

## **3. Seguridad operacional y prevención de incendios**

El Manual de Disposiciones Técnicas Generales sobre Seguridad Humana y Protección contra Incendios del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica establece que las instalaciones eléctricas deben mantenerse en condiciones seguras de funcionamiento para disminuir el riesgo de incendios asociados a fallas eléctricas, recalentamientos o deterioro de conductores y conexiones (Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2019, pp. 115–118).

Además, el documento señala que las instalaciones eléctricas deterioradas o con deficiencias técnicas representan un riesgo potencial para la seguridad humana, por lo que se recomienda realizar inspecciones periódicas y reemplazar los componentes que presenten desgaste o pérdida de sus condiciones seguras de operación (Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2019, pp. 119–121).

Por esta razón, un horizonte de 25 años se considera adecuado desde el punto de vista técnico y de seguridad, ya que durante este periodo los sistemas eléctricos pueden mantener condiciones aceptables de funcionamiento siempre que reciban mantenimiento preventivo apropiado.

Por los motivos anteriores se define una vida útil del proyecto de 25 años.

### **Evaluación económico-social mediante VAN y TIR de las alternativas normativas**

En proyectos de infraestructura educativa, como el diseño eléctrico de laboratorios de equipo de cómputo, no se generan ingresos financieros directos derivados de la inversión realizada. Por esta razón, la evaluación económica se desarrolla bajo el enfoque de evaluación económico-social empleado en el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) de Costa Rica, coordinado por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN).

Este enfoque permite valorar la conveniencia de una inversión considerando su impacto para la sociedad mediante la cuantificación de beneficios en términos monetarios, los cuales pueden expresarse como costos evitados. Dichos beneficios incluyen la reducción de daños en activos, la continuidad operativa y la disminución de gastos correctivos. Para su evaluación se emplean indicadores como:

Valor Actual Neto Económico (VANE) o Valor Actual Neto (VAN): mide el valor presente de beneficios menos costos.

Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) o Tasa Interna de Retorno (TIR): tasa que iguala el valor presente de beneficios y costos.

(Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo, 2022).

Para actualizar los flujos monetarios en el tiempo se utiliza la **Tasa Social de Descuento (TSD)**, que representa el costo de oportunidad de los recursos públicos. En este estudio se adopta el valor oficial de:

$$TSD = 6,73\%$$

(Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2019)

Se estableció un horizonte de evaluación de **25 años**, correspondiente a la vida útil estimada de la infraestructura eléctrica.

### **Determinación del beneficio social anual mediante el costo esperado de daño de laptops**

La metodología de evaluación social establece que los beneficios deben valorarse económicamente cuando sea posible, incluyendo pérdidas evitadas en activos institucionales (Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo, 2022). En este estudio el beneficio social se modeló como el costo esperado anual de daño en equipos informáticos, considerando que la adecuada implementación normativa reduce la probabilidad de fallas asociadas a perturbaciones eléctricas.

Se utilizó el modelo probabilístico de valor esperado:

$$B = N \times p \times C$$

(Ross, 2014)

donde:

- $B$ = Beneficio social anual (€/año)  
Representa el costo económico esperado que se evita por daños en equipos.
- $N$ = Número de equipos expuestos  
Cantidad total de laptops en operación en el laboratorio. Se consideraron **29 equipos**.
- $p$ = Probabilidad anual de daño por equipo  
Probabilidad de falla atribuible a eventos eléctricos. Se adoptó **2%**, basada en referencias de confiabilidad de hardware ajustadas a condiciones operativas reales (Puget Systems, 2019).
- $C$ = Costo de reposición por equipo  
Valor promedio de sustitución estimado en **€496.000,66**, obtenido a partir de precios de mercado nacional, se anexa cotización en el anexo G.

### **Cálculo del beneficio social anual**

$$B = 29 \times 0,02 \times \text{¢}496.000,66$$
$$B = \text{¢}287.680,38/\text{año}$$

Este beneficio se aplica de forma idéntica a ambas alternativas normativas para mantener neutralidad comparativa.

### **Determinación del factor presente de anualidad**

Para estimar el valor presente de los beneficios sociales asociados al proyecto se utilizó el factor presente de anualidad (FP). La idea detrás de este recurso matemático es relativamente directa, aunque conviene explicarla con cierto cuidado. Cuando un proyecto genera beneficios iguales cada año —como ocurre en este caso con el beneficio social anual estimado por reducción de daños en equipos— no resulta práctico descontar cada flujo de manera individual durante todo el horizonte del estudio. Lo que se hace, entonces, es transformar esa serie de valores anuales en un único equivalente actual. Ese es, precisamente, el propósito del factor presente de anualidad.

Dicho de otra forma, el FP funciona como un coeficiente de conversión financiera. Permite responder una pregunta muy concreta: ¿cuánto valen hoy los beneficios que se recibirán de forma constante durante varios años? Cuando se aplica correctamente, el resultado es un valor presente que representa el conjunto completo de esos beneficios futuros, todos llevados al mismo momento de referencia temporal.

El cálculo de este factor se realiza mediante la expresión utilizada en evaluación económica de proyectos:

$$FP = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}$$

donde **FP** representa el factor presente de anualidad, **r** corresponde a la tasa de descuento aplicada y **n** indica el número de años considerados dentro del horizonte de evaluación del proyecto.

En el caso particular de esta investigación se adoptaron dos parámetros que conviene dejar claros. Por un lado, se estableció una vida útil del proyecto de 25 años, valor que se asocia con el período estimado de operación de la infraestructura eléctrica analizada. Por otro lado, se utilizó una

tasa social de descuento de 6,73 %, valor recomendado en Costa Rica para evaluaciones de carácter económico-social.

El resultado numérico de esta operación es aproximadamente,  $FP = 12,09$

Ahora bien, lo realmente importante no es solo el número, sino lo que representa. Ese 12,09 indica que una serie de beneficios anuales constantes durante 25 años equivale, en términos de valor presente, a 12,09 veces el beneficio anual, siempre que se utilice una tasa de descuento del 6,73 %. Es una forma compacta de expresar el efecto del tiempo sobre el valor del dinero.

A partir de este factor se calcula el valor presente total de los beneficios del proyecto mediante la relación: Valor presente de beneficios=Beneficio anual  $\times$ FP:

En la práctica, esto significa que el beneficio anual estimado se multiplica por el factor 12,09 para obtener su equivalente actual. Lo cierto es que sin este paso la comparación económica sería inconsistente, porque se estarían enfrentando valores futuros con inversiones presentes. El uso del factor de anualidad corrige justamente ese problema.

Este procedimiento permite expresar todos los flujos económicos en un mismo momento temporal y, a partir de ahí, realizar la evaluación financiera del proyecto mediante indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales se emplean posteriormente para comparar las alternativas normativas analizadas.

Tabla 24 Valor Presente de Beneficios.

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Beneficio social anual (B)	₡287.680,38
Vida útil del proyecto (n)	25 años
Tasa social de descuento (r)	6,73 %
Factor presente de anualidad (FP)	12,09
Valor Presente de Beneficios (VPB = B $\times$ FP)	₡3.478.055

Nota: Elaboración propia.

La tabla resume los parámetros utilizados para determinar el valor presente de los beneficios sociales asociados al proyecto. El beneficio social anual corresponde al costo esperado de daños evitados en equipos informáticos. Este flujo se proyecta durante una vida útil de 25 años, período

adoptado como horizonte de evaluación para infraestructura educativa. Para trasladar los beneficios futuros a valores actuales se emplea la tasa social de descuento del 6,73 %, recomendada para evaluaciones socioeconómicas en Costa Rica. A partir de estos datos se calcula el factor presente de anualidad, el cual permite convertir la serie de beneficios anuales en un valor equivalente actual. Finalmente, al multiplicar dicho factor por el beneficio anual se obtiene el valor presente total de beneficios, utilizado posteriormente en el cálculo del VAN y la TIR para ambas alternativas normativas.

### **VAN y TIR.**

Presentamos la siguiente tabla con los datos obtenidos:

Tabla 25 Calculo VAN y TIR

<b>Indicador</b>	<b>Sistema NEC</b>	<b>Sistema IEC</b>
Inversión inicial (₡)	2.897.636,25	4.123.478,38
Valor presente beneficios (₡)	3.478.055	3.478.055
VAN (₡)	580.418,75	-645.423,38
TIR (%)	≈ 9,4 %	≈ 4,3 %

Nota: Elaboración propia.

La tabla resume la evaluación económica comparativa entre los diseños basados en las normativas NEC e IEC. El punto de partida es el valor presente de los beneficios sociales estimados previamente, que se mantiene constante para poder comparar únicamente el efecto del costo de implementación.

Primero aparece la inversión inicial de cada alternativa. El sistema diseñado bajo NEC requiere ₡2.897.636,25, mientras que el sistema conforme a IEC asciende a ₡4.123.478,38. La diferencia no es casual: proviene principalmente de la incorporación de elementos adicionales de equipotencialidad exigidos por la IEC dentro del sistema de puesta a tierra.

El valor presente de beneficios es el mismo para ambas opciones (₡3.478.055). Esto se asumió deliberadamente. Se consideró un nivel equivalente de protección funcional respecto a la reducción del riesgo de daño en los equipos informáticos, de modo que la comparación económica no favorezca a ninguna norma por hipótesis de desempeño distintas.

Con esos datos se calcula el Valor Actual Neto (VAN). El sistema NEC obtiene un VAN positivo de ₡580.418,75; en términos prácticos, los beneficios proyectados superan la inversión inicial y la alternativa resulta socialmente viable. El sistema IEC, en cambio, presenta un VAN de ₡-645.423,38. Bajo las condiciones evaluadas, el costo adicional no logra recuperarse con los beneficios estimados.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) confirma la misma tendencia. El diseño NEC alcanza aproximadamente un 9,4 %, valor superior a la tasa social de descuento adoptada, por lo que se interpreta como aceptable desde la perspectiva económica social. El sistema IEC obtiene cerca de un 4,3 %, por debajo de la tasa de referencia, lo que refleja menor eficiencia económica en el escenario analizado.

En conjunto, estos indicadores no sustituyen el análisis técnico, pero sí lo complementan. Permiten sustentar la comparación entre alternativas con un criterio financiero claro y verificable dentro del estudio.

## **. Recomendaciones de sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de CTP.**

### **Integración de los resultados obtenidos**

Al cerrar la investigación lo primero que aparece, casi de inmediato, es que la comparación entre el NEC 2020 y la IEC 60364-5-54 no es realmente una discusión de seguridad básica. Ambos sistemas cumplen la función esencial de cualquier puesta a tierra: mantener controlado el potencial de las partes metálicas expuestas y permitir que la corriente de falla tenga por dónde circular hasta que actúe la protección.

Dicho en términos más directos: ninguno de los dos sistemas deja desprotegidas a las personas.

Ahora bien, si nos fijamos con cuidado, la diferencia no está en la protección humana sino en la forma de lograrla. El NEC trabaja con un criterio operativo: garantizar una trayectoria de baja impedancia que fuerce la operación del interruptor ante una falla. La lógica es sencilla pero efectiva; el conductor de puesta a tierra de equipos no está ahí para “absorber” corriente, sino para provocar la apertura del dispositivo de protección en el menor tiempo posible. Ese principio, descrito ampliamente en la literatura técnica, es el que realmente despeja la condición peligrosa.

La norma IEC, en cambio, construye la seguridad a partir de la equipotencialidad generalizada. El resultado práctico es similar, pero el camino técnico es diferente, y ahí empiezan a aparecer las consecuencias constructivas.

Este análisis no se realizó sobre un edificio aislado ni sobre un caso particular. Se utilizó el laboratorio de cómputo tipo del Ministerio de Educación Pública, que funciona como modelo repetitivo de aplicación nacional. Ese detalle cambia completamente el enfoque: el sistema no solo debe funcionar, debe poder replicarse muchas veces, con distintos contratistas, distintos terrenos y presupuestos públicos limitados. Si el diseño no soporta repetición, simplemente no es viable.

## **Incorporación de la malla equipotencial dentro del estudio**

Durante el estudio surgió un punto inevitable: la filosofía de la IEC, especialmente en entornos de tecnologías de información, empuja hacia la utilización de conductores funcionales (FE) y una malla equipotencial dedicada.

Y no se diseñó por una razón técnica válida: el laboratorio analizado corresponde a un prototipo nacional. No existe un suelo específico, ni resistividad conocida, ni condiciones reales de instalación. El diseño detallado del sistema de puesta a tierra, como ocurre en cualquier obra, queda bajo responsabilidad del profesional que ejecute el proyecto en campo. Por eso la malla se incorporó mediante una cotización especializada, es decir, como costo realista y no como ejercicio teórico.

Esto permitió algo interesante: evaluar el efecto económico de aplicar la filosofía IEC sin alterar el alcance metodológico del trabajo.

Lo cierto es que el resultado fue claro. La malla no incrementó la seguridad eléctrica requerida para el laboratorio educativo. Sí elevó, de forma apreciable, la inversión inicial. Desde el punto de vista práctico, el sistema funcionaba adecuadamente sin ella, pero su incorporación encarecía el proyecto.

La malla cotizada, fue diseñada para un terreno en el centro de Siquirres, esto debido a que el personal encargado de generar la estimación ocupaba un lugar específico para sus cálculos y el diseño brindado por el DIE, no tiene ubicación es un prototipo usado en todo el país, en cada centro educativo que lo amerite.

### **Análisis económico comparativo**

El análisis económico se realizó utilizando Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) con una vida útil de 25 años, aplicando la tasa social de descuento de proyectos públicos.

Conviene recordarlo brevemente: el VAN mide si el beneficio descontado supera la inversión inicial; la TIR indica la rentabilidad real del proyecto. Cuando el VAN es positivo y la TIR supera la tasa social, el proyecto se justifica económicamente.

Al aplicar estos criterios aparecieron dos comportamientos distintos.

El sistema diseñado bajo NEC obtuvo VAN positivo y una TIR superior a la tasa social de descuento. El sistema basado en IEC, en cambio, presentó VAN negativo y una TIR inferior a esa misma referencia.

Traducido a términos sencillos: el sistema IEC funciona, pero el Estado paga más por obtener prácticamente el mismo resultado operativo. El costo adicional —conductores funcionales, equipotencialidad estructural y malla— no se recupera mediante beneficios reales para el usuario del laboratorio.

Y aquí es donde la ingeniería deja de ser teórica: un diseño público no solo debe ser técnicamente correcto, también debe justificar el gasto.

### **Recomendación técnica final**

Después de revisar los resultados técnicos, económicos y constructivos, la decisión no resulta ambigua. Para los laboratorios de cómputo en colegios técnicos profesionales, el sistema de puesta a tierra debe implementarse conforme al NEC 2020.

La malla equipotencial puede utilizarse como mejora particular cuando existan equipos extremadamente sensibles o condiciones electromagnéticas especiales. Sin embargo, dentro del contexto educativo analizado, no constituye un requisito necesario para garantizar ni la seguridad de las personas ni la operación de los equipos.

Lo que sí queda claro es lo siguiente: el NEC alcanza el nivel de protección requerido con menor complejidad constructiva y menor inversión pública. Desde la perspectiva de ingeniería aplicada —no teórica— eso significa una mejor relación costo-beneficio y, en consecuencia, una solución más adecuada para implementación nacional.

## **Conclusiones y recomendaciones.**

### **Conclusiones.**

#### **Conclusión Uno.**

La investigación permitió comparar técnicamente y con base cuantitativa los requerimientos de resistencia y la selección de materiales contemplados tanto en el NEC 2020 como en la IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021, a partir de los criterios desarrollados en el capítulo comparativo. La Tabla 3 mostró una diferencia puntual: el NEC adopta como referencia práctica un valor de  $25 \Omega$  para un electrodo de varilla único, mientras que la IEC no define un valor numérico único, sino que vincula la resistencia del sistema con la coordinación adecuada de los dispositivos de protección, de modo que se garantice la seguridad de la instalación. Esa distinción se refuerza con lo expuesto en la Tabla 4. Ahí se observa que el NEC da prioridad a una trayectoria de baja impedancia para favorecer el despeje de fallas; la IEC, en cambio, plantea una lectura más amplia del sistema, sustentada en la continuidad eléctrica permanente y en la equipotencialidad de las masas metálicas.

La comparación de materiales también dejó diferencias claras. La Tabla 6 permitió establecer que el NEC conserva un margen mayor de flexibilidad constructiva, ya que admite hasta catorce tipos de conductores y canalizaciones como medios válidos para la puesta a tierra y la protección, incluidas las tuberías metálicas. La IEC se aparta de ese criterio y delimita con mayor rigor el uso de esos elementos, al exigir de forma más definida conductores de protección dedicados. En la misma línea, la Tabla 7 confirmó restricciones específicas para el empleo de aluminio enterrado, mientras que la Tabla 12 precisó la obligación de identificar los conductores de protección con el color verde-amarillo bajo el esquema IEC. A esto se suma la Tabla 14, en la cual se evidenció que el paso del sistema AWG al sistema métrico normalizado conduce, en varios casos, a secciones de conductor más robustas cuando se aplica la norma IEC.

