

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**Diseño de un sistema de puesta a tierra para un Laboratorio de
Automatización y Control, Chimbote 2022.**

**Tesis para obtener el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico Electricista**

Autor

Beteta Salcedo, Juan Diego

Asesor – Código ORCID

Arroyo Tirado, Jorge Luis

Código 0000-0001-6265-5721

Chimbote – Perú

2022

Índice

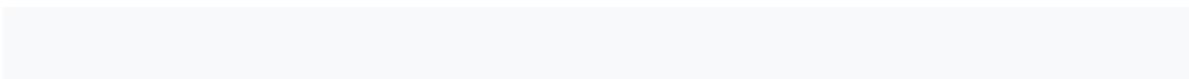
Palabras clave:.....	ii
Título	iii
Resumen:.....	iv
Abstract	v
Introducción	1
Metodología	22
Resultados	24
Análisis y discusión	40
Conclusiones y Recomendaciones	41
Bibliografía	43
Anexos	45

Palabras clave:

Tema	Instalaciones eléctricas
Especialidad	Ingeniería Mecánica Eléctrica

Keywords:

Theme	Electrical Installations
Speciality	Electrical Mechanical Engineering



OCDE			Líneas de Investigación
Área	Sub-área	Disciplina	
Ingeniería, Tecnología	Ingeniería Eléctrica, energía e informática	Ingeniería Eléctrica y Energía	Sector Energía

Título

Diseño de un sistema de puesta a tierra para un laboratorio de automatización y control, Chimbote 2022

Resumen:

La seguridad personal y protección eléctrica de los equipos que operan en un laboratorio o centro de automatización industrial, conformado por equipos que se conectan a la red eléctrica tanto monofásica como trifásica, es un factor fundamental para garantizar la vida de las personas y de los equipamientos; ante esa circunstancia, el presente proyecto, tuvo como finalidad, realizar el diseño de un sistema de puesta a tierra en las instalaciones de un laboratorio de automatización y control, para garantizar un mejor desempeño y performance de seguridad en los equipamientos que se ubican en dicho laboratorio.

El estudio se enmarcó dentro de un tipo de investigación tecnológica y descriptiva, con diseño no experimental de corte transversal, utilizando una metodología de 04 etapas como la planeación, diseño, construcción y operación del sistema planteado, para las instalaciones eléctricas del laboratorio de automatización y control.

Como resultados de este estudio, se cuenta con el diseño propuesto de un sistema de puesta a tierra que cumpla con las normas y estándares de seguridad establecidos, así como con los requerimientos de protección y control de todo el laboratorio en mención; garantizando además el buen funcionamiento de todos los equipamientos.

Abstract

The personal safety and electrical protection of the equipment that operates in a laboratory or industrial automation center, made up of equipment that is connected to the electrical network, both single-phase and three-phase, is a fundamental factor in guaranteeing the life of people and equipment. ; Given this circumstance, the purpose of this project was to carry out the design of a grounding system in the facilities of an automation and control laboratory, to guarantee better performance and safety performance in the equipment that is located in said laboratory.

The study was framed within a type of technological and descriptive research, with a non-experimental cross-sectional design, using a 04-stage methodology such as planning, design, construction and operation of the proposed system, for the electrical installations of the automation laboratory and control.

As a result of this study, there is a proposed design of a grounding system that complies with the established safety norms and standards, as well as with the protection and control requirements of the entire laboratory in question; also guaranteeing the proper functioning of all equipment.

Introducción

La seguridad personal y de los equipos en los laboratorios, juegan un papel importante en la ejecución eficaz de las actividades dentro de cualquier laboratorio de automatización y control. Sin seguridad eléctrica, es peligrosa la manipulación de los equipos tanto para las personas que lo utilizan como para el buen funcionamiento de los mismos, por ello es fundamental contar con un mecanismo de control y protección eléctrica.

En esa línea de seguridad, es importante conocer y utilizar los sistemas de puesta a tierra que otros autores han desarrollado y que van a contribuir con nuestro trabajo de investigación, de los cuales, se revisaron trabajos que se relacionan directamente con el trabajo realizado por el autor; entre los que destacan:

Usnayo y Mamani (2020), en su trabajo de tesis denominado, diseño de un sistema de puesta a tierra para la línea de transmisión de 60 kV desde la sub estación santa María Jiray hasta la unidad minera Contonga, tuvieron como propósito, el establecer los criterios para diseñar una puesta a tierra para la línea de transmisión mencionada utilizando electrodos en paralelo que ayuden a reducir la resistencia, buscando mejorar la confiabilidad y seguridad de la línea. Para tal fin, los autores, utilizaron los métodos sintético, deductivo, analítico, inductivo y estadístico, además de, el código nacional de electricidad CNE y el estándar IEEE 80; siguiendo los pasos de una guía de desarrollo basado en la norma alemana de ingeniería VDI. Se trató de una investigación de carácter casi experimental con diseño explicativo causal. Como resultados, lograron establecer que el uso de 4 varillas separadas 1 metro en cada base del soporte de la estructura mejora la confiabilidad y resistividad, siendo de vital importancia la resistividad del terreno, logrando mejores resultados con el uso de Thorgel y Bentonita.

Sinchi (2017), presentó su tesis relacionada al diseño y la determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes como gem y electrodos químicos, con la finalidad de establecer las condiciones que debe cumplir un sistema de puesta a tierra, partiendo de mediciones la resistividad en diferentes terrenos. El autor, modela su diseño con la ecuación de suelo uniforme y mediante el método gráfico sunde; es decir que con la resistividad e cada terreno

realizó diseños de puesta a tierra con las ecuaciones de Schwarz, Dwight y fórmulas modificadas. Como resultados, logró implementar cada diseño calculado midiendo con el método de los dos puntos, caída de potencial y clamp-on; mejorando aún más con el uso de elementos químicos de alta resistividad, obteniendo diseños muy útiles en la práctica.

Orozco (2015), presentó su trabajo de tesis, relacionada la inspección de los sistemas de puesta a tierra de una institución de diseño e innovación tecnológica industrial, la misma que, tuvo como propósito, inspeccionar los estados del sistema de tierra instalados en la institución SENA, estudiando los métodos para sistemas de puesta a tierra verificando su estado y dando posibles soluciones. Para lograrlo, hizo uso de la metodología de caída de potencial diagnosticando la situación de los sistemas de puesta a tierra con la medida de las resistencias a intervalos. Como resultados, se determinó que los suelos de la institución son heterogéneos pues sus resistencias presentan amplias variaciones en sus resistencias a diferentes profundidades; además, el método Wenner es el más adecuado para determinar los puntos óptimos para la construcción del sistema de tierra.

Gaona (2013), en su tesis sobre una propuesta de diseño de un electrodo para la puesta a tierra de un sistema HVDC, tuvo como propósito, la obtención de un procedimiento para el diseño de dicho electrodo, mediante la identificación de los lineamientos involucrados y de las etapas para dicho fin. Para ello, definió los tipos de configuraciones para sistemas de alto voltaje de corriente continua HVDC, documentando y seleccionando el electrodo según características para luego elaborar el procedimiento de diseño tomando en cuenta la mitigación de riesgos en su puesta en servicio. El autor, concluye que, el uso de un electrodo EPT para HVDC, requiere de un diseño especial por encontrarse de diferente funcionamiento que un sistema e puesta a tierra SPT, corriente continua frente a corriente alterna; comprendiendo un conjunto de 20 pasos para el buen funcionamiento del electrodo con impedancia de 0,1 a 0,3 Ohm garantizando una referencia de 0 volt en el retorno de tierra del sistema.

Viera (2012), en su tesis relacionada al diseño integral de sistemas de puesta a tierra para un centro de telecomunicaciones, tuvo como objetivo, el diseño de una metodología para un sistema de unión equipotencial y de puesta a tierra para el centro

mencionado. Para tal fin, el autor, recopiló normativas y documentos para diseño de sistemas de puesta a tierra, dividiendo el proyecto en fases como objetivos e importancia, componentes base de sistemas bajo tierra y sobre tierra, estableciendo los criterios de diseño del arreglo electródico y de la unión equipotencial, llegando a realizar visitas a las instalaciones del centro para la generación de planos, montajes y lista de materiales. En sus conclusiones, como resultados, logró generar un plano del diseño de las conexiones de puesta a tierra basado en normas como el CNE y organismos como IEEE, IEC, UIT-T, ANSI y NFPA, agregando la IEC 60364-4-44-2007, llegando a documentar todo lo realizado para cumplir con las exigencias de una auditoría.

El trabajo realizado, está fundamentado en bases teóricas que integran la teoría, la metodología de investigación y la aplicación a la realidad.

Sistema de puesta a tierra (SPAT)

Según IEEE (2005), un sistema de puesta a tierra trata de un conjunto de elementos que, por medio de los cuales, un equipo o circuito eléctrico, entra en contacto eléctrico conductivo con el suelo; siendo de vital importancia para garantizar la seguridad de las personas e integridad de los equipos por lo que se requiere que toda instalación eléctrica cuente con un sistema de puesta a tierra. Asimismo, proporciona a los equipos, un camino para el retorno de las corrientes de falla además de, redireccionar las descargas atmosféricas de forma segura referenciando todos los equipos a un mismo potencial.

En otras palabras, un SPAT, cumple dos funciones fundamentales: brinda seguridad bajo ciertos criterios de funcionamiento y operación como fallas y descargas; y, proporciona un potencial de referencia para aquellos equipos o sistemas que lo requieran. Y comprende 04 subsistemas: de electrodos de tierra, de protección contra fallas, de protección contra descargas atmosféricas y de unión equipotencial.

Laboratorio de Automatización y control

Según Gupta y Arora (2013), todo laboratorio de automatización y control debe de estar adaptado para todas las temáticas que se deseen realizar, así como contar con los elementos y equipos necesarios para tal fin; en este caso se trata de una

automatización programable que culmina en la elaboración y ejecución e un programa de control.

Por su parte Espina y Mazziotta (2005), consideran al laboratorio como el área de trabajo restringido, con superficie y distribución para el equipamiento en forma ordenada que se adecúen al volumen y flujo de los trabajos que se realicen diariamente; cuyas mesas de trabajo, paredes y pisos deben ser de un material fácil de limpiar y desinfectar.

A su vez, para la Real Academia Española, se trata de un lugar dotado de los medios requeridos para la realización de investigaciones, experimentos y trabajos de carácter científico o tecnológico.

Desde el punto de vista social, el proyecto tiene relevancia, porque beneficia a los usuarios del laboratorio de automatización y control, que en su mayoría son estudiantes y docentes, al permitirles contar con un sistema de puesta a tierra que les brinda seguridad física y emocional al sentirse que se encuentran trabajando en un lugar seguro. Asimismo, beneficia a la institución, dueña del laboratorio de automatización y control, debido a que este sistema también permite mejorar la calidad tanto de funcionamiento como de vida de los equipamientos y circuitos eléctricos que existen en dicho laboratorio, garantizando su disponibilidad e integridad. Beneficia también a la comunidad en general

Por otro lado, presenta relevancia científica, porque utiliza herramientas tecnológicas producto del desarrollo de los conocimientos de la industria eléctrica del software para modelar y explicar en forma racional los procesos que tienen lugar cuando se diseñan e instalan sistemas de puesta a tierra, así como, de los fundamentos y teorías de gestión de la seguridad eléctrica de acuerdo a normas y estándares nacionales e internacionales para establecer las funcionalidades tanto de los equipamientos como del laboratorio de automatización y control como de los diferentes elementos que conforman su sistema eléctrico.

El laboratorio de automatización y control industrial, pertenece al programa de estudios de Electrónica Industrial de una prestigiosa institución educativa de nuestro entorno dedicada a la formación y adiestramiento de la juventud en el campo de la automatización y control industrial, sin embargo, dicho laboratorio no cuenta con la

capacidad de mitigar los posibles accidentes o fallas en el funcionamiento de los equipos por causas de la no existencia de un sistema de aterrizado que proporcione seguridad.

