

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Diseño de un prototipo de puesta a tierra para la
protección efectiva en la industria ligera en el distrito
de San Agustín de Cajas**

Jean Carlos Guzman Socualaya

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme en el bien del camino hasta la última de etapa académica de la carrera profesional. A mi asesor de Tesis, Dr. Carlos Quispe Ancasi por sus sabios consejos, apoyo invaluable y buenas enseñanzas en todo el procedimiento de ejecución el trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A Dios, mi madre y familiares por guiarme en mi camino motivándome constantemente a luchar por mis sueños y no darme por vencido y a cada una de las personas que confiaron en mí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN	ix
ABSTRAC	x
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I	12
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1. Planteamiento y formulación del problema	12
1.1.1. Problema general	13
1.1.2. Problemas específicos	13
1.2. Objetivos	13
1.2.1. Objetivo general.....	13
1.2.2. Objetivos específicos	13
1.3. Justificación	14
1.3.1. Justificación técnica	14
1.3.2. Justificación económica	14
1.3.3. Justificación teórica	14
1.3.4. Justificación legal.....	14
Importancia de la investigación	15
1.4. Alcances de la investigación	16
1.4.1. Alcance temporal	16
1.4.2. Alcance geográfico	16
1.5. Limitaciones.....	16
1.5.1 Limitaciones bibliográficas.....	16
1.5.2. Limitaciones de información	16
1.5.3 Limitaciones económicas.....	16
1.6. Descripción de variables y operacionalización.....	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes del problema	18
Antecedentes internacionales.....	18
Antecedentes nacionales	20

Artículos científicos	21
2.2. Bases teóricas.....	25
2.2.1 Sistema de puesta a Tierra	25
2.2.2. Sistema de puesta a Tierra Tradicional	26
2.2.3. Protección catódica por corriente Galvánica.....	26
2.2.4. Campo magnético	27
2.2.5. Tabla serie Galvánica.....	28
2.2.6. Plataforma de libre acceso Arduino	29
2.2.7. Microcontrolador arduino	30
2.2.8. Sensor de humedad Arduino HL-69	31
2.2.9. Resistividad del terreno.....	31
2.2.10. Conductor eléctrico.....	33
2.2.11. Bobina LCR o bobina de choque	33
2.2.12. Efecto punta	34
2.3. Definición de términos básicos.....	35
2.3.1. Puesta a Tierra de protección	35
2.3.2. Electrodo de Tierra	35
2.3.3. Resistividad del terreno.....	35
2.3.4 Resistencia a Tierra.....	36
2.3.5. Bobina de Choque.....	36
2.3.6. Arduino	36
2.3.7. Módulo Sensor de Humedad HI – 69.....	36
2.3.8. Circuito de retorno a tierra	36
2.3.9. Contacto directo	36
2.3.10. Contacto indirecto.....	37
2.3.11. Tensión de paso.....	37
2.3.12. Tensión de contacto	37
2.3.13. Software Etap.....	37
2.3.14. Software Minitab	37
CAPÍTULO III.....	38
METODOLOGÍA	38
3.1 Diagnostico situación actual	38
3.2. Evaluación de alternativas de solución	40
Diseño eléctrico	42
Diseño mecánico.....	43
Diseño electrónico	44
3.3. Evaluación de alternativas de solución	49

3.3.1. Matriz de soluciones (diseño experimental)	49
3.3.2. Modelo matemático	50
3.3.3. Diseño de alternativas(Ingeniería)	51
3.3.4. Simulación de alternativas	58
3.3.5. Matriz de resultados de las soluciones.....	60
3.3.6. Análisis estadístico de soluciones	61
3.3.7. Evaluación técnica (Cumplimiento de las Normativas en el Sector).....	70
3.3.8. Cumplimiento de objetivos generales y específicos.	73
3.3.9. Evaluación económica de la mejor solución.....	74
Tabla 14. Sistema de puesta a tierra tradicional.....	76
3.3.10 Especificaciones técnicas de la mejor solución	77
3.3.11. Discusión de resultados (Comparación con los antecedentes).....	80
CAPÍTULO V.....	82
CONSTRUCCIÓN	82
4.1. Proceso de construcción.....	82
Etapa 1: Adquisición del material.....	82
Etapa 2: Corte a medida del diseño propuesto.....	83
Etapa 3: Armado y soldadura de las varillas y placas de cobre.	84
Etapa 4: Excavación.....	85
Etapa 5: Tratamiento del terreno.....	86
Etapa 6: Introducir la varilla de cobre.....	87
Etapa 7: Direccionar y nivelar	88
Etapa 8: Mezcla de material.....	90
Etapa 9: Implementación protección catódica	91
Etapa 11: Funcionamiento del sensor de humedad	92
Etapa 12: Medición final.....	93
4.2. Pruebas y Resultados:	94
CONCLUSIONES	98
TRABAJOS FUTUROS	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Variables y operacionalización	17
Tabla 2.	Resumen de artículos científicos revisados.....	24
Tabla 3.	Serie galvánica de los metales químicos.....	29
Tabla 4.	Tabla de rango de resistividad de suelo	32
Tabla 5.	Tabla de rango de conductor eléctrico	33
Tabla 6.	Operacionalización de variable	39
Tabla 7.	Factores y niveles.....	49
Tabla 8.	Tabla de iteración de factores en minitab	50
	50
Tabla 9.	Tabla iteración de resultados obtenidos en Etap.....	60
Tabla 10.	Tipos de calibre conductor.....	70
Tabla 11.	Rangos de resistividad de suelo	71
Tabla 12.	Valores máximos sistema puesta tierra.....	72
Tabla 13.	Materiales utilizados y precios.....	75
Tabla 14.	Sistema de puesta a tierra tradicional.....	76
Tabla 15.	Evaluación económica	76
Tabla 16.	Datos técnicos de varilla de cobre.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diseño comercial actual	15
Figura 2.	Anillo enterrado de puesta a tierra	25
Figura 3.	Sistema de puesta a tierra tradicional.....	26
Figura 4.	Protección catódica por corriente galvánica.	27
Figura 5.	Campo magnético terrestre	28
Figura 6.	Logo Software Arduino	30
Figura 7.	Microcontrolador Arduino	30
Figura 8.	Sensor de humedad HL-69.....	31
Figura 9.	Bobina de choque o filtro LCR	33
Figura 10.	Efecto punta	34
Figura 11.	Diseño propuesto	40
Figura 12.	Diseño propuesto (Partes)	41
Figura 13.	Sistema de puesta a tierra por corriente galvánica y arduino.....	42
Figura 14.	Prototipo mecánico de varilla de puesta a tierra en AutoCAD	43
Figura 15.	Circuito arduino y sensor de humedad.....	44
Figura 16.	Código de programación en Arduino.....	45
Figura 17.	Datos tomados por el sensor de humedad HL-69	47
Figura 18.	Datos tomados por el sensor de humedad HL-69	48
Figura 19.	Sistema de puesta a tierra por corriente galvánica y arduino.....	51
Figura 20.	Prototipo mecánico de varilla de puesta a tierra	52
Figura 21.	Circuito Arduino y sensor de humedad.....	53
Figura 22.	Circuito Arduino y sensor de humedad puesta a tierra	54
Figura 23.	Código de programación en Arduino.....	55
Figura 24.	Datos tomados por el sensor de humedad HL-69	57
Figura 25.	Simulación del sistema de puesta a tierra en ETAP.....	58
Figura 26.	Simulación del terreno en ETAP	59
Figura 27.	Diagrama de pareto de efectos estandarizados.....	63
Figura 28.	Grafica normal de efectos estandarizados.....	64
Figura 29.	Grafica de cubos	65
	65
Figura 30.	Grafica de efectos principales para respuestas.....	66
Figura 31.	Grafica de interacción para respuestas.....	67
Figura 32.	Grafica de respuesta óptima	69
Figura 33.	Diagrama eléctrico de la bobina de choque	79
Figura 34.	Adquisición de material para el diseño del electrodo	82

Figura 35.	Proceso de corte de las varillas de cobre.....	83
Figura 36.	Armado y soldadura del diseño.....	84
Figura 37.	Excavación del hueco.....	85
Figura 38.	Disolución de la sal y agua en el pozo	86
Figura 39.	Introducción el nuevo diseño de varilla de cobre al pozo	87
Figura 40.	Posicionando el nuevo diseño de varilla dentro del pozo	88
Figura 41.	Nivelación y direccionamiento del diseño de varilla	89
Figura 42.	Mezcla de tierra – Bentonita - Thorgel	90
Figura 43.	Implementación de la protección catódica por corriente galvánica	91
Figura 44.	Implementación y pruebas del sensor de humedad.....	92
Figura 45.	Medición final del terreno.....	93
Figura 46.	Medición inicial de resistividad de terreno	96
Figura 47.	Prueba final de resistividad del terreno.....	97
Figura 48.	Protocolo de prueba de SPT.....	109
Figura 49.	Certificado de calibración de thelurometro.....	110
Figura 50.	Planos del prototipo final AutoCAD.....	111
Figura 51.	Plano de la placa de cobre.....	112
Figura 52.	Placa inferior y superior de cobre	113
Figura 53.	Arduino y sensor de humedad.....	114
Figura 54.	Dirigir del vértice de la placa hacia el norte magnético.....	115
Figura 55.	Protección catódica por corriente galvánica	116
Figura 56.	Protección catódica y toma de datos en Arduino	117
Figura 57.	Bobina LCR y placa de cobre	118
Figura 58.	Bobina LCR (parte interna).....	119
Figura 59.	Electrodo de sacrificio	119
Figura 60.	Conectores AB	120
Figura 61.	Varillas de cobre	121
Figura 62.	Programación en Arduino	122

RESUMEN

El actual trabajo de investigación tecnológica abarca el procedimiento del diseño, pruebas y simulación del nuevo Sistema de Puesta a Tierra(SPT) para la mejora de buena protección ante fenómenos electromagnéticos y atmosféricos dentro de un sistema eléctrico o instalaciones industriales, por lo tanto, la función principal de este nuevo prototipo de SPT es minimizar la resistividad del terreno propuesta dentro del marco normativo del código nacional de electricidad(CNE) vigente y la del IEEE, así aumentar la mayor captación de corrientes indeseadas o distintos fenómenos que pueden afectar a nuestro sistema o instalación eléctrica donde se esté trabajando, además de ello proteger y tener la mayor confiabilidad para que estas corrientes indeseadas no retornen al sistema y se dispersen dentro del área de tierra.

El nuevo plan propuesto de *puesta a tierra* tiene como propósito incentivar a las empresas e industrias en el uso de un buen sistema de protección ante las distintas perturbaciones que existen en la red eléctrica, además de volverse como un objeto más de estudio para futuros profesionales de Escuela Académica Profesional de Ingeniería Eléctrica para sus próximos trabajos de Investigación.

El proyecto de investigación ha sido diseñado en base a simulaciones para un óptimo funcionamiento de protección frente a fallas o perturbaciones eléctricas, reduciendo la resistividad del terreno y cómo influye el electrodo y sus componentes en su entorno para que de esa manera no afecte en los circuitos próximos a los cuales se protege. Así también, se realizó el estudio principalmente mediante el software Etap para comprobar su funcionamiento y desenvolvimiento y observar cómo este cambia con modificaciones de parámetros que se inserta dentro del software, para que de esa manera verificar la mejor opción de protección eléctrica en los distintos circuitos a los que se protege.

Por último, se puso en funcionamiento el prototipo *puesta a tierra* diseñado, e implementado con protección catódica y la bobina de choque, logrando así minimizar la resistividad del terreno hasta los 3.22 ohms muy por debajo de los 4 ohms que nos indica la norma IEEE, obteniendo así un desempeño óptimo para todo tipo de terreno.

Palabras claves: *electromagnético, resistividad, corrientes indeseadas, perturbaciones, electrodo y red eléctrica.*

ABSTRAC

The current Technological Research work covers the design procedure, tests and simulation of the new Grounding System (SPT) for the improvement of good protection against electromagnetic and atmospheric phenomena within an electrical system or industrial facilities, therefore, the The main function of this new SPT prototype is to minimize the resistivity of the terrain proposed within the regulatory framework of the current National Electricity Code (CNE) and that of the IEEE, thus increasing the capture of unwanted currents or different phenomena that can affect our system or electrical installation where you are working, in addition to protecting and having the highest reliability so that these unwanted currents do not return to the system and are dispersed within the ground area.

The purpose of the new proposed grounding plan is to encourage companies and industries to use a good protection system against the different disturbances that exist in the electrical network, in addition to becoming another object of study for future professionals of Professional Academic School of Electrical Engineering for your next research work.

The research project has been designed based on simulations for optimal protection against faults or electrical disturbances, reducing the resistivity of the ground and how the electrode and its components influence its environment so that it does not affect nearby circuits. who are protected. Likewise, the study was carried out mainly through the Etap software to verify its operation and development and observe how it changes with modifications of parameters that are inserted within the software, so that in this way verify the best electrical protection option in the different circuits. who are protected.

Finally, the designed Grounding prototype was put into operation, implementing cathodic protection and the choke coil, thus minimizing the resistivity of the ground to 3.22 ohms, well below the 4 ohms indicated by the IEEE standard, thus obtaining optimal performance for all types of terrain.

Keywords: *electromagnetic, resistivity, unwanted currents, disturbances, electrode and electrical network.*

INTRODUCCIÓN

Una puesta a tierra del sistema es un instrumento de protección que tiene como objetivo principal la seguridad en todo circuito eléctrico y que forma parte de las propias instalaciones dentro de un sistema, la principal función de un sistema es direccionar sobretensiones de corriente hacia tierra, protegiendo a las personas del contacto con la electricidad, además de ocasionar daños perjudiciales a los distintos aparatos o circuitos eléctricos que se encuentren conectados a la red. También se le conoce como conexión de puesta a tierra.

El comienzo de utilización de este tipo de sistema de protección ya se empleaba en el siglo XIX, los cuales fueron mejorando con la tecnología propia de distintas empresas de fabricación de los electrodos para puesta a tierra, los cuales se extendió con el uso de sistemas de telégrafos y así de esta manera hubo mejoras hasta la actualidad con el único fin de brindar protección efectiva al usuario y a sus instalaciones los cuales estaban inmerso dentro del sistema o instalación eléctrica.

La puesta a tierra del sistema eléctrico usualmente comprende: del electrodo, como parte fundamental y de conducción para las corrientes indeseadas hasta su dispensación en tierra constituido por un cuerpo metálico o barra de cobre puesto en contacto directo con la tierra la cual por su composición es un buen conductor y anticorrosivo con buenas propiedades en su estructura para que pueda desempeñar un buen trabajo dentro del entorno.

Al respecto se estima que el boceto propuesto del Sistema de Pozo Tierra (SPT) es información útil de estudio para la actual y futura generación de profesionales capacitados de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental; de igual modo motivar a las pequeñas y medianas industrias con la utilización de este diseño para tener la mayor seguridad de protección ante distintos problemas que existan en la red o atmosférica y que dañen los equipos, instalaciones y al usuario en sí.

Precisamente la actual investigación tecnológica tiene como finalidad diseñar un prototipo de puesta a tierra ante problemas electromagnéticos y perturbaciones eléctricas para una mayor efectividad de protección en las industrias y de esta manera evitar pérdidas por parte de los equipos e instalaciones que vayan a estar dañados y también evitar gastos innecesarios de mantenimiento.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

En la actualidad, el incremento de distintas empresas industriales es cada vez más numerosa, el crecimiento económico se limita a los 8.2% del crecimiento entre 2010 y 2015 según el Instituto Peruano de Economía, además Junín es el quinto departamento que apoya el desarrollo económico del Perú en 4% al 2018 (1), debido a que su producción es imparable y así de esa manera brinda un servicio adecuado a distintas entidades hasta sus servidores. Si hablamos con respecto a empresas industriales hacemos referencia principalmente a sus equipos, máquinas eléctricas que son moderadamente sensibles a distintas perturbaciones o fallas existentes en la red eléctrica y hasta los usuarios quienes laboran dentro. Ahora un aspecto más importante donde se vio a titulares y dueños frustrados por distintas razones. Por ejemplo; fenómenos naturales o atmosféricos, incendios por cortos circuitos y entre otros, debido a la mala manipulación y protección que se tienen en las distintas industrias. Estos accidentes son la causa principal de no contar con un sistema de protección adecuada y más trágico cuando se ven pérdidas humanas de por medio.

La tecnología tradicional de puesta a tierra no considera las interacciones de energía electromagnética del planeta y su entorno que invariablemente son tomados por los conductores y metales involucrados en la puesta a tierra del sistema tradicional. Frente a todos estos acontecimientos vividos a diario, surge la idea para proteger eficientemente los distintos equipos y máquinas eléctricas con un grado de sensibilidad muy alto y su vida útil de estos frente a distintas anomalías que se pueden presentar en cualquier momento. Por este motivo es necesario optar por un pacto de disposición e inversión para resguardar las distintas instalaciones y máquinas dentro de una industria, a ello nace la idea de ¿Cómo diseñar un prototipo de puesta a tierra para una mayor efectividad de protección en los trabajos de las industrias?

La importancia de la puesta a tierra del sistema es vital y de carácter significativo, dado que debe de tener la menor resistencia óhmica a 5 ohm independiente del tipo de suelo, de tal forma que se mantenga las actividades eléctricas de forma estable y segura ante posibles fenómenos atmosféricos o sobrecargas de tensión para así brindar una buena calidad de energía y servicio.

Problema general

- ¿Cómo diseñar un prototipo de puesta a tierra para la protección efectiva en la industria ligera en el distrito de San Agustín de Cajas?

Problemas específicos

- ¿Qué tipo y diseño de electrodo se utilizará según su composición química para no generar demasiado gasto económico en mantenimientos futuros?
- ¿Qué componentes tendrá el electrodo y la zona donde se enterrará y se darán los ensayos para aprovechar la mayor captación de corrientes indeseadas?
- ¿Qué dispositivo utilizar para desviar distintas cargas y corrientes indeseadas y no permitir que estas retornen al sistema?

1.1. Objetivos

Objetivo general

- Diseñar un prototipo de puesta a tierra para la protección efectiva en la industria ligera en el distrito de San Agustín de Cajas.

Objetivos específicos

- A. Definir qué tipo y diseño de electrodo se utilizará según su composición química para no generar demasiado gasto económico en mantenimientos futuros.
- B. Definir qué componentes tendrá el electrodo y la zona donde se enterrará y se darán los ensayos para aprovechar la mayor captación de corrientes indeseadas.
- C. Definir qué dispositivo utilizar para desviar distintas cargas y corrientes indeseadas y no permitir que estas retornen al sistema.

1.2. Justificación

Justificación técnica

Un SPAT es de suma consideración en las instalaciones eléctricas. Todas las maquinarias y/o equipos dentro de una industria, poseen última tecnología con un presupuesto elevado y deben de ser protegidos y aislados con una mejor seguridad contra perturbaciones atmosféricas, electromagnéticas, subidas y bajas de tensión o fallas eléctricas del mismo sistema que puedan originarse en momentos inoportunos.

Frente a esta escena, un modo de resguardar a todos las instalaciones, máquinas y usuarios es teniendo una puesta a tierra efectiva de última tecnología, donde todos estos aparatos estén con neutro y conectados a tierra, formando un camino accesible y fácil al suelo (tierra), para así evitar pérdidas materiales o accidentes provocados por este.

Las medidas y materiales del presente diseño propuesto fueron en base al tipo de terreno que se encontró en la zona, siendo este “caliza compacta y pedregoso” según la medición inicial que se realizó, corroborando con la tabla que nos da la IEEE-80.

Al tener este diseño en punta o triangular, tenemos un mayor contacto con la superficie el cual nos beneficiará para captar más electrones y disipar mejor las corrientes indeseadas gracias al efecto punta que tiene el Sistema de Pozo Tierra.

Justificación económica

Esta investigación permitirá que quienes adquieran este SPAT estén protegidos ante descargas atmosféricas y cualquier perturbación que se pueda generar en la red, pudiendo así proteger sus equipos eléctricos y máquinas, reduciendo costos de mantenimiento y reparación en sus instalaciones.

Justificación teórica

En teoría los SPAT son de gran utilidad para todo ámbito, ya que las cargas indeseadas o perturbaciones que afectan al sistema buscan el camino más corto y derivarlos ahí con todo el potencial que contengan, por ello se busca reducir la capacidad óhmica menor a los 5 ohm que es lo convencional en la actualidad para que de esa manera ya nada conectado en el sistema se ve afectado por estas corrientes o perturbaciones eléctricas y ocasionar pérdidas.

Justificación legal

Según la sección 060-100 de la Norma de Utilización del Código Nacional de Electricidad afirma que todo circuito debe ponerse a tierra, según sea necesario por ende el sistema debe de tener conductor neutro en todas las instalaciones. Además,

también en la sección 060-200 menciona que las corrientes temporales resultantes de condiciones accidentales no se consideran como indeseables debido a la corta duración que estas presentan y los equipos o maquinarias no lo sienten en el momento.

Importancia de la investigación

Actualmente no tenemos demasiados artículos y bibliografías que sea similar a este SPAT, también se resalta que cada uno de los libros que se revisó carecen de detalles técnicos que nos referencie este tipo de puesta a tierra. El trabajo de investigación y sus etapas de construcción y materiales utilizados para su elaboración, se presenta a continuación, por ende, se presenta los diagramas necesarios para su elaboración.

Hay algunas compañías extranjeras que fabrican y comercializan de este tipo de SPAT, el cual tiene un costo elevado, por tanto, enfatizó que el diseño tiene con originalidad y su diseño electrónico tiene costo accesible, en tanto la construcción del diseño se reduce económicamente para su implementación en la industria ligera.

Figura 1. Diseño comercial actual



Sistemas de tierra física ▶ **KIT TG-45AB**

MODELO DE KIT: TG-45AB

Unidad de Medida: Kit
Descripción: Electrodo Magnetoactivo
Capacidad: 45A

CARACTERISTICAS

Electrodo:
Electrodo de puesta a tierra marca TOTAL GROUND modelo TG-45AB. Elaborado de cobre electrolítico altamente conductivo, tratado especialmente para retardar los efectos de la corrosión. Incluye dispositivo de filtración de baja frecuencia LCR con bornes de acoplamiento a masa de 1/2 pulgada. Contiene acoplamiento en bobina para instalaciones residenciales o de baja actividad eléctrica.

Compuesto H2Ohm:
Compuesto H2Ohm base orgánica, elaborado con material higroscópico coagulante de humedad que cuenta con certificado de pruebas de LAPEM y certificado de laboratorio acreditado ante EMA (Entidad Mexicana de Acreditación), con valores dentro de la norma CRETIB de no toxicidad ni daño al medio ambiente.

APLICACIONES RECOMENDADAS:
El electrodo TG-45AB se utiliza para la puesta a tierra de:

- SITES de cómputo.
- Racks de telecomunicaciones.
- Sistemas satelitales.
- Sistemas de radio frecuencia.
- Sistemas de control industrial.

Fuente: www.totalground.com

1.4. Alcances de la investigación

1.4.1. Alcance temporal

El proceso de la presente investigación está comprendido entre julio y diciembre del año 2021.

1.4.2. Alcance geográfico

La ejecución del proyecto de investigación tuvo lugar de la región centro del Perú, específicamente el distrito San Agustín de Cajas, departamento Junín, la empresa “Dominion-Perú S.A.C.” donde actualmente estoy laborando, tiene una pequeña subestación en dicha localidad el cual me permitió implementar el diseño.

Hoy en día la empresa viene desarrollando sus actividades en diversos sectores industriales, pero el lugar donde se desarrolló el proyecto tiene suministro en Baja Tensión (BT), siendo este perteneciente a la industria ligera ya que los productos que ofrecemos van directamente al consumidor final entre ellos celulares, antenas satelitales entre otros.

Se definió como industria ligera ya que la empresa que contrató nuestros servicios fabrica bienes dirigidos al consumidor final a través de la cadena de comercialización, el cual tiene actividades económicas que implican menor consumo de energía pudiendo desarrollarse dentro de las ciudades e incluso alrededor de zonas residenciales, lo cual no suele ocurrir con la industria pesada.

1.5. Limitaciones

1.5.1 Limitaciones bibliográficas

La bibliografía a nivel nacional no existe trabajos de investigación, tesis o artículos científicos relacionados al diseño del prototipo propuesto en la presente investigación.

1.5.2. Limitaciones de información

La información con respecto al tema que se está usando en este presente trabajo de investigación es muy escasa y las fuentes en algunos casos no son muy confiables.

1.5.3 Limitaciones económicas

Los distintos insumos y materiales para ejecutar el prototipo son de costo moderado y en algunos deben de estar certificados por ello para la realización y culminación del proyecto se optó en realizar un solo diseño SPAT, complementándolo así mediante simuladores y otros programas relacionados al tema y ahorrar algunos costos.

1.6. Descripción de variables y operacionalización

Tabla 1. Variables y operacionalización

Autor: Guzmán Socualaya Jeán Carlos				
Titulo:		Diseño de un Prototipo de Puesta a Tierra para la Protección Efectiva en la Industria Ligera en el Distrito de San Agustín de Cajas		
Problema:		¿Cómo Diseñar un Prototipo de Puesta a Tierra para la Protección Efectiva en la Industria Ligera en el Distrito de San Agustín de Cajas?		
		Independiente		Dependiente
Variable:		Sistema de Puesta a Tierra		Protección Efectiva en la Industria Ligera
Definición Conceptual:		Es un mecanismo de seguridad que forma parte de las instalaciones eléctricas. Sus dimensiones son: el terreno, el electrodo y la bobina LCR.		Producto que se obtendrá de la buena coordinación del sistema de protección. Sus dimensiones son: la resistencia del terreno y la capacidad óhmica.
Definición Operacional:		Variable que expresa la modificación del terreno, el electrodo y la bobina LCR.		Variable que expresa el grado de resistencia del terreno y la capacidad óhmica.
Variable Independiente		Sistema de Puesta a tierra		
Dimensiones o Sub Variables		Indicador	Unidad	Tipo de Variable
Terreno		Composición Química del Terreno	m ²	Númerica Continua Minerales Naturales o Artificiales
Electrodo		Composición Química de las barras geométricas del terreno	Unidades	Númerica Continua Estructura de Cobre y Otros Aditivos cilíndrica, prisma y rectangulares
Bobina LCR		Exactitud y detención de problema de corrientes indeseadas	Unidades	Númerica Continua Grado de exactitud y detención inmediata ante disturbios Electromagnéticos
Variable dependiente		Protección Efectiva en la Industria Ligera		
Dimensiones o Sub variables		Indicador	Unidad	Tipo de Variable
Resistencia del Terreno		Ohms	Ω	Númerica Telurómetro
Capacidad Óhmica		Ohms	Ω	Númerica Telurómetro

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Antecedentes internacionales

- “El estudio realizado por Nelson Morales Osario en su investigación, en referencia a SPAT en la Universidad de Chile hacia el año 1999, se realiza un análisis que engloba todo con respecto a puesta a tierra, con el objetivo de bajar la resistencia del suelo donde se encontrarán los electrodos y bajar considerablemente para su buena aplicación, utilizando métodos seguros y de confiabilidad en su diseño para lograr una buena adaptación en la parte eléctrica, a ello se le suma en verificar y comprobar la interacción del electrodo en el sistema y de esa manera lograr un boceto de mantenimiento de un SPAT de cualquier índole” (2).
- “El estudio realizado por Héctor Gómez y Esteban Hernández, que trata de modelación de SPAT para la apreciación de sobrecargas transitorias en la Universidad de Antioquia en Medellín, en este apartado los autores optan por realizar un estudio confiable en base a los fenómenos transitorios de sobre voltaje o sub voltaje que están el en el sistema eléctrico, además de las manifestaciones con respecto a la frecuencia dentro de la red. Con ello realizó un programa de evaluación con respecto a las impedancias que se encuentran en las puestas a tierra para una mejora de calidad en la energía eléctrica” (3).
- “De acuerdo con Francisco González Longatt, en su investigación que trata sobre fenómenos atmosféricos y la influencia en una nueva puesta a tierra en la Universidad Nacional Politécnica de la Fuerza Armada Maracay del país de Venezuela, donde el autor realizó un breve análisis y con ello los respectivos cálculos para diseñar un nuevo modelo de puesta a tierra obteniendo mejoras con relación a los distintos tipos de fenómenos atmosféricos existentes que puedan aterrizar dentro de la red y no perjudicarlos teniendo perdidas, en este apartado el autor hizo un boceto de todos los conceptos relacionados con la puesta a tierra de los distintos sistemas eléctricos de protección correlacionados con el sistema” (4).
- “De acuerdo a Moreno Germano, las puestas se realizan y/o implementa con el objetivo de desviar sobretensiones que provienen de fallas en el sistema eléctrico (SEP), descargas atmosféricas o cargas estática que se genera en la red, también para servir de base, permitiendo el correcto funcionamiento de aparatos electrónicos sensibles. Cuando se realiza los respectivos cálculos, debe considerarse la finalidad del SPAT,

tipo de conexionado hacia tierra la cual utiliza el sistema de alimentación y el tipo de instalación para la cual se planea la construcción del sistema de puesta a tierra, pues pueden presentarse diversas características según su destinación: residenciales, industriales, comerciales, hospitalarias o de telecomunicaciones” (5).