De esta manera, el primer objetivo específico se considera cumplido, porque el estudio permitió precisar, con respaldo en tablas y resultados propios, las diferencias existentes entre ambas normativas en relación con los valores de resistencia, la efectividad del sistema y los materiales requeridos para su implementación. La comparación realizada permitió establecer que el NEC 2020

responde a un enfoque más prescriptivo y flexible en la selección de materiales y métodos de instalación, mientras que la IEC 60364-5-54 exige condiciones técnicas más estrictas en continuidad, equipotencialidad, identificación y secciones normalizadas de los conductores. Así, el objetivo quedó atendido al demostrar, con base técnica, cuáles son las coincidencias y cuáles son las diferencias normativas que definen ambos sistemas de puesta a tierra.

## **Conclusión dos.**

La información recopilada permitió delimitar con precisión las condiciones de diseño del laboratorio de cómputo tipo de 72 m<sup>2</sup> tomado como base para esta investigación, a partir de documentos oficiales emitidos por la Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo del MEP. La revisión de las Especificaciones Técnicas de Prototipos DIE (2021), del Catálogo de Prototipos DIE (2018) y de los planos actualizados del laboratorio de cómputo 72 m<sup>2</sup> (2025) confirmó que el caso analizado no corresponde a una propuesta aislada, sino a un prototipo oficial estandarizado, empleado como referencia para este tipo de edificaciones. Esa documentación permitió definir el contexto físico y funcional del recinto, su distribución interna, el uso para el cual fue concebido y las características generales del sistema eléctrico que lo acompaña; sobre esa base se sostuvo el desarrollo posterior del estudio.

La Tabla 8 tuvo un peso importante dentro del análisis, porque ordenó el contenido técnico de las ocho láminas del prototipo y permitió reconocer con claridad el aporte específico de cada una. No se trató de revisar datos sueltos. La tabla mostró un conjunto documental articulado, integrado por planta de distribución, elevaciones, secciones, detalles constructivos y lámina eléctrica, lo que hizo posible trabajar sobre una referencia verificable y técnicamente coherente. Desde ahí se pudo establecer que el laboratorio presenta una configuración espacial y constructiva definida, suficiente para describir con propiedad las condiciones reales del recinto utilizado como base del estudio.

Esa caracterización, además, permitió precisar rasgos concretos del espacio analizado. El laboratorio corresponde a una edificación pensada para uso educativo técnico, con capacidad aproximada para 28 estudiantes, presencia de equipos de cómputo, mobiliario especializado, alimentación eléctrica propia y una organización de circuitos acorde con las exigencias operativas

del lugar. La documentación también permitió identificar la disposición de elementos como iluminación, tomacorrientes, canalizaciones y simbología eléctrica. No son detalles menores; todos ellos resultaron necesarios para entender el comportamiento general de la instalación dentro del edificio y para interpretar el laboratorio no solo como un espacio físico, sino como una unidad técnica completa.

A partir de esa revisión documental fue posible construir una caracterización ordenada, consistente y bien sustentada del laboratorio de cómputo de 72 m<sup>2</sup>, identificando sus condiciones arquitectónicas, funcionales y eléctricas con base en fuentes oficiales del MEP. Eso le dio solidez al estudio. El análisis, así, no partió de supuestos ni de referencias genéricas, sino de un modelo técnico real, definido institucionalmente y aplicable al contexto de los colegios técnicos profesionales.

### **conclusión tres.**

El análisis comparativo del sistema de puesta a tierra partió del diseño del Laboratorio de Cómputo de 72 m<sup>2</sup> del Ministerio de Educación Pública (MEP), actualizado al 2025, y tomó como soporte los planos eléctricos oficiales, el diagrama unifilar y las especificaciones técnicas del prototipo DIE-MEP. Ese cruce documental permitió llevar los requerimientos del NEC 2020 —en particular, el Artículo 250, Partes VI y VII— y de la IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021 a una instalación concreta. Así, cada criterio normativo se examinó sobre la configuración eléctrica real del laboratorio, sus cargas y la forma en que están dispuestos sus sistemas.

La Tabla 9, donde se expone el dimensionamiento del conductor del electrodo de puesta a tierra, permitió ubicar una diferencia directa entre ambos marcos normativos. Allí se observa que el diseño del MEP utiliza un conductor de cobre #8 AWG, compatible con la Tabla 250.66 del NEC 2020 al relacionarse con conductores de fase #4 AWG. No ocurre lo mismo bajo la lógica de la IEC 60364-5-54 (Cláusula 542.3.1): la tabla deja ver que esa sección no alcanza el mínimo de 16 mm<sup>2</sup>, exigido por razones de resistencia mecánica y durabilidad. No se trata solo de pasar de AWG a sistema métrico. Lo que cambia es el criterio técnico con el que se dimensiona el conductor de puesta a tierra.

La Tabla 10, que reúne las características físicas y la disposición de los electrodos, permitió verificar la compatibilidad de los elementos de dispersión empleados en el laboratorio. En ella se describen tres varillas Copperweld, de 3 m de longitud y 19 mm de diámetro, colocadas en configuración de triángulo o anillo. Al contrastar esos datos con la IEC (Cláusula 542.2.2) y con el NEC 2020 (Art. 250.53(A)), se comprobó que los electrodos cumplen con los requisitos dimensionales de ambas normas, ya que superan el diámetro mínimo exigido. La tabla deja clara una idea importante: la divergencia entre normas no aparece en el electrodo como componente físico, sino en la forma en que ese electrodo se integra al resto del sistema.

La diferencia más marcada aparece en la arquitectura de protección. La Tabla 12, dedicada a la identificación de conductores, muestra que el diseño del MEP utiliza conductores de color verde sólido, opción admitida por el NEC 2020 (Art. 250.119). Al poner esa práctica frente a la IEC 60364-5-54 (Cláusula 514.3), la tabla evidencia que el conductor de protección PE debe identificarse obligatoriamente con el código verde-amarillo. Ese cambio no es meramente visual; responde a un esquema de identificación más estricto, pensado para evitar errores funcionales dentro de la instalación.

La Tabla 15, en la que se ordenan los ajustes necesarios para adecuar el diseño base al cumplimiento de la IEC, permitió consolidar las modificaciones que exige el sistema. Allí se detallan cambios como la sustitución de conductores en AWG por secciones métricas, la incorporación de conductores de protección dedicados (PE) conforme a la IEC (Cláusulas 543.1.1 y 543.2), y la eliminación del uso de canalizaciones metálicas como parte del camino de falla, práctica que el NEC 2020 (Art. 250.118) sí admite. El valor de esta tabla está en que convierte la diferencia normativa en decisiones concretas de diseño: muestra qué elementos pueden conservarse y cuáles deben modificarse para alcanzar conformidad técnica.

La comparación también permitió identificar una ruptura estructural entre el uso de tierra aislada (IG) y la implementación de mallas equipotenciales. El diseño del MEP incorpora tomacorrientes con tierra aislada, conforme al NEC 2020 (Art. 250.146(D)), lo que permite separar el conductor de puesta a tierra en el punto de conexión para disminuir interferencias electromagnéticas en equipos sensibles. La IEC 60364-5-54, en cambio, bajo las Cláusulas 544.1.1 y 545.3, descarta ese enfoque y exige la interconexión de todas las masas mediante un sistema de equipotencialidad, normalmente materializado con mallas o anillos de puesta a tierra. El cambio es

profundo: se pasa de una solución orientada a aislar perturbaciones a otra que integra eléctricamente todos los elementos conductores del edificio.

La lectura conjunta de estas tablas y de las referencias normativas mostró que pasar de un diseño sustentado en NEC 2020 a uno ajustado a la IEC 60364-5-54 modifica de forma directa la configuración del sistema de puesta a tierra del laboratorio de cómputo. Las diferencias aparecen en el dimensionamiento de conductores, en la identificación del sistema, en la selección de materiales y, sobre todo, en la arquitectura de protección adoptada. El NEC conserva una lógica más flexible, compatible con el uso de tierra aislada y de canalizaciones como parte del sistema; la IEC impone una estructura más rigurosa, basada en continuidad eléctrica, conductores dedicados y equipotencialidad general del edificio. Ahí está el cambio de fondo.

#### **conclusión cuatro.**

El análisis económico mostró que la cercanía constructiva entre ambas alternativas mantiene una porción importante de los costos en niveles prácticamente equivalentes. La variación aparece cuando el diseño incorpora los elementos adicionales que exige el enfoque IEC. Ese desarrollo se encuentra en el apartado “Estimación de costos de sistemas de puesta a tierra de los laboratorios de equipo de cómputo de CTP”, y se complementa con los apartados de “Evaluación financiera”. Visto en conjunto, ese tramo de la tesis no se limita a listar materiales o montos; también examina si la inversión adicional logra sostenerse desde un punto de vista económico, lo cual le da más peso al resultado obtenido.

Los datos son bastante directos. La Tabla 21 fija en ₡2.897.636,25 el costo total de materiales y mano de obra del sistema conforme a NEC 2020. La Tabla 22, por su parte, sitúa en ₡4.123.478,38 el costo total de la alternativa desarrollada bajo IEC 60364-5-54, precisamente porque incorpora materiales adicionales y la malla equipotencial. La Tabla 23 termina de ordenar esa comparación: registra una diferencia de ₡1.225.842,13, equivalente a un incremento del 42,31 %. El mismo cuadro deja ver algo importante —y conviene subrayarlo—: la mano de obra directa permanece igual en ambos casos, con un valor de ₡467.484,13. De ahí que la brecha económica no provenga del montaje en sí, sino del aumento en materiales y, de manera particular, del sistema equipotencial o malla, cuyo costo se estimó en ₡670.813,20.

La evaluación financiera refuerza esa lectura. La Tabla 24 establece como parámetros un beneficio social anual de ¢287.680,38, una vida útil de 25 años, una tasa social de descuento de 6,73 %, un factor presente de anualidad de 12,09 y un valor presente de beneficios de ¢3.478.055. Después, la Tabla 25 muestra el comportamiento de cada alternativa bajo esos mismos supuestos. El sistema NEC alcanza un VAN de ¢580.418,75 y una TIR aproximada de 9,4 %; la opción IEC, en cambio, presenta un VAN de -¢645.423,38 y una TIR aproximada de 4,3 %. La lectura de esos resultados no deja mucho margen: la alternativa IEC eleva la inversión inicial, pero ese aumento no se traduce, dentro del escenario educativo analizado, en un beneficio económico cuantificable que respalde su adopción. Por eso, el cuarto objetivo específico puede darse por cumplido; la tesis estimó, comparó y valoró financieramente los costos de ambas alternativas, y lo hizo con datos concretos del propio estudio.

#### **conclusión 5.**

La comparación desarrollada sobre el laboratorio de cómputo de 72 m<sup>2</sup> permitió identificar que las diferencias entre el NEC 2020 y la IEC 60364-5-54 no alteran de manera absoluta la base constructiva del sistema de puesta a tierra. Ambos enfoques parten de una configuración físicamente semejante en aspectos como los electrodos, la disposición general del sistema y la finalidad protectora que cumplen dentro de la instalación. La diferencia real aparece en otro nivel: en la lógica con que cada norma ordena esa protección. El diseño alineado con el NEC 2020 mantiene una solución más directa y eficiente

en el empleo de materiales, apoyándose en el esquema de tierra aislada (IG) admitido por el Artículo 250.146(D). La IEC 60364-5-54, en cambio —particularmente desde las Cláusulas 544.1.1 y 545.3— desplaza ese criterio hacia una concepción de equipotencialidad general, lo que obliga a incorporar una malla o un sistema equivalente como parte inseparable de la protección.

La Tabla 15, donde se concentran los ajustes requeridos para adaptar el diseño base del MEP al cumplimiento de la IEC, deja ver que la diferencia decisiva no consiste en rehacer por completo la instalación. No va por ahí. Lo que cambia es la necesidad de añadir elementos de interconexión y conductores de protección que, bajo el enfoque del NEC, no resultan imprescindibles. Esa tabla muestra con claridad que el modelo sustentado en NEC 2020 resuelve la instalación con una cantidad menor de materiales, aprovechando una arquitectura ya compatible

con el uso de IG y con una configuración constructiva más contenida. El planteamiento bajo IEC, por el contrario, extiende el sistema hacia una red equipotencial más amplia; eso vuelve la ejecución más exigente desde el punto de vista constructivo.

Visto desde el caso del laboratorio analizado, la diferencia entre ambas normas no conduce a dos sistemas opuestos, sino a dos formas distintas de materializar la seguridad eléctrica sobre una misma base física. El NEC 2020 ofrece una respuesta más eficiente en cantidad de materiales y más sencilla de incorporar dentro del esquema constructivo ya definido. La IEC 60364-5-54 agrega una exigencia puntual —la malla equipotencial, en sustitución del criterio de tomacorrientes IG— que refuerza la integración del sistema, pero también hace más demandante su ejecución. Ahí se ubica, en términos técnicos, la diferencia central del caso estudiado.

## **Recomendaciones.**

### **Desarrollar investigaciones aplicadas en laboratorios de cómputo ubicados en centros educativos específicos.**

Conviene que futuras investigaciones lleven el análisis de los sistemas de puesta a tierra más allá del nivel de prototipo institucional y lo sitúen en laboratorios de cómputo ya construidos —o al menos proyectados— para centros educativos concretos. Eso permitiría incorporar variables de campo que esta tesis no consideró, no por omisión, sino por el alcance metodológico con el que fue planteada. Entre esas variables figuran la resistividad del suelo, la estratificación del terreno, el contenido de humedad, las dimensiones reales del lote, la separación entre electrodos, la cercanía de otras masas metálicas enterradas y las condiciones particulares de operación de cada instalación. Son factores que, en la práctica, pueden alterar de forma apreciable el comportamiento del sistema.

La investigación se desarrolló a partir del laboratorio tipo de 72 m<sup>2</sup> del DIE-MEP, lo que hizo posible una comparación normativa y económica coherente sobre una base estandarizada. Esa decisión metodológica fue útil, y de hecho necesaria, para mantener la consistencia del estudio; aun así, deja abierto un campo de trabajo más aplicado, en el que las decisiones de diseño ya no respondan a un prototipo general, sino a condiciones reales de sitio. Un estudio posterior, planteado en esos términos, permitiría comprobar si la conveniencia técnica y económica identificada para el sistema basado en NEC 2020 se sostiene cuando el análisis se traslada a escenarios concretos o si, por el contrario, ciertas condiciones de campo vuelven más razonable la incorporación de soluciones complementarias asociadas a la IEC 60364-5-54. Y eso, visto con cierta perspectiva, tendría una utilidad inmediata: aportaría criterios directamente aplicables a procesos de construcción, ampliación o rehabilitación de infraestructura educativa.

## **Ampliar la investigación sobre la disponibilidad, costo y aplicación de conductores en milímetros cuadrados en Costa Rica.**

Sería pertinente abrir una línea de investigación específica sobre la oferta comercial, la disponibilidad efectiva y la viabilidad de uso de conductores normalizados en milímetros cuadrados ( $\text{mm}^2$ ) dentro del mercado costarricense, sobre todo en proyectos que respondan a criterios IEC. El tema no es menor. En Costa Rica, la práctica constructiva y comercial se apoya con mucha más frecuencia en conductores identificados en AWG; sin embargo, la comparación desarrollada en esta tesis mostró que la IEC trabaja con secciones métricas normalizadas —por ejemplo,  $4 \text{ mm}^2$ ,  $10 \text{ mm}^2$  y  $16 \text{ mm}^2$ — y esa diferencia trasciende lo meramente nominativo. Puede incidir, de forma bastante concreta, en la adquisición de materiales, en la correcta especificación técnica, en la lectura de planos y en la compatibilidad con equipos importados.

La necesidad de profundizar en este punto se vuelve más evidente cuando una institución compra en el extranjero equipos de cómputo, sistemas de control, instrumentación o tecnología especializada cuyos manuales, fichas técnicas o requisitos de instalación están expresados en  $\text{mm}^2$ . En esos casos, la limitada circulación local de ciertos conductores métricos puede generar atrasos en la ejecución, sustituciones improvisadas o incluso dudas razonables al momento de establecer equivalencias prácticas con los calibres AWG disponibles en el país. Por esa razón, un estudio posterior debería examinar con precisión qué secciones métricas se comercializan realmente en Costa Rica, cuáles deben importarse, qué costos comparativos presentan, cuáles son los tiempos de entrega que manejan los proveedores y qué implicaciones técnicas y presupuestarias trae consigo su incorporación en proyectos institucionales. Un trabajo así tendría una utilidad muy concreta: permitiría anticipar restricciones de abastecimiento y, al mismo tiempo, mejorar la compatibilidad entre las prácticas locales de instalación y los requerimientos técnicos de equipos adquiridos fuera del país.

## **Verificación institucional de mediciones de puesta a tierra en centros educativos.**

Se recomienda que futuras investigaciones examinen con mayor detalle la forma en que la Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo (DIEE) verifica las mediciones de puesta a tierra en los centros educativos, de modo que pueda establecerse cómo se desarrolla ese procedimiento en la práctica institucional. Interesa, sobre todo, aclarar si la obtención de los datos la realiza directamente personal técnico de la propia dependencia o si esa labor se encarga a contratistas, empresas externas o terceros especializados; igualmente, conviene precisar cuáles son los criterios técnicos y administrativos empleados para aceptar, revisar y validar la información obtenida. Una revisión de este tipo ampliaría el alcance del análisis normativo desarrollado en la investigación, al incorporar una mirada más cercana a la operación real con que se gestionan estas mediciones dentro de los proyectos de infraestructura educativa.