Es, precisamente, en ese sentido, que la falta de seguridad involucra desde el aspecto físico como la exposición del peligro de las personas o estudiantes que hacen uso del laboratorio, hasta los docentes que realizan sus actividades de prácticas de laboratorio; quedando, en ambos casos, expuestos a un conjunto de riesgos y peligros que implica el trabajo con los sistemas de energía eléctrica.

Asimismo, otra de las problemáticas que se observa, está vinculada al funcionamiento de los equipamientos, pues, como ya se dijo se trabaja con equipos para la automatización y control industrial como PLC, motores trifásicos, contactores, lámparas, relés, interruptores termomagnéticos, pulsadores, entre otros. Además dichos equipos, requieren de una conexión a tierra según sus especificaciones técnicas del fabricante para su buen funcionamiento.

Por otro lado, las normas y estándares que existen para los trabajos con equipos de potencia eléctrica, demandan de la existencia de un sistema de aterrizado, toda vez que se orientan a garantizar el buen funcionamiento de las instalaciones eléctricas así como ya se mencionó a salvaguardar la integridad física de las personas que los utilizan.

Por tanto, el presente proyecto plantea la necesidad de resolver dichos problemas de necesidad de sistema de aterrizado y seguridad, según los diversos requerimientos que se presentan en el trabajo normal dentro del laboratorio, materia de análisis.

Con la finalidad de dar solución a la problemática descrito anteriormente, el autor, se planteó la siguiente formulación del problema:

¿Cómo realizar el diseño del sistema de puesta a tierra para el laboratorio de automatización y control?

Respecto a la conceptualización y optacionalización de la variable, éste estuvo basado en un marco conceptual, de apoyo al trabajo realizado, brindando coherencia y aplicabilidad a la propuesta para resolver el problema.

Sistema de puesta a tierra

Según Electrotech (2021), es la conexión de las superficies conductoras expuestas como gabinetes de metal con algún punto no energizado de referencia; también lo refiere como muy útil como medida de seguridad de las instalaciones eléctricas para garantizar la seguridad y funcionalidad. La tierra física dentro de una instalación eléctrica, pone a un mismo potencial todas las partes metálicas de manera que no existan diferencias de potencial entre ellas garantizando la seguridad ante defectos de las propias instalaciones.

De acuerdo a la IEEE (2005), todo sistema de puesta a tierra, de acuerdo a la función que realizan, se pueden clasificar como:

- a) Subsistema de electrodos de tierra, donde se conectan electrodos en red y en contacto directo con el suelo lo que sirve como una referencia de tierra para las instalaciones estableciendo un camino seguro para las corrientes no deseadas y se compone de un conductor electrodo de puesta a tierra, los electrodos de tierra y sus respectivas conexiones siendo la primera fase en un diseño de sistema de puesta a tierra.

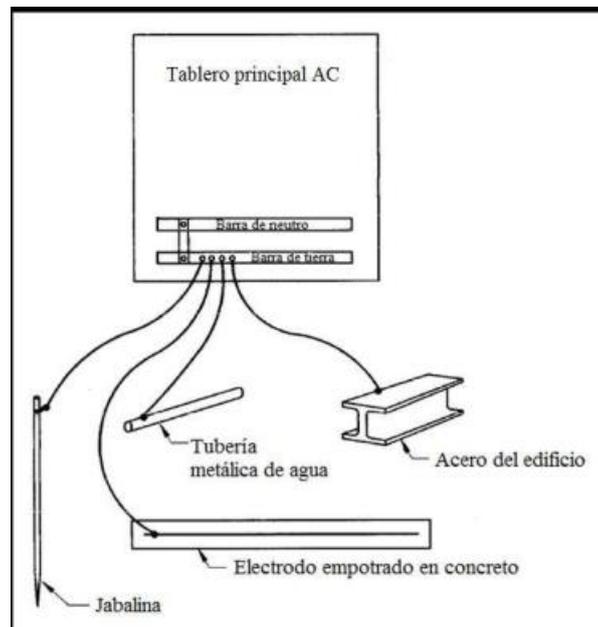


Figura N° 01. Conexiones hacia tierra

- b) Subsistema de protección contra fallas, que brinda a los equipos un camino de retorno de baja impedancia hacia tierra garantizando la seguridad de las instalaciones cuando ocurre alguna falla a tierra, donde se establece que las partes envolventes de los equipos o conductores eléctricos que normalmente no conducen corriente, o que forman parte de los equipos, serán conectados a tierra de manera que se limita la tensión a tierra de estos materiales.

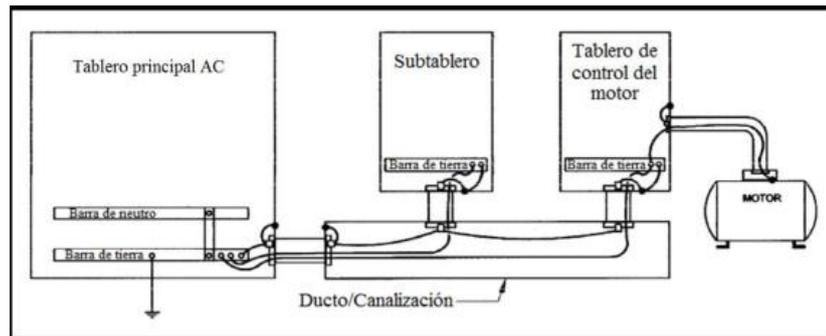


Figura N° 02. Protección contra fallas

- c) Subsistema de protección contra descargas atmosféricas, que capta, conduce y dispersa en forma segura las descargas atmosféricas; presentando un elemento captador, otro conductor bajante de protección contra descargas y la respectiva red de electrodos de tierra.



Figura N° 03. Protección contra descargas atmosféricas

d) Subsistema de unión equipotencial, que interconecta un conjunto de partes metálicas que existen en una instalación eléctrica para reducir la diferencia de potencial entre dichas partes metálicas evitando que las personas se puedan electrocutar o los equipos puedan sufrir daños. Puede tener, además, múltiples conductores conectados en forma de malla que brinda un apantallamiento contra fenómenos electromagnéticos y reduce la impedancia de puesta a tierra en un amplio rango de frecuencias para los equipos.

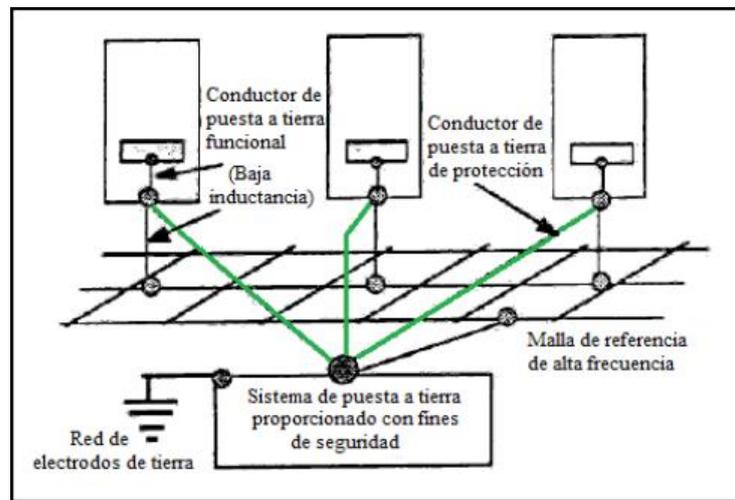


Figura N° 04. Unión equipotencial

¿Qué es lo que se realiza dentro de un laboratorio de automatización?

Según Lamb (2013), la automatización combina elementos como la neumática, electro neumática, hidráulica y electricidad para la obtención de procesos controlados a partir de la evaluación de variables como presión, nivel, temperatura y flujo. Asimismo, se fomenta la interpretación de esquemas, planos, símbolos, normas, manuales para el control de algún tipo de máquina; mediante el uso de programación lógica y equipos mecanizados para ser reemplazo de las tomas de decisiones y actividades manuales de comando de respuesta de los seres humanos.

A su vez, para García (2001), un laboratorio de automatización, debe cubrir dos aspectos claramente diferenciados: la parte operativa, que comprende los dispositivos, máquinas o subprocesos que hacen la operación mecanizada del proceso; y, la segunda denominada el control o mando que se encarga de dar la orden para la ejecución del control.

Efecto de la corriente sobre el cuerpo humano

Cuando la corriente eléctrica, circula a través de los órganos vitales de nuestro cuerpo, su efecto, depende de la magnitud, frecuencia y duración; siendo la consecuencia mayor, la fibrilación ventricular que detiene inmediatamente la circulación de la sangre. Con voltajes bajos, en el rango de 120/220/380/440, la corriente y el voltaje causan daños, más aún si la corriente circula por la resistencia de nuestro cuerpo, produciendo calor por efecto Joule siendo ello lo que daña el cuerpo, mientras que el voltaje puede producir una explosión en el punto donde se conecta al alto voltaje, a mayores voltajes aumentan las probabilidades de que circulen corrientes en el cuerpo humano.

Diferencia entre tierra y neutro

Referenciando nuevamente a Electrotech (2021), se suele confundir muchas veces la tierra (GND) y neutro (N) a pesar de que la función de cada uno es distinta; por un lado, el cable neutro es el encargado de transmitir la corriente mientras que el conductor de tierra es una seguridad primaria de los equipos contra el shock eléctrico, es decir que si por error lo tomamos como si fuera lo mismo, cuando el cable de tierra se corte o interrumpa, la parte metálica de los equipos que están conectados a tierra/neutro, tomarán el potencial de la línea y toda persona que entre en contacto estará expuesta a una descarga eléctrica.

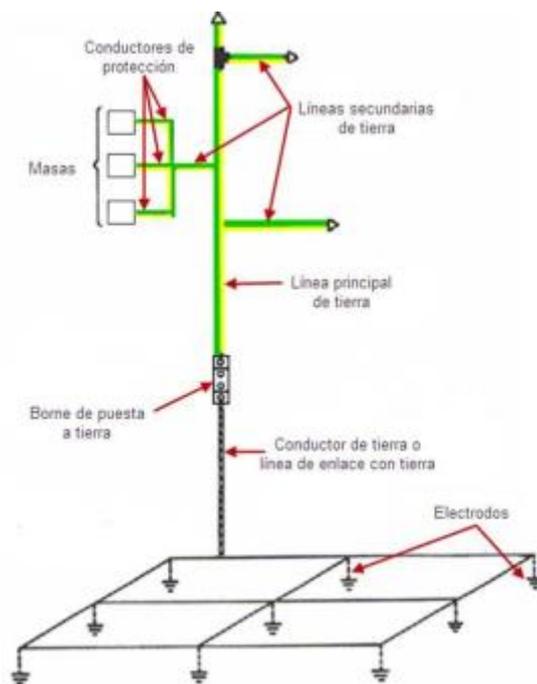
Zonas	Límites	Efectos fisiológicos
AC-1	Hasta 5 mA o curva a	Posible percepción. Usualmente no hay reacción.
AC-2	Sobre 5mA hasta la curva b	Percepción y contracción muscular involuntaria pero sin efectos fisiológicos dañinos.
AC-3	Desde la curva b hasta la c	Contracciones musculares fuertes. Alteraciones reversibles en las funciones del corazón. Dificultad para respirar. Puede ocurrir inmovilización. Los efectos incrementan a medida que incrementa la magnitud de la corriente. Por lo general no hay daños orgánicos.
AC-4	Sobre la curva c1	Pueden ocurrir efectos fisiopatológicos como paro cardíaco, paro respiratorio, quemaduras. La probabilidad de fibrilación ventricular incrementa con la magnitud de la corriente y el tiempo de la exposición.
	c1-c2	Zona AC-4.1. Probabilidad de fibrilación ventricular menor o igual a 5%
	c2-c3	Zona AC-4.2. Probabilidad de fibrilación ventricular menor o igual a 50%
	Sobre la curva c3	Zona AC-4.3. Probabilidad de fibrilación ventricular superior a 50%

Tabla N° 01. Efecto de la corriente sobre el cuerpo humano

Objetivos de un sistema de puesta a tierra

Según Ramírez (2010), un sistema de puesta a tierra tiene por finalidad obtener una resistencia eléctrica de bajo valor para derivar a tierra fenómenos eléctricos transitorios (FET), corrientes de falla estáticas y parásitas; así como ruido eléctrico y de radio frecuencia; manteniendo los potenciales producidos por dichas corrientes de falla dentro de los límites de seguridad de tal forma que las tensiones que se generen no sean de peligro para las personas o animales, logrando que el equipamiento de protección sea más sensible y derive de manera inmediata estas corrientes defectuosas a tierra.