- “De acuerdo a Pardo Romero, Wilson Antonio, actualmente la energía eléctrica está presente en casi todas las actividades cotidianas que realizan las personas, debido a esto la tendencia a tener un contacto físico directo o indirecto con la corriente eléctrica es evidente, más aún para quienes trabajan con electricidad la mayor parte del tiempo; como estudiantes en laboratorios modernos, personal de las empresas eléctricas o trabajadores en el sector industrial. Todo ser humano puede estar en potencial peligro, ocasionado por fallas en un sistema eléctrico, descuidos humanos e incluso imprevistos de procedencia natural como lo son las descargas atmosféricas. La estimación de un sistema de tierra se basa en su resistencia, mientras más baja sea la firmeza del sistema puesto a tierra, mayor desempeño brindará éste, con una resistencia baja se mantendrá al equipo a un potencial muy cerca a cero de la tierra, reduciendo cualquier diferencia de voltaje entre equipos o personas y “tierra”. Por lo que con el presente proyecto se contribuye principalmente a evitar accidentes eléctricos” (6).
- “Según García Márquez, Rogelio, el cambio de resistividad del área a medir es muy corta, recayendo con el obstáculo de que las diversas condiciones de superficies no se encuentran precisadas y de esa manera observar la estimación de la resistencia en el lugar definido y ejecutar los datos del sistema de tierra. Así también, para una misma similitud de zona, ubicada en diferentes parajes la resistencia del terreno puede llegar a ser en mínima medida divergente, los datos excesivos hallados en la práctica pueden diferir en algunas decenas de ohm por metro” (7).
- “Según Perez Govea, Alberto, La tierra es un gran imán esta aseveración brotó súbita y contundente al conocerse los estudios realizados por el Sputnik III, mediante los cuales se detectó el campo magnético de la Tierra a más de 100 000 km. Sin embargo, las características magnéticas de nuestro planeta fueron estudiadas y utilizadas por el hombre desde tiempos remotos, la brújula es un ejemplo de ello. Se ha estudiado y se conoce la influencia que sobre todos los organismos vivientes -humanos, animales y vegetales- ejerce el campo magnético de la Tierra. Este campo y su intensidad fueron evaluados por Gauss, ilustre astrónomo alemán, de quien toma el nombre la unidad de medida que lo cuantifica. El desarrollo de la vida está indisolublemente ligado a las radiaciones magnéticas y todos los organismos vivos son afectados, para bien o para mal, por este fenómeno” (8).

Antecedentes nacionales

- “De acuerdo con Eduardo Enrique Rojas en su trabajo de investigación sobre Sistemas de Tierra Remota en Centrales de Generación muestra los métodos, el planteamiento y el cálculo del boceto de este pozo a tierra(SPT) para Centrales de Generación a ello se concluyó que es útil entender en concepto de tierra remota para de esa manera llevar la puesta a tierra en suelo menos resistivo; además, a fin de verificar los potenciales que difieren e incurran en la subestación a la cual se instaló electrodos en 8 puntos en el perímetro para que la evacuación de las corrientes sea rápida y segura” (9).
- “De acuerdo con Johnny Joel Galarreta en su tesis Diagnóstico y mejoramiento de los pozos a tierra de la Universidad Vallejo de Trujillo, se encontró una diferencia significativa de mal funcionamiento entre las puestas de tierra que se encontraban en el plano de todo el campus, además que solo una parte de las puestas a tierra técnicamente eran aceptables lo cual se afirmaba que más del 50 % de las puestas a tierra en el campus estaban en malas condiciones y no funcionaban adecuadamente por ello se promedió una suma de 45 mil soles para constatar y solucionar los procesos de protección de tierra(SPT) de todo el perímetro de la universidad cumpliendo con las reglas vigentes según el CNE” (10).
- “En Perú, la asociación quienes conforman parte de solucionadores en protección de pararrayos, brinda mantenimiento técnico a los pozos de tierra y mantenimiento. El contenido como se presenta está basado en las bases de puestas a tierra como alternativas y procesamiento en la disminución de la resistencia del electrodo e investigaciones de resistencia de los diversos tipos de suelos” (11).
- “Según Vásquez Muñoz E. la puesta a tierra para dispositivos electrónicos se hunde entre los revestimientos de cada uno acoplado a los datos de las hundidas a tierra. Por ello para disminuir disturbios con frecuencia distintas a la requerida fomentada por las descargas atmosféricas” (12).

Artículos científicos

- “Segun Ignacio, Agulleiro (2005) en el artículo titulado Técnicas modernas para la medición de sistemas de puesta a tierra en zonas urbanas, existen dos tipos de sistema de puesta a tierra; simples y complejos. Los simples consisten en un electrodo aislado enterrado, este sistema es el más utilizado y se puede encontrar en sitio residenciales. Los sistemas complejos consisten en un conjunto de electrodos interconectados y son instalados normalmente en subestaciones, oficinas centrales y centros de telecomunicaciones” (13).
- “Para David, Sarzosa y Julián, Chuguspi (2020), En el artículo titulado Optimización del sistema de puesta a tierra en la planta de tratamiento de Conocoto, nos hace mención que el sistema de puesta a tierra mejoró la resistividad del terreno que rodea las varillas y conductor eléctrico, ayudando a mantener la humedad sin considerar las estaciones climáticas y reduciendo los riesgos de daños físicos por transmisión de tensiones superiores de los máximos permitidos a edificaciones e infraestructuras derivadas de descargas atmosféricas” (14).
- “Así para Federico, Machado Olivares (2015) en su artículo denominado Propuesta para redes de tierra interconectadas en sistemas eléctricos que incluyen generadores de energía mediante recursos renovables, los sistemas de puesta a tierra representan un componente importante en las protecciones que poseen las instalaciones eléctricas. Diferentes formas de generación de la energía eléctrica mediante recursos renovables incluyen la necesidad de ubicar estructuras de soporte en áreas expuestas a muy diversas inclemencias atmosféricas, entre ellas, los rayos. De manera adicional, muchos de los equipos de monitoreo y control para los generadores de energías renovables, tienen un alto grado de sensibilidad a perturbaciones por la naturaleza de componentes electrónicos. Finalmente, se tiene la inclusión de las cargas existentes, que demandarán su conexión a la red de puesta de tierra para hacer efectiva su protección ante perturbaciones en la red de distribución. Con la necesidad de conectar todos los equipos de generación y cargas a la red de puesta de tierra, surge la reflexión si disponer de un solo sistema al cual se conecten todas las cargas es el necesario y suficiente para proteger los equipos o, en otro escenario extremo, instalar sistemas de puesta a tierra dedicados individualmente. La propuesta identifica la necesidad de disponer de redes individuales interconectadas con el afán de mejorar el nivel de protección de equipos y personas ante la eventualidad de descargas eléctricas” (15).

- “Según la investigación de Cesar, Cañas Pañuelas (2009) en su artículo denominado Optimización de electrodos de puesta a tierra, el comportamiento de los electrodos de puesta a tierra de las instalaciones eléctricas es fundamental para la seguridad de las personas que conviven y manejan las infraestructuras, así como para el buen funcionamiento de ellas. Las partes fundamentales de una instalación de puesta a tierra son: El electrodo. (Geometría y dimensiones), el tipo de terreno, resistividad y constante dieléctrica” (16).
- “Por otro lado, en la investigación de Marco Andrade (2010) con su artículo Criterios de Diseño a ser considerados en las instalaciones eléctricas separación entre circuito de puesta a tierra, enfatiza que alrededor del 80% de las faltas en redes de media y alta tensión corresponden a cortocircuitos entre una de las fases y tierra. Durante la falta se produce la circulación de corriente entre las instalaciones de puesta a tierra y el terreno circundante, lo que provoca diferencias de potencial entre distintos puntos del mismo” (17).
- Si bien la mayoría de los autores hace mención a metodologías que usaron para un determinado fin, para Benjamín Barriga Gamarra (2010) en su artículo “Métodos de Diseño de Ingeniería Mecánica” nos propone una perspectiva distinta acerca de la técnica de aprendizaje y error, el diseño en el país es una tarea que se realiza sin metodología y en base a la propia experiencia. Esta actividad tiene muchas veces caminos equivocados y generalmente se inicia por el final. Hoy en día el diseño es una técnica que se puede aprender. (18)
- “En la actualidad tenemos varias investigaciones que hacen referencia al campo magnético de la tierra, así destacamos a Alberto Pérez Govea (2002) en su artículo La naturaleza, el hombre y el magnetismo, donde nos expone que la tierra es un gran imán, esta aseveración brotó súbita y contundente al conocerse los estudios realizados por el Sputnik III, mediante los cuales se detectó el campo magnético de la Tierra a más de 100 000 km. Sin embargo, las características magnéticas de nuestro planeta fueron estudiadas y utilizadas por el hombre desde tiempos remotos, la brújula es un ejemplo de ello. Se ha estudiado y se conoce la influencia que, sobre todos los organismos vivientes -humanos, animales y vegetales- ejerce el campo magnético de la Tierra. Este campo y su intensidad fueron evaluados por Gauss, ilustre astrónomo alemán, de quien toma el nombre la unidad de medida que lo cuantifica. El desarrollo de la vida está indisolublemente ligado a las radiaciones magnéticas y todos los organismos vivos son afectados, para bien o para mal, por este fenómeno” (19).

- “Para un buen desempeño del pozo a tierra la investigación de Ramírez Castaño, José Samuel (2010) en su artículo *Sistemas de puesta a tierra: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF* nos menciona que: se basa en la Estándar 80-2000 de la IEEE para obtener niveles seguros de paso y de toque dentro del terreno ya que la tensión de malla representa la peor tensión de toque posible dentro de una subestación, por tanto, esta tensión servirá como base para el diseño” (20).
- “Hoy en día el óptimo desempeño del electrodo es fundamental, así como lo menciona en su investigación Undaneta J. Alberto, Khord M. Hussein y De Oliveira Paulo (2002) en su artículo *Modelo para el diseño óptimo de electrodos de puesta a tierra en torres de transmisión*, en este trabajo se presenta una nueva metodología de optimización para el diseño de sistemas de puesta a tierra de líneas de transmisión, tomando en cuenta consideraciones técnicas y económicas. El diseño es planteado como un problema de programación lineal entera en el que se seleccionan los electrodos complementarios requeridos para cada sección de la línea, con el objetivo de minimizar los costos totales de inversión en construcción, cumpliendo con la tasa de salida forzada permitida para toda la línea de transmisión” (21).
- “En la investigación de Molina Aguilar Juvencio (2005) en su artículo *Criterios para el diseño de puestas a tierra en subestaciones industriales*”, menciona que: el uso de sistemas eléctricos conectados a tierra generalmente lleva asociado la presencia de altas corrientes como consecuencias de fallas a tierra, la elevación de estas corrientes conlleva al desarrollo de altos gradientes de potencial eléctrico a través de la superficie del suelo como resultado de la resistencia del suelo, así también existe limitada información en normativa en relación a la evaluación, diseño y reconfiguración de sistemas de tierras industriales, la IEEE-80 enfocan sus metodologías de análisis de sistema de puesta a tierra que presentan configuraciones específicas” (22).
- “Por último, la investigación de Vera Mansilla Marcel (2018) menciona en su artículo *Diseño del sistema de puesta a tierra por métodos de última generación para el Centro de Microscopia Electrónica (CME) de la U.C.S.M.* que los sistemas de puesta a tierra son indispensables en todos los sistemas eléctricos existentes desde una vivienda unifamiliar con pequeños electrodomésticos hasta una gran industria con grandes motores y sistemas de control, por lo que todos los locales domésticos, comerciales, industriales, académicos, etc., cuentan con un sistema de puesta a tierra. Desde que se empezó a utilizar la electricidad se ha puesto en práctica en los sistemas eléctricos la puesta a tierra, ya que ésta provee un camino de retorno para la corriente de falla que se origina cuando hay un problema en el circuito eléctrico” (23).

Tabla 2. Resumen de artículos científicos revisados

Autores /Año	Título	Método
Ignacio, Agulleiro (2005)	“Técnicas modernas para la medición de sistemas de puesta a tierra en zonas urbanas”. Universidad Simón Bolívar : s.n.,.	Caída de Potencial
David, Sarzosa Y Julian, Chuguspi (2020)	“Optimización del sistema de puesta a tierra en la planta de tratamiento de conocoto”. ECUADOR : s.n.,	Intensificador de Terreno (GEMs)
Federico, Machado Olivares (2015)	“Propuesta para redes de tierra interconectadas en sistemas eléctricos que incluyen generadores de energía mediante recursos renovables”	Redes individuales de pozo a tierra
Cesar, Cañas Pañuelas (2009)	“Optimización de electrodos de puesta a tierra”	Mejoramiento de Terreno y Electrodo
Marco Andrade (2010)	“Criterios de Diseño a ser considerados en las Instalaciones Eléctricas Separación entre Circuito de Puesta a Tierra”	Independizar Sistema Eléctrico
Benjamín Barriga Gamarra(2010)	“Métodos de Diseño de Ingeniería Mecánica”	Aprendizaje y Error
Alberto Pérez Govea (2002)	“La Naturaleza, El Hombre y el Magnetismo”,	Campo Magnético de la Tierra
José Samuel Ramírez Castaño (2010)	"Sistemas de Puesta a tierra: Diseñado con IEEE-80 y Evaluado con MEF"	Elementos Finitos
Undaneta J. Alberto, Khord M. Hussein y De Oliveira Paulo (2002)	“Modelo para el Diseño Optimo de Electrodo de Puesta a Tierra en Torres de Transmisión”	Optimización de electrodos
Molina Aguilar Juvencio (2005)	“Criterios para el Diseño de Puestas A Tierra en Subestaciones Industriales”	Análisis de divisores de corriente
Vera Mansilla Marcel (2018)	“Diseño del Sistema de Puesta a Tierra por Métodos de Última Generación para el Centro de Microscopia Electrónica (CME) de la U.C.S.M.”	Método de última generación

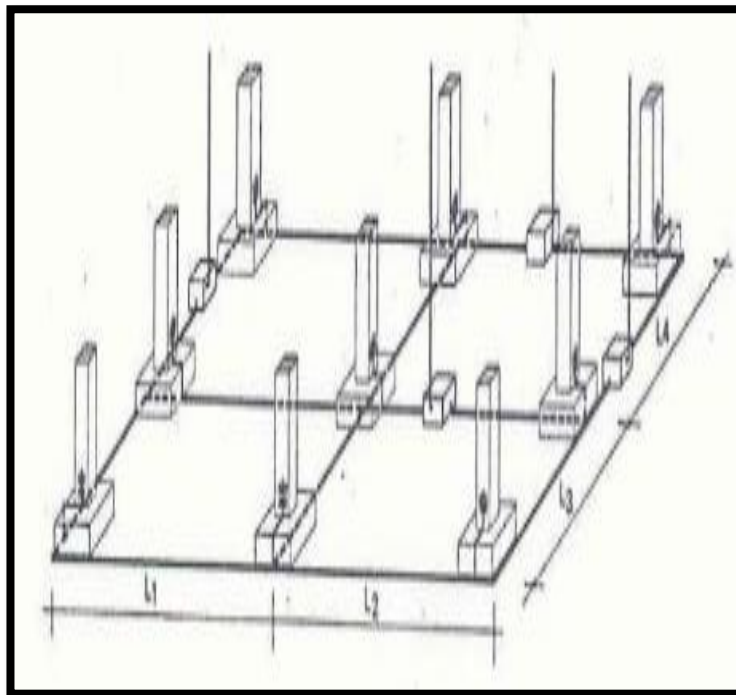
Fuente: Elaboración propia

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema de puesta a tierra

“Un SPAT de forma general se encuentra estructurado por uno o varios sistemas de tierra incrustados en el suelo y por las líneas de enlace conectados entre electrodo y electrodo que deben estar aterrados, los distintos varillas de pozo a tierra utilizados son de material, diseño, dimensiones, adecuados para la normalidad o variante del terreno, de tal forma que garanticen una tensión de contacto dentro de los valores admisibles” (24).

Figura 2. Anillo enterrado de SPT

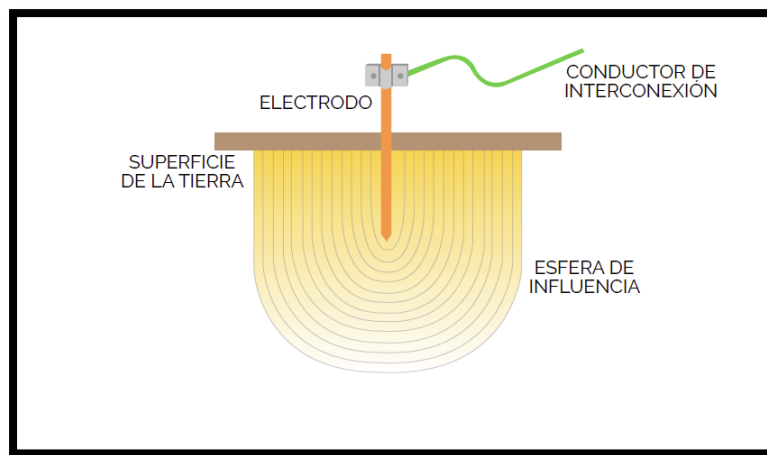


Fuente: GEDISA - Manual de sistemas de puesta

2.2.2. Pozo a tierra tradicional

Un SPAT tradicional no analiza las interacciones de los fenómenos externos de energía electromagnética recibidos del entorno y se encuentran sujetos a los conductores y metales involucrados en el SPAT tradicional, a ello la física actualmente concluye que no es capaz de disipar al cien por ciento potenciales presentes en distintas masas y poder librar de distintas fallas en la red (25).

Figura 3. Sistema de puesta a tierra tradicional

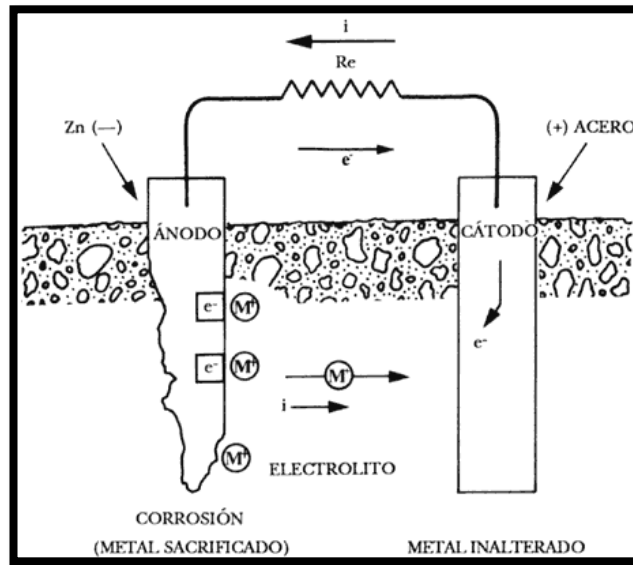


Fuente: Ingeniería eléctrica moderna - Diseño de sistema de puesta a tierra.

2.2.3. Protección catódica por corriente galvánica

“La protección catódica consiste en obligar a la estructura a funcionar como un cátodo en una celda de corrosión, mediante la manipulación y/o modificación de factores electroquímicos. Un ánodo galvánico, también llamado ánodo de sacrificio, si se conecta eléctricamente a una estructura sumergida descargará una corriente que fluirá a través del electrolito hasta la estructura que se pretende proteger. Para cumplir con este objetivo, los ánodos deben cumplir con ciertas características de peso, dimensiones, forma geométrica. Este trabajo pretende conducir al ingeniero de diseño de sistemas de protección catódica con ánodos de sacrificio a obtener el ánodo adecuado mediante un método simple protegiendo así nuestro cátodo de la oxidación a la que estará expuesto” (26).

Figura 4. Protección catódica por corriente galvánica

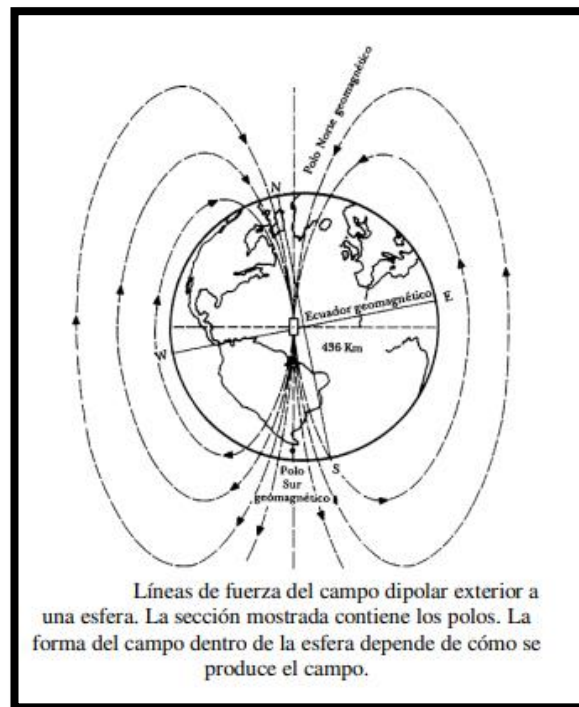


Fuente: Mas allá de la herrumbre - Protección catódica con ánodos galvánicos.

2.2.4. Campo magnético

“La fuerza que actúa sobre la aguja de una brújula se describe en términos de campo magnético, que forma un vector con la intensidad y la dirección de la fuerza en uno de los polos de un imán en un espacio en la cual tienen lugar fenómenos magnéticos debido a la influencia de un cuerpo con propiedades magnéticas, sea el caso de un imán o un material ferromagnético imantado. Dichos imanes pueden ser de diferentes tipos de materiales, y tienen siempre un polo norte y un polo sur, por ende, se produce por cualquier carga producida por los electrones en movimiento” (27).

Figura 5. Campo magnético terrestre



Fuente: Faragauss sistema

2.2.5. Tabla serie galvánica

“La serie galvánica establece el grado de inercia química que tienen los metales, esta serie nos permite ver la tendencia que tienen los metales a la corrosión, en la siguiente imagen se observará los siguientes elementos con el potencial de electronegatividad que posee cada elemento” (28).

Tabla 3. Serie galvánica de los metales químicos

SERIE GALVÁNICA	
ELEMENTO	POTENCIAL
MAGNESIO (Mg)	- 2,38 MÁS ELECTRONEGATIVO
ALUMINIO (Al)	- 1,68
MANGANESO (Mn)	- 1,18
ZINC (Zn)	- 0,76
CROMO (Cr)	- 0,74
HIERRO (Fe)	- 0,44
COBALTO (Co)	- 0,28
NÍQUEL (Ni)	- 0,23
PLOMO (Pb)	- 0,12
HIDRÓGENO (H)	0,00 VALOR DE REFERENCIA
COBRE (Cu)	+0,34
PLATA (Ag)	+0,80
ORO (Au)	+1,50 MAS ELECTROPOSITIVO

Fuente: IEEE-Tabla de serie galvánica.

2.2.6. Plataforma de libre acceso arduino

“Se trata de una plataforma de hardware y software flexible y fácil de utilizar en muy diversas aplicaciones. Esta puede conectarse al mundo exterior a través de sensores y actuadores, mediante las diferentes entradas y salidas que presenta. Existe una variedad grande de modelos de placas, según la creatividad de los desarrolladores. Las mejoras de los modelos estriban en el aumento de la cantidad de memoria y número de puertos de entrada/salida, entre otras. En las aplicaciones que se describen a continuación se utilizó la placa de Arduino Uno” (29).

Figura 6. Logo Software Arduino

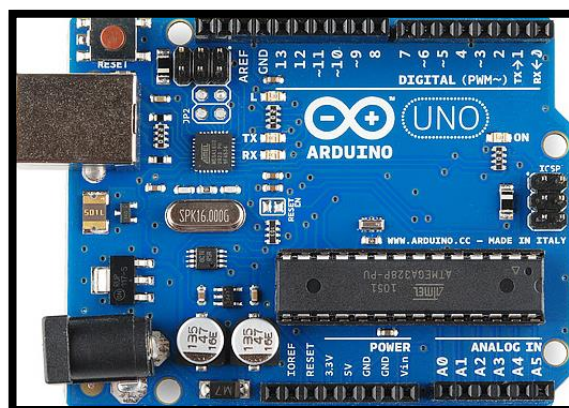


Fuente: Web Arduino.cc.

2.2.7. Microcontrolador arduino

Es una placa detallada con pines de entrada y salida que sirve para almacenar, enviar y recibir datos, así como también hacer trasladar y hacer posible la programación de varios tipos de circuitos automatizados en el mismo, sirve como circuito de multifunción en la que se desarrollan diversos trabajos de programación en electrónica y mecatrónica. (30)

Figura 7. Microcontrolador arduino

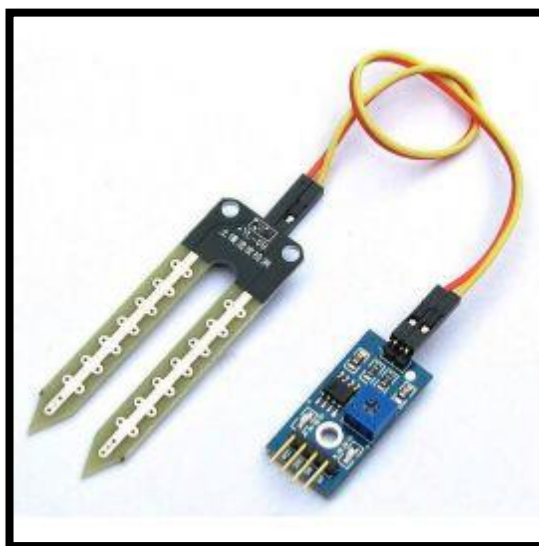


Fuente: Web Arduino.cc.