También resulta pertinente identificar qué equipos de medición solicita, reconoce o admite la DIEE para comprobar la resistencia de puesta a tierra y otros parámetros asociados al sistema, así como las condiciones bajo las cuales esos resultados adquieren validez durante un proceso constructivo o en la recepción de la obra. Este aspecto merece atención. Conocer con mayor precisión qué instrumentos se utilizan, quiénes los aplican y cómo se documenta la información permitiría dar seguimiento a la trazabilidad técnica de los datos reportados. De esa manera, se abriría una línea de estudio orientada no solo al diseño del sistema de puesta a tierra, sino también a la forma concreta en que su desempeño se verifica, se registra y se acepta dentro del contexto real de los centros educativos.

## **Propuesta de programa académico especializado en diseño y verificación de sistemas de puesta a tierra mediante vinculación universidad–institución**

Se propone incorporar dentro de la oferta académica universitaria un curso especializado en diseño de sistemas de puesta a tierra, centrado en el estudio y la aplicación del Artículo 250 del NEC 2020. La intención es que esta formación se dirija a estudiantes de Ingeniería Electromecánica y carreras afines, bajo un enfoque teórico–práctico que fortalezca competencias en diseño, dimensionamiento y criterios de instalación de sistemas de puesta a tierra en edificaciones; especialmente en espacios donde operan equipos sensibles, como ocurre en los laboratorios de cómputo.

La propuesta no se agota en el trabajo de aula. Más bien, plantea incorporar una fase práctica sustentada en la inspección técnica de instalaciones reales en centros educativos. Para ello, se considera pertinente promover convenios de cooperación entre la universidad, el Ministerio de Educación Pública (MEP) y la Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo (DIEE), de manera que los estudiantes puedan integrarse a procesos de evaluación de sistemas de puesta a tierra ya existentes. Dentro de esas actividades se contemplaría la medición de resistencia de puesta a tierra, la revisión de continuidad de conductores, la verificación de conexiones, la identificación de condiciones de instalación y la valoración del cumplimiento normativo.

Ese componente permitiría que los estudiantes elaboren diagnósticos técnicos sobre las instalaciones inspeccionadas, detecten oportunidades de mejora y formulen ajustes acordes con los requerimientos del NEC 2020. El valor de esta propuesta está, precisamente, en vincular el contenido normativo con la realidad constructiva de los centros educativos. Ahí el aprendizaje deja de ser meramente teórico y pasa a un terreno aplicado, donde la observación, la medición y el análisis técnico adquieren un peso real.

Desde el plano académico, esta iniciativa fortalecería la formación profesional al conectar el diseño con la verificación en campo, impulsando el uso de equipos de medición especializados, la interpretación de datos obtenidos directamente en sitio y la toma de decisiones técnicas respaldadas por normativa. En el ámbito institucional también habría un aporte claro: la generación de información técnica sobre el estado de los sistemas de puesta a tierra en centros educativos, la

cual podría servir como insumo para procesos posteriores de mantenimiento, corrección o actualización de las instalaciones eléctricas.

La articulación entre universidad e instituciones públicas abre, así, una posibilidad de trabajo aplicada y de alto valor formativo. El estudiante no solo aprendería a diseñar; también tendría la oportunidad de evaluar, diagnosticar y proponer mejoras dentro de un contexto real, estrechamente vinculado con las necesidades del país en materia de infraestructura eléctrica educativa.

## Propuesta

El desarrollo de esta investigación se orientó a comparar el diseño técnico y el comportamiento económico de los sistemas de puesta a tierra aplicables a laboratorios de equipo de cómputo en colegios técnicos profesionales. Para ello se tomaron como referencia dos marcos normativos ampliamente utilizados en instalaciones eléctricas: el Código Eléctrico Nacional (NEC 2020) y la IEC 60364-5-54. La comparación no se planteó únicamente desde la teoría normativa. La intención fue llevar ambos enfoques a un caso concreto de infraestructura educativa y observar qué ocurre cuando esas reglas se traducen en materiales, conductores y costos reales.

Dicho esto, al revisar con detalle ambos marcos normativos aparecen diferencias que no son menores. Los criterios de resistencia del sistema de puesta a tierra, el uso de determinados materiales, el dimensionamiento de conductores de protección, la identificación de conductores y los requerimientos asociados a la equipotencialidad generan configuraciones técnicas distintas. Y cuando esas diferencias se trasladan al diseño físico del sistema eléctrico —conductores, electrodos, puntos de unión, continuidad equipotencial— el efecto se refleja inevitablemente en los costos de implementación.

Para realizar la comparación se utilizó como base el laboratorio de cómputo tipo de 72 m<sup>2</sup> definido en los prototipos de infraestructura educativa del Ministerio de Educación Pública (MEP). A partir de esa referencia se desarrollaron dos propuestas de diseño. La primera se estructuró conforme a los criterios establecidos en el NEC 2020. La segunda se planteó siguiendo las disposiciones técnicas de la IEC 60364-5-54. En ambos casos se buscó mantener las mismas condiciones de operación del laboratorio para que la comparación económica no quedara distorsionada por variables externas al sistema de puesta a tierra.

Una vez definidos los diseños se procedió a estimar los costos de implementación considerando materiales y mano de obra. Aquí aparece una diferencia clara. El sistema planteado bajo NEC 2020 presenta un costo total aproximado de ₡2.897.636,25, mientras que la alternativa diseñada bajo IEC 60364-5-54 alcanza aproximadamente ₡4.123.478,38. La causa de esta diferencia no es accidental. Si se revisa el diseño con atención, se observa que la normativa IEC introduce requerimientos adicionales relacionados con conductores de protección y elementos de equipotencialidad que incrementan la cantidad de materiales necesarios.

Ahora bien, el análisis no se limitó a comparar costos directos de construcción. Para determinar la conveniencia económica de cada alternativa se realizó una evaluación financiera utilizando los indicadores Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). El modelo consideró un horizonte de análisis de 25 años, asociado a la vida útil estimada de la infraestructura eléctrica, y una tasa social de descuento del 6,73 %, utilizada en evaluaciones económico-sociales en Costa Rica.

Los resultados son bastante claros cuando se observan los indicadores financieros. El sistema diseñado conforme al NEC 2020 presenta un VAN positivo de ₡580.418,75, lo que indica que los beneficios estimados del proyecto superan la inversión inicial dentro del horizonte analizado. La TIR, cercana al 9,4 %, también se ubica por encima de la tasa social de descuento considerada en el estudio.

La alternativa desarrollada bajo IEC 60364-5-54 muestra un comportamiento distinto. En este caso el VAN resulta negativo, aproximadamente ₡-645.423,38, mientras que la TIR se sitúa alrededor del 4,3 %. Lo cierto es que, bajo las condiciones analizadas, el aumento en el costo inicial no logra compensarse con los beneficios estimados a lo largo de la vida útil del sistema.

Si nos fijamos en el resultado global del análisis —tanto técnico como económico— la interpretación es bastante directa. El diseño basado en NEC 2020 cumple con los requerimientos de seguridad eléctrica aplicables a este tipo de instalaciones, mantiene coherencia con la normativa adoptada en Costa Rica y, adicionalmente, presenta un comportamiento económico más favorable cuando se evalúa el proyecto en términos de VAN y TIR.

Por esta razón, la propuesta derivada de este estudio consiste en implementar el sistema de puesta a tierra conforme a los criterios del NEC 2020 para laboratorios de equipo de cómputo en colegios técnicos profesionales. Bajo las condiciones evaluadas, esta alternativa ofrece una solución técnicamente válida y económicamente más eficiente frente al diseño basado en la normativa IEC.

En términos prácticos, eso significa que el sistema de puesta a tierra diseñado según NEC 2020 se plantea como la opción recomendada para este tipo de infraestructura educativa. No se trata únicamente de una preferencia normativa; el análisis realizado muestra que, dentro del escenario estudiado, esta alternativa permite alcanzar condiciones adecuadas de seguridad eléctrica

con una inversión menor y con mejores indicadores financieros a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

## Fuentes de Referencias

- Venegas Chaves, S. (2025). Rediseño eléctrico y análisis comparativo de costos para el cambio de un sistema convencional de alimentadores por medio de tubería y cable a un sistema combinado de ducto barra y cable armado para un hotel vertical [Tesis de bachillerato, Universidad Internacional de las Américas]. Repositorio Institucional UIA. <http://repositorio.uia.ac.cr/handle/123456789/4486>
- Monge Mora, N. (2024). Estudio de cargabilidad eléctrica de un condominio vertical ubicado en Escazú para suplir energía a un centro de carga con cargadores inteligentes marca Wallbox [Tesis de bachillerato, Universidad Internacional de las Américas]. Repositorio Institucional UIA. <http://repositorio.uia.ac.cr/handle/123456789/3918>
- Arguedas Montero, J. R. (2024). Valoración del sistema actual de iluminación y propuesta basado en tecnología LED para la gramilla del Estadio Nacional según las normativas aprobadas por FIFA [Tesis de bachillerato, Universidad Internacional de las Américas]. Repositorio Institucional UIA. <http://repositorio.uia.ac.cr/handle/123456789/3699>
- Salazar Céspedes, S. (2020). Diseño de un sistema de generación de energía renovable por medio de un sistema fotovoltaico y aerogeneradores, para la empresa Align Technology de Costa Rica [Trabajo final de graduación, Universidad Internacional de las Américas].
- Arguedas Montero, J. R. (2024). Valoración del sistema actual de iluminación y propuesta basado en tecnología LED para la gramilla del Estadio Nacional según las normativas aprobadas por FIFA [Tesis de bachillerato, Universidad Internacional de las Américas]. Repositorio Institucional UIA. <http://repositorio.uia.ac.cr/handle/123456789/3699>
- González Cruz, B. E. (2023). Propuesta para precalentamiento de agua potable empleando bombas de calor para un edificio hospitalario con ubicación en la ciudad de Cartago, Costa Rica [Tesis de bachillerato, Universidad Internacional de las Américas]. Repositorio Institucional UIA. <http://repositorio.uia.ac.cr/handle/123456789/3563>
- Aragón Azofeifa, C. E. (2023). Auditoría energética para un sistema de aire acondicionado del edificio de las oficinas centrales del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica [Tesis

de licenciatura, Universidad Internacional de las Américas]. Repositorio Institucional UIA.  
<http://repositorio.uia.ac.cr/handle/123456789/3072>

Garay Córdova, P. S., & Toledo Illescas, C. M. (2023). Análisis de normativa de puesta a tierra para sistemas fotovoltaicos [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Dirección de Posgrado, Carrera de Electricidad.

Orbea García, J. M. (2023). Análisis del sistema de protección de puesta a tierra y apantallamiento eléctrico en una planta minera [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Dirección de Posgrado, Maestría en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

Cartolín León, A. L. (2021). Evaluación de la eficiencia de aditivos en el tratamiento de puestas de tierra en Huancayo [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Lozano Campos, R. D. (2020). Optimización del diseño de puestas a tierra, utilizando elementos finitos en la SET Constitución [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica.

Holt, M. (2020). Mike Holt's Illustrated Guide to Understanding NEC Requirements for Bonding and Grounding, based on the 2020 NEC. Holt Enterprises, Incorporated.

Gaona Estrada, E. (2019). Diseño del electrodo de puesta a tierra para un sistema HVDC (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Cuernavaca, Morelos.

Electrical Safety Foundation International. (s.f.). *2020 National Electrical Code (NEC)*.  
<https://www.esfi.org/2020-national-electrical-code/>

NFPA 70®: National Electrical Code® (NEC®) Handbook, 2014 Edition. National Fire Protection Association (NFPA). Recuperado de [shop.iccsafe.org](http://shop.iccsafe.org).

McPartland, J. F. (2012). McGraw-Hill's National Electrical Code Handbook (28th ed.). McGraw-Hill.

International Electrotechnical Commission. (s.f.). About the IEC. Recuperado el 20 de junio de 2024, de <https://www.iec.ch/about>.

Secretaría de Economía. (2021). "Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en Electricidad". Recuperado de [gob.mx](http://gob.mx).

Purdue Online Writing Lab. (2024). IEEE Overview. Recuperado de Purdue OWL

Secretaría de Economía. (2021). "Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en Electricidad". Recuperado de [gob.mx](http://gob.mx).

Fluke Corporation. (2023). Earth Ground Testers. Recuperado de <https://www.fluke.com/en-us/product/electrical-testing/ground-resistance-testers>

Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (n.d.). Grounding and Testing. Recuperado de <https://selinc.com>

Boylestad, R. L. (2004). Introducción al análisis de circuitos (12ª ed.). Prentice Hall.

Chrzan, W., & Nemenyi, M. (2018). Grounding Systems: A Comparative Study of NEC and IEC Standards. IEEE Transactions on Industry Applications, 54(4), 3201-3210. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2835782>

Homan, D. M., & Bell, T. R. (2019). Cost Analysis of Grounding Systems: NEC vs. IEC Standards. Journal of Electrical Engineering, 66(3), 215-223. <https://doi.org/10.1109/JEE.2019.2906714>

National Fire Protection Association. (2020). About NFPA. Retrieved from <https://www.nfpa.org/About-NFPA>

Serrano Rodríguez, J. (2011). Matemáticas financieras y evaluación de proyectos (2ª ed.). Bogotá: Alfaomega.

Ministerio de Educación Pública, Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo. (2025). 08. Laboratorio de cómputo 72 m<sup>2</sup> HN DIE 2025 [Planos arquitectónicos y eléctricos]. Recuperado el 9 de enero de 2026, de

[https://die.mep.go.cr/sites/all/files/diee\\_mep\\_go\\_cr/planos/08.\\_laboratorio\\_de\\_computo\\_72\\_m2\\_hn\\_die\\_2025.pdf](https://die.mep.go.cr/sites/all/files/diee_mep_go_cr/planos/08._laboratorio_de_computo_72_m2_hn_die_2025.pdf)

Ministerio de Educación Pública, Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo. (2018). Catálogo de Prototipos DIE – 2018 [Documento técnico]. Recuperado el 9 de enero de 2026, de [https://die.mep.go.cr/sites/all/files/diee\\_mep\\_go\\_cr/docs/catalogo-2018-.pdf](https://die.mep.go.cr/sites/all/files/diee_mep_go_cr/docs/catalogo-2018-.pdf)

Ministerio de Educación Pública, Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo. (2021, 23 de septiembre). Especificaciones técnicas de prototipos DIE [Documento técnico]. Recuperado el 9 de enero de 2026, de [https://die.mep.go.cr/sites/all/files/diee\\_mep\\_go\\_cr/docs/especificaciones\\_tecnicas\\_prototipos\\_die\\_23\\_sept.\\_2021.pdf](https://die.mep.go.cr/sites/all/files/diee_mep_go_cr/docs/especificaciones_tecnicas_prototipos_die_23_sept._2021.pdf)

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1999). IEEE Std 1100-1999: IEEE recommended practice for powering and grounding electronic equipment (Emerald Book). IEEE.

Schneider Electric. (2010). Guía de diseño de instalaciones eléctricas según normas internacionales IEC (4.ª ed.). Schneider Electric España, S.A.

BDO Costa Rica. (2025). Adjustment to CCSS employer-employee contributions effective January 2026.

Recuperado el 10 de febrero de 2026, de <https://www.bdo.cr/en-gb/insights/2025/costa-rica-adjustment-to-ccss-employer-employee-contributions-effective-january-2026>

Dentons. (2025). Triennial increase for Disability, Old Age and Death contribution. Recuperado el 10 de febrero de 2026, de <https://www.dentons.com>

La Nación. (2025). Cargas sociales en Costa Rica 2026. Recuperado el 10 de febrero de 2026, de <https://www.nacion.com>

Officium Legal. (2026). Aumento de cuotas obrero-patronales. Recuperado el 10 de febrero de 2026, de <https://blog.officiumlegal.com>

Costa Rica Law. (2024). Employer obligations for employee insurance with the CCSS.

Recuperado el 10 de febrero de 2026, de <https://costaricalaw.com>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2019). Precios sociales en Costa Rica. Recuperado el 11 de febrero de 2026, de <https://www.mideplan.go.cr/precios-sociales>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2019). Metodología sobre el cálculo de precios sociales para el análisis económico de proyectos de inversión pública en Costa Rica. Recuperado el 11 de febrero de 2026, de <https://www.mideplan.go.cr/node/1548>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2019). Precios sociales en Costa Rica. Recuperado el 11 de febrero de 2026 de <https://www.mideplan.go.cr/precios-sociales>

Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo. (2022). Guía para la formulación y evaluación de proyectos de inversión pública. Recuperado el 11 de febrero de 2026 de [https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/methodology/Guia\\_proyectos\\_inversion.pdf](https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/methodology/Guia_proyectos_inversion.pdf)

Puget Systems. (2019). Most Reliable PC Hardware of 2018. Recuperado el 11 de febrero de 2026 de <https://www.pugetsystems.com/labs/articles/most-reliable-pc-hardware-of-2018-1322/>

Ross, S. (2014). Introduction to Probability Models (11th ed.). Academic Press. Walmart Costa Rica. (s. f.). Laptops — catálogo comercial. Recuperado el 11 de febrero de 2026 de <https://www.walmart.co.cr/electronica/computacion/laptops>

Ross, S. (2014). Introduction to Probability Models (11th ed.). Academic Press.