Partes de un sistema de puesta a tierra



- Electrodos de puesta a tierra
- Barras o conductores equipotenciales
- Conductores de enlace
- Conductores y/o soldaduras

Figura 05. Partes de un sistema de puesta a tierra

a) Electrodos de puesta a tierra

Son elementos metálicos que permanecen en contacto directo con el terreno y se construyen con materiales inalterables a la humedad y a la acción química del terreno como el cobre, acero galvanizado y hierro zincado.

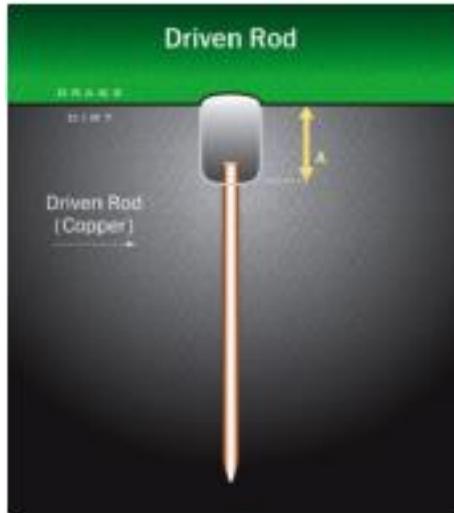


Figura 06. Varilla revestida de cobre



Figura 07. Placas de puesta a tierra

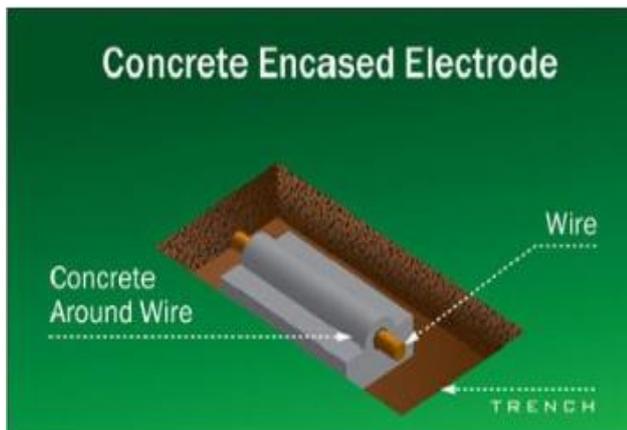


Figura 08. Electrodo revestido de concreto

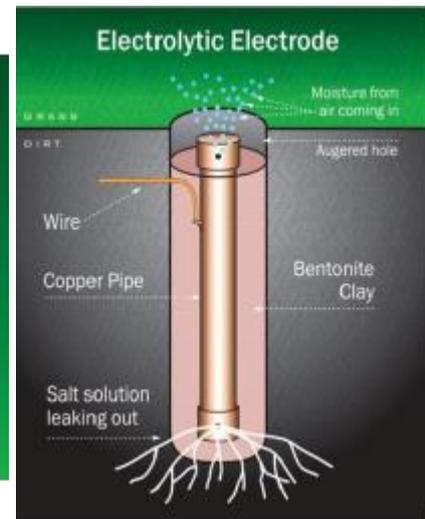


Figura 09. Electrodo electrolítico

b) Barras o conductores equipotenciales

Son barras de sección rectangular o cilíndricas dimensionadas para permitir la agrupación en un solo punto de múltiples conexiones para el equipo de acometida, centros de control de motores, subestaciones, salas de equipos eléctricos salas de equipos de telecomunicaciones, los cuartos eléctricos, entre otros.

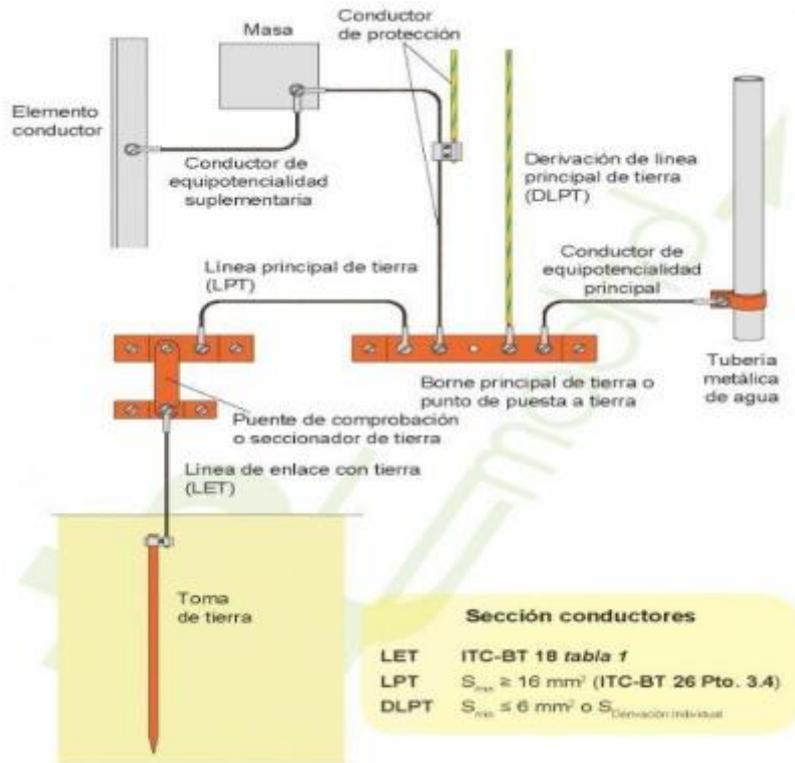


Figura 10. Conexión a las barras equipotenciales al electrodo

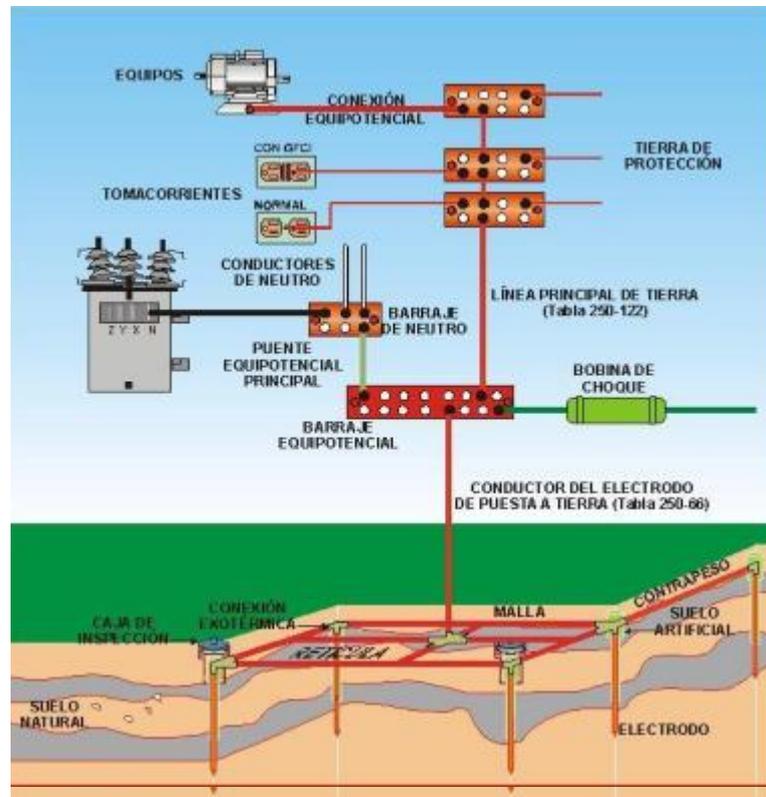


Figura 11. Conexión a las barras equipotenciales a la placa

c) Conductores de enlace

Permiten la transmisión a cualquier lugar o equipo instalado, el potencial de seguridad de la referencia e tierra física o suelo y está constituido por el conductor del electrodo de puesta a tierra y los conductores de puesta a tierra de equipos.

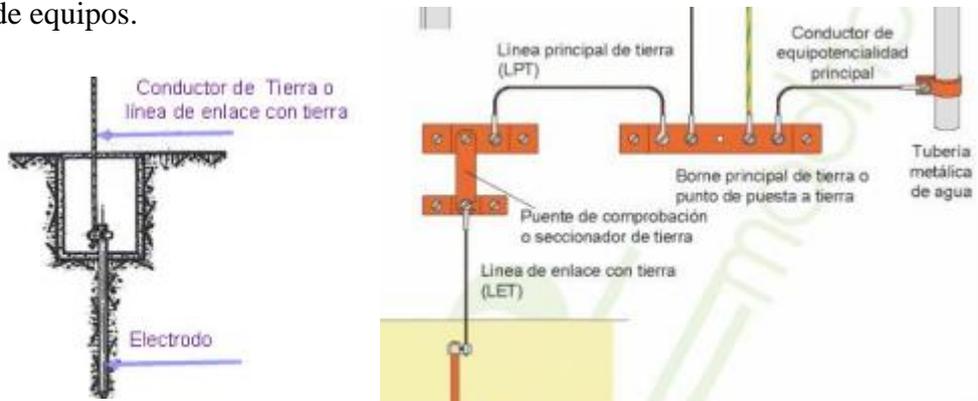


Fig. 12. Conductor electrodo de puesta a tierra Fig. 09. Conductor de puesta a tierra de equipos

d) Conectores y/o soldaduras

Sirven para unir los electrodos de puesta a tierra con su respectivo conductor, así como con las barras equipotenciales para ofrecer una resistencia eléctrica mínima; además de ofrecer resistencia a las condiciones ambientales buscando lograr óptimas condiciones de seguridad y estabilidad.



Figura 13. Conectores para la puesta a tierra

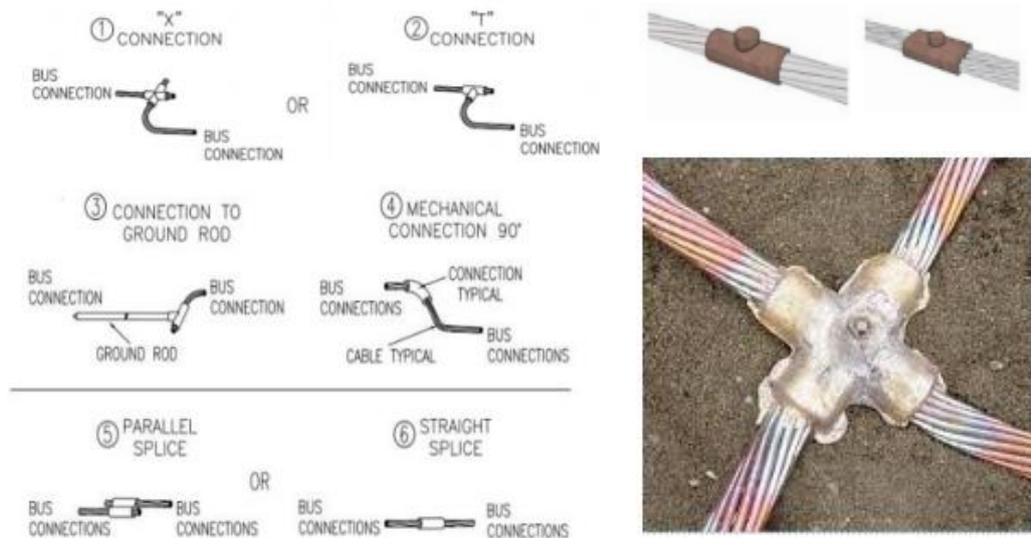


Figura 14. Soldadura exotérmica para la puesta a tierra

Resistividad del terreno

Seguendo a Guerrero (2021), el suelo o subsuelo, tiene propiedades expresadas por la resistividad eléctrica ρ , la constante dieléctrica ϵ y la permeabilidad magnética μ , las cuales dependen de las propiedades y los minerales que se

$$R = \rho l/s$$

- R** = resistencia en Ω
- ρ** = resistividad en (Ω -metro)
- l** = longitud del conductor en metros m
- s** = sección en metros cuadrados

agreguen; y se puede calcular como:

Clase de terreno	Resistividad Eléctrica (Ω - m)
Pantanosos o húmedos	5
De labor o arcilloso	10
Arenoso húmedo	20
Arenoso seco	100
Guijarroso	100
Rocoso	300

Figura 15. Resistividad eléctrica

Además, es importante entender que los terrenos con menor resistividad favorecen un sistema de puesta a tierra con menores resistencias y ésta se puede medir con la finalidad de identificar la presencia de algunos minerales, profundidad de las capas levantando un registro geológico del subsuelo, así como proteger de la actividad corrosiva a las tuberías subterráneas y la búsqueda de encontrar el terreno con la menor resistividad para la implementación del sistema

de puesta a tierra más eficaz. El equipo utilizado para medir la resistencia de la puesta a tierra y la resistividad del terreno donde se instala, es el telurómetro.