2.2.8. Sensor de humedad arduino HL-69

Es un dispositivo electrónico la cual consta de un par de electrodos diseñados para medir la humedad del suelo en un área determinada, las cuales se aplican para detectar el nivel de líquido que existe en la zona. Los sensores tienen una función de calibración que relacionan la humedad de suelo con la permisividad aparente; sin embargo, para mejorar la precisión, se recomienda realizar una calibración específica del suelo. Para la calibración se relacionó la humedad de suelo y los bits del sensor. (31)

Figura 8. Sensor de humedad HL-69



Fuente: Web Arduino.cc.

2.2.9. Resistividad del terreno

“Es el espacio que tiene cualquier tipo de suelo para conducir la electricidad en este caso resistencia, por ende, diremos que es la oposición que ofrece un terreno al paso de flujo eléctrico por metro. La resistencia de terreno es importante en el proyecto de un pozo a tierra y la forma de conocer su validez es mediante medidas en campo generalmente efectuadas bajo cierta disposición de electrodos de corriente” (32).

Formula:

Resistividad, $\rho = 2\pi AR$

$$R = V/I$$

Donde:

ρ : Es la resistencia promedio a una profundidad A en ohm.

A: Es la distancia entre estacas

R: Es la resistencia medida por el instrumento de prueba (Termómetro).

V: Es el voltaje que se le inyecta al terreno

I: Es la corriente que mide el instrumento

Tabla 4. Tabla de rango de resistividad de suelo

TIPO DE SUELO	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ω -m)
Lama	5 – 100
Humus	10 – 150
Limo	20 – 100

Arcillas	80 – 330
Tierra de jardín	140 – 480
Caliza fizurada	500 – 1000
Caliza compacta	1000 – 5000
Granito	1500 – 10000
Arena común	3000 – 9000
Basalto	10000 – 20000

Fuente: IEEE-80

2.2.10. Conductor eléctrico

Es un cable usualmente de cobre para unir las partes mecánicas de la puesta a tierra y la energía pueda circular normalmente por esta vía. (33)

Tabla 5. Tabla de rango de conductor eléctrico

Tabla Dimensiones típicas de los conductores de puesta a tierra			
CALIBRE DEL CONDUCTOR		AREA NOMINAL mm ²	DIAMETRO m
MCM	AWG		
350		177,35	0,015
300		152,01	0,0139
250		126,68	0,0127
211,6	4/0	107,22	0,0117
167,8	3/0	85,03	0,0104
133,1	2/0	67,44	0,0093

Fuente: IEEE-80

2.2.11. Bobina LCR o bobina de choque

La bobina o filtro LCR evita la inducción de corriente proveniente del suelo y permite que el sistema sea unidireccional. (34)

Figura 9. Bobina de choque o filtro LCR

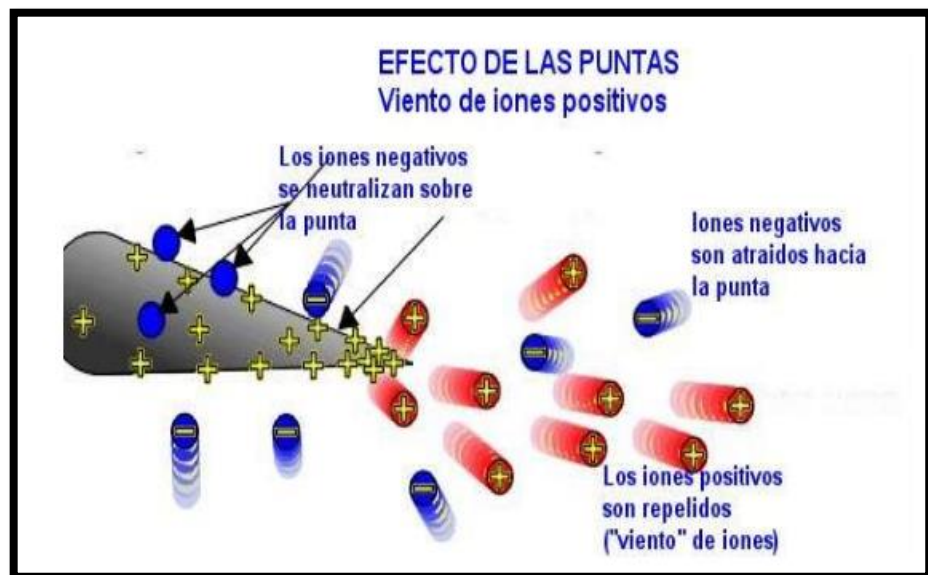


Fuente: Energy y protection system total ground

2.2.12. Efecto punta

“Cuando cargamos una esfera conductora las cargas se distribuyen uniformemente en la superficie, debido a las fuerzas de repulsión entre las mismas ya que éstas son del mismo signo. Cuando la superficie presenta una punta, las cargas se concentran en dicha punta, por lo tanto, se produce un campo eléctrico más intenso, se ionizan las moléculas que rodean la punta (el aire se vuelve conductor), y se produce una fuga de cargas por la punta, lo que se conoce como efecto de punta” (35).

Figura 10. Efecto punta



Fuente: Faragaus System

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Puesta a tierra de protección

“Según Carlos Frutos en su artículo Faragauss System define al SPAT como una alternativa para desviar la sobretensión que pueden afectar a las personas, equipos entre otros, cuando la resistencia del suelo es baja se sabe que todas las corrientes no deseables circulen hacia la parte de menor resistencia que en este caso es el suelo, así también se piensa que estos sistemas a tierra pueden funcionar a la inversa, a ello se dice que estas sobretensiones pueden originarse desde el mismo suelo hacia la red eléctrica lo que pondría en serio riesgo a los seres vivos y los equipos y sistemas” (36).

2.3.2. Electrodo de tierra

“Según Gregor Rojas en su libro de *Sistemas de pozos a tierra*, indica que en la mayoría de casos es suficiente usar una varilla para obtener resultados de resistencias considerables que no superen los 25 ohm, pero en otros casos de instalaciones mayores donde existan maquinarias muy sensibles el comienzo de la resistencia baja y está entre 10 a 5 ohm o menos, a esto se incrementa la instalación de más electrodos distanciados 3 metros entre si e interconectados con una conexión común la cual deberá de estar con un conector o soldadura exotérmica” (37).

2.3.3. Resistividad del terreno

“Según Roberto Ruelas Gómez en su ejemplar titulado *Teoría y diseño de sistemas de tierra*, según las Normas Oficiales Mexicanas e IEEE, el perfil de resistividad utilizando el método Wenner en distintos tipos de terrenos típicos a 3 metros de profundidad se obtuvo que en el terreno permafrost esta entre 3500 a 4000 ohm – metro de resistividad y que en una zona húmeda la resistividad se encuentra de 3 a 5 ohm – metro de resistividad” (38).

2.3.4. Resistencia a tierra

“Es la oposición que ofrece un pozo a tierra ante el paso de corriente eléctrica. Dicho valor va depender de la resistencia del terreno, de las características físicas del electrodo a tierra que son: diámetro, área o longitud y también el área de los conductores. El valor de resistencia a tierra es la resistencia óhmica entre un conductor puesto a tierra y un punto de potencial cero” (39).

2.3.5. Bobina de choque

“Esta bobina nos ayudará a reducir la corriente de retorno, ya que al implementar este dispositivo en el electrodo que se quiere proteger para que así la corriente que se descarga no vuelva a retornar, haciendo así que el sistema sea solo unidireccional”. (40)

2.3.6. Arduino

Arduino es un microcontrolador programable el cual sirve para automatizar circuitos eléctricos y electrónicos y mediante su interface ayudará conectarnos a sensores y actuadores para crear proyectos de electrónicas en todo entorno disponible”. (41)

2.3.7. Módulo sensor de humedad HI – 69

“El módulo HL-69, un dispositivo sensor electrónico muy usado y ayuda a complementar al arduino que sirve para medir la humedad y temperatura de cualquier ambiente disponible mediante la programación de estos”. (42)

2.3.8. Circuito de retorno a tierra

“Es un circuito en el cual la tierra o un cuerpo conductor equivalente, se utiliza para completar el circuito y permitir la circulación de la corriente desde o hacia la fuente de corriente” (43).

2.3.9. Contacto directo

“Es el contacto accidental de personas con un conductor activo o con una pieza conductora que habitualmente está en tensión” (44).

2.3.10. Contacto indirecto

“Es el contacto de una persona con masas metálicas, accidentalmente puestas bajo tensión siendo estas el resultado de un defecto en el aislamiento” (45).

2.3.11. Tensión de paso

“Según norma IEEE 80-2000, es la diferencia de potencial en la superficie terrestre que experimenta una persona a distancia sin tener contacto con cualquier objeto aterrizado” (46).

2.3.12. Tensión de contacto

“La norma IEEE 80-2000 lo define como diferencia de potencia entre el aumento de potencial de la tierra y el potencial de la superficie de un punto donde una persona se encuentra de pie y al mismo tiempo tiene una mano en contacto con una estructura metálica” (47).

2.3.13. Software Etap

“Etap es un software propietario utilizado para sistemas de energía. El software es usado por técnicos e ingenieros de diseño fundamentalmente para la simulación de sistemas de energía, incluyendo los sistemas de tierra, el seguimiento de los sistemas de energía, la potencia y otros” (48).

2.3.14. Software Minitab

“Es un software informático, enfocado en el análisis estadístico complejos, Minitab permite a todas las partes de una organización predecir mejores resultados, diseñar mejores productos y mejorar los procesos para generar mayores ingresos y reducir los costos” (49).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diagnóstico situación actual

En la actualidad el SPT es punto básico en cualquier ampliación eléctrica ya que nos garantiza la maniobra normal de los equipos y la integridad de las personas ante descargas atmosféricas o corrientes indeseadas.

El Código Nacional de Electricidad tomo V nos menciona el lineamiento que debemos respetar para una buena puesta a tierra, pero no hace mención sobre diseños de varilla que implementarían para perfeccionar un pozo a tierra tradicional.

Hoy día tenemos varios tipos de corrientes indeseadas que persisten aun teniendo un buen SPT, las descargas atmosféricas y las que se inducen por la misma varilla respecto al terreno son las más frecuentes y las que más problemas nos traen hasta ahora.

Ahora, todos los pozos a tierra tradicionales necesitan de un mantenimiento periódico el cual normalmente se realiza cada medio año y afecta económicamente al usuario sin mencionar la oxidación que sufre el cobre al estar expuesto a la humedad.

Las descargas atmosféricas y las corrientes inducidas no tienen límites ya que a cada momento se puede ver como estas causan estragos en los equipos y las personas a falta de un dispositivo que pueda drenar correctamente las sobretensiones y limitar el retorno de estas, no solo en la industria sino en todo el sistema de generación, transmisión y distribución.

Tabla 6. Operacionalización de variable

Problema	¿Cómo diseñar un prototipo de puesta a tierra para la protección efectiva en la industria ligera en el distrito de San Agustín de Cajas?	
	Independiente	Dependiente
Variables	Sistema de Puesta a Tierra	Protección efectiva en la Industria Ligera
Definición conceptual	Es un mecanismo de seguridad que forma parte de las instalaciones eléctricas. Sus dimensiones son: el terreno, el electrodo y la bobina LCR.	Producto que se obtendrá de la buena coordinación de los sistemas de protección. Sus dimensiones son: la resistencia del terreno y la capacidad óhmica.
Definición operacional	Variable que expresa la modificación del terreno, el electrodo y la bobina LCR	Variable que expresa el grado de resistencia del terreno y la capacidad óhmica.

Variable Independiente	Sistema de puesta a tierra	
Dimensiones	Indicadores	Actividades de investigación o tratamiento
Terreno	Composición química del terreno	Minerales Naturales o Artificiales
Electrodo	Composición química de las barras. Geometría	Cobre en toda la estructura Cilíndricas, Prismas y Rectangulares
Bobina LCR	Exactitud y detención de problemas de corrientes indeseadas.	Grado de Exactitud y detención inmediata ante disturbios electromagnéticos.

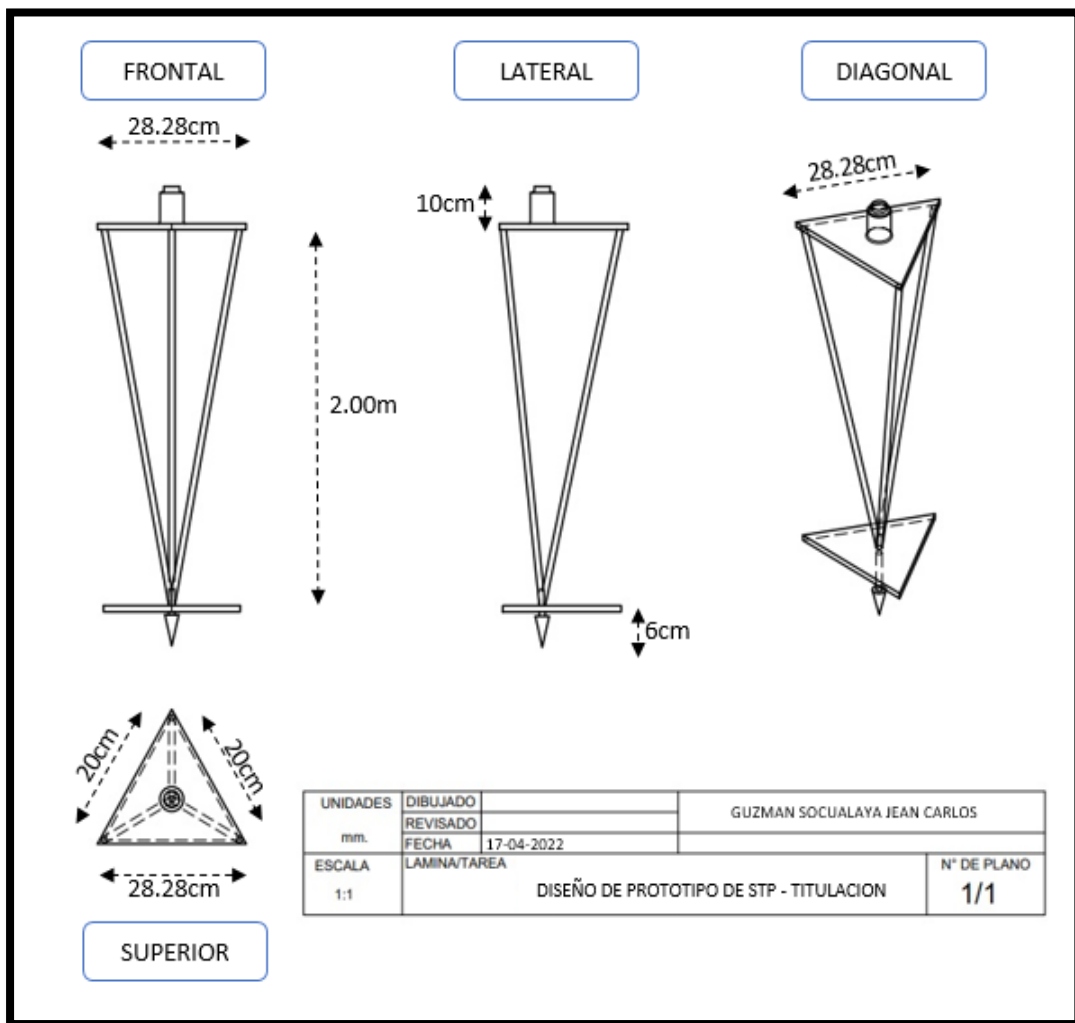
Variable dependiente	Proteccion Efectiva en la Industria Ligera	
Dimensiones	Indicadores	Instrumento o ítems
Resistencia del Terreno	Ohms	Telurómetro
Capacidad Óhmica	Ohms	Telurómetro

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Evaluación de alternativas de solución

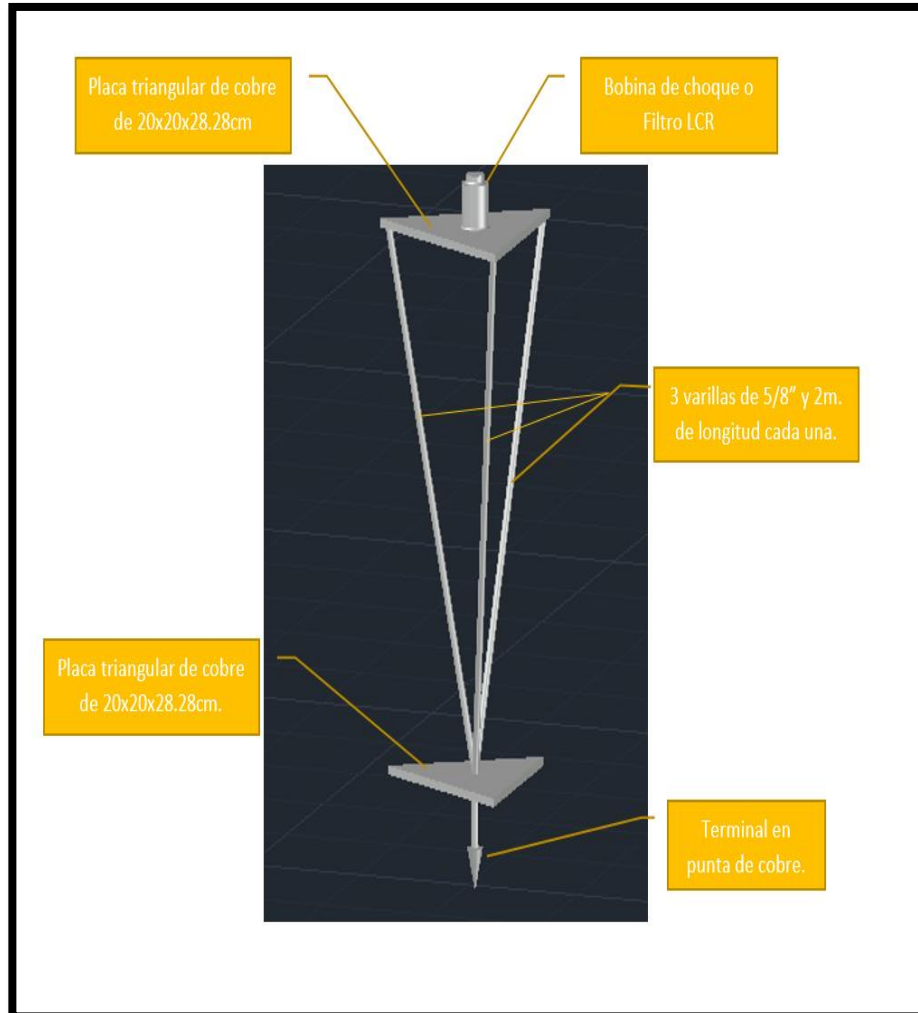
El siguiente diseño nos permitió instalar un SPAT que nos permitirá dispersar la sobretensión hacia tierra o su retorno del mismo hacia el sistema, protegiendo así los componentes eléctricos y la integridad de los integrantes.

Figura 11. Diseño propuesto en AuCAD



Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Diseño propuesto (Partes)



Fuente: Elaboración propia

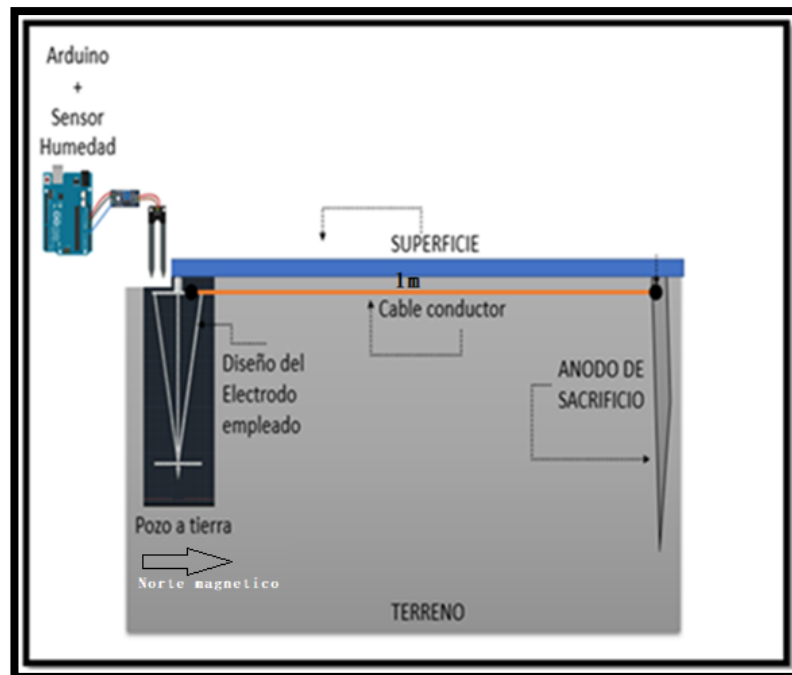
Para el diseño del electrodo me basé en el efecto punta, el cual me permitió tener una mejor dispersión de los electrones gracias a su forma y también teniendo por protección a las cargas que se puedan inducir al sistema “la bobina de choque” el cual nos ayuda a limitar cualquier retorno que se genere.

Diseño eléctrico

Para la fase de prueba del diseño eléctrico se implementó la puesta a tierra teniendo la protección catódica más adecuada para el terreno por ende se diseñó 1 tipo de puestas a tierra.

Sistema puesta tierra (Protección catódica por corriente galvánica), conectaremos un cable conductor entre la varilla a proteger y el ánodo de sacrificio para así reducir la corrosión del electrodo, es decir que se basa en la energía de los metales según la composición química del ánodo de sacrificio determinando un flujo de electrones desde el material sacrificado hacia el electrodo que queremos proteger y el Arduino fue alimentado con una corriente DC de 5 a 12 volts.

Figura 13. Sistema puesta tierra por corriente galvánica y arduino



Fuente: Elaboración propia

Diseño mecánico

Como se vio el diseño es simple pero muy efectivo y nos ayudó a reducir en gran medida las fallas de la red hacia nuestros equipos cuidando también nuestra economía y la de las personas.

Figura 14. Prototipo mecánico de varilla de puesta a tierra en AutoCAD

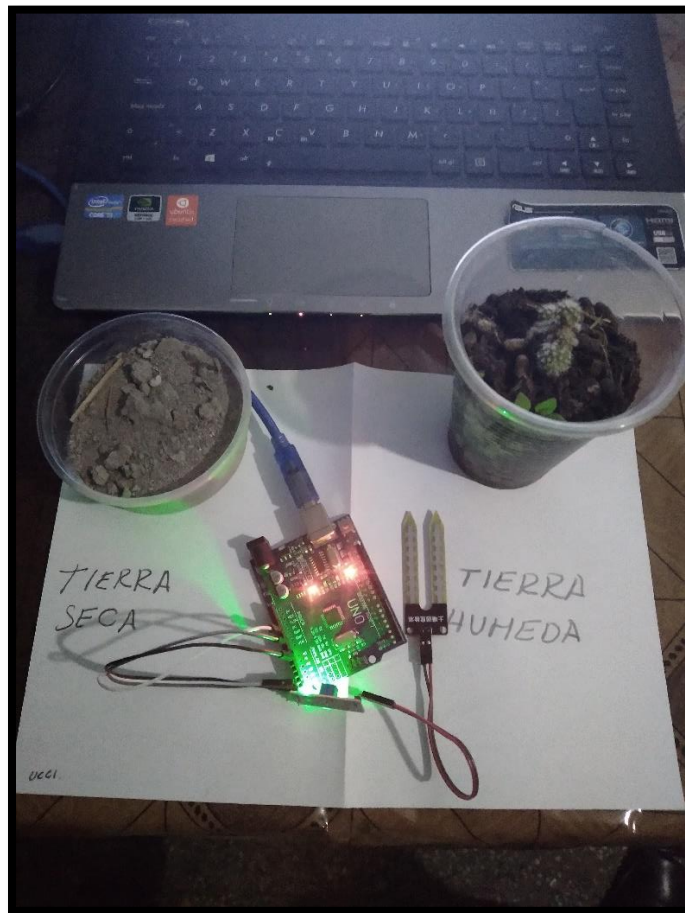


Fuente: Elaboración propia en AutoCAD.

Diseño electrónico

El circuito de sensor de humedad mediante la placa “Arduino” y la programación en el mismo para que sea alimentado con un voltaje de 5 a 12 volts en corriente directa, para así ayudarnos a detectar el nivel de humedad del terreno.

Figura 15. Circuito arduino y sensor de humedad



Fuente: Elaboración propia

Así mismo el Arduino estuvo programado mediante un código que el sensor de humedad hl-69 Arduino recolectó tomando datos sobre la humedad del terreno y nos brindada información si el suelo cumple con la humedad requerida para el perfecto desenvolvimiento de la puesta a tierra

Figura 16. Código de programación en arduino

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. At the top, the window title is 'SueloHumedad5 Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.42.0)'. Below the title bar is a menu bar with 'Archivo', 'Editar', 'Programa', 'Herramientas', and 'Ayuda'. A toolbar with icons for check, back, file, up, and down is visible. The main editor area has a tab labeled 'SueloHumedad5' and contains the following C++ code:

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int lectura = analogRead(A0);

  Serial.print("La lectura es: ");
  Serial.println(lectura);

  // lecturas entre 1000 - 1023
  // if (lectura >= 1000){
  //   Serial.println(">> EL SENSOR ESTA DECONECTADO O FUERA DEL SUELO <<");
  // }
  // else if (lectura <1000 && lectura >= 600){
  //   Serial.println(">> EL SUELO ESTA SECO <<");
  // }
  // else if (lectura < 600 && lectura >= 370){
  //   Serial.println(">> EL SUELO ESTA HUMEDO <<");
  // }
  // else if (lectura < 370){
  //   Serial.println(">> EL SENSOR ESTA PRACTICAMENTE EN AGUA <<");
  // }
  delay(1000);

  //Convirtiendo a Porcentaje
  int lecturaPorcentaje = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);
```

At the bottom of the IDE, a status bar displays memory usage information: 'El Sketch usa 2184 bytes (6%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes. Las variables Globales usan 232 bytes (11%) de la memoria dinámica, dejando 1816 bytes para las va'.