Walmart Costa Rica. (s. f.). Laptops — catálogo comercial. Recuperado el 11 de febrero de 2026 de <https://www.walmart.co.cr/electronica/computacion/laptops>

Leviton Manufacturing Co., Inc. (s. f.). 5362-IG: Isolated ground duplex receptacle [Imagen del producto]. Recuperado el 12 de febrero de 2026, de <https://leviton.com/products/5362-ig>

ANKO. (s. f.). GFCI outlet 15 amp, UL listed, self-test GFI receptacle [Imagen del producto]. Recuperado el 12 de febrero de 2026, de <https://www.amazon.com/ANKO-Tamper-Resistant-Resistant-Receptacle-Indicator/dp/B09J9BSN4B>

Gómez Expósito, A. (2011). Instalaciones eléctricas de baja tensión. McGraw-Hill.

Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. (2023). Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios 2023. <https://www.bomberos.go.cr/wp-content/uploads/2023/03/RNPCI-2023.pdf>

Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. (s.f.). Consideraciones de los sistemas eléctricos. Recuperado el 5 de mayo de 2026, de <https://www.bomberos.go.cr/5-consideraciones-de-los-sistemas-electricos/>

Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. (2019). Manual de disposiciones técnicas generales sobre seguridad humana y protección contra incendios. San José, Costa Rica. Recuperado de: <https://www.bomberos.go.cr/wp-content/uploads/2019/09/Manual-de-Disposiciones-Tecnicas-Generales-sobre-Seguridad-Humana-y-Proteccion-Contra-Incendios.pdf>

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2007). IEEE Std 493-2007: IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems (Gold Book). IEEE Power and Energy Society.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2017). IEEE Std 1458-2017: IEEE Recommended Practice for the Selection, Field Testing, and Life Expectancy of Molded-Case Circuit Breakers for Industrial Applications. IEEE Industry Applications Society.

Ministerio de Hacienda de Costa Rica. (2023). Manual de valores base unitarios por tipología constructiva. Órgano de Normalización Técnica. Recuperado de: <https://www.santaana.go.cr/wp-content/uploads/2022/08/Manual-de-Tipologia-Constructiva-2023.pdf>

# ANEXOS

## Anexo A, diseño de prototipo.

**PANEL LATERAL A COMPUTAR CUANDO**  
PUNTO CONTINGENTE DE ALTA BARRERA  
DEFINIR PLAN BASE DEL TUBO

**PANEL LATERAL A COMPUTAR CUANDO**  
PUNTO CONTINGENTE DE ALTA BARRERA  
DEFINIR PLAN BASE DEL TUBO

**LABORATORIO DE COMPUTO**  
72m<sup>2</sup> HN

**PLANTA ARQUITECTÓNICA**

**PLANTA ARQUITECTÓNICA DE TIPO**

**SECCIÓN PRINCIPAL**

**ELEVACIÓN LATERAL DERECHA**

**ELEVACIÓN POSTERIOR**

**ACABADOS DE PINTURAS ANTIFUEGO**

**TABLA DE ACABADOS**

**NOTAS**

**SIMBOLOGÍA**

**MOBILIARIO**

**ACABADOS PARA BAÑOS, REVESTIMIENTOS Y MUEBLES**

**PROYECTO:** LABORATORIO DE COMPUTO 72m<sup>2</sup> HN

**CONTRATANTE:** INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

**PROYECTISTA:** ESTUDIO DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

**FECHA:** 15/08/2018

**ESCALA:** 1:50

**HOJA:** A-01

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/17

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/18

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/19

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/20

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/21

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/22

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/23

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/24

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/25

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/26

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/27

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/28

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/29

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/30

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/31

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/32

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/33

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/34

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/35

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/36

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/37

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/38

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/39

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/40

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/41

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/42

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/43

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/44

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/45

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/46

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/47

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/48

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/49

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/50

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/51

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/52

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/53

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/54

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/55

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/56

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/57

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/58

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/59

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/60

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/61

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/62

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/63

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/64

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/65

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/66

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/67

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/68

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/69

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/70

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/71

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/72

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/73

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/74

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/75

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/76

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/77

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/78

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/79

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/80

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/81

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/82

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/83

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/84

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/85

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/86

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/87

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/88

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/89

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/90

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/91

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/92

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/93

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/94

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/95

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/96

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/97

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/98

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 15/99

**DE:** 15/08/2018

**HOJA:** 16/00

**DE:** 15/08/2018











## Anexo C: Correo electrónicos recibidos del DIE.

9/2/26, 10:42

Correo: Jeffrey Andres Lopez Garita - Outlook

 Outlook

RE: Solicitud de información técnica sobre prototipo de laboratorio de cómputo (CTP)

Desde Juan Pablo Piedra Angulo <pablo.piedra.angulo@mep.go.cr>

Fecha Lun 12/1/2026 14:56

Para Jeffrey Andres Lopez Garita <jeffry.lopez.garita@mep.go.cr>

CC Mario Shedden Harris <mario.shedden.harris@mep.go.cr>; Eddie Calderon Lobo <eddie.calderon.lobo@mep.go.cr>; Johanna Marchena Rodriguez <johanna.marchena.rodriguez@mep.go.cr>

3 archivos adjuntos (4 MB)

PRESUPUESTO LAB COMPUTO 72M2 HN 2025.pdf; ESPECIFICACIONES TECNICAS LAB COMPUTO 72M2 HN 2025.pdf; Decreto-del-Codigo-Elctrico-de-Costa-Rica.pdf;

Buenas tardes

Sr. Jeffrey Lopez Garita  
Educación Electrotécnica

Por este medio le saludo y a la vez procedo a suministrarle la información solicitada.

Se adjunta en formato PDF, las especificaciones técnicas para obras eléctricas en infraestructura educativa, de las cual se brinda respuesta a las consulta N° 3 y 4.

Además se adjunta copia en PDF del presupuesto referencial de la obra eléctrica para el **Aula de cómputo 72m2 versión HN 2025**, así como información relevante del tema, para dar respuesta a las demás consultas.

### 1. Memoria de cálculo del diseño eléctrico.

Lastimosamente, no se cuenta con la memoria de calculo para el diseño eléctrico, dado que obedecen a una contratación del 2016, los cuales se están actualizando la versión al año 2025, ahora bien, el diseño eléctrico lo realiza un Ingeniero Eléctrico o electromecánico colegiado y lo se realiza tomando como base la norma NFPA 70, conocido como NEC 2020 (Código Eléctrico Nacional), así como los diferentes Decretos Ejecutivos vigentes a nivel nacional (MEIC-36979 y posteriores).

#### Tomacorrientes y salidas de potencia:

a. **Voltaje Estándar:** El sistema nacional estandar opera a **120V** para tomas generales y **240V** para equipos de alta potencia (cocinas, tanques de agua caliente, etc).

b. **Configuración Física: Tipo B polarizados** (dos planas más una redonda de tierra).

c. **Resistencia a la Manipulación (TR):** Según la sección 406.12 del NEC, es obligatorio el uso de tomacorrientes marcados como **"Tamper Resistant" (TR)** en unidades educacionales y otras áreas específicas si se instalan a menos de **1.7 metros** de altura.

d. **Protección GFCI:** Es indispensable instalar tomacorrientes con **Interruptor de Circuito por Falla a Tierra (GFCI)** en áreas húmedas como cocinas, baños, áreas de lavandería y exteriores para prevenir descargas eléctricas.

e. **Puesta a Tierra:** Todos los tomacorrientes en construcciones nuevas **deben contar con polo a tierra** para desviar sobrecargas y proteger los aparatos.

f. **Cableado Recomendado:** Se debe utilizar cable **calibre 12 AWG** (preferible) o mínimo 14 AWG para circuitos de iluminación general.

g. **Alturas Comunes:** Aunque el NEC no dicta una altura mínima obligatoria para áreas generales, se recomienda instalarlos entre **30 y 40 cm** desde el nivel de piso terminado (AFF) por práctica estándar, o bien a 1,20m NSPT en zonas inundables.

#### Iluminación:

En Costa Rica, el **Código Eléctrico Nacional NEC 2020 NFPA 70**, rige el diseño de iluminación, enfocándose en la seguridad (protección contra fallas a tierra, interruptores de tres vías en pasillos) y exigiendo requisitos mínimos de carga (10 VA/m<sup>2</sup>) y materiales certificados (UL, NOM-ANCE, CSA, ETL etc.). El NEC no es un manual de buen desempeño, sino de seguridad, por lo que se complementa con manuales de diseño para detalles como caída de voltaje y crecimiento futuro, requiriendo planeación de cableado y la selección adecuada de componentes certificados para cumplir con las normas locales.

- **Requisitos Mínimos:** Las instalaciones deben considerar una carga mínima de 10 VA por metro cuadrado para circuitos de iluminación.

- **Pasillos:** Pasillos de más de 3.05 metros requieren iluminación adecuada y controles de tres vías en cada extremo.

- **Materiales Certificados:** Se deben usar materiales y equipos con certificaciones nacionales (ECA) o internacionales (UL, CSA, IEC) reconocidas, seleccionados por profesionales.

#### Ventilación:

<https://outlook.office.com/mail/inbox/id/AAQkAGFmOTEyM2JLTihYjMNDhhOS05MmJhLWUxYzY4NDg1ZTUxOAAQAOkvbb1DbNpGg%2FZskNeYR7A%3D>

1/6

El diseño de ventilación para edificaciones humanas se rige por la el uso de normas internacionales como ASHRAE y NFPA, además del Código Eléctrico Nacional (NEC) (NFPA 70) para aspectos eléctricos, con la reciente oficialización de la versión NEC 2020. La normativa se centra en la seguridad, definiendo requisitos para la ventilación mecánica y complementando el NEC, que, aunque enfocado en electricidad, indirectamente afecta la ventilación al exigir protecciones (GFCI/AFCI) y requisitos de instalación.

**Acometidas eléctricas:**

El **Código Eléctrico Nacional (NEC 2020)** exige dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) y mejoras en la seguridad, como interruptores GFCI y medios de desconexión de emergencia, aplicando el estándar de la NFPA 70 para proteger vidas y propiedades. Los cambios recientes, oficializados en 2024, enfatizan la instalación de supresores en las acometidas de unidades educacionales nuevas y la necesidad de un buen sistema de puesta a tierra (idealmente <25 Ohm), con asesoramiento profesional y equipos certificados (UL 1449).

2. Lista de materiales eléctricos asociada al prototipo.

Se adjunta Presupuesto referencial actualizado.

3. Criterios de diseño utilizados (cargas, protecciones, canalizaciones, puesta a tierra, entre otros).

Se adjunta manual de Especificaciones técnicas eléctricas para infraestructura educativa.

4. Cualquier otra documentación técnica relacionada con el prototipo de laboratorio de cómputo.

Se adjunta información acerca del Decreto Ejecutivo y el CIEMI.

Quedo atento a cualquier consulta, y espero haber respondido a las efectuadas.

Saludos cordiales

	<b>MINISTERIO DE EDUCACIÓN PÚBLICA</b>	<b>GOBIERNO DE COSTA RICA</b>	<p><b>Juan Pablo Piedra Angulo</b> Departamento de Soporte Dirección de Infraestructura Educativa</p> <p>📍 Edificio Antigua Embajada Americana / San José, Calle 1, entre Avenida 1 y 3 📞 2221-4808 Ext. 3613 ✉ Correo <a href="mailto:jpablo.piedra.angulo@mep.go.cr">jpablo.piedra.angulo@mep.go.cr</a> 🌐 <a href="https://gic.mep.go.cr/">https://gic.mep.go.cr/</a></p>
---	--	-----------------------------------	---

De: Edier Navarro Esquivel <edier.navarro.esquivel@mep.go.cr>

Enviado: lunes, 12 de enero de 2026 8:40

Para: Infraestructura MEP <infraestructuramep@mep.go.cr>

Cc: Mario Shedden Harris <mario.shedden.harris@mep.go.cr>; Juan Pablo Piedra Angulo <jpablo.piedra.angulo@mep.go.cr>

Asunto: RE: Solicitud de información técnica sobre prototipo de laboratorio de cómputo (CTP)

Buenos días señores, un gusto saludarlos y a la vez quiero indicar que desconozco a que se refieren la solicitud del correo que antecede, pareciera que es para otra instancia y no para esta Auditoría Interna

Asimismo, quedo a las órdenes.

Saludos cordiales

	<b>MINISTERIO DE EDUCACIÓN PÚBLICA</b>	<b>GOBIERNO DE COSTA RICA</b>	<p><b>Jeffrey López Garita</b>  <b>Profesor de Enseñanza Técnico Profesional</b>  <b>Colegio Técnico Profesional Padre Roberto</b>  <b>Evans Saunders</b>  300 metros sur de correos de Costa Rica, sucursal  Siquirres  8887-1835  jeffry.lopez.garita@mep.go.cr  www.mep.go.cr</p>
---	--	-----------------------------------	--

**De:** Juan Pablo Piedra Angulo <pablo.piedra.angulo@mep.go.cr>

**Enviado:** martes, 20 de enero de 2026 09:10

**Para:** Jeffrey Andres Lopez Garita <jeffry.lopez.garita@mep.go.cr>

**Asunto:** RE: Solicitud de información técnica sobre prototipo de laboratorio de cómputo (CTP)

Buenos días don Jeffrey

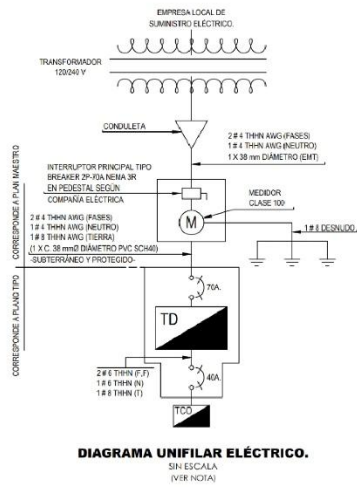
Con gusto le doy respuesta a sus consultas:

¿Los electrodos de puesta a tierra que dimensiones y características poseen, diámetro largo, cantidad? ¿Presentan una configuración geométrica y distancias entre ellas?

Para el sistema de puesta a tierra se realizan pruebas de resistividad del terreno, para evaluar la cantidad de varillas de puesta a tierra que se utilizarán, sin embargo, con tres varillas se asegura una resistividad baja en la mayoría de terrenos de Costa Rica.

Los materiales para el sistema de puesta a tierra ( que forma parte de la acometida eléctrica) son:

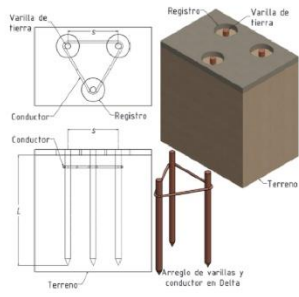
3 VARILLAS DE PUESTA A TIERRA COPERWELD COBRE 3m (largo) X 19mm(diámetro), ULLISTED  
30,00 m. CABLEADO DESNUDO #8 AWG 30,00 m (calibre depende del plan maestro)  
9,00 und. CARGA SOLDADURA EXOTÉRMICA CABLE 3/0 - VARILLA-CABLE 3/0  
1 MOLDE PARA SOLDADURA EXOTÉRMICA CABLE 3/0-VARILLA-CABLE 3/0  
1,00 und. BARRA DE COBRE DE 50cm x 10cm x 7mm DE ESPESOR CON AISLADORES Y PERFORACIONES ROSCADAS Y SOPORTE  
6 TERMINAL DE ENTALLAR TIPO OJO PARA CABLE #3/0 AWG  
4,00 und. ANCLAJE TIPO PRISIONERO CON TUERCA, ARANDELA PLANA Y DE PRESION 3/8" X 2"



La configuración de las varillas depende del espacio disponible en sitio, idealmente se realiza mediante un triángulo equilátero, en donde las varillas se separan la distancia de su largo, se decir, 3 metros o más para evitar el apantallamiento, sin embargo, dicha separación se puede calcular. También se puede colocar el línea recta, conectando la primer varilla y la última para cerrar el anillo de cable. O bien en otras configuraciones, dependiente de la necesidad de resistividad requerida, según se muestra en la ultima imagen.

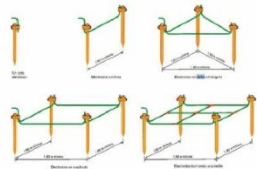
9/2/26, 10:49

Correo: Jeffrey Andres Lopez Garita - Outlook



$$R_{\Delta} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 + \frac{2L}{s} \right]$$

$R_{\Delta}$ : Resistencia a tierra de la Delta [Ω]  
 $L$ : Longitud enterrada de las varillas [m]  
 $d$ : Diámetro de las varillas [m]  
 $\rho$ : Resistividad del terreno [Ω·m]  
 $s$ : Longitud de un lado del triángulo equilátero [m]  
 $\ln$ : Logaritmo natural



Saludos cordiales

<https://outlook.office.com/mail/inbox/id/AAQkAGFmOTEyM2JLTlhYjMNDhhOS05MmJhLWUxYzY4NDg1ZTUxOAAQAOkvbb1DbNpGg%2FZskNeYR7A%3D>

5/12


**RE: Solicitud de información técnica sobre prototipo de laboratorio de cómputo (CTP)**

Desde Juan Pablo Piedra Angulo <pablo.piedra.angulo@mep.go.cr>

Fecha Mié 4/2/2026 08:28

Para Jeffrey Andres Lopez Garita <jeffry.lopez.garita@mep.go.cr>

CC Mario Shedden Harris <mario.shedden.harris@mep.go.cr>; Eddie Calderon Lobo <eddie.calderon.lobo@mep.go.cr>; Johanna Marchena Rodriguez <johanna.marchena.rodriguez@mep.go.cr>

📎 1 archivo adjunto (552 KB)

Requerimientos Técnicos de Equipos de Telecomunicaciones- Mayo 2024 (1).pdf

Buenos días don Jeffry

A continuación doy respuesta a las consultas planteadas acerca del Aula de Computo 72m2.