Existen diversos métodos para medir la resistencia y calcular la resistividad del terreno, como el método de tres puntos, donde se inyecta una corriente a través de los puntos G y H, midiendo la caída de tensión a diferentes longitudes del terreno y donde las tensiones se portan con valor constante se llama zona estable de medición.

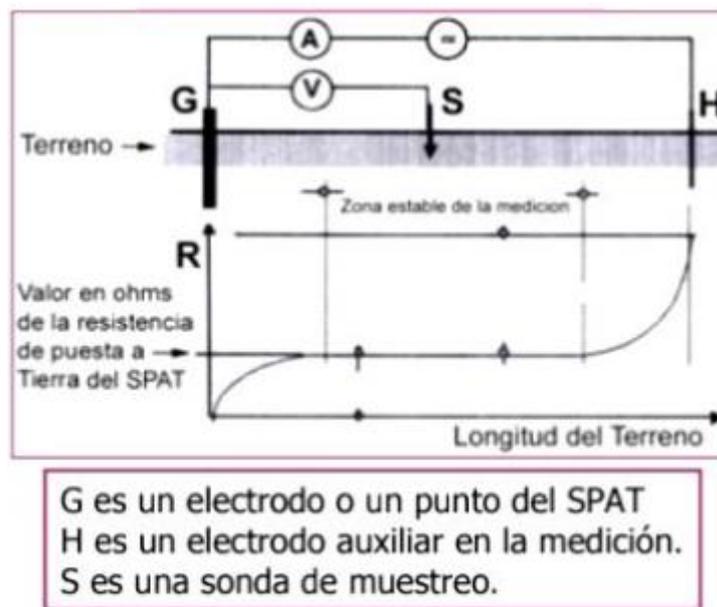


Figura 16. Método de tres puntos: caída de potencial

La resistividad del terreno está determinada por la siguiente ecuación:

$$\rho_c = \frac{2\pi L_E R}{\ln\left(\frac{4L_E}{r_E}\right) - 1}$$

donde:

ρ_c = resistividad aparente del suelo [$\Omega \cdot m$]

L_E = longitud del electrodo bajo prueba [m]

R = resistencia medida del terreno [Ω]

r_E = radio de la sección transversal del electrodo bajo prueba [m]

El mismo autor, refiere otro método denominado de cuatro puntos ó método Wenner, en el que se inyecta una corriente a través de los puntos E y H,

determinando la resistencia de un tramo del suelo alimentando con AC el circuito constituido por los electrodos auxiliares E y H y el suelo entre ambos. Se mide la caída de tensión entre las sondas ES y S ubicadas en el tramo EH y con el valor medido se calcula la resistividad eléctrica del suelo a una profundidad que depende de la separación entre los electrodos.

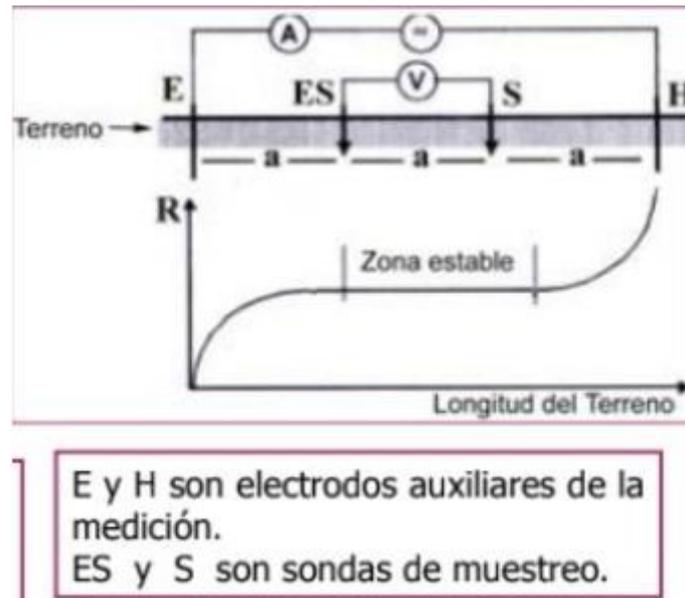


Figura 17. Método de cuatro puntos, método Wenner

Conociendo el valor de la resistencia, se calcula el valor aproximado de la resistividad aparente del suelo con la siguiente fórmula:

$$\rho_a = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

ρ_a → Resistividad aparente del suelo (Ω -m).

R → Resistencia medida en Ω .

a → Distancia entre electrodos adyacentes en m.

b → Profundidad de los electrodos en m.

Figura N° 18. Valor de resistividad

Y también se puede aplicar la fórmula:

$$\rho = 2\pi AR$$

En donde

ρ : Es la resistividad promedio del suelo a la profundidad A en ohm-cm

π : Es la constante 3.1416

A: Es la distancia entre los electrodos en cm

R: Es la lectura del instrumento

Figura N° 19. Valor de resistividad

Mejorar la resistividad del terreno

Como una forma de mejorar y reducir la resistencia eléctrica del sistema de pozo a tierra, tenemos al tratamiento químico del suelo que se elige tomando en cuenta factores como alto porcentaje de reducción inicial, facilidad de aplicación, tiempo de vida útil, facilidad en su reactivación y la estabilidad; con sustancias con características de higroscopicidad, alta capacidad de gelificación, no ser corrosivas, alta conductividad eléctrica, químicamente estable en el suelo, no ser tóxico e inocuo para la naturaleza.

Entre las sustancias de mayor uso para mejorar la resistividad del suelo, se encuentra la bentonita sódica mezclada con sales electrolíticas, también existe el gel mejorador de suelos, el GEM, Thor Gel.

Resistencia del sistema e puesta a tierra

Se mide en ohmios en forma periódica para constatar su valor comparándolo con lo que indica la siguiente tabla, que contiene los valores referenciales de resistencias de puesta a tierra.

Resistencia de puesta a tierra	Calidad	
	En baja tensión	En alta tensión
Menos de 1 Ω	Excelente	Excelente
Entre 1 y 5 Ω	Muy Buena	Buena
Entre 5 y 10 Ω	Buena	Aceptable
Entre 10 y 15 Ω	Aceptable	Regular
Entre 15 y 20 Ω	Regular	Mala
Más de 20 y 25 Ω	Regular	Mala

Figura N° 20. Resistencia de puesta a tierra

Puesta a tierra de los equipos eléctricos

Busca la eliminación de los potenciales de toque que ponen en peligro la vida de las personas y las propiedades de los equipos de forma que estén protegidos contra sobrecorrientes o cortocircuitos y se conecta a tierra todos los elementos de la instalación que en condiciones normales de trabajo no están sujetas a tensiones pero que en cualquier momento puedan tener una diferencia de potencial con respecto a tierra por fallas accidentales.

Por lo general, la resistencia a tierra en cualquier punto del sistema no debe ser mayor de 10 ohmios y todos los equipos se instala en los edificios una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas que se instala unos 60 cm sobre el nivel del piso debidamente señalizado donde deben llegar las concentraciones de todos los tableros.

Los equipos eléctricos se conectan a tierra para evitar que la carcasa o cubierta metálica se convierta en un peligro para las personas que los manipulan y se le llama tierra de protección; también se suele blindarlos a una referencia cero o a tierra para evitar contaminación con señales de frecuencias distintas, los equipos electrónicos y de control requieren de electrodos instalados remotamente de 2,6 mt sobre nivel de piso terminado de uso exclusivo para el sistema electrónico. Además, para estos equipos electrónicos se requiere una resistencia a tierra de

unos 3 ohmios y cuando ésta no se logra se aplican tratamientos para reducir la resistividad del terreno.

Metodología de 04 etapas

- a) Planeación, etapa en la que se realiza la preparación del instrumento de recolección de la información que sustente los requerimientos y necesidades de los usuarios del laboratorio de automatización y control industrial, el mismo que se aplica a estudiantes y docentes que hacen uso de dicho laboratorio. También se conoce la actualidad del laboratorio, su funcionamiento de su red eléctrica, características, necesidad de protección, entre otras.
- b) Diseño, etapa en la que se realizan los cálculos para el dimensionamiento del diseño del sistema de puesta a tierra cumpliendo con las necesidades y requerimientos obtenidos en la etapa anterior. Aquí se elaboran los cuadros de carga y la distribución de la red del sistema de puesta a tierra.
- c) Construcción, etapa en la que se definen los elementos a utilizar en la propuesta de diseño y que va a culminar con la construcción del sistema de puesta a tierra en función del presupuesto que se le asigne para tal fin. En este trabajo se presentan los pasos para una construcción eficaz y de buen funcionamiento con las recomendaciones respectivas.
- d) Operación, etapa en la que se debe revisar el buen trabajo del sistema de puesta a tierra pero que, en nuestro caso, se ha elaborado las recomendaciones necesarias para una buena puesta en marcha del sistema. También se presentan los pasos para lograr una buena operación.

Por tratarse de una investigación del tipo descriptivo – propositivo, no se puede definir una hipótesis debido a que no se trata de demostrar una relación o correlación; se trata de a partir de un análisis de requerimiento, de una necesidad, proponer un diseño mediante el uso de una metodología.

Asimismo, considerando la amplitud del trabajo, se formuló el objetivo general: Diseñar un sistema de puesta a tierra que permita optimizar la seguridad física y lógica en un laboratorio de automatización y control; y, como objetivos específicos: Establecer las necesidades y requerimientos de seguridad eléctrica de acuerdo a las actividades que se realizan en el laboratorio de automatización y control industrial, aplicar una metodología de diseño de puesta a tierra en el

laboratorio de automatización y control industrial y elaborar una propuesta de diseño que mejore la seguridad eléctrica física y lógica en el laboratorio de automatización y control industrial .

Metodología

La presente investigación, estuvo delineado bajo un entorno y componente investigativo de tipo tecnológico, considerando que se planteó culminar con una propuesta de diseño de un sistema de puesta a tierra y como toda investigación tecnológica, produce un bien, un servicio o un proceso; en este caso, se ha logrado producir la propuesta de diseño a partir de las necesidades y requerimientos establecidos. Además, de acuerdo al diseño de la investigación, ésta no ha buscado demostrar ninguna hipótesis ni mucho menos establecer una relación o correlación entre las variables; es decir se trató de una investigación no experimental, de corte transversal, puesto que la información fué recolectada y procesada en un tiempo establecido.

La Población para la presente investigación, estuvo comprendida por todos los equipos que forman parte del laboratorio de automatización y control industrial y sus diferentes requerimientos de puesta a tierra para su buen funcionamiento; es decir, está constituida por todos los equipos que se conectan al sistema eléctrico (20 equipos), sumado a ellos, los usuarios del laboratorio estudiantes y docentes que en su totalidad son: 52 estudiantes y 8 docentes..

Mientras que la muestra, se planteó tomarla aplicando el muestreo no probabilístico, intencional y por conveniencia; estando formada por la población misma a la cual se le aplicó los cálculos de diseño para establecer los valores mínimos que debe cumplir el diseño propuesto y un cuestionario que fue aplicado a estudiantes y docentes.