```
SueloHumedad5 Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.42.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

SueloHumedad5
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int lectura = analogRead(A0);

  Serial.print("La lectura es: ");
  Serial.println(lectura);

  // lecturas entre 1000 - 1023
  // if (lectura >= 1000){
  //   Serial.println(">> EL SENSOR ESTA DECONECTADO O FUERA DEL SUELO <<");
  // }
  // else if (lectura <1000 && lectura >= 600){
  //   Serial.println(">> EL SUELO ESTA SECO <<");
  // }
  // else if (lectura < 600 && lectura >= 370){
  //   Serial.println(">> EL SUELO ESTA HUMEDO <<");
  // }
  // else if (lectura < 370){
  //   Serial.println(">> EL SENSOR ESTA PRACTICAMENTE EN AGUA <<");
  // }
  delay(1000);

  //Convirtiendo a Porcentaje
  int lecturaPorcentaje = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);

  Serial.print("La Humedad del suelo es: ");
  Serial.print(lecturaPorcentaje);
  Serial.println("%");
}

El Sketch usa 2184 bytes (6%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 232 bytes (11%) de la memoria dinámica, dejando 1816 bytes para las variables
```

Fuente: Elaboración propia

Luego se procedió a insertar el código agregando las respectivas restricciones lo cual el código sugiera. La lectura de valores fue la siguiente:

- Cuando el sensor está en el aire dio rangos entre (700-1023)
- Cuando el sensor está en suelo seco dio rangos entre = (500-700)
- Cuando el sensor está en suelo húmedo dio rangos entre = (200-500)
- Cuando el sensor está en el agua dio rangos entre = (200-0)

Figura 18. Datos tomados por el detector de humedad HL-69

The image shows the Arduino IDE interface with a sketch named 'SueloHumedad5' and a serial monitor connected to 'COM5'. The sketch code is as follows:

```
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int lectura = analogRead(A0);

  Serial.print("La lectura es: ");
  Serial.println(lectura);

  // lecturas entre 1000 - 1023
  // if (lectura >= 1000){
  //   Serial.println(">> EL SENSOR ESTA DECONECTADO O FUERA DEL SUELO <<");
  // }
  // else if (lectura <1000 && lectura >= 600){
  //   Serial.println(">> EL SUELO ESTA SECO <<");
  // }
  // else if (lectura < 600 && lectura >= 370){
  //   Serial.println(">> EL SUELO ESTA HUMEDO <<");
  // }
  // else if (lectura < 370){
  //   Serial.println(">> EL SENSOR ESTA PRACTICAMENTE EN AGUA <<");
  // }
  delay(1000);

  //Convirtiendo a Porcentaje
  int lecturaPorcentaje = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);

  Serial.print("La Humedad del suelo es: ");
  Serial.print(lecturaPorcentaje);
  Serial.println("%");
}
```

The serial monitor displays the following output:

```
La lectura es: 1023
La Humedad del suelo es: 0%
La lectura es: 1023
La Humedad del suelo es: 0%
La lectura es: 1023
La Humedad del suelo es: 0%
La lectura es: 1023
La Humedad del suelo es: 0%
La lectura es: 1023
La Humedad del suelo es: 0%
La lectura es: 1023
La Humedad del suelo es: 0%
La lectura es: 1018
La Humedad del suelo es: 0%
La lectura es: 403
La Humedad del suelo es: 60%
La lectura es: 448
La Humedad del suelo es: 56%
La lectura es: 451
La Humedad del suelo es: 55%
La lectura es: 442
La Humedad del suelo es: 56%
La lectura es: 432
La Humedad del suelo es: 57%
La lectura es: 425
La Humedad del suelo es: 58%
La lectura es: 421
La Humedad del suelo es: 58%
La lectura es: 416
La Humedad del suelo es: 59%
La lectura es: 411
La Humedad del suelo es: 59%
La lectura es: 407
La Humedad del suelo es: 60%
La lectura es: 403
```

At the bottom of the IDE, a status bar indicates: 'El Sketch usa 2184 bytes (6%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo de variables Globales usan 232 bytes (11%) de la memoria dinámica, dejando 181 bytes disponibles.' There are also checkboxes for 'Autoscroll' (checked) and 'Mostrar marca temporal' (unchecked).

Fuente: Elaboración propia

3.3. Evaluación de alternativas de solución

3.3.1. Matriz de soluciones (diseño experimental)

Para iniciar la siguiente matriz y simular en el software Etap debemos tener en cuenta algunos datos previos que se tomó en cuenta.

Elegir 3 factores importantes del sistema puesta tierra para variar datos en el software y hallar la resistividad final que nos arrojó como son:

- “Tipo de terreno” el cual va estar representado por la letra “A”
- “Profundidad” representada por la letra “B”.
- “Material” nos referimos a la calidad de la varilla de cobre el cual va estar representado por “C”

Así también estableceremos 2 niveles:

- “Alto” lo representamos con el número (1) referenciando así que estos son de buena calidad o están en mejores condiciones de trabajo.
- “Bajo” lo representaremos con el número (-1) del cual asumiremos que son de mala calidad o no tienen los parámetros y medidas necesarias para un óptimo desempeño del pozo a tierra pero que en la actualidad se utiliza por ser más barato.

Tabla 7. Factores y niveles

Factores		Niveles	
Letra	Factor	Bajo (-1)	Alto (1)
A	Tipo Terreno	Seco	Húmedo
B	Profundidad	1.2m	2.4m
C	Material	Barato (14mm)	Caro (12.7”mm)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Tabla de iteración de factores en minitab

En la tabla 8, mostramos la iteración o combinación de todos los factores ya mencionados que nos da el software Minitab el cual posteriormente se interactuaron en el software Etap.

Yates	A	B	C
{1}	-1	-1	-1
a	1	-1	-1
b	-1	1	-1
ab	1	1	-1
c	-1	-1	1
<u>ac</u>	1	-1	1
<u>bc</u>	-1	1	1
<u>abc</u>	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Modelo matemático

Ecuación regresión de unidades no codificadas

$$\begin{aligned} \text{Respuestas} &= 4.286 - 0.686 A - 0.235 B - 1.039 C - 0.152 A*B + 0.252 A*C \\ &\quad - 0.686 B*C \end{aligned}$$

3.3.3. Diseño de alternativas(Ingeniería)

Para la fase de prueba del diseño eléctrico se implementó la puesta a tierra teniendo la protección catódica más adecuada para el terreno.

Sistema puesta tierra (Protección Catódica por corriente galvánica), conectamos un cable conductor entre la varilla a proteger y el ánodo de sacrificio para así reducir la corrosión del electrodo, es decir que se basa en la energía de los metales según la composición química del ánodo de sacrificio determinando un flujo de electrones desde el material sacrificado hacia el electrodo que queremos proteger y el Arduino fue alimentado con una corriente DC de 5 a 12 volts.

Figura 19. Sistema puesta tierra por corriente galvánica y arduino



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La figura 19, se ve la propuesta del electrodo empleado enterrado en el pozo a tierra, conectado mediante cable conductor 2AWG hacia la varilla de sacrificio para proteger nuestro diseño y a la vez conectar el arduino junto al sensor de humedad.

b. Diseño mecánico

Como se vio el diseño es simple pero muy efectivo y ayudó a reducir en gran medida las fallas de la red hacia nuestros equipos cuidando también nuestra economía y la de las personas.

Figura 20. Prototipo mecánico de varilla de puesta a tierra

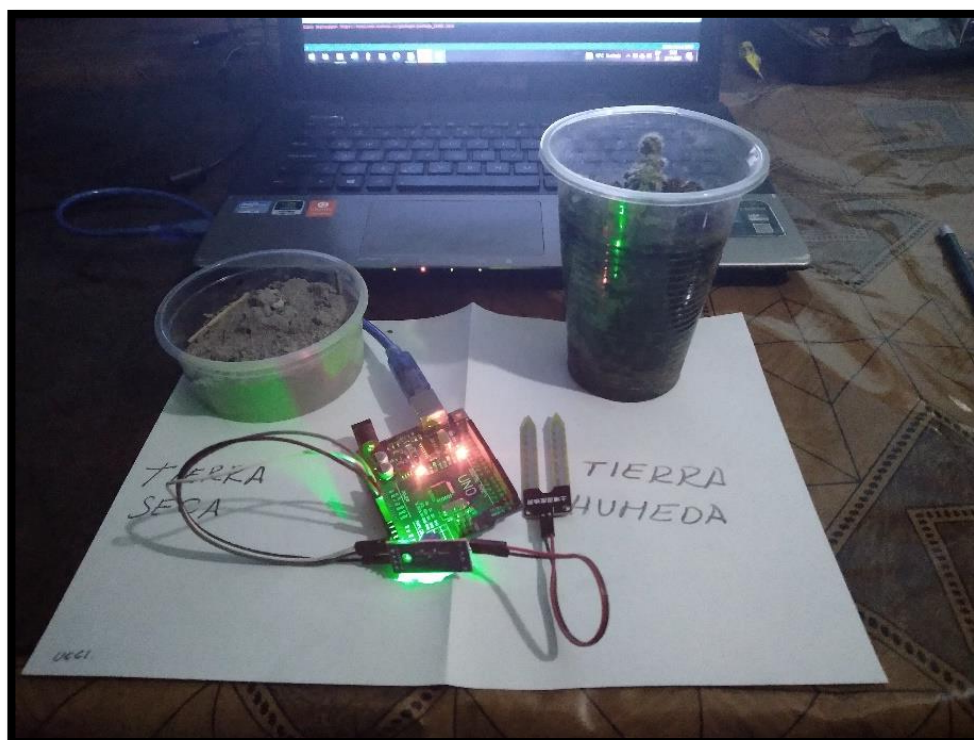


Fuente: Elaboración propia

c. Diseño eléctrico

El circuito de sensor de humedad mediante la placa “Arduino” y la programación en el mismo para que sea alimentado con un voltaje de 5 a 12 volts en corriente directa, para así ayudarnos a detectar el nivel de humedad del terreno.

Figura 21. Circuito Arduino y sensor de humedad



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La figura 21, se ve el proceso de pruebas en programación y humedad hechas a pequeña escala para posteriormente implementarlo a escala real.

Figura 22. Circuito Arduino y sensor de humedad puesta a tierra



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La figura 22, estamos humedeciendo la tierra para configurar el sensor de humedad según el nivel que nos arroje en el software y establecer niveles máximos y mínimos.

Así mismo el Arduino estuvo programado mediante un código que el sensor de humedad hl-69 Arduino recolectó tomando datos sobre la humedad del terreno y nos brindada información si el suelo cumple con la humedad requerida para el perfecto desenvolvimiento de la puesta a tierra

Código:

Figura 23. Código de programación en Arduino

```
SueloHumedad5
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int lectura = analogRead(A0);

  Serial.print("La lectura es: ");
  Serial.println(lectura);

  // lecturas entre 1000 - 1023
  // if (lectura >= 1000){
  //   Serial.println(">> EL SENSOR ESTA DECONECTADO O FUERA DEL SUELO <<");
  // }
  // else if (lectura <1000 && lectura >= 600){
  //   Serial.println(">> EL SUELO ESTA SECO <<");
  // }
  // else if (lectura < 600 && lectura >= 370){
  //   Serial.println(">> EL SUELO ESTA HUMEDO <<");
  // }
  // else if (lectura < 370){
  //   Serial.println(">> EL SENSOR ESTA PRACTICAMENTE EN AGUA <<");
  // }
  delay(1000);

  //Convirtiendo a Porcentaje
  int lecturaPorcentaje = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);
}
```



```
SueloHumedad5
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int lectura = analogRead(A0);

  Serial.print("La lectura es: ");
  Serial.println(lectura);

  // lecturas entre 1000 - 1023
  // if (lectura >= 1000){
  //   Serial.println(">> EL SENSOR ESTA DECONECTADO O FUERA DEL SUELO <<");
  // }
  // else if (lectura <1000 && lectura >= 600){
  //   Serial.println(">> EL SUELO ESTA SECO <<");
  // }
  // else if (lectura < 600 && lectura >= 370){
  //   Serial.println(">> EL SUELO ESTA HUMEDO <<");
  // }
  // else if (lectura < 370){
  //   Serial.println(">> EL SENSOR ESTA PRACTICAMENTE EN AGUA <<");
  // }
  delay(1000);

  //Convirtiendo a Porcentaje
  int lecturaPorcentaje = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);