**1. Tomacorrientes de tierra aislada (IG):**

¿Cuál es el criterio técnico para la utilización de tomacorrientes de tierra aislada de grado hospitalario en los laboratorios de cómputo institucionales?

R/

La selección de Tomacorrientes de Tierra aislada se fundamenta en la designación de grados **NEMA según ANSI/UL 498**. Un tomacorriente con polo a tierra aislado está diseñado para ofrecer una trayectoria de tierra independiente y libre de interferencias, con el fin de que se minimice la captación de señales eléctricas transitorias. De esta forma, dispositivos que dependen de precisión, como los de entornos hospitalarios o tecnológicos, operan con mayor confiabilidad.

Se seleccionan tomacorrientes IG grado Hospitalario por que cuentan con un ensamble reforzado, una alta confiabilidad de conexión a tierra y una mayor fuerza de retención y durabilidad.

**2. Vida útil del laboratorio:**

¿Existe una estimación oficial o criterio institucional sobre la vida útil esperada de los laboratorios de cómputo construidos bajo el prototipo estándar de la DIE-MEP?

R/

No existe una estimación oficial al respecto, sin embargo, los planos eléctricos TIPO DIE se modificaron con la oficialización de entrada en vigencia del Código Eléctrico en 2014 y se actualizan en frecuencias cercanas a cada 2 años. Ahora bien, la inclusión de aulas de computo en los Centros educativos dependen de la modalidad informática que posean, dado que ha sido común recientemente la dotación de computadoras portátiles en modalidad MOVILAB, lo que hace prescindible la necesidad física del aula de computo.

A nivel general de equipos, generalmente la vida útil estimada suele ser de 3 a 5 años antes de requerir una actualización mayor o reemplazo de equipos por capacidad o sistemas operativos.

**2. Criterios financieros (VAN y TIR):**

Para efectos del análisis económico del proyecto, ¿el MEP maneja alguna tasa de descuento, tasa social o porcentaje de referencia para el cálculo de indicadores financieros como la TIR (Tasa Interna de Retorno) y la VAN (Valor Actual Neto)?

Asimismo, ¿la vida útil del laboratorio es el parámetro utilizado como horizonte temporal para dichos cálculos?

R/

No se cuenta con estudios financieros que permitan calcular la rentabilidad de la inversión, en el entendido de que no existen procesos oficiales que permitan inyectar flujos de ingresos de efectivo anuales en las aulas de computo. Por lo tanto, resulta complicado calcular la tasa de rendimiento del proyecto y su viabilidad en función del tiempo para determinar cuanto tiempo se tarda en recuperar la inversión.

**3. Análisis financiero o de costos:**

En caso de que exista algún análisis financiero, estudio de costos o documento técnico institucional relacionado con estos proyectos, agradecería enormemente si fuese posible contar con dicha información como referencia académica.

9/2/26, 10:49

Correo: Jeffrey Andres Lopez Garita - Outlook

R/

Solamente se cuenta en el presupuesto de costos suministrado en el primer correo de respuesta, lamentablemente no se cuenta con ningún análisis financiero al respecto. Sin embargo, para su información, adjunto la lista de requerimientos de servicio y equipamiento según demanda de acuerdo a la categoría del Centro Educativo.

Quedo atento a cualquier consulta

Saludos cordiales

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN PÚBLICA** | GOBIERNO DE COSTA RICA

**Juan Pablo Piedra Angulo**  
Departamento de Soporte  
Dirección de Infraestructura Educativa

Edificio Antigua Embajada Americana / San José,  
Calle 1, entre Avenida 1 y 3  
2221-4808 Ext. 3013  
Correo: [jpablo.piedra.angulo@mep.go.cr](mailto:jpablo.piedra.angulo@mep.go.cr)  
<https://dies.mep.go.cr/>

De: Jeffrey Andres Lopez Garita <[jeffry.lopez.garita@mep.go.cr](mailto:jeffry.lopez.garita@mep.go.cr)>

Enviado: martes, 3 de febrero de 2026 17:27

Para: Juan Pablo Piedra Angulo <[pablo.piedra.angulo@mep.go.cr](mailto:pablo.piedra.angulo@mep.go.cr)>

Cc: Mario Shedden Harris <[mario.shedden.harris@mep.go.cr](mailto:mario.shedden.harris@mep.go.cr)>; Eddie Calderon Lobo <[eddie.calderon.lobo@mep.go.cr](mailto:eddie.calderon.lobo@mep.go.cr)>; Johanna Marchena Rodriguez <[johanna.marchena.rodriguez@mep.go.cr](mailto:johanna.marchena.rodriguez@mep.go.cr)>

Asunto: RE: Solicitud de información técnica sobre prototipo de laboratorio de cómputo (CTP)

Saludos cordiales,

Reciba un cordial saludo. Agradezco profundamente la información brindada previamente, la cual ha sido de gran utilidad para el desarrollo de mi trabajo de investigación universitaria.

De manera atenta, me permito realizar las siguientes consultas técnicas relacionadas con los laboratorios de equipo de cómputo diseñados por la Dirección de Infraestructura y Equipamiento Educativo (DIE-MEP):

- 1. Tomacorrientes de tierra aislada (IG):**  
¿Cuál es el criterio técnico para la utilización de tomacorrientes de tierra aislada de grado hospitalario en los laboratorios de cómputo institucionales?
- 2. Vida útil del laboratorio:**  
¿Existe una estimación oficial o criterio institucional sobre la vida útil esperada de los laboratorios de cómputo construidos bajo el prototipo estándar de la DIE-MEP?
- 3. Criterios financieros (VAN y TIR):**  
Para efectos del análisis económico del proyecto, ¿el MEP maneja alguna tasa de descuento, tasa social o porcentaje de referencia para el cálculo de indicadores financieros como la TIR (Tasa Interna de Retorno) y la VAN (Valor Actual Neto)?  
Asimismo, ¿la vida útil del laboratorio es el parámetro utilizado como horizonte temporal para dichos cálculos?
- 4. Análisis financiero o de costos:**  
En caso de que exista algún análisis financiero, estudio de costos o documento técnico institucional relacionado con estos proyectos, agradecería enormemente si fuese posible contar con dicha información como referencia académica.

Agradezco sinceramente el tiempo y la atención brindada, así como el valioso apoyo que me han ofrecido para el desarrollo de esta investigación.

Quedo atento a cualquier información adicional que puedan facilitarme.

<https://outlook.office.com/mail/inbox/id/AAQkAGFmOTEyM2JLTlhYjMNDhhOS05MmJhLWUxYzY4NDg1ZTUxOAAQAOkvbb1DbNpGg%2FZskNeYR7A%3D>

2/12

## Anexo D: cotización de materiales y estimación costos.



### ELECTRO MAZ LTDA

Sucursal Tibás  
3-102-186909  
COLIMA DE TIBÁS. 50M OESTE DE METALCO  
40002997  
contabilidad@mazcr.com

### Cotización No.00272123

<b>Cliente:</b>	JEFFRY LÓPEZ GARITA	<b>Vendedor:</b>	SHONILL BRAYAM
<b>Teléfono:</b>	00000000	<b>Correo:</b>	ventasguapiles@mazcr.com
<b>Contacto:</b>	RETIRA EN TIBÁS	<b>Teléfono:</b>	4000-2997
<b>Dirección:</b>	SAN JOSÉ - SAN JOSÉ / Dirección	<b>Moneda:</b>	Colones
<b>Email:</b>	contabilidad@mazcr.com	<b>Tipo Pago:</b>	Contado
<b>Fecha:</b>	04-02-2026	<b>T. Entrega:</b>	ENTREGA INMEDIATA SALVO VENTA PREVIA

Línea	Código	Código Cabys	Descripción	Cantidad	Precio Uni.	Total
1	04-50-249	4634002019900.0	CABLE TM MULTILINE VVK TIPO TSJ DE 3 LINEAS X 2.5MM2 COLOR EXTERNO NEGRO SIMILAR A 14AWGVOLTAJE MAXIMO DE TRABAJO 600 VOLTIOS	11.00	1,015.34	11,168.74
2	04-30-080	4621205000200	INTERRUPTOR DOBLE 1 VIA 16A 125V BLANCO NEW3-V CHINT	1.00	2,427.54	2,427.54
3	04-30-057	4621206990100	TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO 15A 125V BLANCO NEW3-V CHINT	10.00	2,042.29	20,422.90
4	04-30-059	4621206999900	MODULO TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO 15A 125V BLANCO NEW3-V CHINT	19.00	1,627.54	30,923.26
5	04-30-055	3695099010000	PLACA ROJA 3 GANG NEW3-V CHINT	19.00	808.87	15,368.53

<b>Monto en letras:</b>	NOVENTA MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y UNO CON 40/100
<b>Validez de Cotización:</b>	15
<b>Fecha de Vencimiento:</b>	04/02/2026
<b>Términos y condiciones</b>	Para facturaciones a crédito, es necesario recibir su orden de compra. Proyectos, fabricaciones y producto especial, aplica el tiempo de entrega a partir del pago por anticipo de 50%. Las garantías de nuestros productos están sujetas a las condiciones de fábrica.

<b>Subtotal:</b>	c	80,310.97
<b>Descuento:</b>	c	0.00
<b>Total:</b>	c	80,310.97
<b>Impuesto:</b>	c	10,440.43
<b>Otros cargos:</b>	c	0.00
<b>Total Neto:</b>	c	90,751.40

\*\*\*Con la aceptación de esta cotización, acepta términos y condiciones. Esta propuesta es nuestra interpretación de su requerimiento, por favor revisar que cumpla con su necesidad.

#### Números de cuenta:

**BN colones**  
CUENTA CORRIENTE: 100-01-000-213349-4  
Cuenta Cliente: 15100010012133490  
Cuenta IBAN: CR57015100010012133490

**BN dolares**  
CUENTA CORRIENTE: 100-02-000-617343-9  
Cuenta Cliente: 15100010026173435  
Cuenta IBAN: CR64015100010026173435

Por favor hacer referencia del número de cotización en su orden de compra o depósito.



## ELECTRO MAZ LTDA

Sucursal Tibás  
3-102-186909  
COLIMA DE TIBÁS, 50M OESTE DE METALCO  
40002997  
contabilidad@mazcr.com

### Cotización No.00272124

<b>Cliente:</b>	JEFFRY LÓPEZ GARITA 3	<b>Vendedor:</b>	SHONILL BRAYAM
<b>Teléfono:</b>	00000000	<b>Correo:</b>	ventasguapiles@mazcr.com
<b>Contacto:</b>	RETIRA EN TIBÁS	<b>Teléfono:</b>	4000-2997
<b>Dirección:</b>	SAN JOSÉ - SAN JOSÉ / Dirección	<b>Moneda:</b>	Colones
<b>Email:</b>	contabilidad@mazcr.com	<b>Tipo Pago:</b>	Contado
<b>Fecha:</b>	04-02-2026	<b>T. Entrega:</b>	24 HORAS HABILES LABORALES/ BAJO CANCELACIÓN

Línea	Código	Código Cabys	Descripción	Cantidad	Precio Uni.	Total
1	01-00-071	4299905990600	CABLE TM SUPERFLEX H07V-K 1 LINEAX 16MM2 COLOR EXTERNO VERDE-AMARILLO SIMILAR A 6AWG VOLTAJE MAXIMO DE TRABAJO 600 VOLTIOS	60.00	2,870.00	172,200.00
2	04-50-284	4634002019900.0	CABLE TM SUPERFLEX H07V-K 1 LINEAX 4MM2 COLOR EXTERNO VERDE-AMARILLO SIMILAR A 12AWG VOLTAJE MAXIMO DE TRABAJO 600 VOLTIOS	550.00	368.31	202,570.50
3	04-50-289	4634002019900.0	CABLE TM SUPERFLEX H07V-K 1 LINEAX 10MM2 COLOR EXTERNO VERDE-AMARILLO SIMILAR A 8AWG VOLTAJE MAXIMO DE TRABAJO 600 VOLTIOS	24.00	970.55	23,293.20

<b>Monto en letras:</b>	CUATROCIENTOS CUARENTA Y NUEVE MIL OCHOCIENTOS ONCE CON 98/100
<b>Validez de Cotización:</b>	15
<b>Fecha de Vencimiento:</b>	04/02/2026
<b>Términos y condiciones</b>	Para facturaciones a crédito, es necesario recibir su orden de compra. Proyectos, fabricaciones y producto especial, aplica el tiempo de entrega a partir del pago por anticipo de 50%. Las garantías de nuestros productos están sujetas a las condiciones de fábrica.

<b>Subtotal:</b>	¢	398,063.70
<b>Descuento:</b>	¢	0.00
<b>Total:</b>	¢	398,063.70
<b>Impuesto:</b>	¢	51,748.28
<b>Otros cargos:</b>	¢	0.00
<b>Total Neto:</b>	¢	449,811.98

\*\*\*Con la aceptación de esta cotización, acepta términos y condiciones. Esta propuesta es nuestra interpretación de su requerimiento, por favor revisar que cumpla con su necesidad.

#### Números de cuenta:

##### BN colones

CUENTA CORRIENTE: 100-01-000-213349-4

Cuenta Cliente: 15100010012133490

Cuenta IBAN: CR57015100010012133490

##### BN dolares

CUENTA CORRIENTE: 100-02-000-617343-9

Cuenta Cliente: 15100010026173435

Cuenta IBAN: CR64015100010026173435

Por favor hacer referencia del número de cotización en su orden de compra o depósito.

Línea	Código	Código Cabys	Descripción	Cantidad	Precio Uni.	Total
7	01-00-071	4299905990600	Aislador tipo granada, color rojo, inciertos de bronce, 6Kv, 12 Lb de torque, 700Lb de tensión, 45mm de diámetros y 38 mm de altura, para tornillo de 3/8 rosca 16 hilos	2.00	3,366.00	6,732.00
8	01-00-071	4299905990600	2 Tornillo de acero inoxidable de 10mm x 010mm, 3/8 X 1/2 cabeza hexagonal 2 Tornillo de acero inoxidable de 10mm x 019mm, 3/8 X 3/4 cabeza hexagonal 2 Arandela de acero inoxidable plana 10mm para Tornillos de 3/8 2 Arandela de acero inoxidable presión 10mm para Tornillos de 3/8	1.00	1,000.00	1,000.00

<b>Monto en letras:</b>	TRESCIENTOS QUINCE MIL SEISCIENTOS CATORCE CON 65/100
<b>Validez de Cotización:</b>	15 _____
<b>Fecha de Vencimiento:</b>	04/02/2026
<b>Términos y condiciones</b>	Para facturaciones a crédito, es necesario recibir su orden de compra. Proyectos, fabricaciones y producto especial, aplica el tiempo de entrega a partir del pago por anticipo de 50%. Las garantías de nuestros productos están sujetas a las condiciones de fábrica.

<b>Subtotal:</b>	¢	279,305.00
<b>Descuentos:</b>	¢	0.00
<b>Total:</b>	¢	279,305.00
<b>Impuesto:</b>	¢	36,309.65
<b>Otros cargos:</b>	¢	0.00
<b>Total Neto:</b>	¢	315,614.65

\*\*\*Con la aceptación de esta cotización, acepta términos y condiciones. Esta propuesta es nuestra interpretación de su requerimiento, por favor revisar que cumpla con su necesidad.

**Números de cuenta:**

**BN colones**

**CUENTA CORRIENTE: 100-01-000-213349-4**

**Cuenta Cliente: 15100010012133490**

**Cuenta IBAN: CR57015100010012133490**

**BN dolares**

**CUENTA CORRIENTE: 100-02-000-617343-9**

**Cuenta Cliente: 15100010026173435**

**Cuenta IBAN: CR64015100010026173435**

Por favor hacer referencia del número de cotización en su orden de compra o depósito.