Para ello, se utilizaron las técnicas e instrumentos de encuesta y observación así como el análisis documental, con sus respectivos cuestionario, guía de observación y documentos de la institución referidas al laboratorio de automatización complementado con trabajos similares.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la metodología de diseño de 04 fases, las mismas que se detallan a continuación:

Fase 01, comprende el levantamiento y análisis del sistema eléctrico existente en el laboratorio de automatización y control;

Fase 02, comprende la memoria técnica descriptiva del diseño del sistema de puesta a tierra para el laboratorio;

Fase 03, comprende la implementación del sistema de puesta a tierra para el laboratorio y

Fase 04, comprende las mediciones y optimizaciones del sistema de puesta a tierra implementado.

Resultados

Respecto de la fase 01, Planeación, se realizó la preparación del instrumento de recolección de la información que consistió en la aplicación de una encuesta a los trabajadores para conocer los requerimientos y necesidades de los usuarios del laboratorio de automatización y control industrial, el mismo que se aplicó a estudiantes y docentes que hacen uso de dicho laboratorio. se encontró que la mayoría de los usuarios (80%) consideran que realizan trabajos de prácticas de laboratorio en estado de inseguridad a pesar de que, ante una falla eléctrica, la respuesta de seguridad del sistema de protección termo magnética es seguro (60%), que existe un sistema de protección eléctrica para las personas en dicho ambiente (85%), sin embargo, no existe un sistema de protección eléctrica para los equipos.

Por otro lado, la parte positiva es que todos los tomacorrientes instalados en el laboratorio son de tres terminales, es decir, con toma de tierra, pero aun así los equipos que ahí se operan presentan fallas eléctricas que han electrizado a los usuarios (58%) debido posiblemente a que todos estos equipos no se encuentran conectado a un sistema de puesta a tierra, además de no existir un pozo de tierra instalado para el uso de dicho laboratorio, dejando que de manera independiente cada mesa de trabajo se encuentre protegidas frente a posibles fallas (50%).

Finalmente, los usuarios consideran como una necesidad la instalación de un sistema de puesta a tierra para sentirse protegidos cuando trabajan en el laboratorio materia de análisis.

En esta misma etapa, se conoció la actualidad del laboratorio, el funcionamiento de su red eléctrica, las características, su necesidad de protección, entre otras; mediante la aplicación de una guía de observación, que nos permitió establecer que los equipos del laboratorio de automatización y control, no se encuentran conectados a un sistema de tierra a pesar de tener tomacorrientes para dicho fin. Asimismo, la energía se distribuye desde un tablero general que involucra a otros ambientes de taller y no presenta un tablero eléctrico independiente; mientras que los cables no están ordenados ni etiquetados conforme a las norma vigentes. Su sistema de energía, trabaja con sistema monofásico para las computadoras y trifásico para los equipos de automatización PLC. Se observa además, que los cables utilizados en las instalaciones

no están según el consumo de corriente durante las prácticas además de no cumplir con las normas del Código Nacional de Electricidad. También presenta puntos sospechosos de fallas eléctricas y no tiene sistema de protección individual para cada mesa de trabajo, solo cuenta con un sistema de protección por elemento termo magnético desde el tablero general.

Respecto de los equipos, se observa que éstos tienen los terminales con las respectivas tomas a tierra, pero éstas no se utilizan en la práctica y tampoco se encuentran conectados a la tierra del tablero eléctrico ni mucho menos a un sistema de puesta a tierra, presentando pequeñas descargas eléctricas al momento de realizar las prácticas de taller lo que representa algún tipo de posibilidad de falla eléctrica.

En lo que concierne a la seguridad de las personas, se observa que no existe normas de seguridad para las personas que usan el laboratorio en forma visible, resultando que no se encuentran protegidos y aislados de la energía durante su trabajo de prácticas. El piso del laboratorio tampoco brinda aislamiento para el trabajo que allí se realiza y no existen accesorios de protección eléctrica para el trabajo en el laboratorio, mientras que la ubicación de las tomas de energía de las mesas de trabajo tampoco van de acuerdo a norma.

Respecto del análisis del sistema eléctrico existente en el laboratorio, se puede concluir que existe de manera urgente la necesidad y requerimiento de un sistema de puesta a tierra que ayude a realizar un trabajo seguro y libre de fallas que garanticen la integridad tanto de las personas como de los equipos.

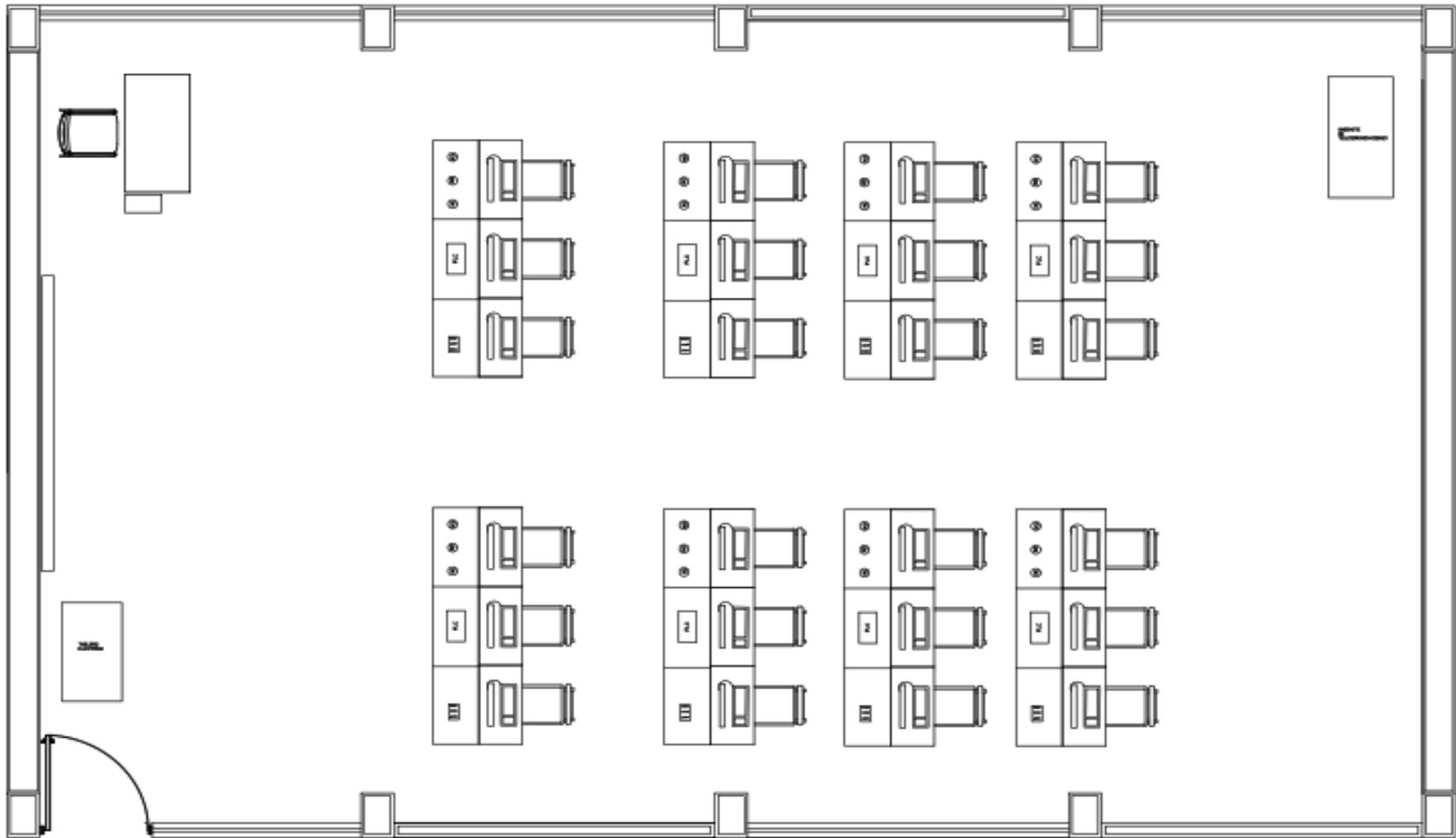


Figura N° 21. Distribución de equipos en el laboratorio

DIAGRAMA UNIFILAR

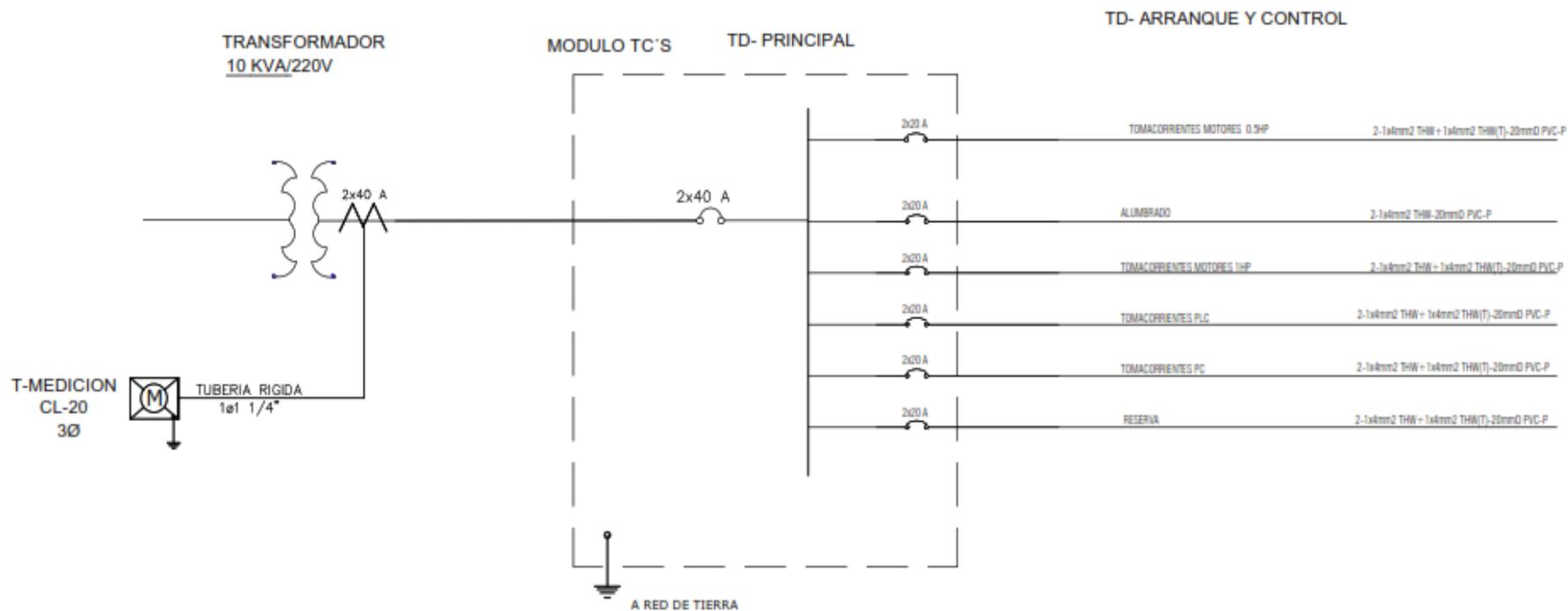


Figura N° 22. Diagrama Unifilar del sistema eléctrico para el laboratorio

Respecto de la fase de Diseño, se realizaron los cálculos para el dimensionamiento del diseño del sistema de puesta a tierra cumpliendo con las necesidades y requerimientos obtenidos en la etapa anterior. Aquí se elaboraron los cuadros de carga y la distribución de la red del sistema de puesta a tierra.

Tabla 02.