  Serial.print("La Humedad del suelo es: ");
  Serial.print(lecturaPorcentaje);
  Serial.println("%");
}
```

Fuente: Elaboración propia

Luego se procedió a insertar el código agregando las respectivas restricciones lo cual el código requiera.

La lectura de valores es la siguiente:

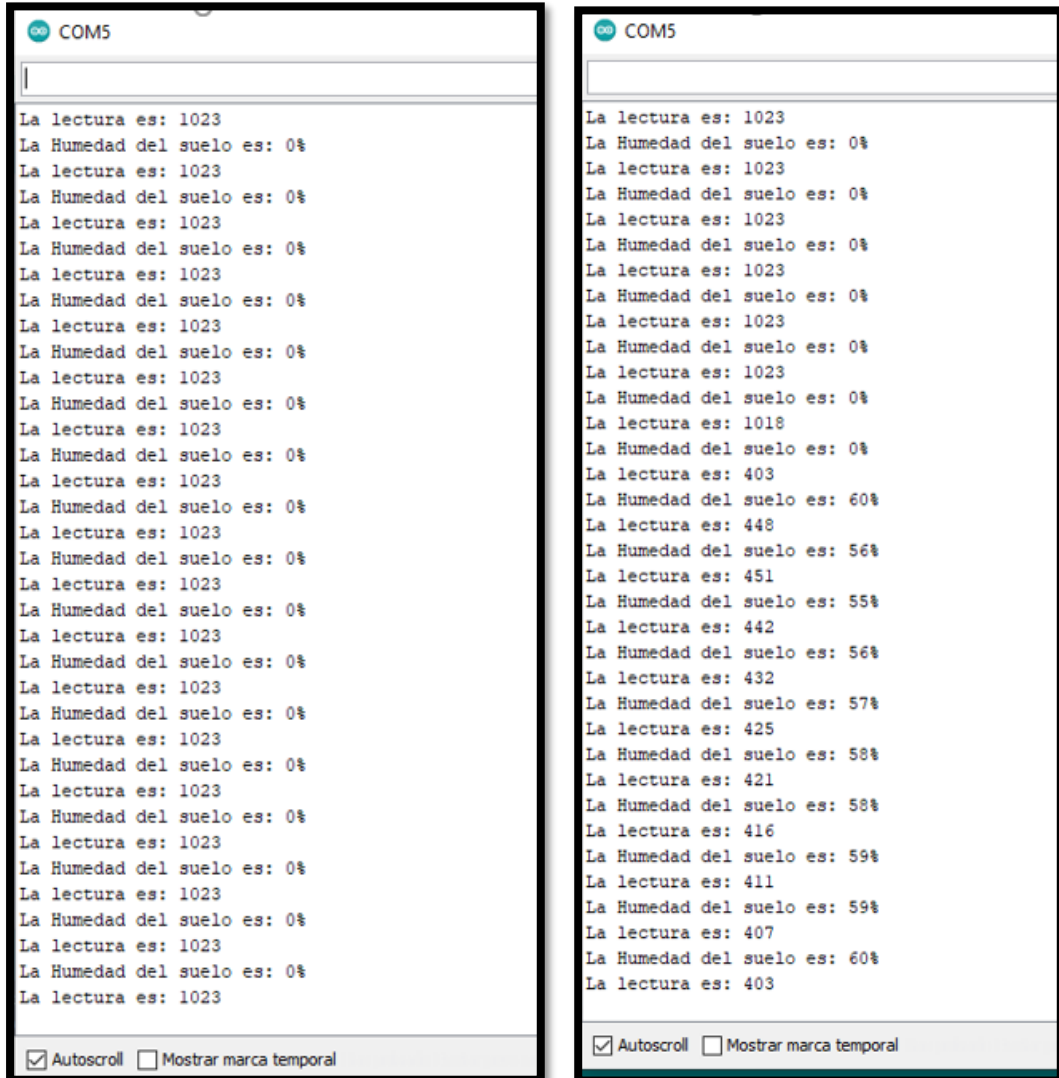
Cuando el sensor está en el aire dio rangos entre (700-1023)

Cuando el sensor está en suelo seco dio rangos entre = (500-700)

Cuando el sensor está en suelo húmedo dio rangos entre = (200-500)

Cuando el sensor está en el agua nos dio rangos entre = (200-0)

Figura 24. Datos tomados por el sensor de humedad HL-69



Fuente: Elaboración propia

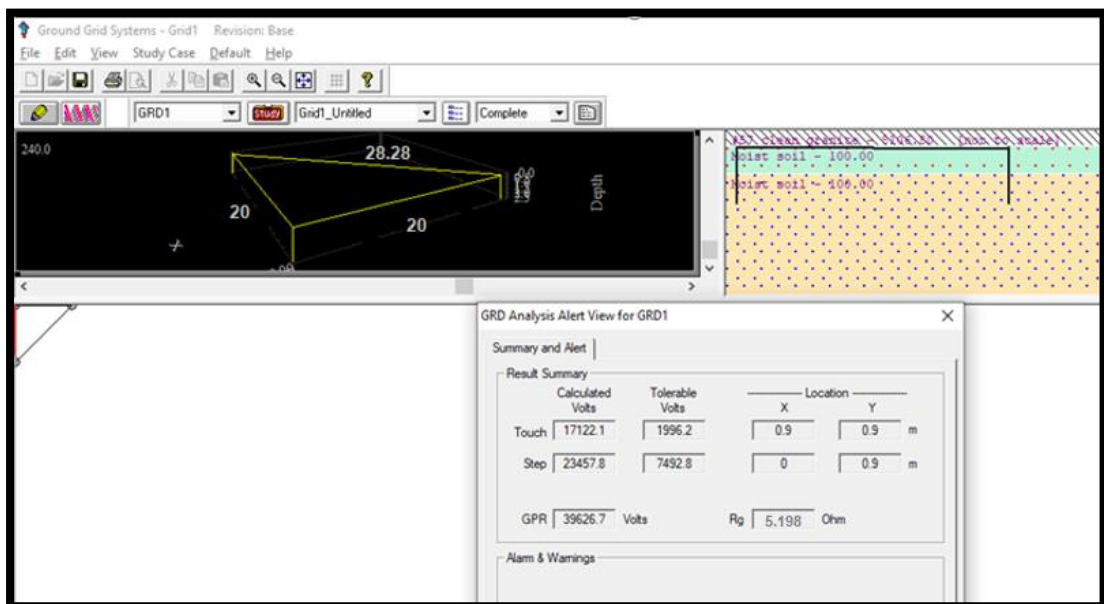
Interpretación: La figura 24, se ve la pantalla del software arduino y los resultados que se obtuvieron en las pruebas.

3.3.4. Simulación de alternativas

La simulación y boceto del sistema de pozo a tierra se realizó en el software Etap, siendo este programa crucial para poder simular el sistema con todos los parámetros necesarios pudiendo así obtener resistencia muy por debajo de los establecido por norma.

En nuestro caso específicamente pudimos obtener una resistividad de 19.751ohms lo cual está muy por debajo según norma IEEE, ya que se con esto se demuestra que también se puede instalar para cualquier tipo de terreno.

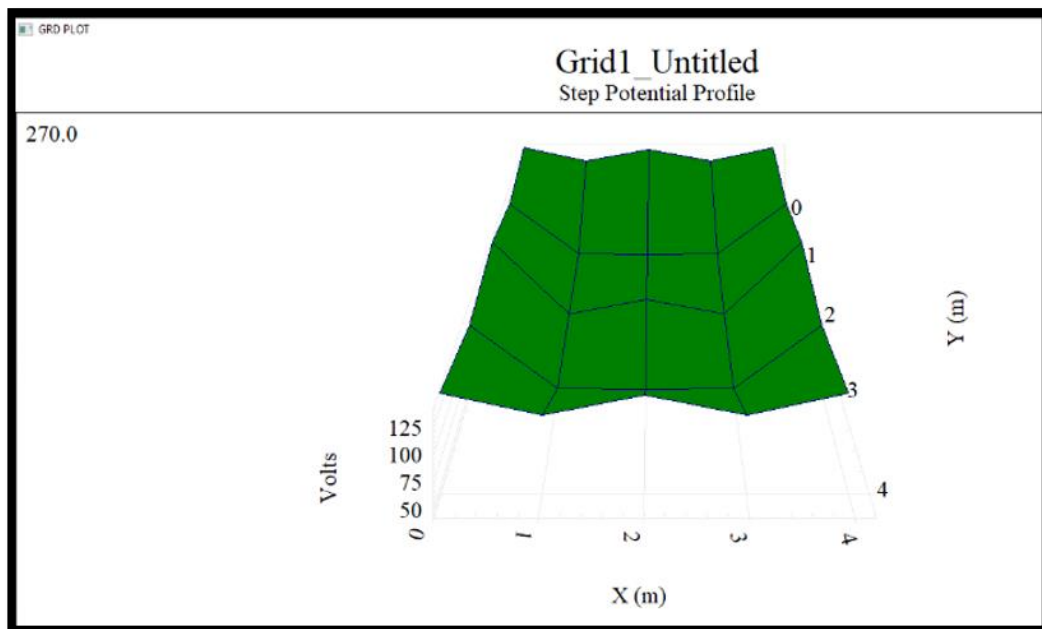
Figura 25. Simulación de sistema puesta tierra en ETAP



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La figura 25, nos ve la implementación de 3 varillas conectadas enterradas en el suelo en el software Etap, el cual nos sirve para simular los tipos de terreno, la profundidad a la que estará enterrada las varillas, así también el tipo de varilla que se usará entre otros factores teniendo así una referencia para nuestro diseño real y registrando datos como tensión de paso, tensión de contacto y la misma resistividad final del terreno que en esta simulación es 5.198 ohms.

Figura 26. Simulación del terreno en ETAP



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La figura 26, nos muestra una simulación del terreno en el que se trabajó en la plataforma Etap.

3.3.5. Matriz de resultados de las soluciones

Matriz de datos de diseño

Tabla 9. Tabla iteración de resultados obtenidos en Etap

Letra	Factor			Bajo (- 1)	Alto (1)	
A	Tipo Terreno			Seco	Húmedo	
B	Profundidad			1.2m	2.4m	
C	Material			Barato (14mm)	Caro (12.7"mm)	
				Niveles		
Yates	A	B	C	Replica 01	Replica 02	Replica 03
{1}	-1	-1	-1	19.751	19.645	19.430
A	1	-1	-1	5.198	5.201	5.165
B	-1	1	-1	19.809	19.819	19.816
Ab	1	1	-1	3.257	3.270	3.262
C	-1	-1	1	19.751	19.745	19.752
Ac	1	-1	1	5.198	5.201	5.188
Bc	-1	1	1	19.809	19.813	19.802
Abc	1	1	1	1.981	1.201	1.992

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La tabla 9 se muestra la cantidad de réplicas simuladas en el software Etap, variando los 3 factores ya mencionados: tipo de terreno, profundidad y tipo de electrodo o material, cada combinación de factores se simuló 3 veces obteniendo rangos de resistividad desde 1.201 ohms en el mejor de los casos hasta 19.813 ohm máximo.

3.3.6. Análisis estadístico de soluciones

Diseño factorial completo

Resumen del diseño

Factores: 3 Diseño de la base: 3; 8
 Corridas: 24 Réplicas: 3
 Bloques: 1 Puntos centrales (total): 0
 Todos los términos están libres de estructuras alias.

Regresión factorial: Respuesta vs. A; B; C

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	1542.77	220.40	7566.91	0.000
Lineal	3	1527.91	509.30	17486.02	0.000
A	1	1517.31	1517.31	52093.93	0.000
B	1	9.87	9.87	339.00	0.000
C	1	0.73	0.73	25.11	0.000
Interacciones de 2 términos	3	14.13	4.71	161.72	0.000
A*B	1	12.02	12.02	412.55	0.000
A*C	1	1.04	1.04	35.68	0.000
B*C	1	1.08	1.08	36.92	0.000
Interacciones de 3 términos	1	0.73	0.73	25.19	0.000
A*B*C	1	0.73	0.73	25.19	0.000
Error	16	0.47	0.03		
Total	23	1543.24			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.170664	99.97%	99.96%	99.93%

S: Desviación estándar

R-Cuad: coeficiente de determinación

R-Cuad. Ajustado: tamaño de muestra

R-Cuad. Pred.: Modelo de predicción

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		11.7940	0.0348	338.55	0.000	
A	-15.9023	-7.9512	0.0348	-228.24	0.000	1.00
B	-1.2828	-0.6414	0.0348	-18.41	0.000	1.00
C	-0.3492	-0.1746	0.0348	-5.01	0.000	1.00
A*B	-1.4152	-0.7076	0.0348	-20.31	0.000	1.00
A*C	-0.4162	-0.2081	0.0348	-5.97	0.000	1.00
B*C	-0.4233	-0.2117	0.0348	-6.08	0.000	1.00
A*B*C	-0.3497	-0.1748	0.0348	-5.02	0.000	1.00

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Respuest a = 11.7940 - 7.9512 A - 0.6414 B - 0.1746 C - 0.7076 A*B - 0.2081 A*C - 0.2117 B*C - 0.1748 A*B*C

Estructura de alias

Factor	Nombre
--------	--------

A	A
---	---

B	B
---	---

C	C
---	---

Alias

I

A

B

C

AB

AC

BC

ABC

Ajustes y diagnósticos para observaciones pocos comunes

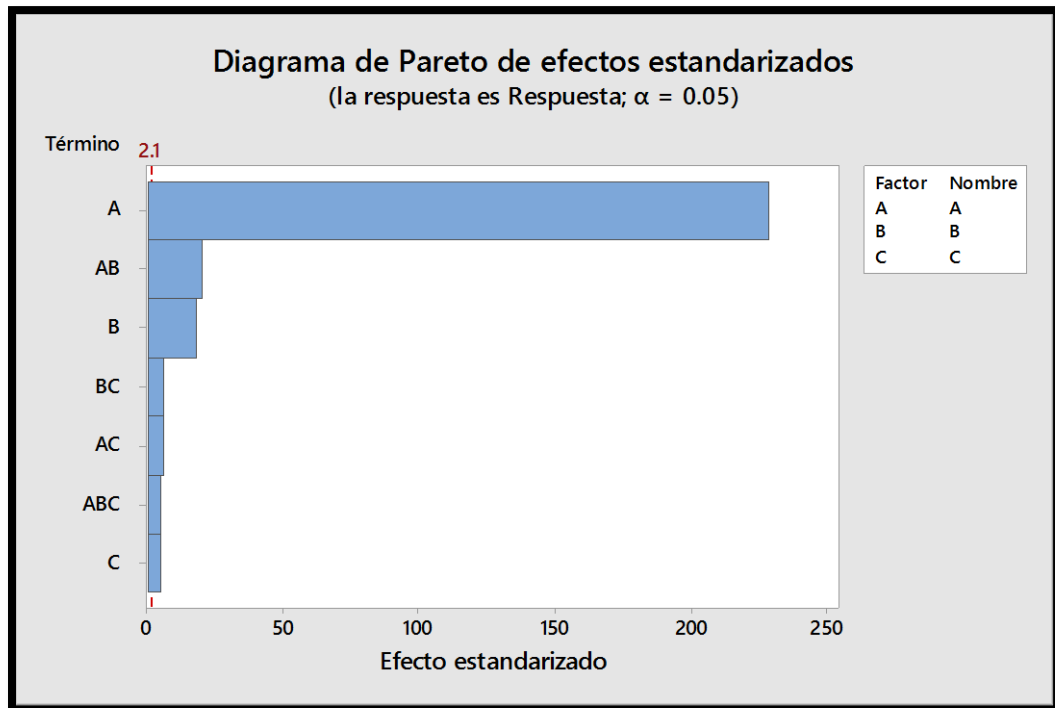
Obs	Respuesta	Ajuste	Resid	Resid est.
16	1.2010	1.7247	-0.5237	-3.76 R

Residuo grande R

Diseño factorial

Interpretación: La figura 27 nos indica que todos los factores son significativos para poder reducir la resistividad del terreno y tener un óptimo desempeño ya que todos se encuentran por encima del nivel de significancia o límite de error del 0.05 o 95%.

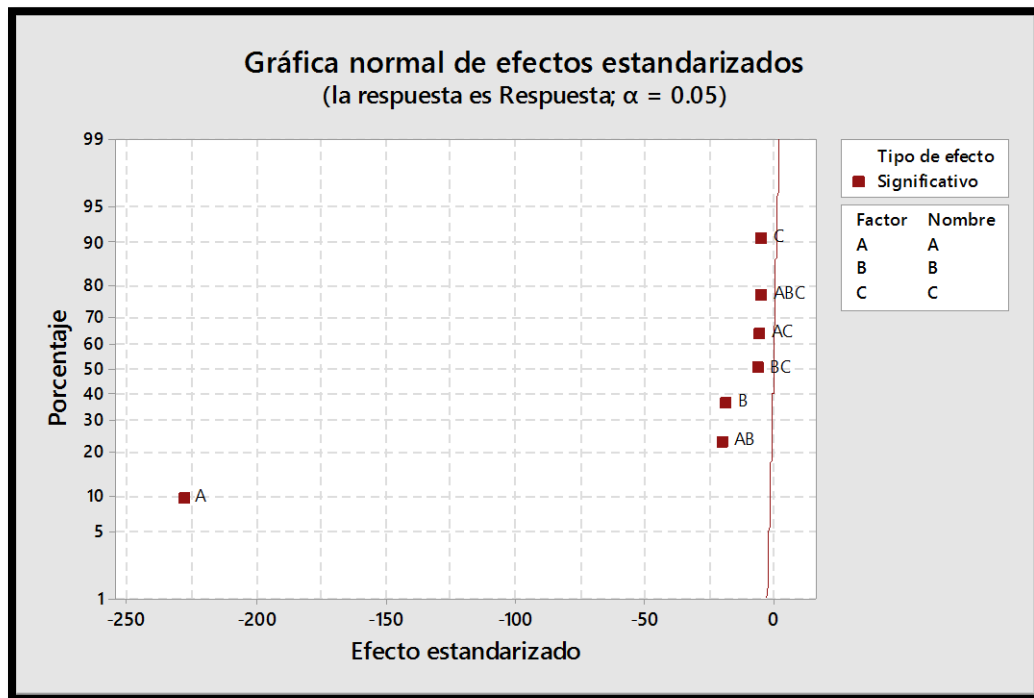
Figura 27. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Como podemos ver en la gráfica 28, los todos los factores que influyen en el terreno son significativos, pero el factor “A” que vendría siendo el tipo de terreno es más significativo con respecto a los demás factores o interacciones dadas.

Figura 28. Gráfica normal de efectos estandarizados



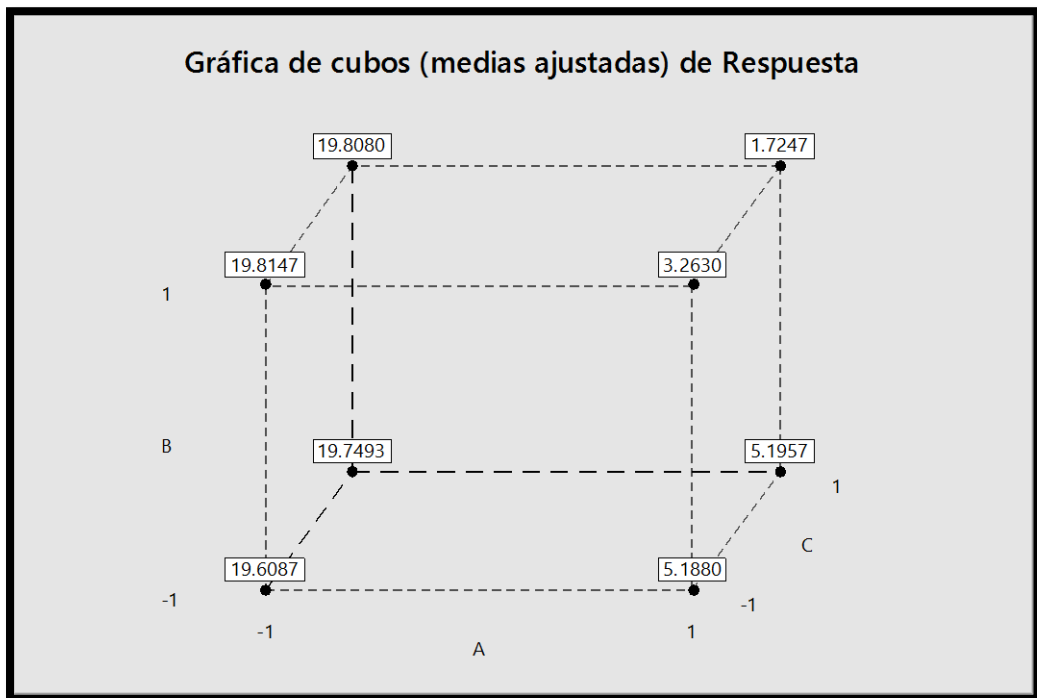
Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La gráfica 29 nos da a entender que, de todas las interacciones dadas en el minitab, se eligió el resultado con una mínima resistividad del terreno.

En este caso como vemos, la iteración del factor “A” (tipo de terreno) está húmedo (1), el factor “B” (profundidad) está a una profundidad de 2.4m (1) y “C” (material) es una varilla de cobre 12.7” (1), la resistividad final del terreno es 1.7247ohms.

Como se puede ver la resistividad es óptima para su desempeño, pero también se debe considerar el mantenimiento que requiere este tipo de pozo a tierra, así como accidentes por las cargas inducidas hacia el sistema eléctrico por ser varillas tradicionales sin ningún tipo de protección adicional.

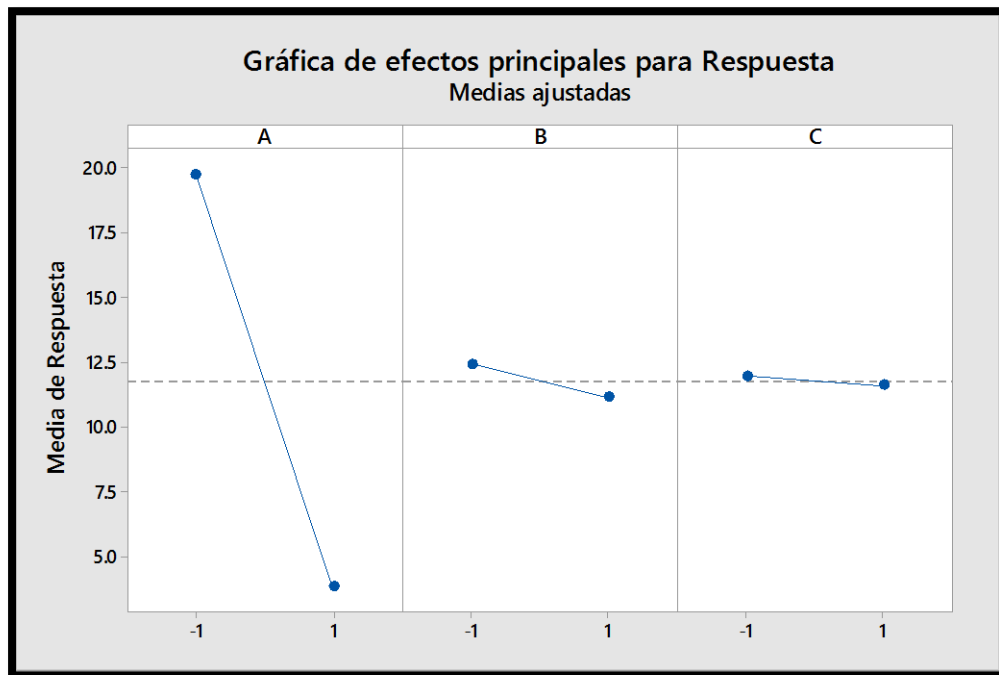
Figura 29. Gráfica de cubos



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: La grafica de efectos principales de la figura 30 nos refiere que cuando el factor “A” (tipo de terreno) pasa de un terreno seco a un terreno húmedo, la resistividad tiende a disminuir drásticamente, el factor “B” (profundidad) si se aumenta la profundidad, la resistencia no varía lo suficiente para tener un adecuado desempeño y cuando el factor “C” pasa a un material de mejores características tampoco varía mucho, por tanto, vemos que humedad del terreno tiene gran relevancia entre los demás factores.

Figura 30. Gráfica efectos principales a respuestas



Fuente: Elaboración propia

Optimización de respuesta: Respuesta

Parámetros

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Respuesta	Mínimo		1.201	19.819	1	1

Solución

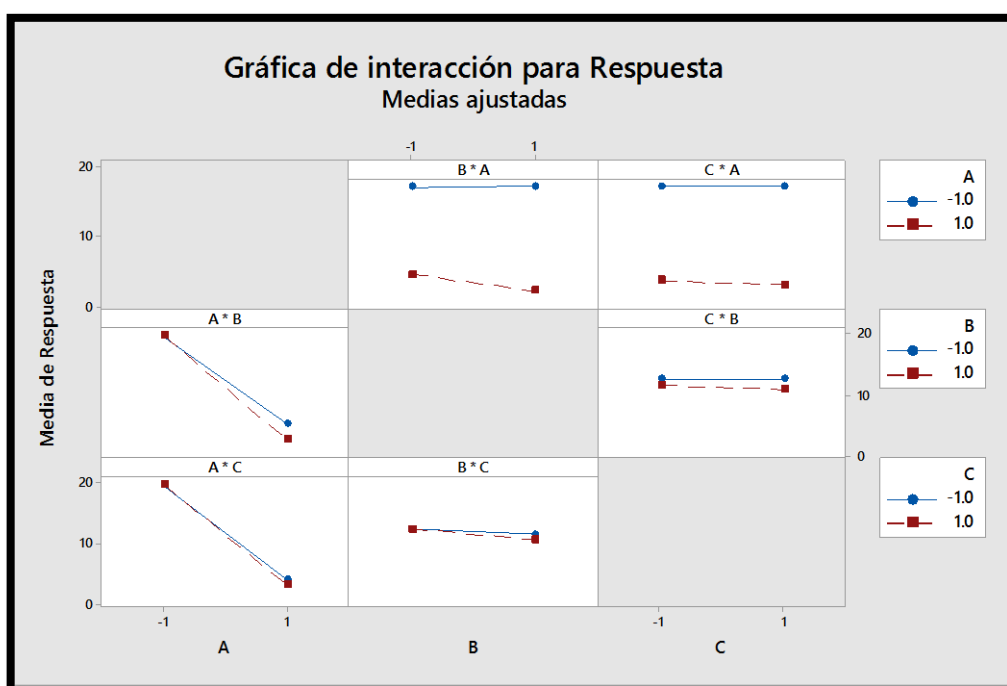
Solución	A	B	C	Respuesta Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	1	1	1	1.72467	0.971873

Predicción de respuesta múltiple

Variable	Valor de configuración			
A	1			
B	1			
C	1			
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Respuesta	1.7247	0.0985	(1.5158; 1.9335)	(1.3069; 2.1424)

Interpretación: La gráfica de interacción de respuestas de la figura 31, nos muestra la variación que se genera en la resistividad del terreno al variar 2 de los 3 factores, donde la gráfica A*B y A*C nos da a entender que, si el tipo de terreno “A” pasa de seco a húmedo en ambos casos la resistividad del terreno disminuye aproximándose a 1ohms, lo mismo que se refleja en los demás cuadros pero con poca disminución, entendiéndose así que el factor que tiene mayor influencia es tener un suelo húmedo.

Figura 31. Gráfica de interacción para respuestas



Fuente: Elaboración propia

**Optimización de respuesta: Respuesta
Parámetros**

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Respuesta	Mínimo		1.201	19.819	1	1

Solución

Solución	A	B	C	Respuesta Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	1	1	1	1.72467	0.971873

Predicción de respuesta múltiple

Variable	Valor de configuración	
A	1	
B	1	
C	1	

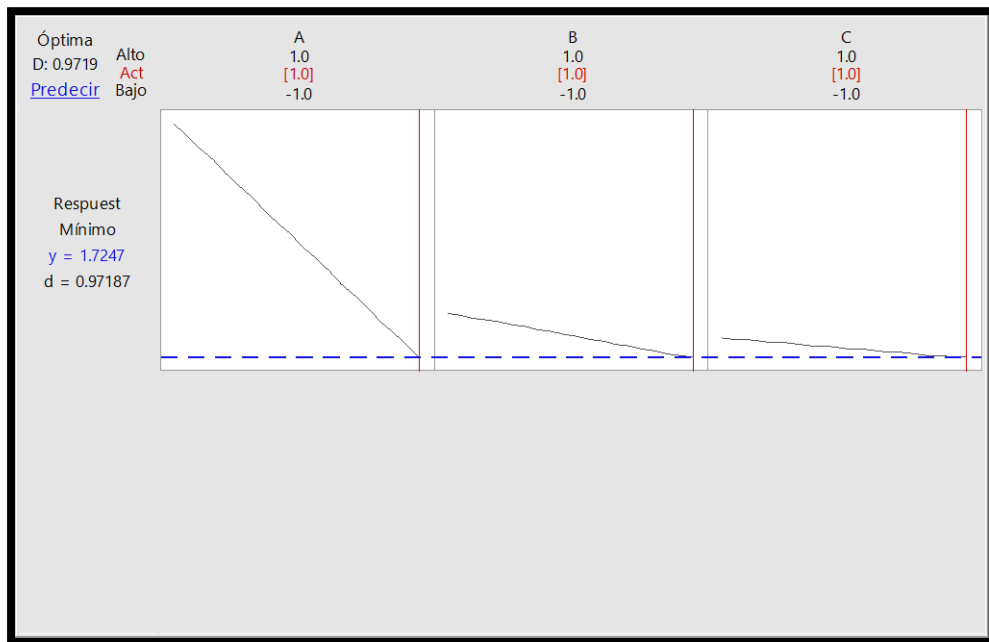
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Respuesta	1.7247	0.0985	(1.5158; 1.9335)	(1.3069; 2.1424)

IC: intervalo de confianza

IP: intervalo de predicción

Interpretación final: La gráfica de respuesta óptima de la figura 32, da a entender que para tener una resistividad menor del terreno es cuando está húmedo (1), con una profundidad de 2.4m (1) y la varilla es de 12.7” (1) en consecuencia la resistividad mínima final del terreno será de 1.7247ohms siendo esta una respuesta de predicción como se corrobora también en la gráfica de cubos.

Figura 32. Gráfica de respuesta óptima



Fuente: Elaboración propia

Interpretación Final: “A” Tipo de Terreno, “B” Profundidad y “C” Material.

Como se observa la mejor configuración de los factores es cuando “A” Tipo de Terreno está húmedo, “B” Profundidad está a 2.4m y “C” Material está es de 12.7”; la resistencia mínima del suelo será de 1.72467 ohm con un intervalo de confianza y predicción al 95%.

El intervalo de confianza(IC) de 95% indica que la resistencia del suelo puede variars entre (1.5158; 1.9335) ohm.

El intervalo de predicción(IP) de 95%, indica que las observaciones se mueven entre (1.3069; 2.1424) ohm.

3.3.7. Evaluación técnica (Cumplimiento de las normativas en el sector)

Por ser un diseño experimental y algunos aspectos no están normados en el Perú, daré a conocer los estándares en el que me base para la construcción según la IEEE 80-200.

La norma IEEE 80- 2000 menciona que por lo menos el calibre del cable de puestas tierra sea 2/0 AWG para central de estación y pararrayos.

Tabla 10. Tipos de calibre conductor

Tipos de calibre de conductor de cobre desnudo.						
Nº	CALIBRE AWG ó MCM	SECCIO N mm²	DIAMETRO EXTERIOR MM.	PESO TOTAL Kg/Km	SEMIDURO Tensión de Ruptura Kg.	CAPACIDA D DE CORRIENTE AMP.
1	10	5,26	2,94	47,76	175,00	68
2	8	8,37	3,69	75,90	276,00	95
3	6	13,30	4,65	121,00	432,00	129
4	4	21,15	5,88	192,00	682,00	170
5	2	33,62	7,41	305,00	1069,00	230

Fuente: IEEE 80- 2000

La oposición del terreno es afectada por la humedad directamente, temperatura y contenidos químicos.

Tomé los datos de investigación de la estructura de suelo que dio la norma IEEE-80, los cuales nos da rangos de resistividad de suelo típicos.

Tabla 11. Rangos de resistividad de suelo

Rango de resistividad del suelo	
TIPO DE SUELO	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ω -m)
Lama	5 – 100
Humus	10 – 150
Limo	20 – 100
Arcillas	80 – 330
Tierra de jardín	140 – 480
Caliza fizurada	500 – 1000
Caliza compacta	1000 – 5000
Granito	1500 – 10000
Arena común	3000 – 9000
Basalto	10000 – 20000

Fuente: IEEE 80- 2000

El papel principal de sistema puesta tierra es garantizar la integridad de personas. Esta es sumamente importante en el diseño y obliga a fijar una resistencia final. En tanto, los datos recomendados de la Tabla 5 surgen de la experiencia, sin necesidad de obedecer una norma única.

Tabla 12. Valores máximos sistema puesta tierra

Valores máximos de resistencia de puesta a tierra	
UTILIZADA PARA	Valor máximo de resistencia de puesta a tierra Ω
Estructuras de líneas de transmisión	20
Subestaciones de alta y extra alta tensión $V \geq 115KV$	1
Subestaciones de media tensión de uso exterior en poste	10
Subestaciones de media tensión de uso interior	10
Protección contra rayos	4
Neutro de acometida en baja tensión	25
Descargas electrostáticas	25
Equipos electrónicos sensibles	5

Fuente: IEEE 80- 2000

La bentonita es arcilla natural que contiene montmorillonita, se formó por acción volcánica hace tiempo, siendo un elemento no corrosivo, firme, tiene una resistividad de 2.5 Ω -m al 300% de humedad y naturaleza higroscópica.

Una solución alternativa es modificar el suelo alrededor del electrodo para reducir su resistividad con los diversos aditivos y componentes y así reducir la resistividad del mismo.

3.3.8. Cumplimiento de objetivos generales y específicos

- Se diseñó un prototipo de puesta a tierra para la protección efectiva en la industria ligera en el distrito de San Agustín de Cajas
- Se definió el electrodo del sistema precisando tipo y diseño de electrodo que se utilizó según su composición química para no generar demasiado gasto económico en mantenimientos futuros
- Se definió qué componentes tendrá el electrodo y la zona donde se enterrará y se darán los ensayos para aprovechar la mayor captación de corrientes indeseadas en la red eléctrica, teniendo así la seguridad que el diseño implementado tiene una base firme de respaldo.
- Se definió qué dispositivo utilizar para desviar distintas cargas y corrientes indeseadas y no permitir que estas retornen al sistema implementando la bobina de choque.

3.3.9. Evaluación económica de la mejor solución

La evaluación económica de la tabla 13, se dio de acuerdo a la funcionalidad y la cantidad de diseños que se implementará por año, ya que por ser un diseño nuevo y prototipo experimental no se sabe bien qué impuestos o tributos exactos se tendrían que adicionar por ello solo considere agregar precio por unidad y cantidad por años que no son fijos. También cabe destacar que el diseño implementado no necesita de mantenimiento periódico anual, ya que gracias a la protección catódica de la varilla solo se está considerando una revisión cada 5 años con un gasto de s/.100(cien soles).

El diseño actual se llevó a cabo para la empresa “Dominion Perú S.A.C.” cual está construyendo sus locales en la ciudad de Cajas Chico, Huancayo y El Tambo.

Tabla 13. Materiales utilizados y precios

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PROPUESTO				
MATERIALES PRIMARIOS				
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	COSTO
VARILLAS DE COBRE	3	unidades	S/150.00	S/450.00
ARDUINO	1	unidad	S/30.00	S/30.00
SENSOR DE HUMEDAD	1	unidad	S/18.00	S/18.00
ELECTRODO DE SACRIFICIO	1	unidad	S/40.00	S/40.00
CABLE CONDUCTOR 2AWG	1	m	S/13.00	S/13.00
TIERRA NEGRA	3	m3	S/70.00	S/210.00
SOLDADURA EXOTERMICA	9	puntos	S/20.00	S/180.00
PLACA DE COBRE	1	plancha	S/100.00	S/100.00
CONECTOR TIPO AB	2	unidades	S/7.00	S/14.00
SAL INDUSTRIAL	50	kilos	S/52.00	S/52.00
BENTONITA	60	kilos	S/36.00	S/72.00
BOBINA DE CHOQUE	1	unidad	S/482.40	S/482.40
THORGEL	2	unidades	S/120.00	S/240.00
			GASTO TOTAL	S/1,901.40
PRUEBAS				
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	COSTO
THELUROMETRO	1	unidad	S/780.00	S/780.00
PROTOCOLO PUESTA TIERRA	1	persona	S/200.00	S/200.00
COMPUTADORA PORTATIL	1	unidad	-	
			GASTO TOTAL	S/980.00
INSTALACION				
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	COSTO
CAJA DE REGISTRO	1	unidad	S/80.00	S/80.00
MANO DE OBRA	2	personas	S/250.00	S/500.00
			GASTO TOTAL	S/580.00
PRESUPUESTO TOTAL FINAL			S/3,461.40	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Sistema de puesta a tierra tradicional

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA TRADICIONAL				
MATERIALES PRIMARIOS				
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	COSTO
VARILLA DE COBRE	1	unidades	S/90.00	S/90.00
CABLE CONDUCTOR 2AWG	2	m	S/13.00	S/26.00
TIERRA NEGRA	3	m3	S/70.00	S/210.00
CONECTOR TIPO AB	2	unidades	S/7.00	S/14.00
SAL INDUSTRIAL	50	kilos	S/52.00	S/52.00
BENTONITA	60	kilos	S/36.00	S/72.00
THORGEL	2	unidades	S/120.00	S/240.00
			GASTO TOTAL	S/704.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Evaluación económica

DESCRIPCION DEL PROYECTO	Año 0 2020	Año 1 2021	Año 2 2022	Año 3 2023	Año 4 2024	Año 5 2025	Año 6 2026	Año 7 2027	Año 8 2028	Año 9 2029
A. Costos										
A.1 Costo de inversión inicial	S/ 3,461.40									
Recursos Humanos	S/ 700.00									
Bienes	S/ 2,761.40									
Servicios	S/ 0.00									
A.2 Costo de operación y		S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 200.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 200.00
Costo de Monitoreo		S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00
Costo de mantenimiento		S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 100.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 100.00