## ELECTRO MAZ LTDA

Sucursal Tibás  
3-102-186909  
COLIMA DE TIBÁS. 50M OESTE DE METALCO  
40002997  
contabilidad@mazcr.com

### Cotización No.00272125

<b>Cliente:</b>	JEFFRY LÓPEZ GARITA 2	<b>Vendedor:</b>	SHONILL BRAYAM
<b>Teléfono:</b>	00000000	<b>Correo:</b>	ventasguapiles@mazcr.com
<b>Contacto:</b>	RETIRA EN TIBÁS	<b>Teléfono:</b>	4000-2997
<b>Dirección:</b>	SAN JOSÉ - SAN JOSÉ / Dirección	<b>Moneda:</b>	Colones
<b>Email:</b>	contabilidad@mazcr.com	<b>Tipo Pago:</b>	Contado
<b>Fecha:</b>	04-02-2026	<b>T. Entrega:</b>	2 A 3 DIAS HABILES LABORALES/ BAJO CANCELACIÓN

Línea	Código	Código Cabys	Descripción	Cantidad	Precio Uni.	Total
1	04-45-252	4621299079900	TERMINAL DE COMPRESION DE OJO PARA CABLE 3/0 AWG ORIFICIO 1/2 PULGADAS DE BARRIL LARGO COBRE ELECTRO ESTAÑADO 600 VOLTIOS 90C CODIGO DE COLOR NARANJA	6.00	2,060.00	12,360.00
2	01-00-071	4299905990600	Varilla copperweld de 300cm de largo, 17.30mm, 3/4 de diametro con un recubrimiento 0,25mm, 10 mill, con sello UL,Marca INTELLI	3.00	16,425.00	49,275.00
3	01-00-071	4299905990600	Carga soldadura tradicional 115 gramos, soldar cobre o hierro, Marca KLK	9.00	5,432.00	48,888.00
4	01-00-071	4299905990600	Molde para conexion de cable #3/0 a varilla de copperweld de 3/4 (17,3MM)en la parte superior de la varilla, el cable continua, consume una carga de 115 gramos, marca KLK, M560 CR2	1.00	64,730.00	64,730.00
5	01-00-071	4299905990600	Barra de cobre de 1/4x4x20"	1.00	78,980.00	78,980.00
6	01-00-071	4299905990600	Soporte de acero inoxidable para Barra de cobre para tierra hasta 4	2.00	8,670.00	17,340.00

<b>Monto en letras:</b>	TRESCIENTOS QUINCE MIL SEISCIENTOS CATORCE CON 65/100
<b>Validez de Cotización:</b>	15
<b>Fecha de Vencimiento:</b>	04/02/2026
<b>Términos y condiciones</b>	Para facturaciones a crédito, es necesario recibir su orden de compra. Proyectos, fabricaciones y producto especial, aplica el tiempo de entrega a partir del pago por anticipo de 50%. Las garantías de nuestros productos están sujetas a las condiciones de fábrica.

<b>Subtotal:</b>	¢	279,305.00
<b>Descuento:</b>	¢	0.00
<b>Total:</b>	¢	279,305.00
<b>Impuesto:</b>	¢	36,309.65
<b>Otros cargos:</b>	¢	0.00
<b>Total Neto:</b>	¢	315,614.65

\*\*\*Con la aceptación de esta cotización, acepta términos y condiciones. Esta propuesta es nuestra interpretación de su requerimiento, por favor revisar que cumpla con su necesidad.

#### Números de cuenta:

##### BN colones

CUENTA CORRIENTE: 100-01-000-213349-4

Cuenta Cliente: 15100010012133490

Cuenta IBAN: CR57015100010012133490

##### BN dolares

CUENTA CORRIENTE: 100-02-000-617343-9

Cuenta Cliente: 15100010026173435

Cuenta IBAN: CR64015100010026173435

Por favor hacer referencia del número de cotización en su orden de compra o depósito.

Línea	Código	Código Cabys	Descripción	Cantidad	Precio Uni.	Total
7	01-00-071	4299905990600	Aislador tipo granada, color rojo, inciertos de bronce, 6Kv, 12 Lb de torque, 700Lb de tensión, 45mm de diámetros y 38 mm de altura, para tornillo de 3/8 rosca 16 hilos	2.00	3,366.00	6,732.00
8	01-00-071	4299905990600	2 Tornillo de acero inoxidable de 10mm x 010mm, 3/8 X 1/2 cabeza hexagonal 2 Tornillo de acero inoxidable de 10mm x 019mm, 3/8 X 3/4 cabeza hexagonal 2 Arandela de acero inoxidable plana 10mm para Tornillos de 3/8 2 Arandela de acero inoxidable presión 10mm para Tornillos de 3/8	1.00	1,000.00	1,000.00

<b>Monto en letras:</b>	TRESCIENTOS QUINCE MIL SEISCIENTOS CATORCE CON 65/100
<b>Validez de Cotización:</b>	15 _____
<b>Fecha de Vencimiento:</b>	04/02/2026
<b>Términos y condiciones</b>	Para facturaciones a crédito, es necesario recibir su orden de compra. Proyectos, fabricaciones y producto especial, aplica el tiempo de entrega a partir del pago por anticipo de 50%. Las garantías de nuestros productos están sujetas a las condiciones de fábrica.

<b>Subtotal:</b>	¢	279,305.00
<b>Descuentos:</b>	¢	0.00
<b>Total:</b>	¢	279,305.00
<b>Impuesto:</b>	¢	36,309.65
<b>Otros cargos:</b>	¢	0.00
<b>Total Neto:</b>	¢	315,614.65

\*\*\*Con la aceptación de esta cotización, acepta términos y condiciones. Esta propuesta es nuestra interpretación de su requerimiento, por favor revisar que cumpla con su necesidad.

**Números de cuenta:**

**BN colones**

**CUENTA CORRIENTE: 100-01-000-213349-4**

**Cuenta Cliente: 15100010012133490**

**Cuenta IBAN: CR57015100010012133490**

**BN dolares**

**CUENTA CORRIENTE: 100-02-000-617343-9**

**Cuenta Cliente: 15100010026173435**

**Cuenta IBAN: CR64015100010026173435**

Por favor hacer referencia del número de cotización en su orden de compra o depósito.





Electrocaribe S y C Sociedad Anónima

GUAPILES

Tipo de identificación Jurídica: 3101690307

emitido : 04/02/2026 10:09:38

Dirección: LIMON POCOCI GUAPILES

Teléfonos : 2710525227105252

E-mail : facturas@electrocaribesyc.com

Web : www.electrocaribe.com

Página : 1 de 1

v1.41

**Proforma : No. 217839**

Fecha **04/02/2026** Forma de pago : **CONTADO**

Cliente : 1 Jeffry Lopez Garita  
 Agente : MARCO VINICIO ROJAS GARBANZO  
 Envío : a  
 Observ.: [No se indica]

De acuerdo a su amable solicitud, nos es grato presentar a su consideración nuestra cotización como sigue :

#	Código	Descripción	Cantidad	Unitario	Subtotal
1	20504KNVK	CABLE THHN #4 NEGRO EN CARRETE VK Cabys-4294201000100	30.00	1,970.02	<b>59,100.60</b>
2	9999	H07V-K 1X16 MM VERDE/AMARILLO ASCABLE Cabys-4721400000000	60.00	2,800.00	<b>168,000.00</b>
3	9999	H07Z1-K 1X4MM VERDE/AMARILLO ASCABLE ZH Cabys-4721400000000	550.00	850.00	<b>467,500.00</b>
4	9999	H07Z1-K 1X10MM VERDE/AMARILLO ASCABLE ZH Cabys-4721400000000	24.00	1,900.00	<b>45,600.00</b>

Debido a las constantes variaciones en los precios de los fabricantes, los precios aquí cotizados tienen una vigencia máxima de 1 días

**Moneda local**

Tot Serv. Gravado ¢:	681,100.00
Tot Serv. Exento ¢:	0.00
Tot Merc. Gravada ¢:	59,100.60
Tot Merc. Exenta ¢:	0.00
<b>Subtotal ¢:</b>	<b>740,200.60</b>

\*\*\*\* Gracias por preferirnos (4 producto(s)) \*\*\*\*

\*\*\*\* El cliente debe de revisar la oferta y verificar que cumple con lo solicitado, cantidades sujetas a venta previa \*\*\*\*

I.V.A. ¢:	96,226.08
<b>Total ¢:</b>	<b>836,426.68</b>

La cotización se basa en la información proporcionada; verifique que lo ofertado cumpla con lo solicitado. Precios en USD al tipo de cambio del día de la orden. Los cortes se realizan solo tras confirmación de pago. No se aceptan devoluciones de cables cortados ni productos por pedido. Al comprar, acepta nuestras políticas: <https://electrocaribesyc.com/politicas-devoluciones/>. Pedidos deben procesarse antes de las 4:00 pm para envío al día siguiente.



Electrocaribe S y C Sociedad Anónima

GUAPILES  
Tipo de identificación Jurídica: 3101690307

emitido : 04/02/2026 11:04:12

Dirección: LIMON POCOCI GUAPILES

Teléfonos : 2710525227105252

E-mail : facturas@electrocaribesyc.com

Web : www.electrocaribe.com

Página : 1 de 3

v1.41

Proforma : No. 217816

Fecha 04/02/2026 Forma de pago : CONTADO

Cliente : 1 Jeffrey Lopez Garita  
Agente : UEN COMERCIAL  
Envío : e  
Observ.: [No se indica]

De acuerdo a su amable solicitud, nos es grato presentar a su consideración nuestra cotización como sigue :

#	Código	Descripción	Cantidad	Unitario	Subtotal
1	30912	CONDULETA LB DE 1/2" C/TAPA C/EMPAQUE UL Cabys-4153602020000	2.00	651.41	1,302.82
2	30712	CONDULETA BOTAGUA DE 1/2" Cabys-4153602020000	2.00	729.75	1,459.50
3	RC08	SPANDER PLASTICO #8 Cabys-4694001009900	4.00	5.90	23.60
4	RV018502	TORNILLO METAL CABEZA REDONDA 10X1-1/4" PUNTA FINA Cabys-4294401030300	4.00	7.76	31.04
5	403289	TAPA EMT CUADRADA 4X4 CIEGA UL USA Cabys-4621300009900	1.00	118.61	118.61
6	31612	CONECTOR TSJ DE 1/2" Cabys-4129200029900	22.00	107.44	2,363.68
7	211314VK	CABLE TGP 3X14 600V CARRETE VK Cabys-4294201000100	11.00	1,011.31	11,124.41
8	A271V2	INTERRUPTOR DOBLE PALANCA 15A /120V 271V MARFIL Cabys-4621205000200	1.00	1,609.20	1,609.20
9	A2132V	PLACA P/TOMA DOBLE MARFIL 2132V Cabys-3695099010000	1.00	234.63	234.63
10	T0272704	ABANICO DE PARED C/CONTROL 16" BLANCO REMOTO VE-72704 Cabys-4481501000000	4.00	39,375.00	157,500.00
11	5076001	LAMPARA DE EMERGENCIA UL LED E-40, P24255-36 SYL Cabys-4653101000200	1.00	10,673.26	10,673.26
12	20510KNVK	CABLE THHN #10 NEGRO EN CARRETE VK Cabys-4294201000100	24.00	478.16	11,475.84
13	A27877V	TOMA DOBLE EMPO. 20A 125V CR20 #877V NEMA 5-20R MARFIL AGUILA Cabys-4621206990100	10.00	1,170.07	11,700.70
14	E2293101	PLACA TOMA DOBLE INOX 93101 EATON Cabys-3695099010000	10.00	669.38	6,693.80
15	D9912KG	TUBO PVC 1/2" SCH40 UL 12MM GERFOR Cabys-3632002039900	37.00	1,171.61	43,349.57
16	D0412K	UNION PVC 12MM 1/2" SCH40 UL KRALOY UL 9037279 Cabys-3632098010100	44.00	132.85	5,845.40
17	D0312K	CONECTOR PVC KRALOY MACHO 12MM 1/2" SCH40 UL C/T 9037269 Cabys-3632098010100	48.00	158.49	7,607.52
18	32512	GAZA EMT DOBLE U.S.A. 1/2" Cabys-4129200029900	78.00	16.98	1,324.44
19	30112	TUBO EMT DE 1/2" U.L. RYMCO Cabys-4129200029900	12.00	2,068.05	24,816.60
20	D1719364	PEGAMENTO PVC MED WETBONDING 1/4GL AZUL 2019364 Cabys-3542099990000	2.00	6,149.15	12,298.30
21	6004	CAJA EMT RECTANGULAR C/KO 1/2 Y 3/4 EN 1.5MM UL Cabys-4153602020000	26.00	267.95	6,966.70
22	6005N	CAJA EMT OCTAGONAL PESADA 1.5 C/KO 1/2 Y 3/4 8/L- 8H UL Cabys-4153602020000	10.00	322.44	3,224.40
23	304128	TAPA EMT OCTAGONAL CIEGA PESADA UL Cabys-3695099020000	10.00	100.56	1,005.60
24	M021810	CONECTOR DE RESORTE ROJO TIPO R 18-10AWG Cabys-4621299079900	162.00	109.51	17,740.62



Electrocaribe S y C Sociedad Anónima

GUAPILES  
Tipo de identificación Jurídica: 3101690307

emitido : 04/02/2026 11:04:12

Dirección: LIMON POCOCI GUAPILES

Teléfonos : 2710525227105252

E-mail : facturas@electrocaribesyc.com

Web : www.electrocaribe.com

Página : 2 de 3

v1.41

Proforma : No. 217816

Fecha 04/02/2026 Forma de pago : CONTADO

Cliente : 1 Jeffrey Lopez Garita  
Agente : UEN COMERCIAL  
Envío : e  
Observ.: [No se indica]

De acuerdo a su amable solicitud, nos es grato presentar a su consideración nuestra cotización como sigue :

#	Código	Descripción	Cantidad	Unitario	Subtotal
25	20512KNVK	CABLE THHN #12 NEGRO EN CARRETE VK Cabys-4294201000100	550.00	274.94	151,217.00
26	E228300RD	TOMA GRADO HOSPITAL ROJO DOBLE 20A 125V 2P3W AH8300RD EATON Cabys-4621205009900	19.00	5,304.97	100,794.43
27	A2132R	PLACA P/TOMA DOBLE ROJA 2132R Cabys-3695099010000	19.00	294.57	5,596.83
28	6003	CAJA EMT CUADRADA 4x4 F/1-1/2 C/KO COMBINADO DE 1/2 Y 3/4 UL Cabys-4153602020000	2.00	326.39	652.78
29	8051602	PLACA P/RED 2 PUERTOS RJ45 BLANCA AW161NXT02 NEXXT Cabys-3695099010000	1.00	642.06	642.06
30	8101036	CONECTOR MACHO CAT6 RJ45 8lineas NMP-8725 QUEST Cabys-4612202020000	1.00	304.39	304.39
31	E102222	Desconector de aire AC 2P 60A 240V nema 3R DPU222R Cabys-4621204000200	1.00	10,710.80	10,710.80
32	322312	CAJA RECTANGULAR P/INTEMPERIE C/ 3H-KO 1/2" FSB50-3 Cabys-4621206010000	3.00	1,075.86	3,227.58
33	30512	CONECTOR EMT PRESION DE 1/2" UL Cabys-4129200029900	42.00	145.85	6,125.70
34	D0212K	CURVA PVC KRALOY 12MM 1/2" 90° H/H 2019410 Cabys-3632098010100	26.00	490.25	12,746.50
35	M0533	ROLLO DE TAPE SUPER 33+ 19.0MM Cabys-3692000000100	4.00	2,331.03	9,324.12
36	D01252K	TUBO PVC 25MM (1") X3.05M SCH40 UL KRALOY C/CAMPANA 2014337 Cabys-3632002039900	3.00	2,941.53	8,824.59
37	20504KNVK	CABLE THHN #4 NEGRO EN CARRETE VK Cabys-4294201000100	60.00	1,970.02	118,201.20
38	20506KNVK	CABLE THHN #6 NEGRO EN CARRETE VK Cabys-4294201000100	39.00	1,232.46	48,065.94
39	20508KNVK	CABLE THHN #8 NEGRO EN CARRETE VK Cabys-4294201000100	37.00	820.05	30,341.85
40	D9938KG	Tubo PVC Conduit 38mm (1 1/2") SCH40 3mts C/Campaña GERFOR Cabys-3632002039900	6.00	3,640.00	21,840.00
41	E13120	Breaker de presion 1P 20AMP 120V residencial CHF120 Cabys-4621300009900	28.00	4,248.46	118,956.88
42	E13130	Breaker de presion 1P 30AMP 120V residencial CHF130 Cabys-4621300009900	2.00	6,189.69	12,379.38
43	E13240	Breaker de presion 2P 40AMP 120/240V residencial CHF240 Cabys-4621300009900	1.00	13,183.73	13,183.73
44	E13270	Breaker de presion 2P 70AMP 120/240V residencial CHF270 Cabys-4621300009900	1.00	14,805.06	14,805.06
45	9999	centro carga 16espacios nema 3r Cabys-4721400000000	2.00	163,500.00	327,000.00
				Se entrega en : 5 SEMANAS	
46	9999	lámpara led 3 tubos Cabys-4721400000000	9.00	55,000.00	495,000.00
				Se entrega en : 2 SEMANAS	



Electrocaribe S y C Sociedad Anónima

GUAPILES

Tipo de identificación Jurídica: 3101690307

emitido : 04/02/2026 11:04:12

Dirección: LIMON POCOCI GUAPILES

Teléfonos : 2710525227105252

E-mail : facturas@electrocaribesyc.com

Web : www.electrocaribe.com

Página : 3 de 3

v1.41

**Proforma : No. 217816**

Fecha  
**04/02/2026**

Forma de pago :  
**CONTADO**

Cliente : 1 Jeffrey Lopez Garita  
 Agente : UEN COMERCIAL  
 Envío : e  
 Observ.: [No se indica]

De acuerdo a su amable solicitud, nos es grato presentar a su consideración nuestra cotización como sigue :

#	Código	Descripción	Cantidad	Unitario	Subtotal

Debido a las constantes variaciones en los precios de los fabricantes, los precios aquí cotizados tienen una vigencia máxima de 1 días

\*\* DOS MILLONES, NOVENTA MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y SIETE CON 10 CTS. \*\*

\*\*\*\* Gracias por preferimos (46 producto(s)) \*\*\*\*

\*\*\*\* El cliente debe de revisar la oferta y verificar que cumple con lo solicitado, cantidades sujetas a venta previa \*\*\*\*

<b>Moneda local</b>	Tot Serv. Gravado ¢:	822,000.00
	Tot Serv. Exento ¢:	0.00
	Tot Merc. Gravada ¢:	1,028,431.06
	Tot Merc. Exenta ¢:	0.00
	<b>Subtotal ¢:</b>	<b>1,850,431.06</b>
	I.V.A. ¢:	240,556.04
	<b>Total ¢:</b>	<b>2,090,987.10</b>

La cotización se basa en la información proporcionada; verifique que lo ofertado cumpla con lo solicitado. Precios en USD al tipo de cambio del día de la orden. Los cortes se realizan solo tras confirmación de pago. No se aceptan devoluciones de cables cortados ni productos por pedido. Al comprar, acepta nuestras políticas: <https://electrocaribesyc.com/politicas-devoluciones/>. Pedidos deben procesarse antes de las 4:00 pm para envío al día siguiente.