Cuadro de cargas del Laboratorio

Cuadro de cargas 01	Potencia instalada (Kw)	Cantidad	Total potencia instalada (Kw)
1 Equipos de cómputo	0.6	24	14.40
2 Módulo de PLC	0.011	8	0.09
3 Motor trifásico 0.75 HP	0.56	10	5.60
4 Motor trifásico 1 HP	0.746	14	10.44
5 Switch 24 puertos	0.37	1	0.37
6 Proyector Multimedia	0.49	1	0.49
7 Luminarias	0.04	10	0.4
8 Otros equipos	0.5	2	1
Nota: Se calcularon los consumos en un período promedio de Kw/hora.			
			32.79

Respecto de la fase 03, Construcción, se definieron los elementos a utilizar en la propuesta de diseño y que va a culminar con la construcción del sistema de puesta a tierra en función del presupuesto que se le asigne para tal fin. A continuación se presentan los pasos a seguir para una construcción eficaz y de buen funcionamiento con las recomendaciones respectivas para el sistema de puesta a tierra:

Como punto de inicio, se investigó acerca de la resistividad y homogeneidad del terreno, utilizando un telurómetro de propiedad de la institución donde se ha planteado el diseño del sistema de puesta a tierra, mediante el método de los cuatro puntos en arreglo Wenner, en cuatro direcciones y con separaciones de 1, 2 y 3 metros de las estacas, respectivamente. El terreno en sí, responde a características de terreno cultivado pero que al momento de realizar el estudio, se encontraba en condiciones de terreno en desuso y carente de plantas a su alrededor. Los valores encontrados en las medidas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 03.

Medida de resistividad en diferentes direcciones

Separación (m)	Resistividad dirección 1 (Ω -m)	Resistividad dirección 2 (Ω -m)	Resistividad dirección 3 (Ω -m)	Resistividad dirección 4 (Ω -m)	Resistividad Promedio (Ω -m)
1	43.10	54.50	49.90	46.60	48.53
2	57.50	56.30	58.00	57.50	57.33
3	81.40	79.40	80.30	86.00	81.78

A partir de los datos obtenidos, calculamos el modelado del terreno con la obtención de la resistividad aparente utilizando el modelo del terreno uniforme mediante la ecuación:

$$\rho_a(av1) = \frac{\rho_a(1) + \rho_a(2) + \rho_a(3) + \dots + \rho_a(n)}{n}$$

Donde,

$\rho_a(1), \rho_a(2), \rho_a(2) \dots \rho_a(n)$ son los datos medidos de resistividad aparente [$\Omega \cdot m$]
 n el número total de mediciones

$$\rho_a = (48,53 + 57,33 + 81.78) / 3 = 62,55 \approx 63 \Omega\text{-m}$$

Además, utilizando el método gráfico Sunde, se analizaron y obtuvieron los siguientes resultados:

- a) Se graficó una curva de resistividad aparente vs espaciamiento de las estacas de prueba que se obtuvieron en las mediciones.



Figura 23. Resistividad aparente y profundidad

- b) De la curva trazada y con los datos de la tabla donde se muestran las mediciones realizadas, se estimó la resistividad que corresponde a la separación menor ρ_1 y la resistividad de la separación mayor ρ_2 .

$$\rho_1 = 48.53 \Omega\text{-m} \quad ; \quad \rho_2 = 81.78 \Omega\text{-m}$$

- c) Con los valores anteriores, se determinó la relación

$$\rho_2 / \rho_1 = 1,685143 \approx 1,69 \text{ además de } \rho_a / \rho_1 = 1,348 \approx 1,35$$

y se procedió a graficar dichos resultados en el eje Y de la curva del gráfico Sunde.

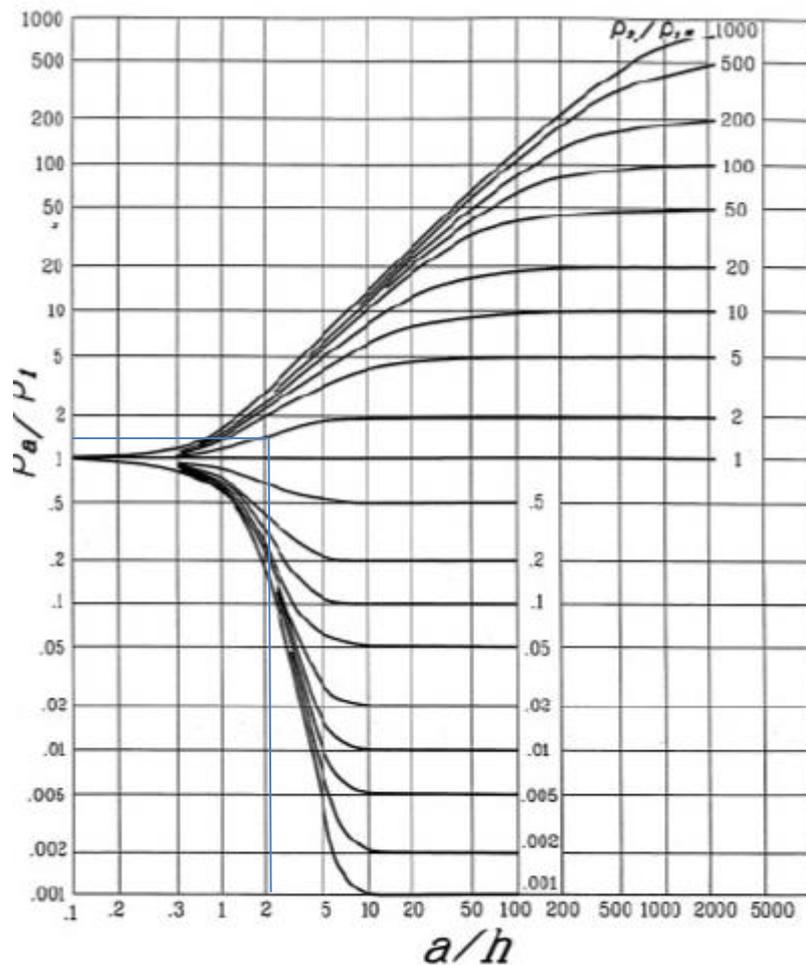


Figura 24. Gráfico sunde

d) Luego, se procedió a leer el valor de a/h en el eje X.

$$a/h = 2,3$$

e) Pos tanto, el valor de la resistividad aparente obtenido por el método gráfico será:

$$\rho_a = (\rho_a / \rho_1) * \rho_1 \approx 65,02 \Omega\text{-m}$$

f) Seleccionamos, el valor que corresponde a 65,02 de la curva graficada en el paso a), obteniendo un valor de separación de 2,34 metros.

g) Finalmente calculamos h, mediante:

$$H = a / (a / h) = 1,02 \text{ mt}$$

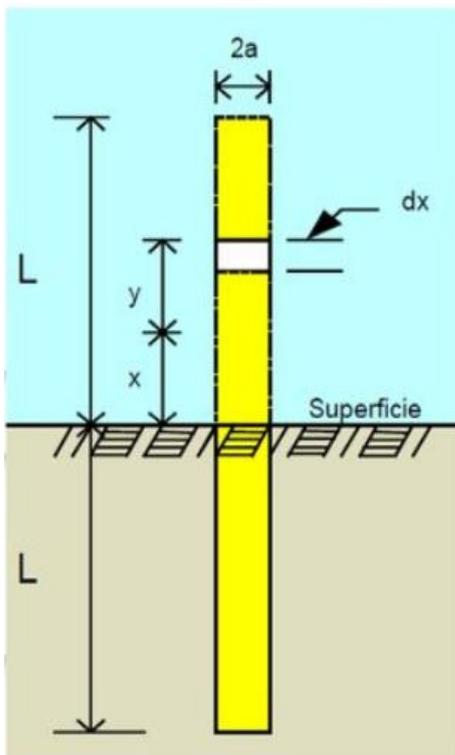
Y, de acuerdo a la norma, IEEE Std 80-2013, buscando cumplir con los requisitos de tensión de paso y contacto tolerables para el cuerpo humano, se trabaja con el área de estudio como primer paso, cuyas dimensiones del terreno

medido tiene como longitud 9m de largo y de 4 mt de ancho, dando un área total del terreno de 36m².

$$\rho_a = 63 \text{ } \Omega\text{-m}$$

Una vez establecida la resistividad del terreno, se procedió a calcular la resistencia del terreno, realizando varias mediciones en la búsqueda del diseño que mas conviene; es decir, se ha calculado en base a electrodos tanto verticales, como a continuación se detalla:

Caso de Electrodo verticales



$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L}{a}$$

Donde:

- ρ : resistividad del terreno (Ω - m).
- L : longitud de la barra en (m).
- A : radio de la barra en (m).
- L_n : logaritmo natural.
- R : resistencia en (Ω).
- d : $2a$.

Figura 25. Electrodo vertical

a) Para el caso de electrodo vertical simple:

Características del electrodo

Longitud de la barra = 2,40 mt

Diámetro = 5/8" = 0.015875 mt. = 2a

Tipo = Circular

Material = Cobre

Radio = 0079375 mt

Electrodos Verticales		
Resistividad del suelo:	63	[Ωm]
Longitud del electrodo:	2.4	[m]
Radio del electrodo:	0.008	[m]
Separación (D):	10	[m]
Resistencia Total*:	25.44	[Ω]



Figura 26. Resistividad Resistencia para un electrodo vertical simple

b) Para el caso de dos electrodos en línea

Electrodos Verticales		
Resistividad del suelo:	63	[Ωm]
Longitud del electrodo:	2.4	[m]
Radio del electrodo:	0.008	[m]
Separación (D):	10	[m]
Resistencia Total*:	15.77	[Ω]

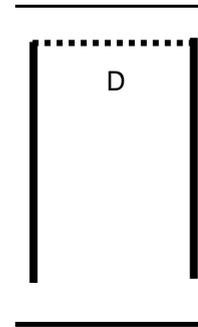


Figura 27. Resistencia para dos electrodos en línea

c) Para el caso de tres electrodos en línea

Electrodos Verticales		
Resistividad del suelo:	63	[Ωm]
Longitud del electrodo:	2.4	[m]
Radio del electrodo:	0.008	[m]
Separación (D):	10	[m]
Resistencia Total*:	11.84	[Ω]

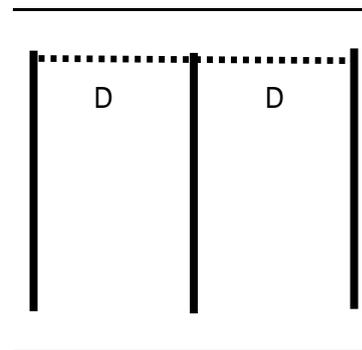


Figura 28. Resistencia para tres electrodos en línea

d) Para el caso de tres electrodos en triángulo

Electrodos Verticales		
Resistividad del suelo:	63	[Ω m]
Longitud del electrodo:	2.4	[m]
Radio del electrodo:	0.008	[m]
Separación (D):	5	[m]
Resistencia Total*:	16.62	[Ω]

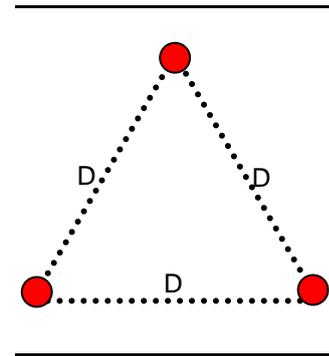


Figura 29. Resistencia para tres electrodos en triángulo

De todos los cálculos realizados en el diseño de diferentes tipos de arreglos de electrodos para la propuesta de implementación del sistema de puesta a tierra, se selecciona el Arreglo Vertical de tres electrodos simples en línea, que se obtuvo una resistencia de valor 11,84 Ohmios.

Además, como se puede observar en la figura siguiente, de acuerdo a Osinermin (2015), se debe cumplir con los siguientes valores de resistencia en cada caso.