Costo de materiales		S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
A.3 Costos de energía y otros servicios		S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
Energía eléctrica		S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
Ahorro		S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
A.4 Total de costos (A+B+C)		S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 200.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ 200.00
B. Ingresos										
B.1 Ingresos por ventas		S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00
Ventas		S/ 4,000.00	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00
C. Beneficios netos										
C.1 Beneficios (ventas - costos)	-S/ 3,461.40	S/ 1,900.00	S/ 1,900.00	S/ 1,900.00	S/ 1,800.00	S/ 1,900.00	S/ 1,900.00	S/ 1,900.00	S/ 1,900.00	S/ 1,800.00

Indicadores Económicos	
Tasa de Descuento Empleada	12%
TIR	53%
VAN	S/5,859.52
Tiempo de Recuperación de la Inversión (años)	1.843349112
BENEFICIO/COSTO	S/1.69
Precio por unidad	S/ 4.000
Unidades x mes	1
Unidades x año	12

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de evaluación económica: Como se muestra en los cálculos realizados se tiene una duración del proyecto de 10 años ya que se está implementando la protección catódica.

De esta manera el presupuesto de inversión que se tuvo de acuerdo al diseño propuesto fue de s/. 3,461.04 (tres mil ochenta y cuatro nuevos soles).

Los indicadores económicos se basan en la duración del proyecto como también en las ganancias gracias a la implementación del diseño. No se tendrá que realizar mantenimiento anual, ya que este diseño tendrá una duración de 10 años.

El VAN (Valore Actual Neto) como resultado es de s/. 5,859.52 nuevos soles, esto quiere decir que tendrá un valor futuro mencionado. Ya que al ser mayor a “Cero” el proyecto se considera rentable y debe ser aceptado.

El TIR (Tasa de Retorno) es de 53% o 0.53 lo que menciona que el diseño propuesto es factible para realizarse ya que es porcentaje mayor a la tasa de descuento.

La relación de beneficio/costo es de 1.69 lo cual indica ser mayor que 1, por lo tanto, se acepta el proyecto.

El periodo de recuperación de capital se obtendrá en 1 año, 8 meses y 6 días de haber ejecutado el diseño.

3.3.10 Especificaciones técnicas de la mejor solución

Arduino uno

Arduino es hardware que se basa en microcontrolador Atmega328. Tiene 14 pines entrada/salida digital (4 pueden ser utilizados salidas PWM), 6 entradas análogas, resonador cerámico de 16 MHz, conector USB tipo hembra, fuente de poder, conector ICSP y botón reset.

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje Operativo: 5v
- Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 v
- Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM)
- Pines de Entradas Análogas: 6

- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader.
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB. (ATmega328)
- Velocidad del Reloj: 16 MHZ.

Varilla de cobre

Tabla 16. Datos técnicos de varilla de cobre

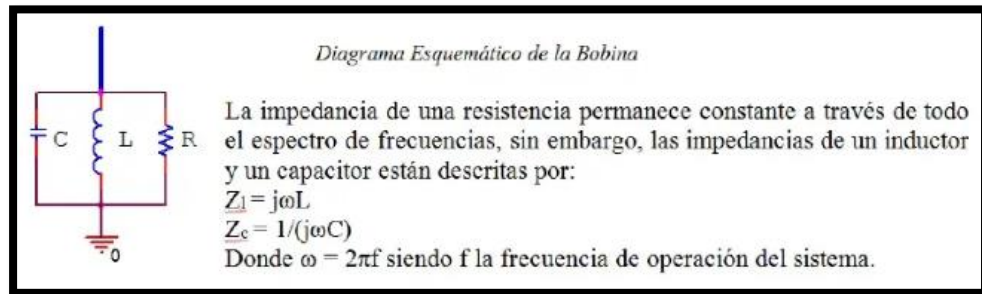
PLANILLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS COBRE				
Nº	DATOS	UNIDAD	CARACTERISTICAS	
			Solicitadas	Requerido
1	VARILLA		COBRE	
2	Norma de fabricación	----	NTC 2206	
3	Tipo	----	Cilíndrica	
4	Designación	----	(*)	
5	Material del Núcleo	----	Cobre	
6	Material del recubrimiento	----	Cobre	
7	Proceso de fabricación	----	(*)	
8	Longitud	m	2,44	
9	Diámetro Nominal	mm (pulg)	> $\phi = 12,7$	
10	CONECTOR			
11	Norma	----	(*)	
12	Tipo	----	(*)	
13	Composición	----	Óxido Cu-Al	
14	Temperatura Máxima admisible	°C	(*)	
15	Prueba de torsión del tornillo del conector		Garantiza 17 Nm acorde a numeral 4,6	
16	material conector		Cu o aleación de Cu	
17	material tornillo		(*)	
18	% Cu del conector		min 80%	
19	% Cu del tornillo		min 80%	
20	Presenta certificación de producto del conector		SI	
RESULTADO EVALUACION TECNICA				
21	Acreditación RETIE y NORMA por el ente competente en Colombia	Entidad acreditadora		
		Número de acreditación		
		Fecha de aprobación (Día/Mes/Año)		
		Vigencia		
22	Sistema de calidad ISO	Adjunta el certificado (Si/No)		
		Entidad acreditadora		
		Número de acreditación		
		Fecha de aprobación (Día/Mes/Año)		
		Vigencia		

Fuente: www.promart.com

Bobina de choque o filtro LCR

El filtro LCR o bobina de choque, es un dispositivo que facilita la corriente hacia tierra en un rango de frecuencias muy grande. El circuito equivalente del filtro LCR se puede ver en la siguiente figura.

Figura 33. Diagrama eléctrico de la bobina de choque



Fuente: Total Ground

Con esta configuración de la figura 31, podemos ver el diagrama interno que tiene la bobina de choque, evidenciando que cuando las frecuencias que se quieren drenar son pequeñas, la impedancia de la resistencia permanece constante, la impedancia del inductor se acerca a cero (es decir, corto circuito) y la impedancia del capacitor se hace muy grande.

En bajas frecuencias, los elementos que drenan la corriente son la resistencia y el inductor. Cuando se quiere drenar elementos de alta frecuencia (los rayos), la impedancia de la resistencia permanece constante, la impedancia del inductor tiende a ser muy grande y la impedancia del capacitor tiende a disminuir.

Cuando existe elementos de alta frecuencia en el evento a drenarse los elementos que actúan son la resistencia y el capacitor.

3.3.11. Discusión de resultados (Comparación con los antecedentes)

La investigación tuvo como objetivo diseñar un prototipo de puesta a tierra para la protección efectiva en la industria ligera en el distrito de San Agustín de Cajas.

Para la implementación y cálculos en materiales utilizados me base en “El estudio realizado por Nelson Morales Osario en su investigación en referencia a SPAT en la Universidad de Chile hacia el año 1999, donde hace un análisis que engloba todo con respecto a sistema puesta tierra, con objetivo de bajar la resistencia del suelo donde se encontraran los electrodos y bajar considerablemente para su buena aplicación, utilizando métodos seguros y de confiabilidad en su diseño para lograr una buena adaptación en la parte eléctrica gracias a los componentes químicos que se usarán para bajar resistividad del terreno, a ello se le suma en verificar y comprobar la interacción del electrodo en el sistema y de esa manera lograr un boceto de mantenimiento de un SPAT de cualquier índole.

En consecuencia, se pudo usar algunos datos referenciales para proteger el sistema, implementando la protección catódica por corriente galvánica en nuestro diseño ayudando a minimizar al máximo la resistividad del terreno, también cumplirá la función de protección al electrodo de la oxidación mediante otra varilla con mayor carga electronegativo el cual se denomina “varilla de sacrificio” el cual está conectado al pozo a tierra dándole una vida útil más larga al diseño implementado, reduciendo así el constante mantenimiento y minimizando los gastos económicos.

En su artículo, Moreno German menciona: el sistema puesta tierra se realiza y/o implementa con el objetivo de desviar sobretensiones que provienen de las fallas del sistema eléctrico, descargas atmosféricas entre otros, ya que pueden presentarse en diversas características según sea el caso: residenciales, industriales, comerciales, hospitalarias y/o telecomunicaciones.

Por ello al implementar el nuevo diseño se tomó en cuenta todos esos objetivos y se incorporó algunos componentes que mejoró la puesta a tierra tradicional como es el efecto punta, que drenará y facilitará el flujo de electrones a tierra por su diseño en punta, así también se añadió la bobina de choque el cual su función específica es de impedir que las corrientes retornen al sistema mediante la misma varilla haciendo que el sistema sea unidireccional.

Cuando Pardo Romero y Wilson Antonio, en su artículo mencionan que hoy en día la energía eléctrica está presente parcialmente en todas las actividades cotidianas que realizamos, por ello la tendencia a tener contacto físico directo o indirecto con corriente eléctrica es claro tanto en sector residencial e industrial, es debido a ello que la importancia de la investigación que se realizó en este caso la industria ligera, ya que al tener una resistividad final de 3.22 ohms estamos asegurando un correcto funcionamiento en la implementación reduciendo así accidentes ya sea tensión paso o tensión contacto y mejorando la vida útil del mismo.

Para medir la resistividad inicial del terreno en la investigación me base en las tablas de resistividad de terreno que nos proporciona la IEEE80-2000, el cual nos proporciona datos ya establecidos por tipo de terreno ya sea arenoso, rocoso, y demás; los cuales me sirvieron de referencia para ingresar nuestros datos al sistema y simular, en el caso de nuestra investigación el terreno en el que trabajamos fue de 2 capas: arenoso y tierra negra por lo que según tabla ronda entre los 330 a 480 ohms.

Así mismo, se pudo corroborar con el instrumento de medición antes de empezar a excavar el pozo y nos dio una resistividad inicial de 420 ohms en promedio logrando reducir la resistividad final de 3.22ohms utilizando la mezcla del agua, bentónica, sal industrial, thorgel, tierra de chacra o tierra negra, repitiendo este proceso de mezcla cada 30 o 40cm de relleno del pozo, así también como la propia experiencia de campo que uno tiene, obteniendo un óptimo desempeño y mayor durabilidad.

Frente a ellos, García Márquez, Rogelio menciona que: el cambio de resistividad en igual similitud de área, ubicada en diferentes parajes de resistividad llega en mínima medida divergente, por ello tomamos valores referenciales según IEEE de la tabla de resistividades.

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN

4.1. Proceso de construcción

Etapa 1: Adquisición del material

En la figura 34 se muestra los materiales adquiridos y medición de los materiales según el diseño propuesto, se usó la cortadora de fierro para las varillas de cobre y tener los 2 metros de largo, así también se compró la placa de cobre y los conectores ab.

Figura 34. Adquisición de material para el diseño del electrodo



Fuente: Elaboración propia

Etapa 2: Corte a medida del diseño propuesto

En la figura 35, luego de haber medido la varilla y la placa, iniciamos a cortarlos, la varilla en 2 metros de largo para posteriormente unirlos para el diseño propuesto, después cortamos la placa de 20x20cm en forma triangular y la vez este sirvió como superficie para disipar mejor las sobrecargas en el terreno.

Figura 35. Proceso de corte de las varillas de cobre



Fuente: Elaboración propia

Etapa 3: Armado y soldadura de las varillas y placas de cobre

En la figura 36, luego de terminar de cortar las varillas y la placa de cobre, se procedió a unirlos mediante soldadura exotérmica según el diseño que se realizó en el software AutoCAD haciendo las pruebas de continuidad respectivas con el multímetro para poder comprobar que la fusión entre los metales este correctamente unidas

Figura 36. Armado y soldadura del prototipo



Fuente: Elaboración propia

Etapa 4: Excavación

En la figura 37 se realizó el hueco para el pozo a tierra de 2.5 metros de profundidad por 1 metro de radio, se pudo apreciar que el terreno tenía tierra negra y también arenosa, por lo que se ensanchó un poco más para poder agregar tierra de chacra y tener un mejor espacio de trabajo para disminuir la resistividad final del terreno, así también medimos la profundidad y el espacio que tendrá el diseño de la varilla para posteriormente hacer la mezcla y agregar los ingredientes necesarios.

Figura 37. Excavación del hueco



Fuente: Elaboración propia

Etapa 5: Tratamiento del terreno

En la figura 38, ya teniendo el hueco hecho iniciamos a realizar el tratamiento del terreno con la sal industrial, antes de plantar la varilla lo dejamos humedecer el hueco con la mezcla de agua y sal industrial hasta que este compuesto sea absorbido por completo. Las dosis que se utilizaron de la mezcla fueron progresivas ya que se volvía a humedecer la tierra cada 20 a 30 centímetros de relleno el hueco para tener una mínima resistencia final del terreno, y así hasta llegar a cubrir todo el hueco.

Figura 38. Disolución de la sal y agua en el pozo



Fuente: Elaboración propia

Etapa 6: Introducir la varilla de cobre

En la figura 39 y 40, se procedió a introducir la varilla en el hueco para medir la altura que fue enterrada la varilla, viendo siempre la mejor posición para nivelar y plantarla, el hueco tenía 2.5 metros de profundidad, por lo que para plantar el electrodo se tuvo que rellenar 10 centímetros de tierra y posicionarlo para que este no se mueva para luego tapar bien el hueco con toda la mezcla hecha.

Figura 39. Introducción el nuevo diseño de varilla de cobre al pozo



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Posicionando el nuevo diseño de varilla dentro del pozo



Fuente: Elaboración propia

Etapa 7: Direccionar y nivelar

En la figura 41, se direccionó uno de los vértices de la placa hacia el norte magnético de la tierra mediante la brújula, para tener una mejor disipación de corrientes indeseadas gracias al efecto punta que tiene el diseño, lo que hace que los electrones drenen más fácil hacia la tierra y obtener una mayor zona de disipación, ya que básicamente todo el diseño de nuestra estructura está basada en este concepto de efecto punta para tener una mejor fluidez de electrones gracias al campo magnético que tiene la tierra.

Figura 41. Nivelación y direccionamiento del diseño de varilla



Fuente: Elaboración propia

Etapa 8: Mezcla de material

En la figura 42, se mezcló la bentonita con la tierra negra para ir rellenando el hueco, se utilizó una bolsa de bentonita(30kg) por cada metro cúbico de tierra que se dispuso para cubrir todo el hueco, en total utilizamos 60 kg de bentonita y 2 m³ de tierra de chacra y se mezcló con la tierra que se retiró del hueco, luego de haberla cernido.

Figura 42. Mezcla de tierra – Bentonita - Thorgel



Fuente: Elaboración propia

Etapa 9: Implementación protección catódica

En la figura 43, luego de haber tapado todo el hueco se procedió a implementar la protección catódica por corriente galvánica de la varilla de cobre, conectándola a una varilla de aluminio ya que según la tabla de serie galvánica esta es más electronegativa que el cobre, por tanto absorberá la corrosión que se generará protegiendo así al cobre de la oxidación dándole así una vida útil mayor al pozo a tierra que cualquier otro tradicional, para eso se utilizó el cable 2 AWG que según la norma IEEE , es la más adecuada para las conexiones de pozo a tierra a una distancia de 1m entre ambos electrodos según nuestro diseño inicial.

Figura 43. Implementación de la protección catódica por corriente galvánica



Fuente: Elaboración propia

Etapa 11: Funcionamiento del sensor de humedad

La figura 44, luego de haber terminado con las conexiones, se inició con la parte electrónica y la programación en la plataforma arduino, donde se introdujo los parámetros del terreno y se estableció rangos de humedad mediante el sensor de humedad HL-69, en el cual cargaremos los datos y mediante su propio electrodo mediremos el estado de humedad en el que se encuentra el terreno para así poder tener los datos exactos donde se encuentra nuestro pozo a tierra con las simulaciones a pequeña escala que ya anteriormente se realizó con la plataforma Arduino.

Figura 44. Implementación y pruebas del sensor de humedad



Fuente: Elaboración propia

Etapa 12: Medición final

En la figura 45, por último, luego de haber hecho todas las pruebas anteriormente mencionadas, se procedió a medir la resistividad final del terreno mediante nuestro theluometro, obteniendo con gran éxito la resistividad que finalmente buscábamos, ya que según norma IEEE, para una subestación pequeña o el funcionamiento de un pararrayos no deben sobrepasar los 4 ohms y en nuestro caso un prototipo de puesta a tierra para la protección efectiva en la industria ligera del distrito San Agustín de Cajas será lo adecuado, por lo que se obtuvo con éxitos 3.22ohms el cual es adecuado para poder poner en funcionamiento en cualquier industria ligera para la cual se diseñó y otros objetivos que pudiéramos implementar.

Figura 45. Medición final del terreno



Fuente: Elaboración propia

4.2. Pruebas y resultados:

Para las pruebas y resultados se comparó la simulación del software Etap con la implementación del diseño propuesto.