Electrocaribe S y C Sociedad Anónima

GUAPILES  
 Tipo de identificación Jurídica: 3101690307

emitido : 04/02/2026 11:19:12

Dirección: LIMON POCOCI GUAPILES

Teléfonos : 2710525227105252

E-mail : facturas@electrocaribesyc.com

Web : www.electrocaribe.com

Página : 1 de 1

v1.41

**Proforma : No. 217832**

Fecha 04/02/2026 Forma de pago : **CONTADO**

Cliente : 1 Jeffrey Lopez Garita  
 Agente : MARCO VINICIO ROJAS GARBANZO  
 Envío : a  
 Observ.: [No se indica]

De acuerdo a su amable solicitud, nos es grato presentar a su consideración nuestra cotización como sigue :

#	Código	Descripción	Cantidad	Unitario	Subtotal
1	4053300	VARILLA COPPERWELD 3.05M 5/8"X10' 10MILS USA U.L. Cabys-4129200029900	3.00	8,331.83	24,995.50
2	20508KVVK	CABLE THHN #8 VERDE EN CARRETE VK Cabys-4294201000100	30.00	820.05	24,601.50
3	80314313	BARRA TMGB COBRE 1/4X4"X10" TGB14410C Cabys-4622000009900	1.00	35,706.67	35,706.67
4	8031412	KIT AISLADORES GRANAD. C/SOPORT. Y TORNILL. P/BARRA TGB KITBAR38 (PAR) Cabys-4129200029900	2.00	18,111.22	36,222.44
5	3213000	TERMINAL ENTALLAR #3/0 AWG 1H 1/2" OE98525 CU-AL CL UL Cabys-4129200029900	6.00	2,066.33	12,397.98
6	4131	PERNO PRISIONERO DE ACERO PQ-4 Cabys-4129200010000	4.00	2,002.57	8,010.28
7	9999	Molde para conexion de cable #3/0 a varilla de copperweld de 5/8 (14.3MM) Cabys-4721400000000	1.00	54,000.00	54,000.00
8	4053115	CARGA DE SOLDADURA EXOTERMICA 115G Cabys-3549903030000	9.00	4,124.14	37,117.26

Debido a las constantes variaciones en los precios de los fabricantes, los precios aquí cotizados tienen una vigencia máxima de 1 días

\*\* DOSCIENTOS SESENTA Y TRES MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y OCHO CON 34 CTS. \*\*

\*\*\*\* Gracias por preferimos (8 producto(s)) \*\*\*\*

\*\*\*\* El cliente debe de revisar la oferta y verificar que cumple con lo solicitado, cantidades sujetas a venta previa \*\*\*\*

**Moneda local**

Tot Serv. Gravado ¢: 54,000.00  
 Tot Serv. Exento ¢: 0.00  
 Tot Merc. Gravada ¢: 179,051.63  
 Tot Merc. Exenta ¢: 0.00  
 Subtotal ¢: 233,051.63

I.V.A. ¢: 30,296.71  
 Total ¢: 263,348.34

La cotización se basa en la información proporcionada; verifique que lo ofertado cumpla con lo solicitado. Precios en USD al tipo de cambio del día de la orden. Los cortes se realizan solo tras confirmación de pago. No se aceptan devoluciones de cables cortados ni productos por pedido. Al comprar, acepta nuestras políticas: <https://electrocaribesyc.com/politicas-devoluciones/>. Pedidos deben procesarse antes de las 4:00 pm para envío al día siguiente.

**Anexo E: lista de materiales y costos de materiales NEC.**

<b>Rubro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Can t.</b>	<b>Precio unit.</b>	<b>Subtotal</b>	<b>IVA 13%</b>	<b>Total, c/IVA</b>	<b>Fuente</b>
4230	30912 CONDULETA LB 1/2" c/tapa	2	€651,41	€1.302,82	€169,37	€1.472,19	Electrocar ibe 217816
4230	30712 CONDULETA BOTAGUA 1/2"	2	€729,75	€1.459,50	€189,74	€1.649,24	Electrocar ibe 217816
4230	RC08 SPANDER PLASTICO #8	4	€5,90	€23,60	€3,07	€26,67	Electrocar ibe 217816
4230	RV018502 TORNILLO METAL 10x1- 1/4" punta fina	4	€7,76	€31,04	€4,04	€35,08	Electrocar ibe 217816
4230	403289 TAPA EMT CUADRADA 4x4 ciega UL	1	€118,61	€118,61	€15,42	€134,03	Electrocar ibe 217816
4230	31612 CONECTOR TSJ 1/2"	22	€107,44	€2.363,68	€307,28	€2.670,96	Electrocar ibe 217816
4240	211314VK CABLE TGP 3x14 600V (carrete)	11	€1.011,31	€11.124,4 1	€1.446,1 7	€12.570,5 8	Electrocar ibe 217816
4220	A271V2 INTERRUPTOR DOBLE 15A 120V	1	€1.609,20	€1.609,20	€209,20	€1.818,40	Electrocar ibe 217816
4220	A2132V PLACA P/TOMA DOBLE MARFIL	1	€234,63	€234,63	€30,50	€265,13	Electrocar ibe 217816
4210	T0272704 ABANICO DE PARED 16" c/control	4	€39.375,0 0	€157.500, 00	€20.475, 00	€177.975, 00	Electrocar ibe 217816
4210	5076001 LÁMPARA DE	1	€10.673,2 6	€10.673,2 6	€1.387,5 2	€12.060,7 8	Electrocar ibe 217816

	EMERGENCIA LED UL						
4240	20510KNVK CABLE THHN #10 AWG NEGRO	24	€478,16	€11.475,84	€1.491,86	€12.967,70	Electrocar ibe 217816
4220	A27877V TOMA DOBLE 20A 125V NEMA 5-20R	10	€1.170,07	€11.700,70	€1.521,09	€13.221,79	Electrocar ibe 217816
4220	E2293101 PLACA TOMA DOBLE INOX	10	€669,38	€6.693,80	€870,19	€7.563,99	Electrocar ibe 217816
4230	D9912KG TUBO PVC 1/2" SCH40 UL (12mm) GERFOR	37	€1.171,61	€43.349,57	€5.635,44	€48.985,01	Electrocar ibe 217816
4230	D0412K UNIÓN PVC 1/2" SCH40 UL	44	€132,85	€5.845,40	€759,90	€6.605,30	Electrocar ibe 217816
4230	D0312K CONECTOR PVC MACHO 1/2" SCH40 UL	48	€158,49	€7.607,52	€988,98	€8.596,50	Electrocar ibe 217816
4230	32512 GAZA EMT DOBLE 1/2"	78	€16,98	€1.324,44	€172,18	€1.496,62	Electrocar ibe 217816
4230	30112 TUBO EMT 1/2" UL RYMCO	12	€2.068,05	€24.816,60	€3.226,16	€28.042,76	Electrocar ibe 217816
4230	D1719364 PEGAMENTO PVC 1/4GL	2	€6.149,15	€12.298,30	€1.598,78	€13.897,08	Electrocar ibe 217816
4230	6004 CAJA EMT RECTANGULA R 1.5mm UL	26	€267,95	€6.966,70	€905,67	€7.872,37	Electrocar ibe 217816
4210	6005N CAJA EMT OCTAGONAL PESADA 1.5" UL	10	€322,44	€3.224,40	€419,17	€3.643,57	Electrocar ibe 217816
4210	304128 TAPA EMT	10	€100,56	€1.005,60	€130,73	€1.136,33	Electrocar ibe 217816

	OCTAGONAL CIEGA						
4240	M021810 CONECTOR RESORTE ROJO R 18- 10AWG	162	€109,51	€17.740,6 2	€2.306,2 8	€20.046,9 0	Electrocar ibe 217816
4240	20512KNVK CABLE THHN #12 AWG NEGRO	550	€274,94	€151.217, 00	€19.658, 21	€170.875, 21	Electrocar ibe 217816
4220	E228300RD TOMA GRADO HOSPITAL ROJO DOBLE 20A	19	€5.304,97	€100.794, 43	€13.103, 28	€113.897, 71	Electrocar ibe 217816
4220	A2132R PLACA P/TOMA DOBLE ROJA	19	€294,57	€5.596,83	€727,59	€6.324,42	Electrocar ibe 217816
4230	6003 CAJA EMT CUADRADA 4x4 UL	2	€326,39	€652,78	€84,86	€737,64	Electrocar ibe 217816
4400	8051602 PLACA RED 2 PUERTOS RJ45	1	€642,06	€642,06	€83,47	€725,53	Electrocar ibe 217816
4400	8101036 CONECTOR MACHO CAT6 RJ45	1	€304,39	€304,39	€39,57	€343,96	Electrocar ibe 217816
4300	E102222 DESCONECTA DOR AIRE AC 2P 60A NEMA 3R	1	€10.710,8 0	€10.710,8 0	€1.392,4 0	€12.103,2 0	Electrocar ibe 217816
4230	322312 CAJA RECTANGULA R INTEMPERIE 3H-KO 1/2"	3	€1.075,86	€3.227,58	€419,59	€3.647,17	Electrocar ibe 217816
4230	30512 CONECTOR EMT PRESIÓN 1/2" UL	42	€145,85	€6.125,70	€796,34	€6.922,04	Electrocar ibe 217816
4230	D0212K CURVA PVC 1/2" 90°	26	€490,25	€12.746,5 0	€1.656,0 5	€14.402,5 5	Electrocar ibe 217816

4230	M0533 TAPE SUPER 33+ 19mm	4	€2.331,03	€9.324,12	€1.212,14	€10.536,26	Electrocaribe 217816
4230	D01252K TUBO PVC 1" SCH40 UL (25mm) 3.05m	3	€2.941,53	€8.824,59	€1.147,20	€9.971,79	Electrocaribe 217816
4200	20504KNVK CABLE THHN #4 AWG NEGRO	60	€1.970,02	€118.201,20	€15.366,16	€133.567,36	Electrocaribe 217816
4200	20506KNVK CABLE THHN #6 AWG NEGRO	39	€1.232,46	€48.065,94	€6.248,57	€54.314,51	Electrocaribe 217816
4200	20508KNVK CABLE THHN #8 AWG NEGRO	37	€820,05	€30.341,85	€3.944,44	€34.286,29	Electrocaribe 217816
4230	D9938KG TUBO PVC 1-1/2" SCH40 UL (38mm) 3m	6	€3.640,00	€21.840,00	€2.839,20	€24.679,20	Electrocaribe 217816
4300	E13120 BREAKER 1P 20A	28	€4.248,46	€118.956,88	€15.464,39	€134.421,27	Electrocaribe 217816
4300	E13130 BREAKER 1P 30A	2	€6.189,69	€12.379,38	€1.609,32	€13.988,70	Electrocaribe 217816
4300	E13240 BREAKER 2P 40A	1	€13.183,73	€13.183,73	€1.713,88	€14.897,61	Electrocaribe 217816
4300	E13270 BREAKER 2P 70A	1	€14.805,06	€14.805,06	€1.924,66	€16.729,72	Electrocaribe 217816
4300	CENTRO DE CARGA 16 espacios NEMA 3R	2	€163.500,00	€327.000,00	€42.510,00	€369.510,00	Electrocaribe 217816
4210	LÁMPARA LED 3 tubos	9	€55.000,00	€495.000,00	€64.350,00	€559.350,00	Electrocaribe 217816
4200	Varilla copperweld 3m x 19mm (3/4") UL	3	€16.425,00	€49.275,00	€6.405,75	€55.680,75	Electro Maz 00272125

4200	Cable THHN #8 AWG VERDE (30 m)	30	€820,05	€24.601,50	€3.198,19	€27.799,69	Electrocaribe 217832
4200	Carga soldadura exotérmica 115 g (9 und)	9	€4.124,14	€37.117,26	€4.825,24	€41.942,50	Electrocaribe 217832
4200	Molde soldadura (cable 3/0 - varilla 3/0)	1	€64.730,00	€64.730,00	€8.414,90	€73.144,90	Electro Maz 00272125
4200	Barra de cobre 1/4x4x20" (≈50 cm) + aisladores	1	€78.980,00	€78.980,00	€10.267,40	€89.247,40	Electro Maz 00272125
4200	Soporte acero inoxidable para barra	2	€8.670,00	€17.340,00	€2.254,20	€19.594,20	Electro Maz 00272125
4200	Aislador tipo granada (incertos bronce)	2	€3.366,00	€6.732,00	€875,16	€7.607,16	Electro Maz 00272125
4200	Tornillería inox 3/8" (set anclaje)	1	€1.000,00	€1.000,00	€130,00	€1.130,00	Electro Maz 00272125
4200	Terminal compresión tipo ojo para cable 3/0 AWG	6	€2.060,00	€12.360,00	€1.606,80	€13.966,80	Electro Maz 00272125
4200	Perno/anclaje tipo prisionero PQ-4	4	€2.002,57	€8.010,28	€1.041,34	€9.051,62	Electrocaribe 217832

**Anexo F: lista de materiales y costos adicionales de la norma IEC 60364-5-54:2011 + AMD1:2021**

Ru bro	Descripción	Cant.	Precio unit.	Subtotal	IVA 13%	Total, c/IVA	Fuente
4240	H07Z1-K 1×4 mm <sup>2</sup> verde/a marillo (equiv. #12 AWG aprox.)	550	€850,00	€467.500,00	€60.775,00	€528.275,00	Electrocaribe 217839

424 0	H07Z1-K 1×10 mm <sup>2</sup> verde/a marillo	4	∅1. 900,00	∅45. 600,00	∅5. 928,00	∅51. 528,00	Elect rocaribe 217839
420 0	H07V-K 1×16 mm <sup>2</sup> verde/a marillo	0	∅2. 800,00	∅16 8.000,00	∅21 .840,00	∅18 9.840,00	Elect rocaribe 217839
422 0	Toma doble 20A 125V NEMA 5-20R (sustituy e toma roja/IG)	9	∅1. 170,07	∅22. 231,33	∅2. 890,07	∅25. 121,40	Elect rocaribe 217816
422 0	Placa toma doble INOX (para 19 tomas sustituid as)	9	∅6 69,38	∅12. 718,22	∅1. 653,37	∅14. 371,59	Elect rocaribe 217816

## Anexo G: Cotización de equipo de cómputo.

PROFORMA

PF-0211604



**AMDE Computer Corporation S.A.**  
Cédula jurídica: 3101346399  
Teléfono: 2202-1200  
De la Casa Matute Gómez 100mS 300mE

Departamento: SAN JOSE  
Usuario: WEB COMPUTO - Daniel Eduardo Fernandez  
Vendedor: WEB COMPUTO - Daniel Eduardo Fernandez  
Fecha: 11/02/2026 11:17:00  
Moneda: € Colón

Cliente:

Nombre: JEFFRY ANDRES LOPEZ GARITA

Dirección:

Cédula: 113850817

Tel: 88871835

Email: je230389@gmail.com

Código	Artículo	Cant.	Precio Und.	% Desc	SubTotal
7XNFP	NB DELL PRO 14 ULTRA 5-225U/16GB/512GB-SSD/14"W/11P.	1,00	434.513,88		434.513,88
731944756066-C	SFT MCAFEE ANTIVIRUS TOTAL PROTECTION / 1 DISPOSITIVO / 1 AÑO / LAPTOPS.	1,00	4.424,76		4.424,76

Comentario:

<b>Sub-total:</b>	€438.938,64
<b>Descuento:</b>	€0,00
<b>Impuestos:</b>	€57.062,02
<b>-Exoneración:</b>	€0,00
<b>TOTAL:</b>	<b>€496.000,66</b>

**Esta cotización será válida por un periodo de 8 días hábiles o hasta agotar existencias, lo que suceda primero.  
PRECIOS DE RAM Y ALMACENAMIENTO VALIDOS POR 24 HORAS.**

## Anexo H: Cotización de mano de obra.

martes, 10 de marzo del 2026.