Para un Sistema de Computo	1-5 ohm
Para Ascensores	1-4 ohm
Para Subestaciones	1-3 ohm

Figura 30. Valores de resistencia a cumplir

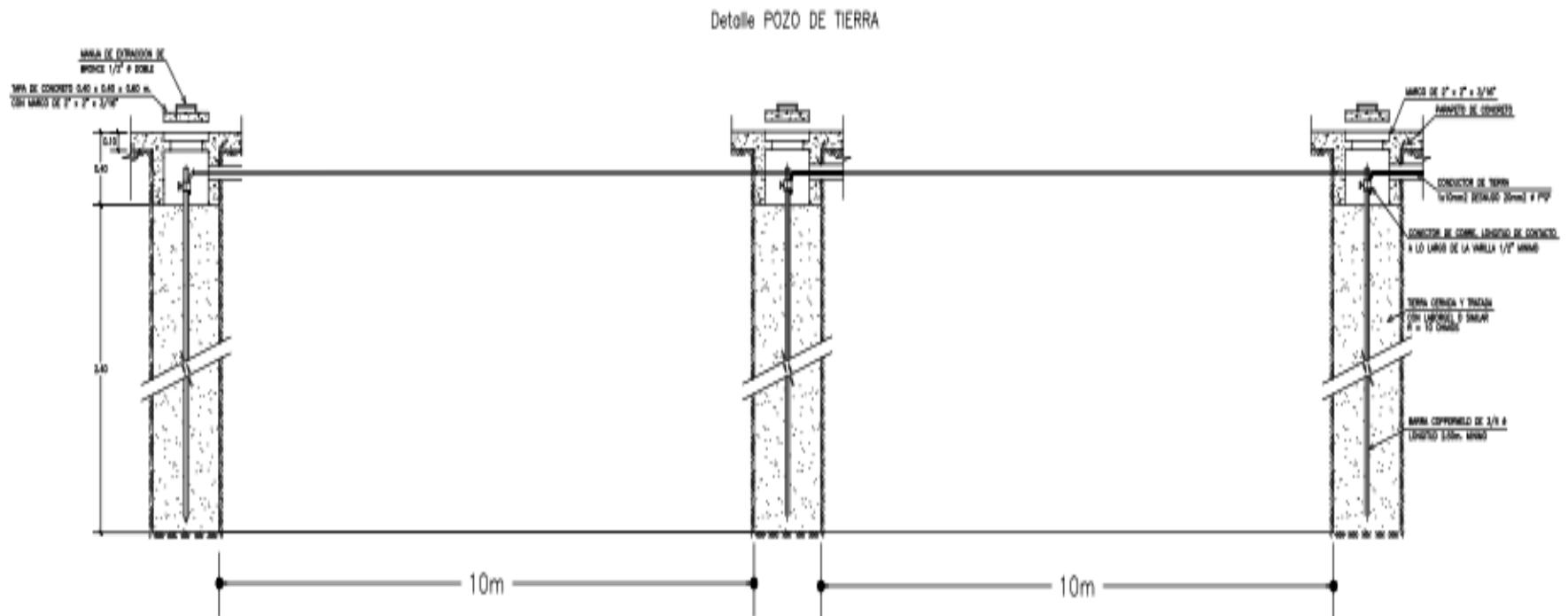


Figura 31. Propuesta de diseño del sistema de tierra

Por lo tanto, para el laboratorio, materia de objeto de estudio, vamos a considerar una Resistencia de 5 Ohmios, por tanto para bajar el valor de 11,84 Ohmios, le vamos a dar un tratamiento químico utilizando material de mejora del suelo seco GEM que tiene forma de cemento mezclado con agua. Se trata de un material que se utiliza en terrenos de pobre conductividad, para disminuir el valor de su resistencia e impedancia de la tierra. La ventaja radica en que una vez instalado, no requiere mantenimiento ni cambios periódicos o la presencia de agua para mantener su conductividad.



Figura 32. Tratamiento químico

Se trata de un material que no es corrosivo, compuesto de carbón o cemento porland que no necesita mantenimiento ni tampoco se disuelve o descompone con el tiempo, fácil de instalar incluso en forma seca que no contamina el suelo.

Para su instalación, se perfora un agujero de 20 cm de diámetro con una profundidad de aproximadamente 1,10 mt; colocando cada electrodo en el centro del agujero y se lo entierra hasta que el extremo superior e cada varilla quede a unos 15cm el nivel del terreno, luego se realiza la conexión con el conductor.

Luego se vierte una bolsa de GEM (11,3 Kg) alrededor de cada electrodo hasta llenar completamente cada agujero y se le agrega de 5,7 a 7,6 litros de agua por bolsa. Luego, se espera que el GEM se endurezca aproximadamente una hora antes de rellenar la parte superior del agujero con la tierra que se sacó del mismo. Luego, procedemos a realizar medidas de la resistencia entre los tres a quince días de realizado el procedimiento.

A continuación, se presenta, como parte de esta etapa, los pasos para realizar un sistema de puesta a tierra:

Este proceso depende del tipo de pozo que deseamos instalar, en nuestro caso se trata de uno vertical; del método que se use para mejorar la resistividad, en nuestro caso GEM; y del tipo de electrodo a utilizar, en nuestro caso tres electrodos de cobre.



Figura 33. Pozo de tierra vertical

Como ya se determinó la resistencia del terreno así como el tipo de método químico para reducir su valor a lo esperado, procedemos a adquirir los materiales necesarios para la instalación, luego cavar el pozo con las medidas reglamentarias, hacer la instalación, colocar el conductor, hacer la nueva medida de puesta a tierra, colocar la caja de registro y realizar el informe respectivo con el protocolo INDECI.

Procedimiento para realizar la puesta a tierra:

- a) Se mide la resistencia del terreno y la resistividad del mismo, luego se cava el pozo y se fija la barra de cobre con cemento conductivo.



Figura 34. Medición de resistencia y resistividad

- b) Luego alrededor se le agrega gel mejorador de suelos GEM en la parte inferior formando un anillo para mantener húmedo el terreno.



Figura 35. Uso del material GEM

- c) Se coloca una tubería de 6" rodeando la varilla de cobre y la misma la rellenamos con cemento conductivo.



Figura 36. Tubería alrededor del electrodo

- d) Luego mezclamos el Gel mejorador de suelo con la tierra retirada del pozo y se rellenamos el pozo con la mezcla e tierra, gel mejorador de suelo y agua.



Figura 37. Relleno del pozo de tierra

- e) A medida que se hacen las capas, la tierra y el gel mejorador de suelo se deben compactar, este es un proceso clave en la construcción del pozo de tierra.



Figura 38. Compactación del relleno del pozo de tierra

- f) Se continúan haciendo capas hasta llenar en su totalidad el pozo, se coloca la caja de registro de concreto y se toma la medición del sistema de puesta a tierra.



Figura 39. Toma de medida del pozo de tierra

Análisis y discusión

Los resultados obtenidos en el presente trabajo encuentran coincidencia con los resultados de Usnayo y Mamani (2020), quienes, establecieron los criterios para diseñar una puesta a tierra para una línea de transmisión utilizando electrodos en paralelo que ayudaron a reducir la resistencia, mejorando la confiabilidad y seguridad de dicha línea, aportando con el uso de varillas verticales; mientras que Sinchi (2017), se suma al aporte mediante pruebas de campo con elementos comunes como GEM y electrodos químicos y materiales como Thorgel y Bentonita, logrando en ambos casos, establecer las condiciones que deberán cumplir los sistemas de puesta a tierra. Se recibe, además, de este autor, el aporte del diseño con la ecuación de suelo uniforme y el uso del método gráfico sunde, ambos, de mucha utilidad al logro de mis resultados.

Por otro lado, respecto del trabajo realizado por Orozco (2015), coincidimos con el uso de la metodología de caída de potencial ó método Wenner diagnosticando la situación de los sistemas de puesta a tierra con la medida de las resistencias a intervalos, con resultados similares, determinándose, en ambos casos que los suelos son heterogéneos con valores de resistencias que presentan amplias variaciones en sus medidas a diferentes profundidades.

Respecto al trabajo realizado por Viera (2012), se coincide en la búsqueda de un sistema de unión equipotencial y de puesta a tierra para un centro de máquinas y equipos basados en normativas y documentos, estableciéndose criterios de diseño del arreglo electródico y de la unión equipotencial, las formas de montajes y lista de materiales.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- a) Se logró establecer las necesidades y requerimientos de seguridad eléctrica de acuerdo a las actividades que se realizan en el laboratorio de automatización y control industrial
- b) Se aplicó una metodología de diseño de puesta a tierra en el laboratorio de automatización y control industrial
- c) Se elaboró una propuesta de diseño que mejore la seguridad eléctrica física y lógica en el laboratorio de automatización y control industrial .

Recomendaciones

- a) Se recomienda la revisión periódica del sistema de puesta a tierra a fin de establecer las nuevas necesidades y requerimientos de seguridad eléctrica de acuerdo al crecimiento y acomodación del laboratorio de automatización y control industrial
- b) Se recomienda establecer o seguir una metodología de mantenimiento del sistema de puesta a tierra en el laboratorio de automatización y control industrial para garantizar el cumplimiento de las funciones para las que fue diseñado.
- c) Se recomienda la elaboración de una guía de uso en las instalaciones eléctricas futuras que ayude en la mejora de la seguridad eléctrica física y lógica en el laboratorio de automatización y control industrial

Bibliografía

- Calvo, J (2016). *Manual básico de seguridad en instalaciones eléctricas de baja tensión*. Edición Canarias. España.
- Camacho, R y Moreira, E (2012). *Cálculo, diseño e implementación de instalación eléctrica, electromecánica y sistema de puesta a tierra para el catamarán Ocean Spray*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Ecuador.
- Cardona, C y Romero, A (2012). *Estudio de los sistemas de puesta a tierra de los edificios de medio ambiente, comunicaciones, educación, cafetería central, sistemas y ciencias básicas*. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Faure, R (2000). *Máquinas y accionamientos eléctricos*. Madrid. Fondo editorial de ingeniería Naval.
- Gaona, E (2019). *Diseño del electrodo de puesta a tierra para un sistema de alto voltaje en corriente directa HVDC*. Universidad autónoma del estado de Morelos. México.
- Gomez, P (2010). *Diseño y construcción de puestas a tierra para el colegio técnico industrial Gualaceo, basado en las recomendaciones prácticas para el aterrizamiento en sistemas eléctricos comerciales e industriales de la IEEE*. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca. Ecuador.
- IEEE (2002). *Guía práctica para sistemas de puesta a tierra industriales de potencia*. Libro verde.
- Orozco, C (2015). *Inspección de los sistemas de puesta a tierra de la institución de diseño e innovación tecnológica industrial SENA*. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Román, H (2017). *Descripción de un laboratorio de automatización y control industrial*. Universidad César Vallejo. Lima. Perú.
- Sayago, I (2006). *Metodología para el diseño de un sistema de puesta a tierra en recintos con subestaciones compactas para media tensión (5-36KV)*. Universidad de Carabobo. Barbula. Venezuela.
- Sinchi, F (2017). *Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo GEM y electrodo químico*. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca.

Ecuador.

Usnayo, E y Mamani, E (2020). *Diseño de un sistema de puesta a tierra para la línea de transmisión de 60 kV desde la SE María Jiray hasta la unidad minera Contonga*. Universidad Continental. Arequipa. Perú.

Vasquez, E (2016). *Diseño del sistema de puesta a tierra de una subestación eléctrica mediante dos metodologías*. Instituto Politécnico Nacional. México.

Viera, G (2012). *Diseño de un sistema integral e sistema de puesta a tierra en telecomunicaciones*. Universidad Simón Bolívar. Sartenejas. Venezuela.

Anexos

Operacionalización de variables

Conceptualización y operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Sistema de puesta a tierra	Según IEEE, se trata de una conexión conductora, por la cual un equipo eléctrico o un circuito, se conecta a tierra o a algún cuerpo conductor que hace las veces de la función tierra.	<ul style="list-style-type: none"> - Proporciona impedancia baja - brinda seguridad a los seres vivos - Conduce la estática o cargas hacia tierra - Garantiza niveles de aislamiento e los equipos - Limita voltajes a tierra de los equipos. 	Sistema de puesta a tierra	Propósito de un sistema de puesta a tierra
				Constitución de una puesta a tierra
				Métodos de puesta a tierra
				Puesta a tierra de sistemas de bajo voltaje y en el interior de locales
				Conductores de tierra
				Métodos de instalación
				Comportamiento de los electrodos de tierra
			Diseño para la conexión a tierra	Normatividad para el diseño
				Diseño de sistemas de electrodos de tierra
				Diseño de puesta a tierra en el interior de edificios
			Equipo de puesta a tierra	Medición de la impedancia de electrodos a tierra
				Equipo necesario
				Método de caída de potencia para medir Resistencia de puesta a tierra
				Gradientes de potencial
				Medida de sistemas de electrodos de gran área
				Medida de resistencia de puesta a tierra sobre pavimentos o suelos de concreto
				Medida de resistencia de puesta a tierra mediante medidor tipo pinza
				Seguridad
Estática y protección contra rayos	Formación del rayo			
	Análisis para colocar un pararrayo. Estimación de riesgos			
	Componentes de un sistema e protección contra descarga atmosférica			
	Terminaciones en aire			

Anexo 02

Cuestionario

Objetivo: Estimado usuario, la presente tiene por finalidad recoger información acerca de la seguridad eléctrica con que cuenta el laboratorio de automatización y control industrial para mejorarla.