La simulación en Etap, nos arrojó una resistividad mínima de terreno 1.2010 ohms, el cual es adecuado para cualquier tipo de industria, pero este no cuenta con la protección adecuada frente a diversos efectos eléctricos que se pueden inducir al sistema eléctrico, siendo este perjudicial para elementos electrónicos sensibles y a las propias personas, así también perjudica la estabilidad económica del usuario, ya que tiene que hacer el mantenimiento del pozo a tierra por lo menos cada medio año como lo menciona el código nacional de electricidad para evitar la oxidación de la varilla.

Según el estudio realizado por Nelson Morales Osario en su Investigación en referencia a SPAT en la Universidad de Chile hacia el año 1999, se realiza un análisis que engloba todo con respecto a sistema puesta tierra, con el objetivo de bajar la resistencia en el suelo donde se encontraron los electrodos y se bajaron considerablemente para su buena aplicación, pero no deja claro sobre las cargas que se inducen por el mismo terreno hacia el sistema eléctrico siendo hoy en la actualidad uno de los grandes problemas que perjudica a muchas industrias ya que en su mayoría utilizan elementos electrónicos los cuales son más sensibles que antes.

Para mitigar estas sobretensiones en el nuevo diseño de varilla implementamos “la bobina de choque”, cuya función básica es impedir que las corrientes inducidas por el propio suelo ingresen al sistema eléctrico siendo este dispositivo primordial para el objetivo de nuestro proyecto, obteniendo así un mejor desempeño y mejores parámetros de protección que otros ya que gracias al nuevo diseño, se pudo tener un mejor desempeño frente a sobretensiones, con una propuesta que mejora la protección en cualquier tipo de terreno gracias al “efecto punta” del diseño, así también se garantiza una vida útil más larga gracias a la protección catódica por corriente galvánica implementada, la cual disminuirá la oxidación de la varilla de cobre gracias a un electrodo de sacrificio el cual es menos costoso y es de menor valor, así mismo se disminuyó el mantenimiento constante que tienen los pozos a tierra gracias a este tipo de sistema de protección.

Según Pérez G. Alberto, La tierra es un gran imán, gracias a esa investigación se pudo comprobar que los electrones del campo magnético terrestre se dispersan con mayor

facilidad en dirección del norte magnético de la tierra ya que son atraídos por este, es por ello que al nuevo diseño de puesta a tierra se le incorporo el efecto punta triangular de las placas de cobre, el cual nos dará mayor superficie de contacto para que los electrones fluyan con mayor rapidez, así mismo nos dice que si la superficie presenta forma en punta, esas cargas se concentraran en dicha punta, en consecuencia, se genera un campo eléctrico con mayor intensidad, ionizando las moléculas que rodean la punta (aire vuelve conductor) produciendo fuga de cargas por esa zona en punta, basándonos en esta teoría direccionamos uno de los vértices de la placa triangular de cobre utilizando una brújula digital y se direccionó en paralelo al norte magnético de la tierra para tener este efecto, también se construyó toda la varilla bajo este principio es por ello que la terminación de las 3 varillas de cobre unidas en el diseño, obteniendo así un efecto punta tanto vertical y horizontal para un mejor drenaje de corrientes inducidas o descargas atmosféricas.

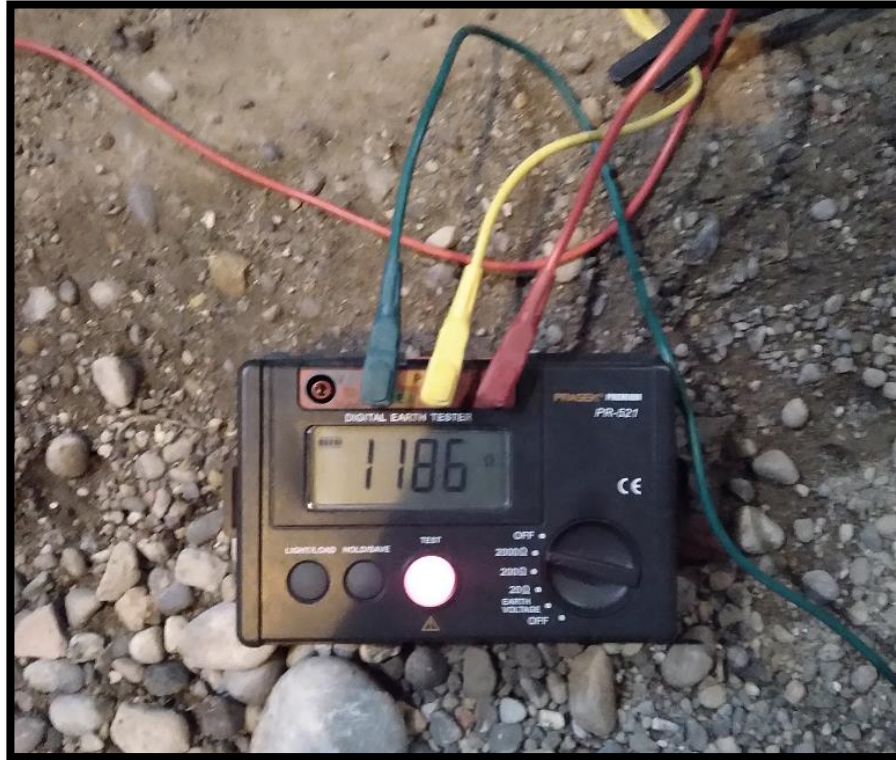
También se pudo hacer la programación en el software arduino, el cual mediante su sensor de humedad HL-69, nos permitió medir el nivel de humedad inicial y final del terreno, gracias a esto pudimos ver en qué estado se encontraba la zona para posteriormente mejorar o hacer su respectivo mantenimiento según el ambiente el cual está sometido, este tipo de dispositivos son de gran importancia en épocas de sequía ya que nos ayudará a programar el sensor y avisarnos si la zona está seca evitando perjudicar el adecuado desempeño del sistema puesta tierra.

Con este trabajo no estoy minimizando el de otros ni mucho menos, con esto quiero aportar un poco al inmenso trabajo que ya se hizo y se viene realizando por muchos profesionales y quizás más adelante mejorar en tanto la tecnología continúe mejorando a grandes pasos y tenemos que estar siempre actualizándonos.

Finalmente se pudo obtener con gran éxito una resistividad final del terreno de 3.22 ohms para lo cual se requirió de sal industrial, bentonita y entre todos elementos químicos y dispositivos eléctricos ya mencionados los cuales ayudaron a disminuir la resistividad del terreno así como también la experiencia de campo que uno tiene y viene adquiriendo con el pasar del tiempo y de la prueba y error que nos menciona Benjamín Barriga Gamarra (2010) quien nos propone una perspectiva distinta acerca de la técnica de aprendizaje y error, el diseño en el país es una tarea que se realiza sin metodología y en base a la propia experiencia , en especial para nuestro objetivo principal el cual fue implementar el prototipo sistema puesta tierra para la protección efectiva en industria ligera de San Agustín de cajas el cual no tiene pasos a seguir ya establecidos

por ninguna norma, pero que se pudo lograr recopilando información de varios autores y con mucho esfuerzo a pesar de la situación actual que estamos pasando en todo el planeta.

Figura 46. Medición inicial de resistividad



Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Prueba final resistividad



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se diseñó un prototipo de puesta a tierra para la protección efectiva en la industria ligera en el distrito de San Agustín de Cajas determinando el material adecuado del cual va estar compuesto para tener una mayor durabilidad y resistencia en el terreno mediante el efecto punta.

Se definió qué tipo y diseño de electrodo se utilizó según su composición química para no generar demasiado gasto económico en mantenimientos futuros, seleccionando el material adecuado del cual va estar compuesto para tener una mayor durabilidad y resistencia en el terreno, así implementar la protección catódica por corriente galvánica y la bobina de choque en el electrodo que servirá ante los problemas atmosféricos y electromagnéticos que se puedan presentar, además de evitar el retorno de estas gracias a su sistema unidireccional que nos ofrece la bobina de LCR.

Se pudo definir qué componentes tendrá el electrodo y la zona donde se enterrará y se darán los ensayos para aprovechar la mayor captación de corrientes indeseadas, ampliando el mantenimiento anual que normalmente se realiza para una puesta a tierra común, el cual se podrá realizar cada 5 años por tanto nos permitirá un ahorro sustancial en el mantenimiento como también en la reducción de fallas por descargas o sobretensión en la red cuidando así los equipos y la vida del personal, pudiendo así añadir el sensor de humedad a la puesta a tierra, el cual nos va permitir ver el nivel de humedad en que se encuentra actualmente el terreno, y posterior a ello poder mejorar el mismo.

Se logró definir qué dispositivo a utilizar para desviar distintas cargas y corrientes indeseadas y no permitir que estas retornen al sistema ya que con este tipo de varilla pudimos reducir la resistividad del terreno por debajo de 5ohms que según la Norma IEEE-80 nos dice que para una subestación la resistividad máxima para equipos electrónicos deberá ser no mayor al 5ohms, añadiendo el sistema con protección catódica por corriente galvánica, el cual nos permitirá reducir la oxidación que normalmente se da en los metales a causa de la humedad del terreno y por ende al sistema le añadimos una varilla de aluminio el cual será el electrodo de sacrificio, ya que por tener un estado electronegativo mayor al cobre podrá aumentar la absorción electrones y reducir la oxidación en el diseño implementado por tanto se tendrá una reducción de gastos económicos con respecto a su mantenimiento anual.

En la actualidad se está pasando por una pandemia sanitaria a nivel mundial, lo cual me limitó en varios aspectos para poder implementar otras mejoras, por tanto, tuve que enfocarme en un diseño de puesta a tierra tradicional basándome en estudios ya realizados por IEEE a nivel internacional ya que el tipo de puesta a tierra que se diseñó no está normado en nuestro país, por tanto, me vi en la necesidad de usar algunos softwares de simulación como ETAP y AutoCAD para el diseño propuesto.

Comparando los resultados obtenidos con los resultados de nuestros antecedentes vemos que tenemos un mejor desempeño del diseño de puesta a tierra ya que en general la mayoría de los antecedentes se basa específicamente a una estructura única, por lo contrario, yo me basé en una subestación según la Norma IEEE-80, siendo estos los más bajos se podrá usar en todo tipo de terreno con el debido tratamiento de suelo y materiales necesarios.

TRABAJOS FUTUROS

Actualmente el trabajo que se desarrolló según los datos tomados en campo y el software, pero eso no significa que se puedan seguir haciendo mejoras a futuro, ya que con el pasar del tiempo la tecnología avanza. Nuestro propósito es disminuir la resistividad del terreno para que exista una mejor fluidez de las fallas de sobretensión en el sistema.

Otra alternativa para trabajos futuros sería implementar el acoplador de impedancias la cual nos permitirá disminuir aún más la resistividad del terreno e inyectando corriente mediante paneles solares y este a su vez ayude a reducir aún más la oxidación de las varillas de cobre gracias a una protección catódica por corriente impresa el cual requiere de baterías y una fuente de alimentación en corriente continua.

Las prospectivas para nuestro trabajo a futuro es implementar un sistema de riego automático mediante la programación y añadir un acoplador de impedancias para las descargas atmosféricas los cuales ayudarán a que el terreno este húmedo en tiempos de sequía manteniendo así una resistividad en rangos óptimos de diseño y evitando el retorno de corrientes inducidas así también como un correcto funcionamiento del diseño de puesta a tierra.

Por último, el diseño propuesto no se limitará solo a la industria ligera o a la zona que se escogió para implementar el proyecto en este caso “San Agustín de Caja”, sino que también puede abarcar cualquier otro tipo de terreno y estructuras gracias a su baja resistividad y su propio funcionamiento siempre viendo en qué tipo de terreno se va trabajar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Economía, Instituto Peruano de.** Junín: Quinto Departamento que aporta más al crecimiento económico del Perú. *Diario Correo*. 2018.
2. **Osario, Nelson Morales.** *Sistema de puesta a tierra*. Santiago: s.n., 1999.
3. **Gomez, Hector David.** *Modelacion de puestas a tierra para evaluacion de sobretensiones transitorias*. Medellin: s.n., 2002.
4. **Gonzales, Francisco.** *sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas*. Venezuela: 1, 2007. 1-9.
5. **Moreno, German.** *Fundamentos e ingenieria de las puestas a tierra*. Colombia : Universidad de Antioquia, 2007. 9789587140576.
6. **Pardo Romero, Wilson Antonio.** “*Diseño de puestas a tierra y apantallamientos eléctricos para protección de equipos y personas de la universidad de las fuerzas armadas-espe extension Latacunga*. Ecuador: s.n., 2008.
7. **Garcia Marquez, Rogelio.** *La puesta a tierra de instalaciones electricas y el R.A.T.* España: Marcombo, 1999. 8426707998.
8. **Perez Govea, Alberto.** *La naturaleza, el hombre y el magnetismo*. Cuba: Creative Commons, 2002.
9. **Hinostroza, Eduardo Enrique Rojas.** *Puesta a tierra remota en centrales de generacion* . Huancayo. s.n., 2009.
10. **Rivas, Johnny Joel Galarreta.** *Diagnóstico y mejora del sistema de protección de puesta a tierra del campus de la Universidad Cesar Vallejo - Trujillo*. Trujillo : s.n., 2018.
11. **Protección, integradores de soluciones en.** *Manual de puestas a tierra thor gel*. Lima: s.n., 2006.
12. **Vasquez Muñoz, E.** *Mejoramiento de puesta a tierra en la subestación de transformacion de la Compañía Minera Quiruvilca S.A.,Santiago de Chuco, La Libertad*. Perú: s.n., 2018.
13. **Ignacio, Agulleiro.** *Técnicas modernas para la medición de sistemas de puesta a tierra en zonas urbanas*. Universidad Simón Bolívar : s.n., 2005.
14. **David, Sarzosa y Julian, Chuguspi.** *Optimización del sistema de puesta a tierra en la planta de tratamiento de conocoto*. Ecuador s.n., 2020.
15. **Federico, Machado Olivares.** *Propuesta para redes de tierra interconectadas en sistemas eléctricos que incluyen generadores de energía mediante recursos renovables*. El salvador: s.n., 2015.
16. **Cesar, Cañas Pañuelas.** *Optimización de electrodos de puesta a tierra*. España : s.n., 2009.
17. **Marco, Andrade.** *Criterios de diseño a ser considerados en las instalaciones electricas separacion entre circuito de puesta a tierra*.

18. **Benjamin, Barriga Gamarra.** *Métodos de diseño de ingeniería mecánica.* Perú: s.n.
19. **Pérez Govea, Alberto.** *La naturaleza, el hombre y el magnetismo.* La Habana : Revista Cubana de Medicina General Integral, 2002.
20. **Ramirez Castaño, José Samuel.** *Sistema de puesta a tierra diseñado con ieee-80 y evaluado CON MEF.* Colombia : Primera edición, 2010.
21. **Undaneta, Alberto, Khord, Hussein y de Oliveira , Paulo.** *Modelo para el diseño óptimo de electrodos de puesta a tierra en torres de transmisión.* Venezuela : s.n., 2002.
22. **Molina Aguilar, Juvencio.** *Criterios para el diseño de puestas a tierra en subestaciones industriales.* Costa Rica: s.n., 2005.
23. **Vera Mansilla, Marcel.** *Diseño del sistema de puesta a tierra por métodos de última generación para el centro de microscopía electrónica (CME) de la U.C.S.M.* Santa María : s.n., 2018.
24. **Justo, Yanque.** *Riesgo inmediato para las personas en la proximidad de las instalaciones.* 1999.
25. **Lopez, Fernando Maldonado.** *Manual profesional de soluciones de puestas a tierra.* Colombia : s.n., 2013.
26. **Rosario Francia, Samuel.** *Protección catódica-diseño de ánodos de sacrificio.* Lima : Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 2004. 1682-3087.
27. **Medina Aguirre, Francisco Alejandro.** *Antecedentes del estudio del campo magnético.* Colombia : Scientia Et Technica, 2012. 0122-1701.
28. **Salazar Jimenez, Jose Alberto.** *Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales.* Costa Rica : Revista Tecnología en Marcha, 2015. 0379-3982.
29. **Altamirano Santillan, Edwin Vinicio, Vallejo Vallejo, Geovanny Estuardo y Cruz Hurtado, Juan Carlos.** *Monitoreo volcánico usando plataformas Arduino y Simulink.* Ecuador : Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación, 2017. 2027-8306.
30. **Caicedo Pedreda, Antonio.** *Arduino para principiantes.* s.l.: IT Campus Academy, 2017. 978-1546479437.
31. **Ascencios, David y Meza, Karem.** *Calibración, validación y automatización del sistema de riego por goteo subterráneo usando un microcontrolador Arduino.* Lima : Revista de Investigaciones Altoandinas, 2020. 2313-2957.
32. **Oyarzo, Jorge.** *Medida de Resistividad de.* Chile : Accelerating the world's research., 2011.
33. <https://definicion.de/conductor-electrico/>. [En línea] [Citado el: 16 de noviembre de 2021.]

- 34. Ground, Total.** <https://es.scribd.com/document/350737396/Hoja-de-Datos-Filtro-LCR>. [En línea] [Citado el: 10 de diciembre de 2021.]
- 35. Marini, Silvana, Eugenia Godino, Maria y Silva, Carlos.** *Fenómenos eléctricos*. s.l. : Instituto Politécnicos, 2015.
- 36. Frutos, Carlos.** *Faragauss system*. Mexico : s.n., 2009.
- 37. Rojas, Gregor.** Manual de sistemas de puesta a tierra. Venezuela : s.n., 2006.
- 38. Gomez, Roberto Ruelas.** Teoría y diseño de sistemas de tierra. Mexico. s.n., 2010.
- 39. Duche Zabala , Emerson y Miñan Manrique, Willy.** *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora El Alisal para sistemas de telecomunicaciones de Movistar*. Guayaquil : s.n., 2013.
- 40. Burnett. 1999.**
- 41. Novillo Vicuña, Johnny.** *Arduino y El Internet de las Cosas*. s.l. : Editorial Área de innovación y desarrollo, 2018. 978-84-949151-8-5.
- 42. Sanchez, Elva y Ruiloba, Paola.** *Calibración de sensor de humedad aplicado a sustrato de fibra de coco comercial comandado por programación en Arduino*. s.l. : Revista de Iniciación Científica, 2019. 2412-0464.
- 43. Duche Zabala, Emerson y Miñan Manrique, Willy.** *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora El Alisal para sistemas de telecomunicaciones de Movistar*. Guayaquil : s.n., 2013.