### Cotización

#### BRIKO SERVICIOS

Trecientos metros Sur de la Cruz Roja, última entrada a mano izquierda, Urbanización La Mucap, Siquirres.  
Teléfonos 71051471  
0702400520

Dependiente: Joshua Madrigal Layne

Cliente: Laboratorio de cómputo.

Código	Producto/Servicio	Cant.	Precio Und.	Sub Total
0208	Instalación eléctrica.	1	95 000	95 000, 00
0209	Instalacion piso Cielo 60000 (BTU)	1	375 000	375 000, 00

**SUB TOTAL** ----- 470 000, 00

**IVA 13%** ----- 531 100,00

**TOTAL** ----- **531 100, 00**

Notas adicionales

Garantía: El trabajo realizado cuenta con un mes de garantía y la regalía del primer mantenimiento a los 3 meses de instalado el equipo.

## Anexo I: ficha técnica de conductores cotizados.

### Cable de cobre tipo THHN/THWN-2 GR II 600V 90°C

#### DESCRIPCIÓN GENERAL

Conductor de cobre suave electrolítico con aislamiento de policloruro de vinilo (PVC) y sobrecapa de poliamida (nylon).

#### ESPECIFICACIONES

- NOM-001-SEDE  
Instalaciones eléctricas (utilización)
- NOM-063-SCFI  
Productos eléctricos conductores requisitos de seguridad.
- NMX-J-010-ANCE/UL 83  
Conductores con aislamiento termoplástico a base de policloruro de vinilo, para instalaciones hasta 600V/Thermoplastic-Insulated Wires and Cables
- UL 758  
Material para cableado en aparatos (Appliance Wiring Material Type AWM)
- UL 1063  
Cables para máquinas y herramientas (Machine Tool Wires and Cables Thermoplastic Type MTW 600 Volts)

#### PRINCIPALES APLICACIONES

- Los cables Viakon THWN-2/THHN son productos de uso general usados en sistemas de distribución de baja tensión e iluminación.
- Por su excelente comportamiento a los aceites y químicos es adecuado para instalarse en gasolineras y refinerías.
- Por cumplir las pruebas correspondientes, portan las marcas CT y SR según los requisitos de la NOM-001-SEDE.
- Pueden instalarse en lugares secos, húmedos o mojados.

#### CARACTERÍSTICAS

- Tensión máxima de operación: 600 V
- Temperaturas máximas de operación en el conductor:
  - 90 °C en ambiente seco, húmedo y mojado
  - 105 °C en emergencia
  - 150 °C en cortocircuito
  - 75 °C en presencia de aceite
- Nota: La condición de emergencia se limita a 500 h acumulativas durante la vida del cable y no más de 100 h en periodos de doce meses consecutivos. Las condiciones de cortocircuito en el conductor se basan en lo indicado por la norma ICEA P-32-382.
- Conductor de cobre suave:
  - Cableado de 19 hilos en calibres desde el 14 hasta el 4/0 AWG
  - Cableado clase B desde el calibre 250 hasta el 1000 kcmil.
- Aislamiento de policloruro de vinilo (PVC) y sobrecapa de poliamida (nylon)
- Las marcas FV-2(VW-1) y GR II aplican para calibres a partir del 14 AWG hasta el 1000 kcmil, en todos los colores
- Las marcas RAD y SR aplican para calibres a partir del 8 AWG hasta el 1000 kcmil, en todos los colores
- La marca RoHS aplica para calibres a partir del 14 hasta el 10 AWG, en todos los colores.
- La marca CT aplica para calibres desde 4 AWG hasta 1000 kcmil, en todos los colores
- Marcado secuencial a cada metro a partir del calibre 1/0 AWG y mayores

# VIAKON®

Una marca Viakable

#### VENTAJAS

- Satisfacen la prueba de resistencia a la propagación de la flama FV-2(VW-1) (NMX-J-192-ANCE).
- Gran resistencia a la abrasión, al aceite y a los agentes químicos, debido a la sobrecapa de nylon.
- Menor diámetro exterior y menor peso total que el cable THHW-LS.
- Ofrecen excelentes características eléctricas, físicas y mecánicas.
- Cumplen la prueba de resistencia a la propagación de la flama en conductores eléctricos colocados en charola vertical (NMX-J-498), y la prueba de resistencia a la intemperie del aislamiento o la cubierta de conductores eléctricos (NMX-J-553).
- Cuenta con certificado de conformidad de producto ANCE y UL.

ALAMBRES Y CABLES PARA BAJA TENSIÓN

#### COMPONENTES:

1. Cable de cobre suave
2. Aislamiento de PVC
3. Sobrecapa de nylon

#### CERTIFICACIONES:



#### ATRIBUTOS:

- **CT\*** Aprobado para uso en charolas portacables
- **FV2 (VW-1)** Resistencia a la propagación de la flama
- **SR\*** Resistente a la intemperie y a la luz solar
- **RoHS\*** Restricción de sustancias peligrosas
- **GR II** Resistencia a la gasolina
- **rad\*** RAD\* Recubrimiento altamente deslizable

\*Revisar calibres aplicables en la sección de características.



Cable de cobre tipo THHN/THWN-2 GR II 600V 90 °C												
Tamaño o designación	Área nominal de la sección transversal mm <sup>2</sup>	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento mm	Espesor nominal de nylon mm	Diámetro exterior aproximado mm	Peso total aproximado kg/100 m	Capacidad de conducción de corriente <sup>1</sup> (A)					
							Canalización <sup>2</sup>			Al aire libre <sup>3</sup>		
							60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
14	2.082	19	0.38	0.10	2.9	3	15	20	25	-	-	-
12	3.307	19	0.38	0.10	3.4	4	20	25	30	-	-	-
10	5.260	19	0.51	0.10	4.3	6	30	35	40	-	-	-
8	8.367	19	0.76	0.13	5.7	10	40	50	55	-	-	-
6	13.30	19	0.76	0.13	6.7	15	55	65	75	-	-	-
4	21.15	19	1.02	0.15	8.5	24	70	85	95	105	125	140
2	33.62	19	1.02	0.15	10.1	36	95	115	130	140	170	190
1	42.41	19	1.27	0.18	11.6	46	110	130	145	165	195	220
1/0	53.48	19	1.27	0.18	12.7	56	125	150	170	195	230	260
2/0	67.43	19	1.27	0.18	13.9	70	145	175	195	225	265	300
3/0	85.01	19	1.27	0.18	15.2	87	165	200	225	260	310	350
4/0	107.2	19	1.27	0.18	16.7	108	195	230	260	300	360	405
250	126.7	37	1.52	0.20	18.5	128	215	255	290	340	405	455
300	152	37	1.52	0.20	19.9	152	240	285	320	375	445	500
350	177.3	37	1.52	0.20	21.3	177	260	310	350	420	505	570
400	202.7	37	1.52	0.20	22.5	201	280	335	380	455	545	615
500	253.4	37	1.52	0.20	24.7	249	320	380	430	515	620	700
600	304.0	61	1.78	0.23	27.3	298	350	420	475	575	690	780
750	380.0	61	1.78	0.23	30	369	400	475	535	655	785	885
1000	506.7	61	1.78	0.23	34	488	455	545	615	780	935	1055

Nota: Las dimensiones y pesos están sujetos a tolerancias de manufactura.  
1. Ampacidad.  
2. Basada en la tabla 310-15(b) (16) de la NOM-001-SEDE para una temperatura ambiente de 30 °C.  
3. Basada en la tabla 310-15(b) (17) de la NOM-001-SEDE para una temperatura ambiente de 30 °C.

NÚMEROS DE ARTÍCULO POR TIPO DE EMPAQUE PARA CABLES VIAKON® THHN/THWN-2 GR II 600V 90 °C										
Tamaño o designación	Caja con 100 metros						Carrete con 500 metros			
	Negro	Blanco	Rojo	Verde	Azul	Amarillo	Negro	Blanco	Rojo	Verde
14	SLX654	SLX656	SLX655	SLX658	SLB498	SLB499	SLYZ36	SLYZ38	SLYZ37	SLYZ39
12	SLX660	SLX662	SLX661	SLX663	SLB496	SLB497	SLYZ12	SLYZ14	SLYZ13	SLYZ15
10	SLX664	SLX666	SLX665	SLX667	SLB494	SLB495	SLYY80	SLYY82	SLYY81	SLYY83
8	SLX668	SLX670	SLX669	SLX671	-	-	SLYW22	SLK943	SLK960	SLK545
6	SLX672	SLX674	SLX673	SLX675	-	-	SLYW24	SLX466	SLX460	SLX467
4	SLX677	-	-	-	-	-	SLYW26	-	-	-
2	SLX681	-	-	-	-	-	SLYW28	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/0	-	-	-	-	-	-	SLYW30	-	-	-
2/0	-	-	-	-	-	-	SLYW32	-	-	-
3/0	-	-	-	-	-	-	SLYW34	-	-	-
4/0	-	-	-	-	-	-	SLYW36	-	-	-
250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	-	-	SLQ929	-	-	-
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



**Serie TM MultiLine  
VV-K**



**Características Técnicas**

Conductor	Conductor de cobre electrolítico flexible (Clase V) según BS EN 60228:2005 (anteriormente BS 6360) y UNE 60228
Aislamiento	Aislamiento de PVC, tipo A, según UNE 21123 e IEC 60502-1
Forro (Chaqueta)	Cubierta de PVC, tipo ST-1, según UNE 21123 e IEC 60502-1.
Voltaje (Uo/U)	600V/1000V
Voltaje de Prueba	3500 VAC
Temperatura Máxima	70°C

**Características Técnicas**

Código MAZ	Código TM	Líneas	Sección (mm <sup>2</sup> )	Sección (AWG) Aprox	Resistencia a 20°C (Ohm/km)	Diámetro Externo (mm)	Peso (kg/km)
04-50-238	TMML-2X1 -N-VVK	2	1	18	-	-	-
04-50-239	TMML-3X1 -N-VVK	3	1	18	-	-	-
04-50-240	TMML-4X1 -N-VVK	4	1	18	-	-	-
04-50-241	TMML-7X1 -N-VVK	7	1	18	-	-	-
04-50-242	TMML-2X1,5 -N-VVK	2	1.5	16	13.3	8.85	92
04-50-243	TMML-3X1,5 -N-VVK	3	1.5	16	13.3	9.35	115
04-50-244	TMML-4X1,5 -N-VVK	4	1.5	16	13.3	10.10	141
04-50-245	TMML-5X1,5 -N-VVK	5	1.5	16	13.3	11.10	172
04-50-246	TMML-7X1,5 -N-VVK	7	1.5	16	13.3	11.85	219
04-50-247	TMML-12X1,5 -N-VVK	12	1.5	16	13.3	14.70	369
04-50-248	TMML-2X2,5 -N-VVK	2	2.5	14	7.98	-	-
04-50-249	TMML-3X2,5 -N-VVK	3	2.5	14	7.98	10	138
04-50-250	TMML-4X2,5 -N-VVK	4	2.5	14	7.98	11.20	182
04-50-251	TMML-5X2,5 -N-VVK	5	2.5	14	7.98	12.15	220
04-50-252	TMML-7X2,5 -N-VVK	7	2.5	14	7.98	13.40	298
04-50-253	TMML-2X4 -N-VVK	2	4	12	4.95	-	-
04-50-254	TMML-3X4 -N-VVK	3	4	12	4.95	11.40	-
04-50-255	TMML-4X4 -N-VVK	4	4	12	4.95	12.40	-

**Serie TM MultiLine  
RV-K**



**Características Técnicas**

Conductor	Conductor de cobre electrolítico flexible (Clase V)
Aislamiento	Aislamiento de XLPE
Forro (Chaqueta)	Cubierta de PVC
Voltaje (Uo/U)	600V/1000V
Voltaje de Prueba	3500 VAC
Temperatura Máxima	-15°C A +90°C
Aprobaciones	IEC 60502-1, UNE 21123-2 Retardante a Flama IEC/EN 60332-1-2

**Características Técnicas**

Código MAZ	Código TM	Líneas	Sección (mm <sup>2</sup> )	Sección (AWG) Aprox	Resistencia a 20°C (Ohm/km)	Diámetro Externo (mm)	Peso (kg/km)
04-50-291	TMSF-1X35 -N-RVK	1	35	2		12.5	371
04-50-292	TMSF-1X95 -N-RVK	1	95	3/0		18.5	910
04-50-293	TMSF-1X120 -N-RVK	1	120	4/0		20.6	1151
04-50-256	TMML-2X6 -N-RVK	2	6	10	3.3	12.1	210
04-50-257	TMML-3X6 -N-RVK	3	6	10	3.3	12.8	261
04-50-258	TMML-4X6 -N-RVK	4	6	10	-	14.2	323
04-50-259	TMML-3X10 -N-RVK	3	10	8	-	14.3	398
04-50-260	TMML-4X10 -N-RVK	4	10	8	-	15.7	499

**Serie TM SuperFlex  
H07V-K**



Características Técnicas								
04-50-280	TMSF-1X4 -N-H07V-K	4	12	NEGRO	4.95	4.8	46	
04-50-281	TMSF-1X4 -A-H07V-K	4	12	AZUL	4.95	4.8	46	
04-50-282	TMSF-1X4 -R-H07V-K	4	12	ROJO	4.95	4.8	46	
04-50-283	TMSF-1X4 -B-H07V-K	4	12	BLANCO	4.95	4.8	46	
04-50-284	TMSF-1X4 -VA-H07V-K	4	12	VERDE AMARILLO	4.95	4.8	46	
04-50-285	TMSF-1X6 -N-H07V-K	6	10	NEGRO	3.3	5.3	67	
04-50-286	TMSF-1X6 -A-H07V-K	6	10	AZUL	3.3	5.3	67	
04-50-287	TMSF-1X6 -R-H07V-K	6	10	ROJO	3.3	5.3	67	
04-50-288	TMSF-1X10 -N-H07V-K	10	8	NEGRO	1.91	6.8	121	
04-50-289	TMSF-1X10 -VA-H07V-K	10	8	VERDE AMARILLO	1.91	6.8	121	
04-50-290	TMSF-1X25 -N-H07V-K	25	4	NEGRO	0.78	10.2	268	

## Serie TM SuperFlex H07V-K



### Características Técnicas

Conductor	Conductor de cobre electrolítico flexible (Clase V)
Aislamiento	Aislamiento de PVC, tipo A, según UNE 21123 e IEC 60502-1
Forro (Chaqueta)	Cubierta de PVC (Cloruro de Plovinilo)
Voltaje Nominal	450/750V
Voltaje de Prueba	2500 VAC
Temperatura Máxima	-30° a 70°C

### Características Técnicas

Código MAZ	Código TM	Sección (mm <sup>2</sup> )	Sección (AWG) Aprox	Color	Resistencia a 20°C (Ohm/km)	Diámetro Externo (mm)	Peso (kg/km)
04-50-261	TMSF-1X0,75 -N-H07V-K	0.75	20	NEGRO	26	2.7	11
04-50-262	TMSF-1X0,75 -A-H07V-K	0.75	20	AZUL	26	2.7	11
04-50-263	TMSF-1X0,75 -R-H07V-K	0.75	20	ROJO	26	2.7	11
04-50-264	TMSF-1X0,75 -B-H07V-K	0.75	20	BLANCO	26	2.7	11
04-50-265	TMSF-1X1 -N-H07V-K	1	18	NEGRO	19.5	2.8	13
04-50-266	TMSF-1X1 -A-H07V-K	1	18	AZUL	19.5	2.8	13
04-50-267	TMSF-1X1 -R-H07V-K	1	18	ROJO	19.5	2.8	13
04-50-268	TMSF-1X1 -B-H07V-K	1	18	BLANCO	19.5	2.8	13
04-50-269	TMSF-1X1 -VA-H07V-K	1	18	VERDE AMARILLO	19.5	2.8	13
04-50-270	TMSF-1X1,5 -N-H07V-K	1.5	16	NEGRO	13.3	3.4	19
04-50-271	TMSF-1X1,5 -A-H07V-K	1.5	16	AZUL	13.3	3.4	19
04-50-272	TMSF-1X1,5 -R-H07V-K	1.5	16	ROJO	13.3	3.4	19
04-50-273	TMSF-1X1,5 -B-H07V-K	1.5	16	BLANCO	13.3	3.4	19
04-50-274	TMSF-1X1,5 -VA-H07V-K	1.5	16	VERDE AMARILLO	13.3	3.4	19
04-50-275	TMSF-1X2,5 -N-H07V-K	2.5	14	NEGRO	7.98	4.1	30
04-50-276	TMSF-1X2,5 -A-H07V-K	2.5	14	AZUL	7.98	4.1	30
04-50-277	TMSF-1X2,5 -R-H07V-K	2.5	14	ROJO	7.98	4.1	30
04-50-278	TMSF-1X2,5 -B-H07V-K	2.5	14	BLANCO	7.98	4.1	30
04-50-279	TMSF-1X2,5 -VA-H07V-K	2.5	14	VERDE AMARILLO	7.98	4.1	30