Instrucciones: A continuación, se presenta un conjunto de preguntas relacionadas al tema a desarrollar por lo que se le solicita se sirva responder con responsabilidad y sinceridad.

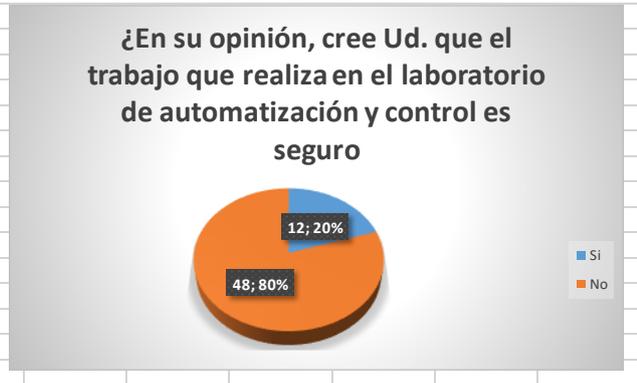
1. ¿En su opinión, cree Ud. que el trabajo que realiza en el laboratorio de automatización y control es seguro? Si No
2. ¿Ante una falla en el funcionamiento del sistema eléctrico, la seguridad del interruptor termomagnético es inmediata? Si No
3. ¿Existe un sistema de protección eléctrica para las personas, en el Laboratorio? Si No
4. ¿Existe un sistema de protección eléctrica para los equipos, en el Laboratorio? Si No
5. ¿Los tomacorrientes instalados presentan tres terminales, es decir, son con toma a tierra? Si No
6. ¿Las computadoras al trabajar en el laboratorio presentan fallas eléctricas que terminan electrizando en pequeña escala al usuario? Si No
7. ¿El laboratorio que utiliza para sus prácticas está conectado a un sistema de puesta a tierra? Si No
8. ¿Existe un pozo de tierra instalado para el uso del laboratorio de automatización y control? Si No
9. ¿Cada mesa de trabajo, computadora y PLC, se encuentran protegidos contra fallas eléctricas y corrientes no deseadas? Si No
10. ¿Considera Ud. la necesidad de instalar un sistema de puesta a tierra en el laboratorio de automatización y control? Si No

Anexo 03

Resultados de la encuesta

1. ¿En su opinión, cree Ud. que el trabajo que realiza en el laboratorio de automatización y control es seguro?

Si	12	20
No	48	80
	60	100



Un 80% de usuarios del laboratorio consideran que el trabajo que realizan en ese ambiente no es seguro, frente a un 20% que lo considera seguro.

2. ¿Ante una falla en el funcionamiento del sistema eléctrico, la seguridad del interruptor termo magnético es inmediata?

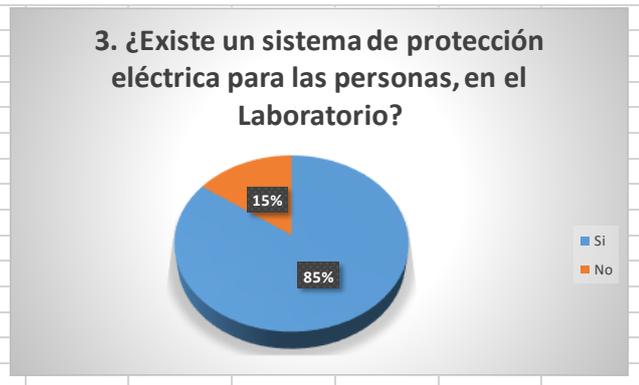
Si	36	60
No	24	40
	60	100



Un 60% de los usuarios del laboratorio consideran que ante una falla eléctrica, la respuesta de seguridad del sistema de protección termo magnética es seguro frente a un 40% que no lo considera así.

3. ¿Existe un sistema de protección eléctrica para las personas, en el Laboratorio?

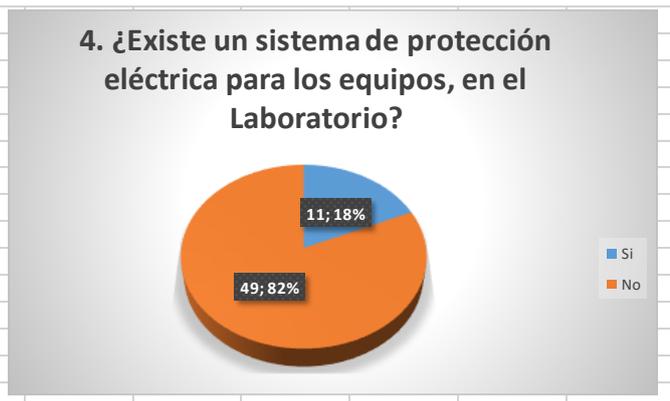
Si	51	85
No	9	15
	60	100



Un 85 % de los usuarios del laboratorio consideran que, si existe un sistema de protección eléctrica para las personas en el laboratorio, frente a un 15 % que no lo considera así.

4. ¿Existe un sistema de protección eléctrica para los equipos, en el Laboratorio?

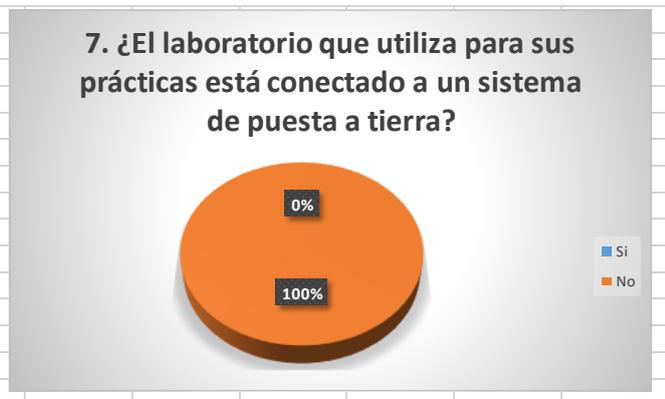
Si	11	18
No	49	82
	60	100



Un 82% de los usuarios del laboratorio consideran que no existe un sistema de protección eléctrica para los equipos, frente a un 18% que manifiestan lo contrario.

7. ¿El laboratorio que utiliza para sus prácticas está conectado a un sistema de puesta a tierra?

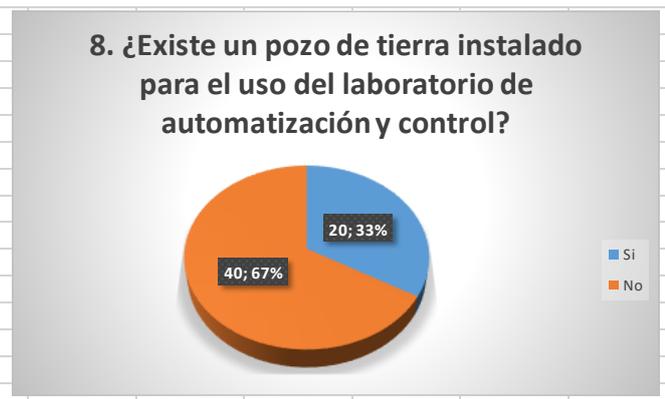
Si	0	0
No	60	100
	60	100



La totalidad de los usuarios del laboratorio consideran que no se encuentra conectado a un sistema de puesta a tierra.

8. ¿Existe un pozo de tierra instalado para el uso del laboratorio de automatización y control?

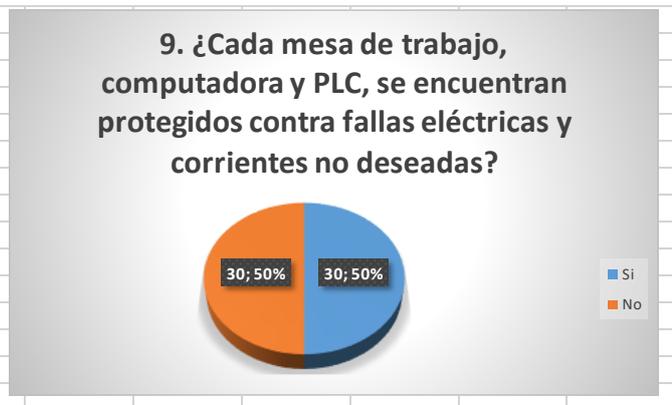
Si	20	33
No	40	67
	60	100



Un 67% de los usuarios del laboratorio, consideran que no existe un pozo de tierra instalado para el uso de dicho laboratorio frente a un 33% que manifiestan que si lo hay.

9. ¿Cada mesa de trabajo, computadora y PLC, se encuentran protegidos contra fallas eléctricas y corrientes no deseadas?

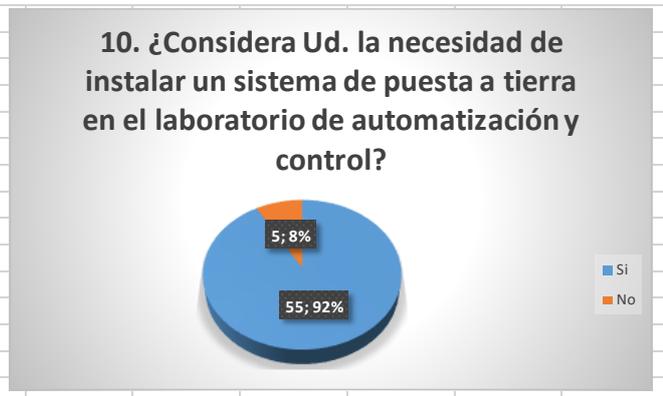
Si	30	50
No	30	50
	60	100



La mitad de los usuarios del laboratorio, consideran que las mesas de trabajo se encuentran protegidas frente a la otra mitad que dice que no existe tal protección.

10. ¿Considera Ud. la necesidad de instalar un sistema de puesta a tierra en el laboratorio de automatización y control?

Si	55	92
No	5	8
	60	100



Un 92% de los usuarios del laboratorio, consideran como una necesidad la instalación de un sistema de puesta a tierra para sentirse protegidos frente a un 8% que no lo consideran así.

Guía de observación

Descripción	Si	No
Sistema eléctrico		
1. Se encuentra conectado a un sistema de tierra		
2. Presenta tomacorrientes con toma de tierra		
3. Presenta un tablero eléctrico independiente		
4. Está ordenado y etiquetado conforme a norma vigente		
5. Trabaja con sistema monofásico o trifásico		
6. Presenta cables según el consumo de corriente durante las prácticas		
7. Cumple con las normas del Código Nacional de Electricidad		
8. Presenta puntos sospechosos de fallas eléctricas		
9. Tiene sistema de protección individual para cada mesa de trabajo		
10. Tiene un sistema de protección por elemento termo magnético		
Equipos		
11. Tienen terminales con toma a tierra		
12. Se encuentran conectados a la tierra del tablero eléctrico		
13. Se encuentran conectados a un sistema de puesta a tierra		
14. Presentan descargas eléctricas al momento de realizar las prácticas de taller		
15. Presentan algún tipo de posibilidad de falla eléctrica		
Personas		

16. Existe normas de seguridad para las personas en el laboratorio		
17. Se encuentran protegidos y aislados de la energía durante su trabajo		
18. El piso del laboratorio brinda aislamiento para el trabajo que allí se realiza		
19. Existen accesorios de protección eléctrica para el trabajo en el laboratorio		
20. La ubicación de las tomas de energía de las mesas de trabajo es la más adecuada		