- 44. —.** *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora El Alisal para sistemas de Telecomunicaciones de Movistar*. Guayaquil : s.n., 2013.
- 45. —.** *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora El Alisal para Sistemas de Telecomunicaciones de Movistar*. Guayaquil : s.n., 2013.
- 46. —.** *Diseño del sistema de puesta a tierra de la Estación repetidora El Alisal para Sistemas de Telecomunicaciones de Movistar*. Guayaquil : s.n., 2013.
- 47. —.** *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repetidora El Alisal para sistemas de Telecomunicaciones de Movistar*. Guayaquil : s.n., 2013.
- 48. ETAP.** <https://etap.com/>. [En línea] [Citado el: 15 de noviembre de 2021.] <https://etap.com/company/why-etap>.
- 49. Minitab. Minitab.com.** [En línea] [Citado el: 19 de noviembre de 2021.] <https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/>.
- 50. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.** [En línea] [Citado el: 20 de mayo de 2019.] <http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/Manual-Buenas-Practicas-Refrigeración.pdf>. 978-958-8491-82-0.
- 51. José, Francisco. Junta de Andalucía.** [En línea] IES Guadiana, 15 de setiembre de 2012. [Citado el: 20 de mayo de 2019.] <https://www.juntadeandalucia.es/buscar.html?filtroServicios=&fd=&busquedageneral=La+recuperaci%C3%B3n+de+refrigerante&organismo=&buscargeneral=Buscar>.

- 52. 11650, ISO.** *Performance of Refrigerant recovery and/or recycling equipment.* s.l. : ISO 11650, 1999.
- 53. Ambiente, ONU Medio. UN environment. UN environment.** [En línea] 2019 de Enero de 03. [Citado el: 2019 de mayo de 25.] <https://www.unenvironment.org/es/news-and-stories/comunicado-de-prensa/entra-en-vigor-la-enmienda-kigali-un-poderoso-aliado-en-la>.
- 54. Producción, Ministerio de la. Sistema Nacional de Informacion Ambiental(SINIA).** *Sistema Nacional de Informacion Ambiental(SINIA).* [En línea] 04 de Diciembre de 2017. [Citado el: 2019 de mayo de 01.] <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/930>.
- 55. Prototipo de Recuperación de Refrigerantes. Orozco, Carlos Alberto.** 26, Pereira : Scintia et Technica, 2004, Vol. 1. 0122-1701.
- 56. Lucero, Quispe Meza.** *Razón de flujo de gas refrigerante en estado dinamico en un sistema de refrigeración por compresión de vapor.* Huancayo : Universidad Nacional del Centro, 2017.
- 57. Heferson, Crispin Barzola.** *Diseño de un sistema de desplazamiento vertical y posicionamiento de trabajo de un soporte sujetor para motores de combustión interna de capacidad máxima de 1300 kg.* Huancayo : Universidad Continental, 2017.
- 58. Erazo, Cesar Andres Abarca.** *Diseño y construccion de un equipo de recuperación de refrigerante R-134a.* El Salvador : Universidad de el Salvador, 2017.
- 59. Bucheli, Jefferson Javier Mero.** *Diseño y construccion de un banco de pruebas para un sistema de refrigeracion de compresión de vapor de 1hp de capacidad, usando refrigerante R404A para proceso de carga, descarga, recuperación de refrigerante del sistema y simulacion de fallas. .* Sangolqui : Escuela Politecnica del Ejercito, 2012.
- 60. Mery, Castro Clavijo Luz.** *Recuperación del gas refrigerante R-22 clorofluorocarbonado, a traves de la unidad recuperadora CPS TR700 y el módulo CRZRM PRO-SET.* Acacias, Colombia : Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2017.
- 61. Vizhñay, Jose Fernando Muñoz.** *Estudio del uso, manejo y reciclaje de refrigerante automotriz .* Cuenca,Ecuador : Universidad de Azuay, 2013.
- 62. TECUMSEH.** *Guia de refrigeracion .* Brazil : FicFrio, 2001.
- 63. Cengel, Yunus A.** *Termodinámica.* Mexico : Mc Graw-Hill, 1996. 978-0-07-352932-5.
- 64. —.** *Transferencia de calor y masa.* Mexico : McGraw-Hill Interamericana, 2007. 978-970-10-6173-2.
- 65. Manuel, Franco Lijó Juan.** *Manual de refrigeración .* España : Reverté, 2006. 978-84-291-8011-4.
- 66. Samir, Saydaoui.** *Prácticas de las maquinas frigorificas.* México: Alfaomega GrupoEditor, SA. de C.V., 2013. 978-607-707-156-3.

- 67. José, Alarcón Creus.** *Teoría de la refrigeración*. España : Marcombo S.A, 1999. 9788426716224.
- 68. Cristina, Escudero Salas.** *Máquinas y equipos térmicos, instalación y mantenimiento, instalaciones frigoríficas de climatización, instalaciones de producción de calor*. Madrid: Paraninfo, 2013. 9788497322614.
- 69. Antonio, Lopez Gomez.** *Las instalaciones frigoríficas en las industrias agroalimentarias*. Madrid: A. Madrid Vicente, 1994. 84-87440-51-7.
- 70. Benjamín, Barriga Gamarra.** *Métodos de diseño en ingeniería mecánica*. [Pdf] Lima: SCRIB, 2016.
- 71. Celcius, Cero Grados. Cero Grados Celcius.** [En línea] 17 de enero de 2018. [Citado el: 22 de Mayo de 2019.] <https://0grados.com.mx/la-bomba-vacio/>.
- 72. blog.Quimobasicos. Quimobasicos S.A.C de C.V.** [En línea] 18 de noviembre de 2018. [Citado el: 29 de abril de 2019.] <https://blogquimobasicos.com/2014/11/18/fugas-de-refrigerante/>.
- 73. MOTOREX. MOTOREX.** [En línea] 10 de diciembre de 2018. [Citado el: 10 de Junio de 2019.] <http://www.motorex.com.pe/blog/causas-fugas-tuberias-cobre/>.
- 74. Santos, Noé Ramírez. Mundo HVAC&R.** [En línea] 02 de febrero de 2013. [Citado el: 24 de julio de 2019.] <https://www.mundohvacr.com.mx/>.
- 75. Gas-Servei. Gasservei.** [En línea] 21 de setiembre de 2019. [Citado el: 2 de junio de 2019.] <https://www.gas-servei.com/productos/refrigerantes/refrigerantes-hfc/gasficha/r-134a/>.
- 76. Ministerio de la Producción.** [En línea] [Citado el: 2019 de abril de 25.] <https://www.produce.gob.pe/index.php/dgaami/proyectos-de-cooperacion/protocolo-de-montreal-produce-punto-focal-nacional>.
- 77. 1MI131, Grupo. Blogger.com.** [En línea] 21 de Noviembre de 2013. [Citado el: 20 de Julio de 2019.] <http://termo2-1mi131.blogspot.com/>.
- 78. Corzantes, Jackeline del Rosario Salaverría.** *Sistema de recuperación de refrigerantes*. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.
- 79. Benito, Torres. SCRIB.** [En línea] Danfoss, 13 de agosto de 2011. [Citado el: 28 de Julio de 2019.] <https://es.scribd.com/doc/62223651/DANFOSS2010>.
- 80. DocPlayer. DocPlayer.es.** [En línea] 23 de setiembre de 2019. [Citado el: 1 de Julio de 2019.] <https://docplayer.es/818477-Recuperacion-y-reciclado-de-refrigerantes.html>.
- 81. Rosario, Leopoldo. Blogger.com.** [En línea] 28 de noviembre de 2014. [Citado el: 20 de mayo de 2019.] <https://leopoldorosario.blogspot.com/search?q=fugas+en+refrigerantes>.
- 82. ConFrio. Blogger.com.** [En línea] 11 de junio de 2013. [Citado el: 19 de mayo de 2019.] <https://blog.confrio.com.co/search?q=refrigeracion+componentes>.

- 83. Cetis1466a3. Blogger.** [En línea] 1 de junio de 2016. [Citado el: 14 de mayo de 2019.] <http://cetis1466a3.blogspot.com/>.
- 84. Montes, Ciro Espinosa.** *Metodología de investigación tecnológica.* Huancayo : Soluciones Gráficas S.A.C., 2014. 978-612-00-1667-1.
- 85. Ozono, Unidad Tecnica. Acoplásticos.** [En línea] 2 de febrero de 2019. [Citado el: 29 de Junio de 2019.] <http://www.acoplásticos.org/boletines/2019/NormasAmbientales/16.18%20Manual%20de%20buenas%20pr%C3%A1cticas%20en%20refrigeraci%C3%B3n.%20Unidad%20t%C3%A9cnica%20Ozono.%20Minambiente.%202005.pdf>.
- 86. Naturales(SEMARNAT), Secretaria del Medio Ambiente y Recursos. Buenas prácticas en sistemas de refrigeracion y aire acondicionado. SEMARNAT.** [En línea] 2 de enero de 2006. [Citado el: 20 de mayo de 2019.] <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG007268.pdf>.
- 87. Diego, González Ruiz Jaime. Repository UPB.** [En línea] 2 de abril de 2012. [Citado el: 20 de Mayo de 2019.] <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/26/TESIS%20REFRIGERANTES.pdf?sequence=1>.
- 88. Luis, Paredes Yataco Ismael.** *Diseño de un sistema de refrigeración con dos temperatura de evaporación empleando un solo compresor.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015. 20090288.
- 89. Lledo Sanchez, Emilio.** *Diseño de un sistema domotico basado en la plataforma Arduino.* Valencia : s.n., 2012.
- 90. J, CEGARRA.** *Metodologia de la investigacion cientifica y tecnológica.* Madrid, Diaz de Santos: s.n., 2004.
- 91. Montes, Ciro Ezpinoza.** *Metodologia de la investigación tecnológica.* Huancayo : s.n., 2014.
- 92. Osario, Nelson Morales.** *Sistema de puesta a tierra.* Santiago : s.n., 1999.
- 93. —.** *Sistema de puesta a tierra.* Santiago : s.n., 1999.
- 94. Samaniego Ordoñez, Viviana Sulinda.** *Construcción de prototipo didáctico para medir la resistividad del terreno.* Ecuador : s.n., 2008.
- 95. Técnicas modernas para la medición de sistemas de puesta a tierra en zonas urbanas.** Agurellio, Ignación. 2005.
- 96. Morales. 2011.**
- 97. Luz, Ponte Villanueva.** *Metodología en el diseño de puesta a tierra para sub estaciones de distribución en el sistema monofásico retorno por tierra.* Universidad Nacional del Santa: s.n., 2011.
- 98. Ciro, Espinoza Montes.** *Metodologia de la investigación tecnológica.* Perú: s.n., 2014.

99. Pérez Govea, Alberto . *La naturaleza, el hombre y el magnetismo.* La Habana :
Revista Cubana de Medicina General Integral, 2002.

101. Guayaquil : s.n., 2013.

ANEXOS

MATRIZ DE COHERENCIA



Título: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PUESTA A TIERRA PARA LA PROTECCION EFECTIVA EN LA INDUSTRIA LIGERA EN EL DISTRITO DE SAN AGUSTIN DE CAJAS.

Planteamiento del Problema	Marco Teorico	Metodología
Formulacion del Problema	Antecedentes	Variables
¿Cómo diseñar un prototipo de puesta a tierra para la protección efectiva en la industria ligera en el distrito de San Agustín de Cajas?	1. OSARIO NELSON MORALES . SISTEMA DE PUESTA A TIERRA. SANTIAGO: S.N., 1999.	VARIABLE INDEPENDIENTE Sistema de Puesta a Tierra
Objetivo General	2. GOMEZ HECTOR DAVID , MODELACION DE PUESTAS A TIERRA PARA EVALUACION DE SOBRETENSIONES TRANSITORIAS. MEDELLIN: S.N., 2002.	
Diseñar un prototipo de puesta a tierra para la protección efectiva en la industria ligera en el distrito de San Agustín de Cajas.	3. GONZALES FRANCISCO . SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS. VENEZUELA: 1,2007. 1-9.	<i>Definicion Conceptual:</i> Es un mecanismo de seguridad que forma parte de las instalaciones electricas. Sus dimensiones son: el terreno, el electrodo y la bobina LCR.
Objetivos Especificos	4. MORENO, GERMAN Y otros . FUNDAMENTOS E INGENIERIA DE LAS PUESTAS A TIERRA. COLOMBIA: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, 2007. 9789587140576	<i>Definicion Operacional:</i> variable que expresa la modificacion del terreno, el electrodo y la bobina LCR
A. Definir qué tipo y diseño de electrodo se utilizará según su composición química para no generar demasiado gasto económico en mantenimientos futuros. B. Definir qué componentes tendrá el electrodo y la zona donde se enterrará y se darán los ensayos para aprovechar la mayor captación de corrientes indeseadas. C. Definir qué dispositivo utilizar para desviar distintas cargas y corrientes indeseadas y no permitir que estas retornen al sistema.	5. PARDO ROMERO, WILSON ANTONIO . "DISEÑOS DE PUESTA A TIERRA Y APANTALLAMIENTO ELECTRICO PARA PROTECCION DE EQUIPOS Y PERSONAS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS -ESPE EXTENSION LATACUNGA ECUADOR: s.n., 2008.	VARIABLE DEPENDIENTE Proteccion Efectiva en la Industria Ligera
	6. GARCIA MARQUEZ, ROGELIO . LA PUESTA A TIERRA DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS Y EL R.A.T. ESPAÑA: MARCOMBO, 1999. 8426707998.	<i>Definicion Conceptual:</i> Resultado que se obtendra de la buena coordinacion del sistema de proteccion. Sus dimensiones son: La resistencia del terreno y la capacidad ohmica.
	7. LLENDO SANCHEZ, EMILIO . DISEÑO DE UN SISTEMA DOMOTICO BASADO EN LA PLATAFORMA ARDUINO. VALENCIA: S.N., 2012.	<i>Definicion Operacional:</i> Variable que expresa el grado de resistencia del terreno y la capacidad ohmica.

Fuente: Elaboración propia

PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Figura 48. Protocolo de Prueba de SPT

PROTOCOLO DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE SPT						
CLIENTE:	DOMINION PERU S.A.C.					
RUC:	20547132158					
DIRECCION:	Av. Leoncio Prado - cuadra 8 - San Agustin Cajas					
DISPOSITIVO:	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA CON PROTECCION CATODICA Y BOBINA DE CHOQUE					
TIPO:	SPT VERTICAL CON PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE GALVANICA DE Cu 12.7" mm					
UBICACIÓN:	EN EL JARDIN DEL FRONTIS					
NORMAS:	C.N.E. UTILIZACION 2011 (SECCION060-712)					
	N.T.P. 370.052:1999 / N.P.T. 370.310:2005					
	ANSI/IEEE 80					
FECHA:	I.E.C. 60364-4-442					
	06 DE DICIEMBRE DEL 2021					
PRUEBAS MECANICAS				RESULTADOS		
INSPECCION VISUAL				CONFORME		
I. INSPECCION, BARRA, CONDUCTORES Y CONEXIÓN						
CONEXIÓN VARILLA DE COBRE Y CONECTOR				CONFORME		
MATERIALES UTILIZADOS				CONFORME		
II. NATURALEZA DEL SUELO						
TIPO				CONFORME		
CONDICION				CONFORME		
PRUEBAS ELECTRICAS					RESULTADO	
	Test	a(m)	b(m)	L=a+b(m)	Resistencia(ohms)	CONFORME
	1º	15	5	20	3.22	
	2º	14	6	20	4.03	
	3º	13	7	20	3.6	
	4º	12	8	20	4.14	
	5º	11	9	20	5.67	
			Promedio(ohms)		4.132	
EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICION						APROBADO
THELUROMETRO DIGITAL PRASEK PREMIUM PR-521						APROBADO
CALIBRACION FLUKE 5522A						APROBADO
SERIAL NUMBER 3855907						APROBADO
NUMERO CONTROL EQUIPO (CTS/T/5522A/001)						APROBADO
FIRMA CONTROL DE CALIDAD					MEDICION	
					Tec.	
					SUPERVISION	
					Ing.	
FIRMA REPRESENTANTE LEGAL					CLIENTE	
						
						

Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Certificado de Calibración de Thelurometro

Calibration Certificate

PRASEK PREMIUM

Product Code: PR-521 Description: Personnel Tester Serial Number: _____

- Threshold settings prior to calibration:

This is a new calibration there are no previous calibration values.

- Calibration of this instrument is hereby certified to be within the published specification as shown below:

Function	Input Adjust	Reading Range
Earth Voltage	10V	9.6-10.4 V
Earth Resistance	10 Ω	9.76-19.24 Ω
Earth Resistance	100 Ω	98.2-101.8 Ω
Earth Resistance	1K Ω	982-1018 Ω

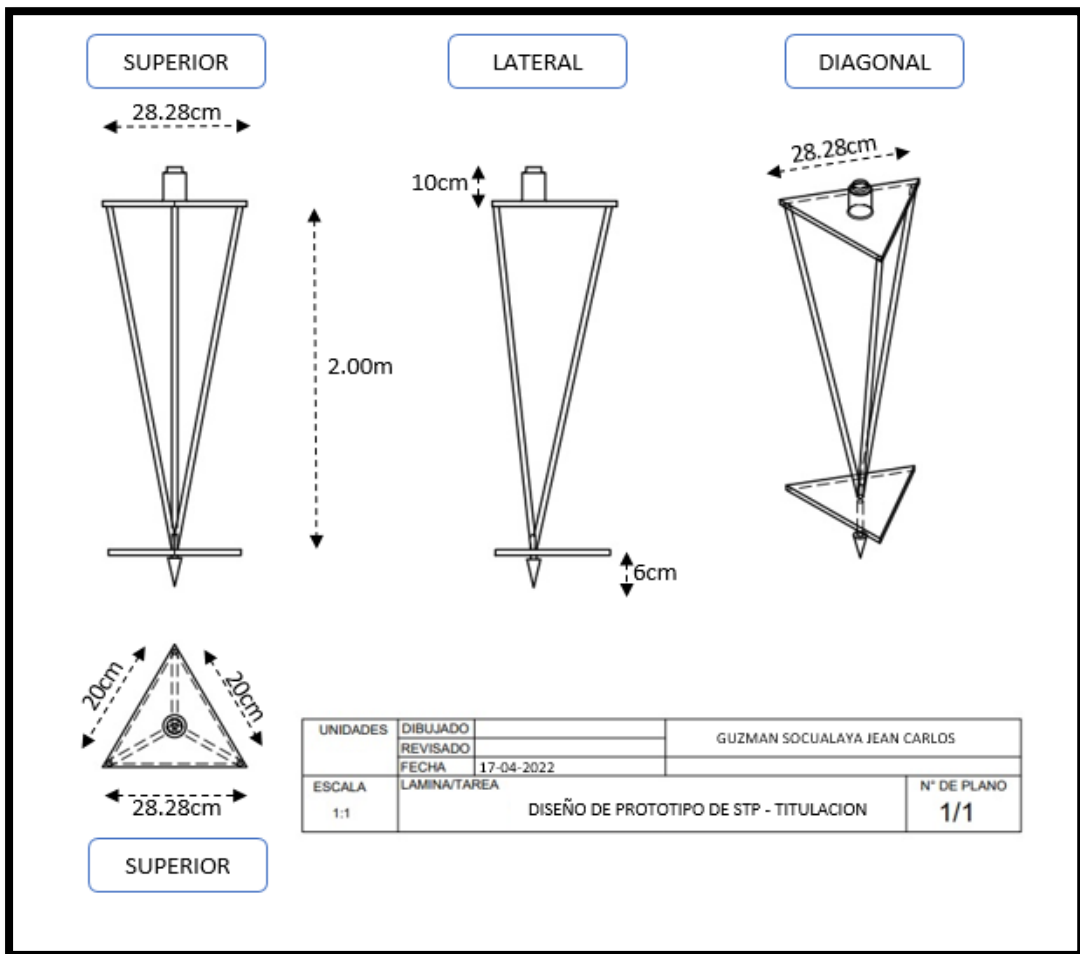
- The instrument is calibrated against standards traceable to CE standards.
- Details of reference equipment used:
Calibration FLUKE 5522A Serial Number: 3855907
- Certificate of reference equipment:
Issue Date: _____ Certificate Number: 193404185

Equipment Control Number: CTS/T/5522A/001 Date: 17/Nov/2019 Signed: _____

Name: Beata Yin
Title: Quality Supervisor

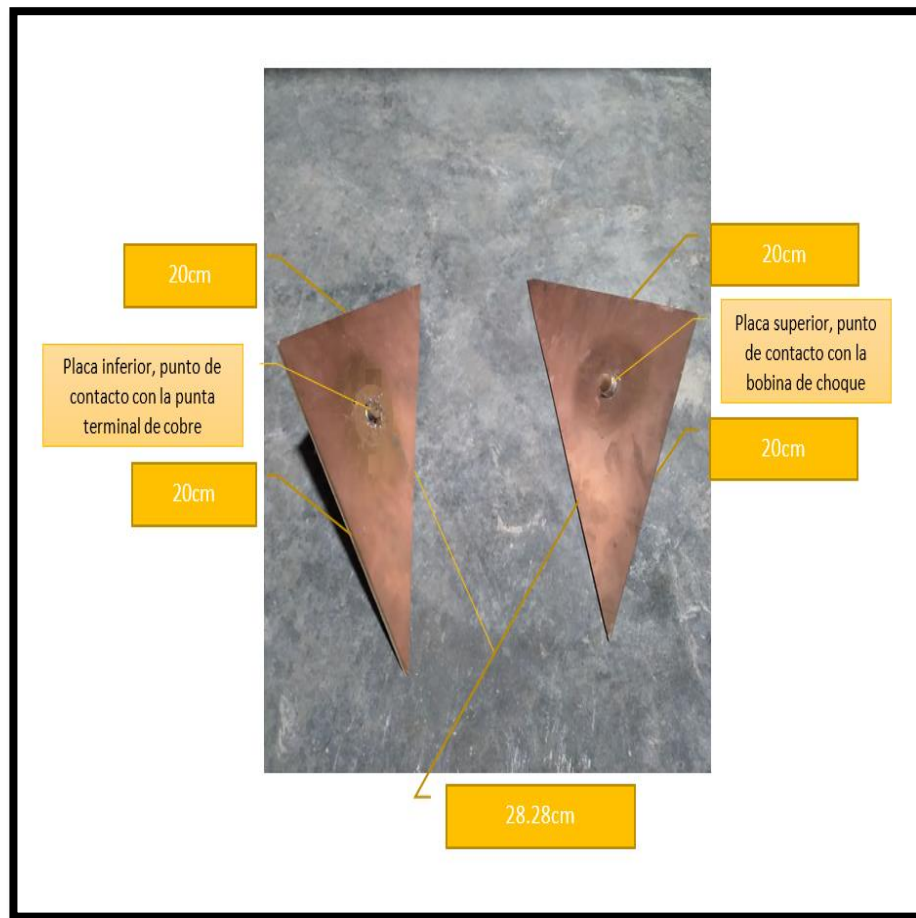
Fuente: Prasek premium

Figura 50. Planos del Prototipo Final AutoCAD



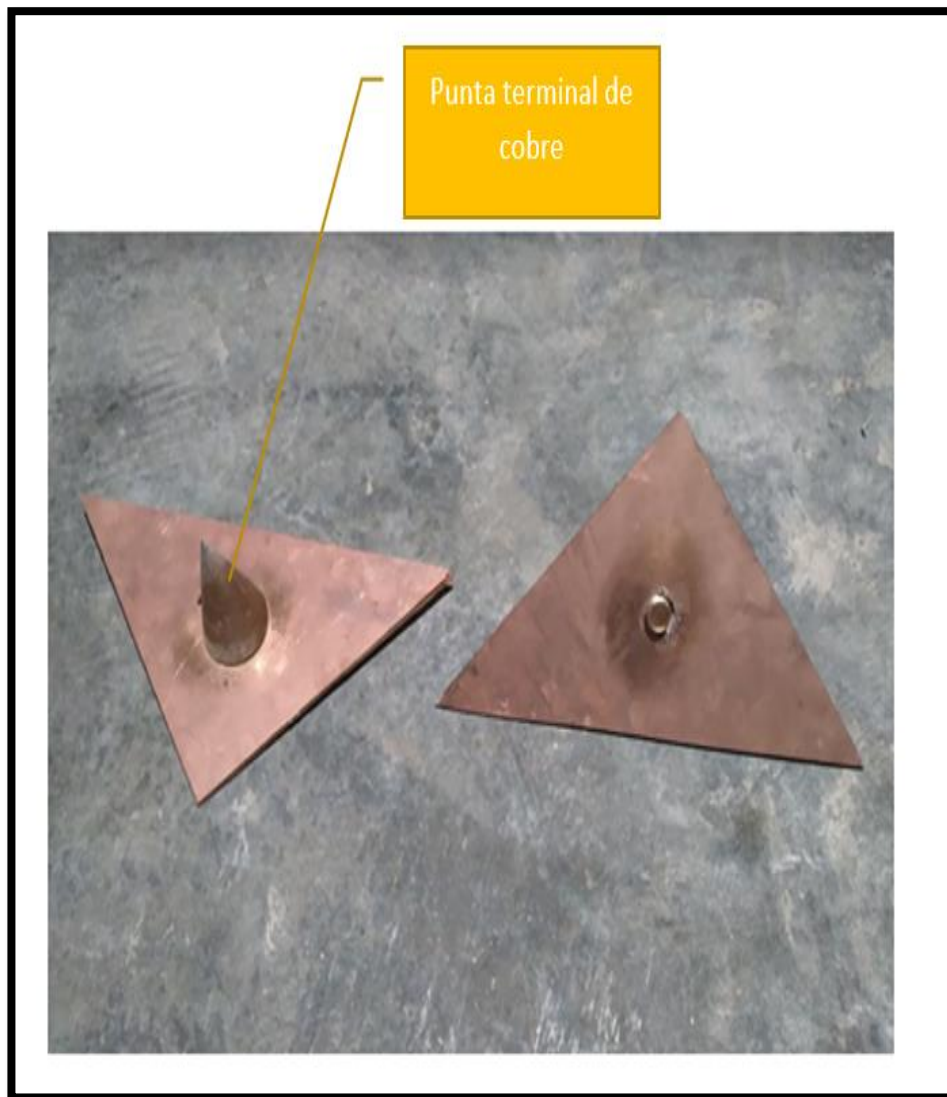
Fuente: Elaboración propia

Figura 51. Plano de la placa de cobre



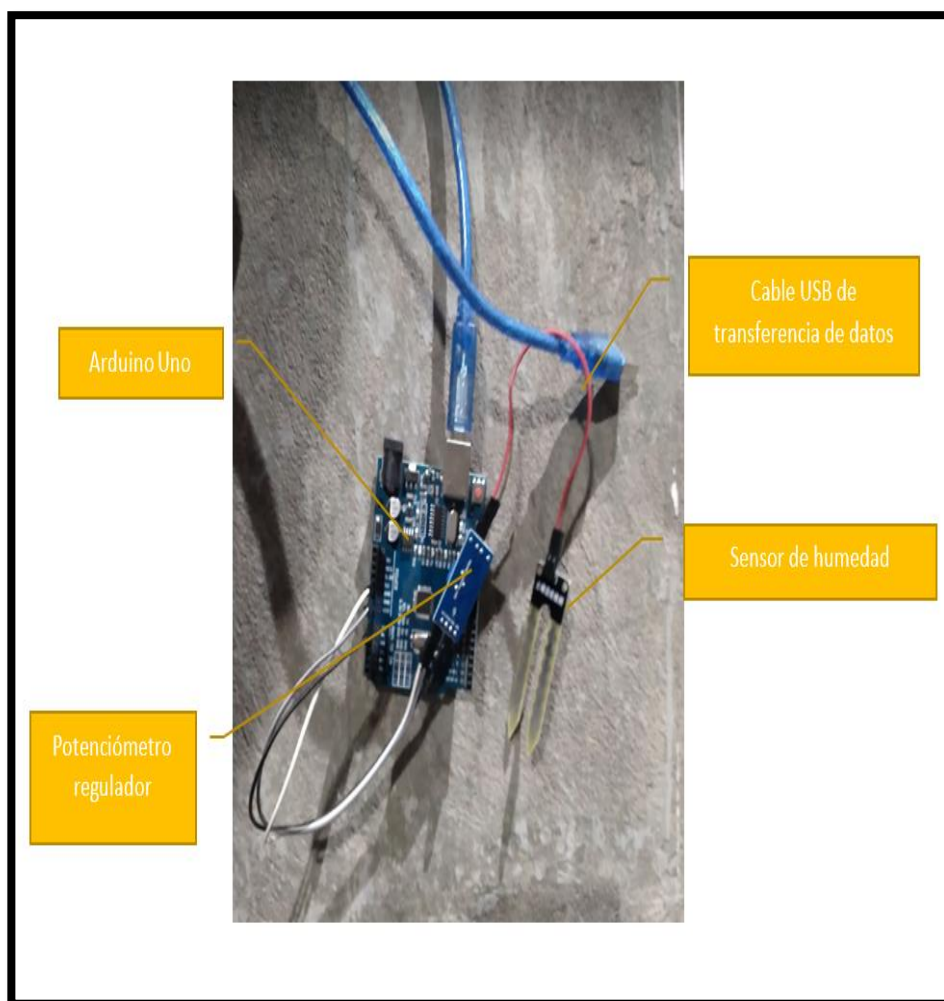
Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Placa inferior y superior de cobre



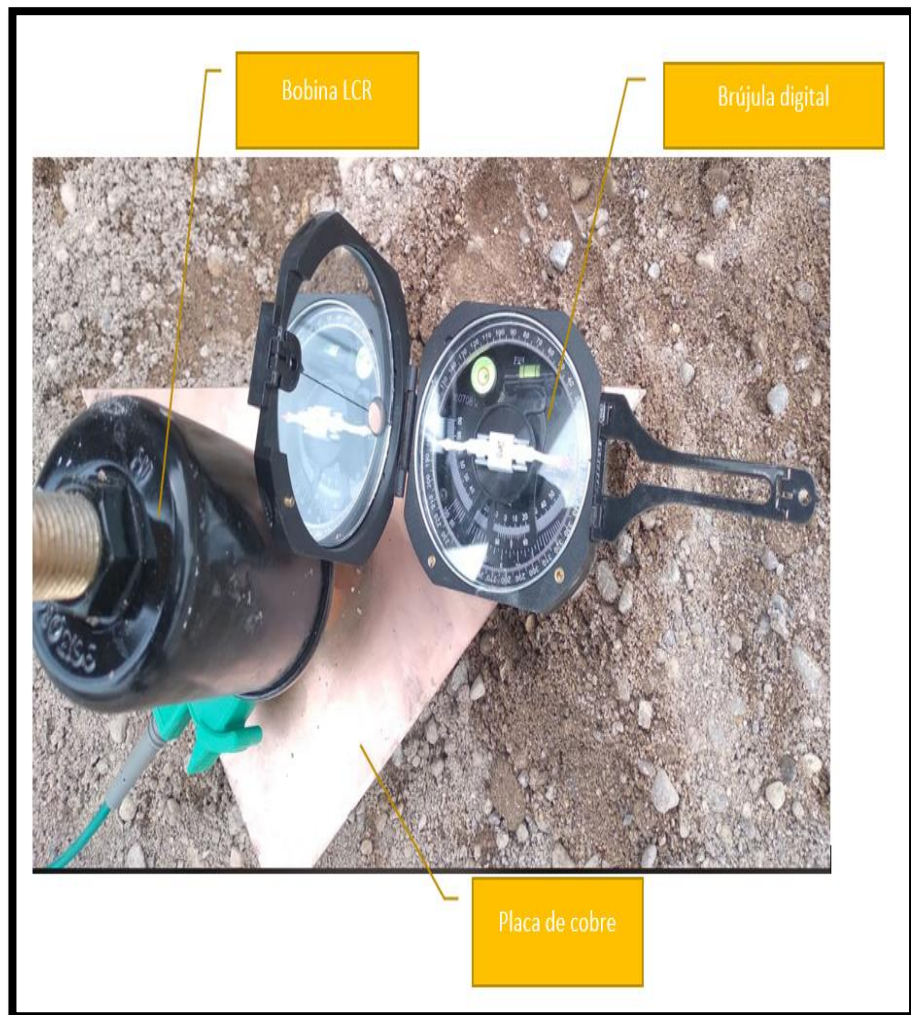
Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Arduino y sensor de humedad



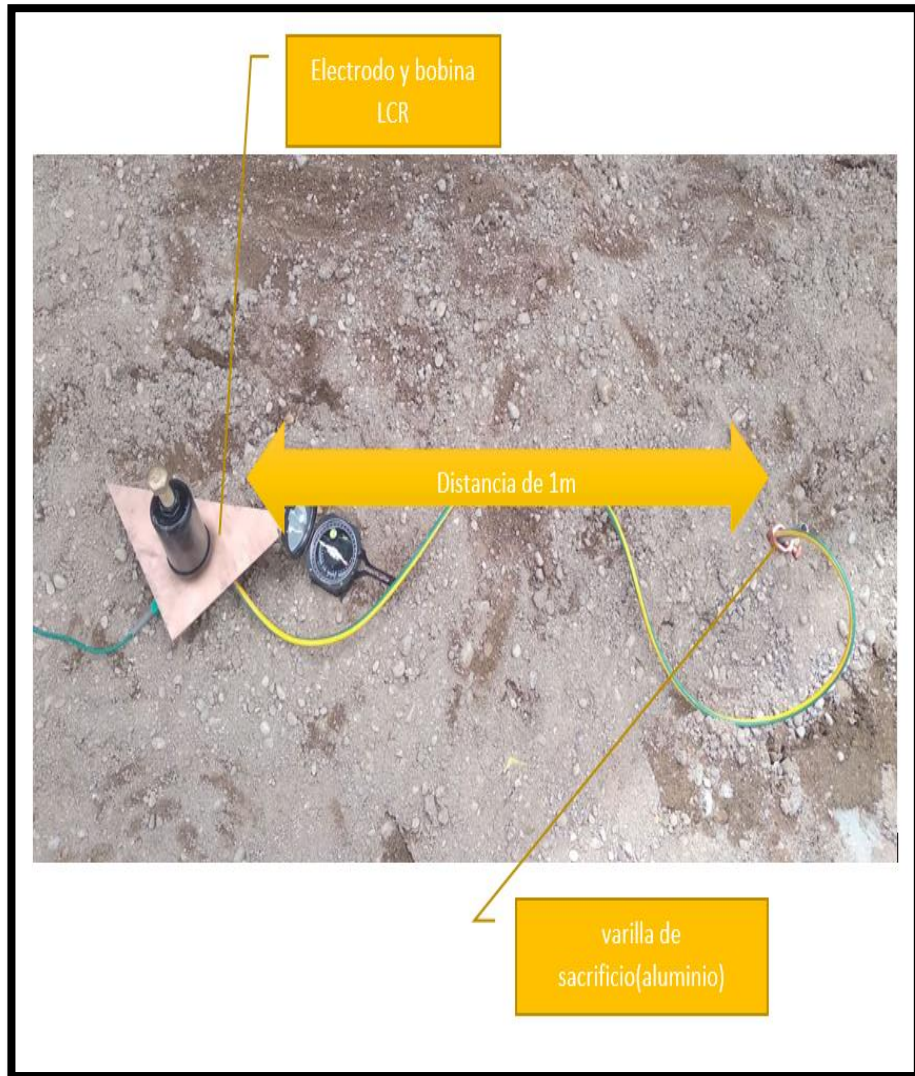
Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Dirigir del Vértice de la Placa hacia el Norte Magnético



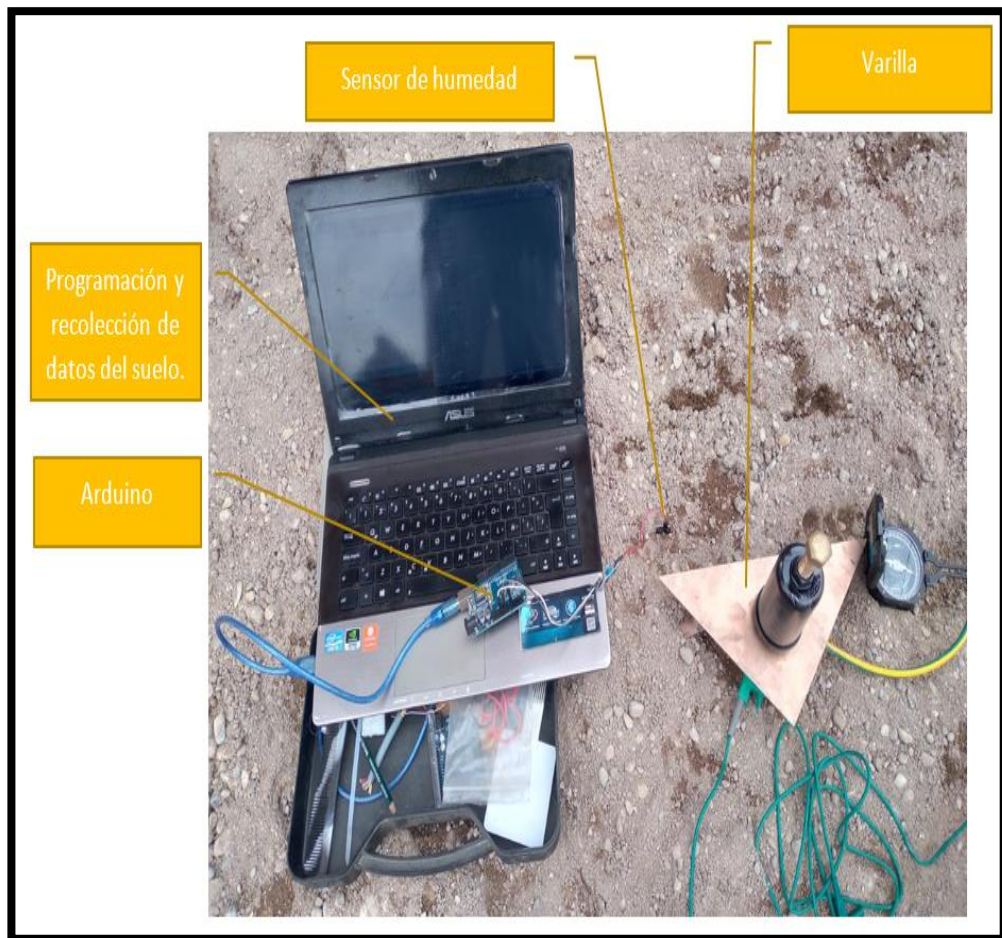
Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Protección catódica por corriente galvánica



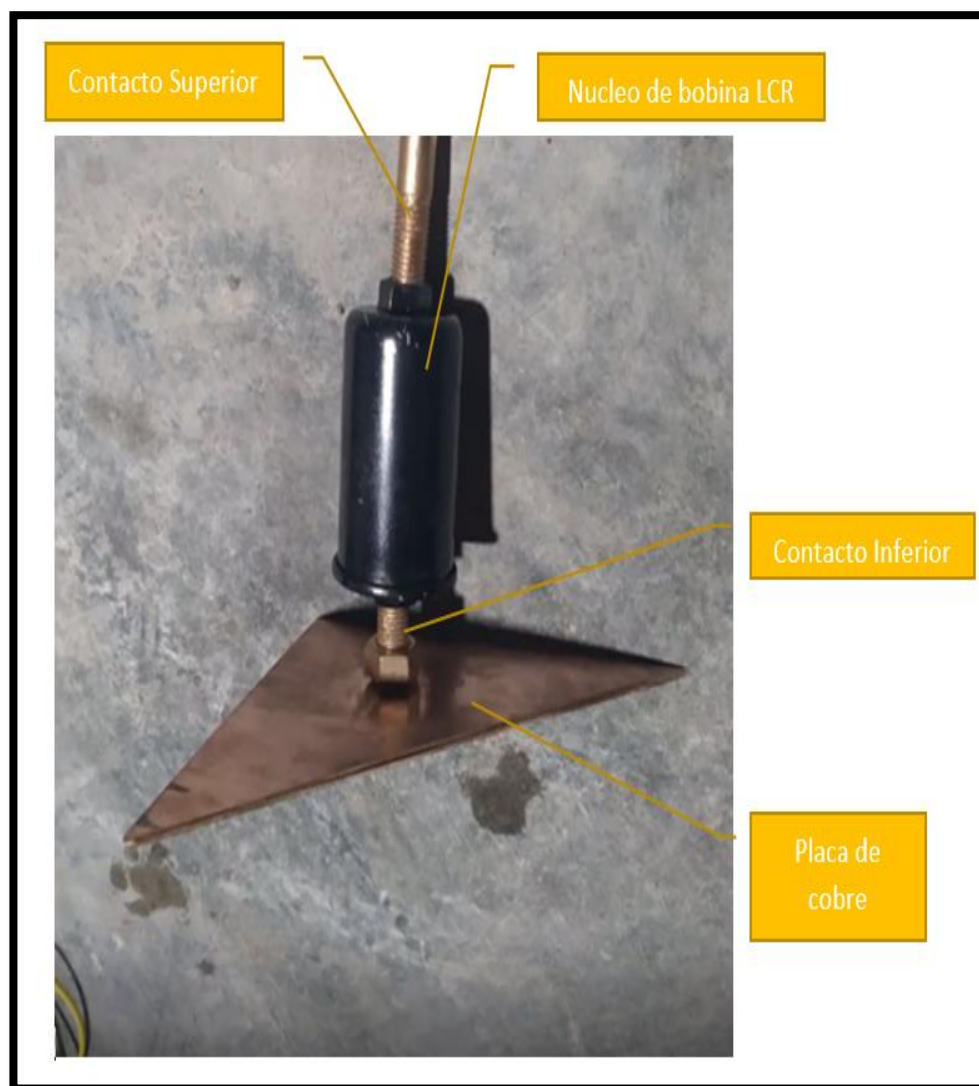
Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Protección catódica y toma de datos en Arduino



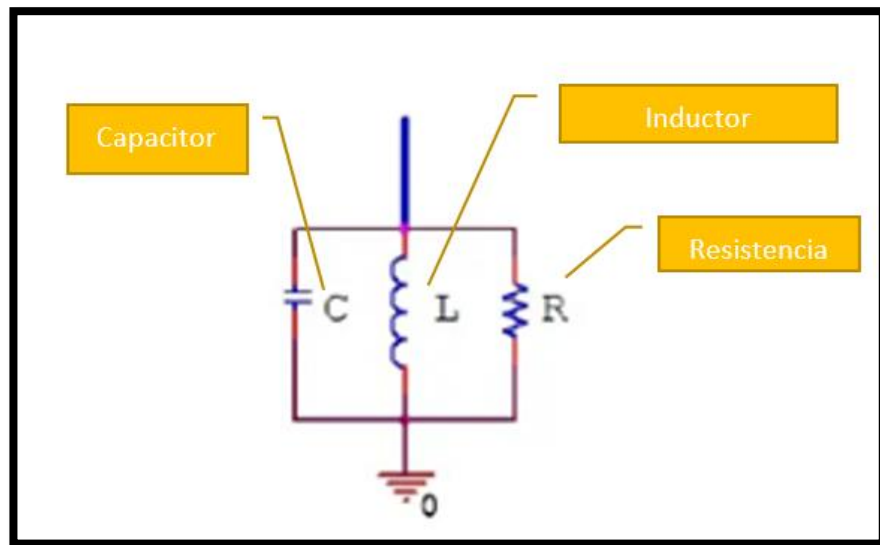
Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Bobina LCR y placa de cobre



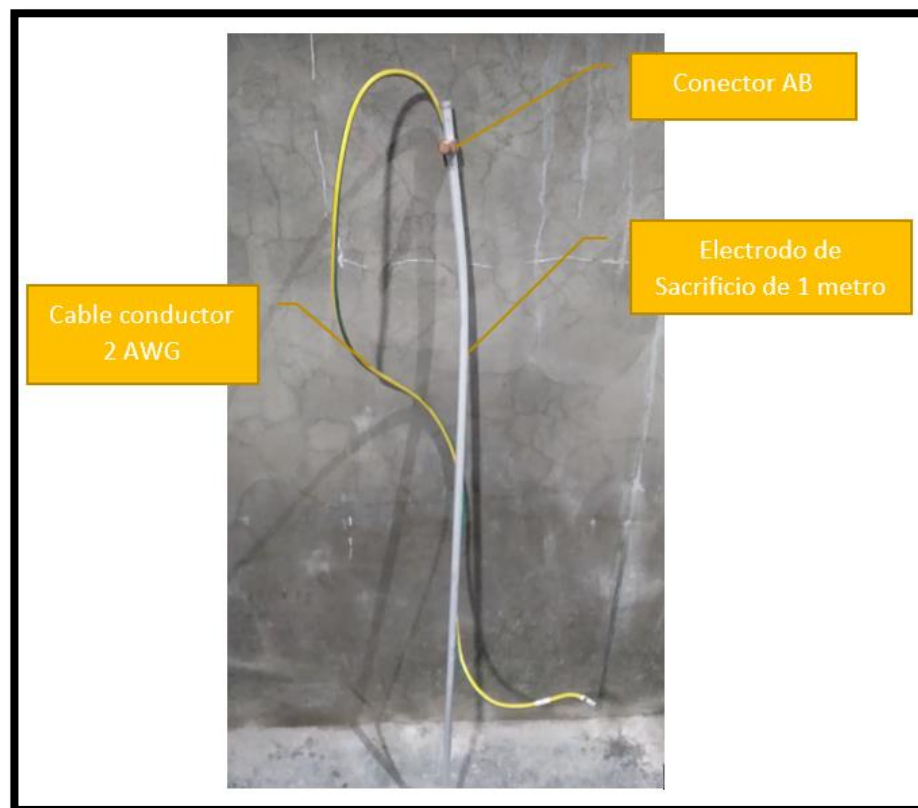
Fuente: Elaboración propia

Figura 58. Bobina LCR (parte interna)



Fuente: Total Ground System.

Figura 59. Electrodo de sacrificio



Fuente: Elaboración propia

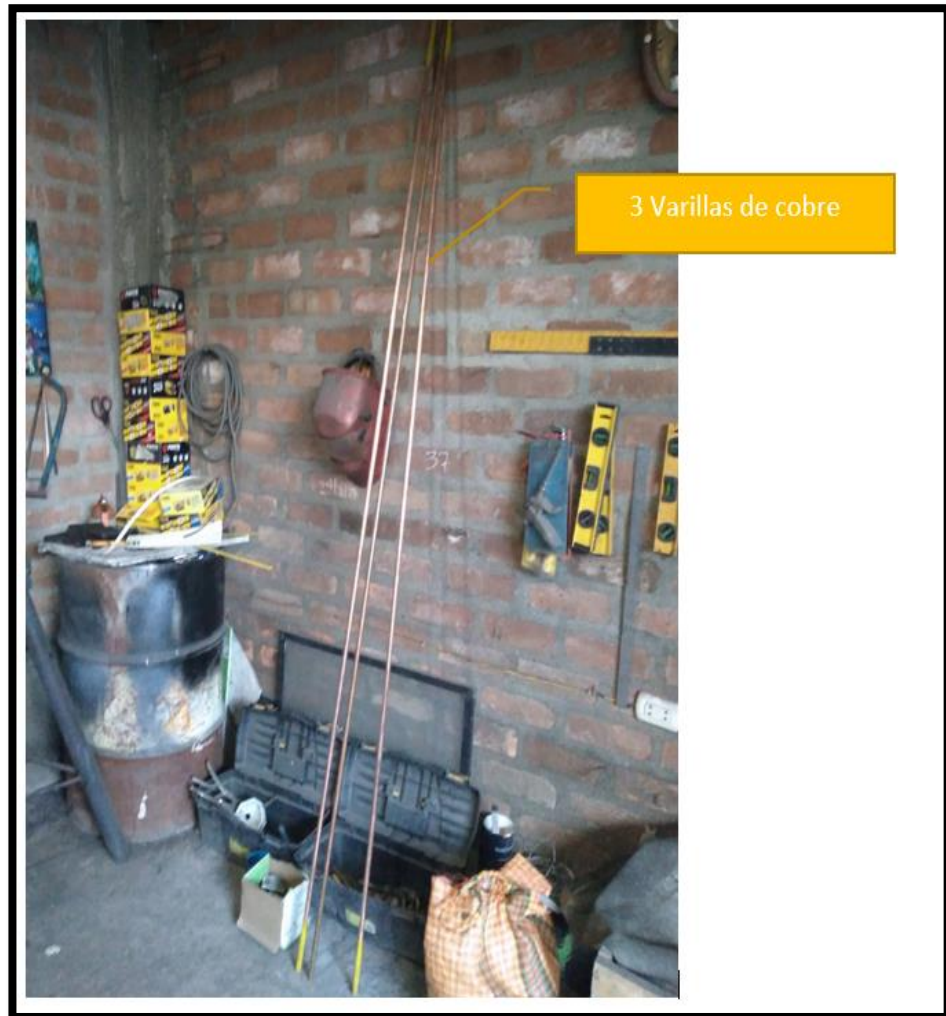
Figura 60.

Conectores AB



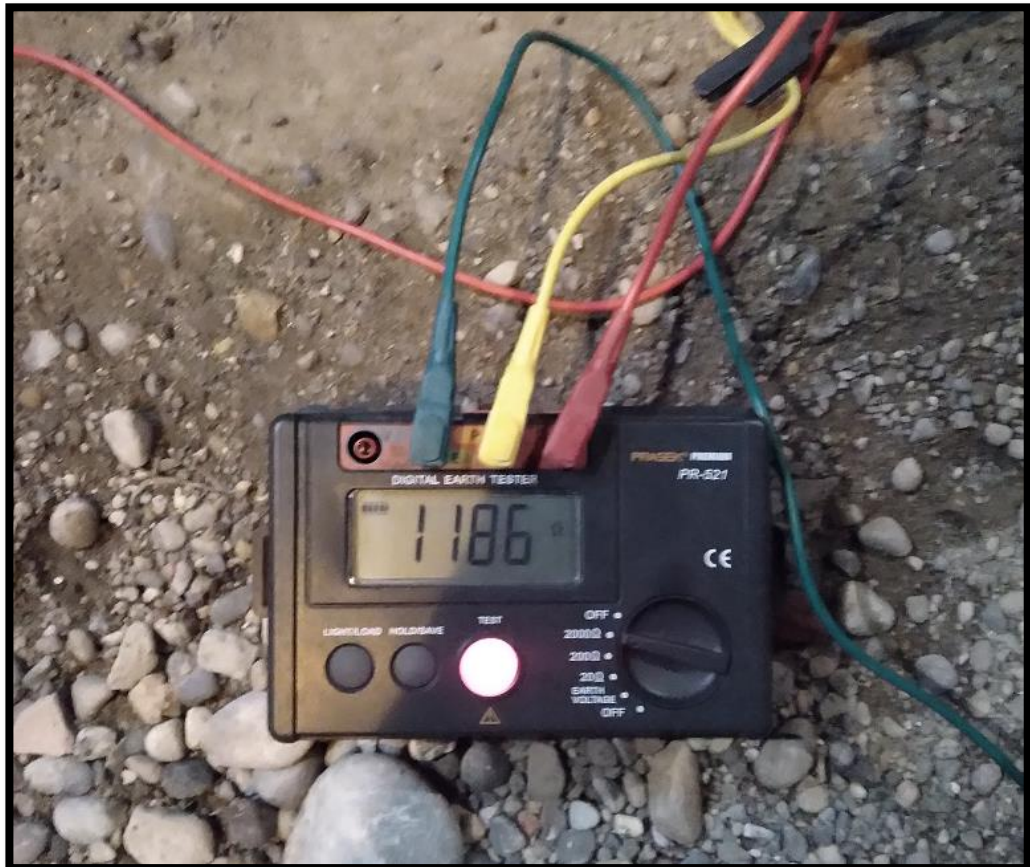
Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Varillas de cobre



Fuente: Elaboración propia

Toma de datos en campo



Fuente: Elaboración propia

Las medidas y materiales del presente diseño propuesto fueron en base al tipo de terreno que se encontró en la zona, siendo este “caliza compacta y pedregoso” según la medición inicial que se realizó, corroborando con la tabla que nos da la IEEE-80, obteniendo una resistividad inicial de 1186 ohms.



Fuente: Elaboración propia

Se midió la resistividad final del terreno y como evidenciamos llegamos a tener 3.22 ohms. Luego de haber realizado el tratamiento del terreno con los diversos componentes ya mencionados.

Evidencias de construcción:

