



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

**Optimización de volumen del material circundante al electrodo
para la reducción de costos en la construcción de un pozo de
puesta a tierra vertical**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Jiancarlos José Vivar Valdivia (ORCID: 0000-0001-8288-9947)

ASESOR:

Mg. Walter Miguel Castro Anticona (ORCID: 0000-0002-8127-4040)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

TRUJILLO – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Les dedico este trabajo a mis padres Julia María y Wilfredo José, que siempre estuvieron presentes en mi formación académica, apoyándome en todo momento.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi amigo y colega ing. Javier Portilla por su aporte al desarrollo de este proyecto.

Quiero expresar mi agradecimiento a mis profesores, gracias por su tiempo y enseñanzas en mi formación profesional. En especial a Dra. María Elisia Armas Alvarado y Mg. Walter Miguel Castro Anticono, por haberme guiado en el todo el desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a mi mamá Julia María, por su confianza y su apoyo incondicional durante toda mi vida, y en especial durante mi transcurso en la universidad. A la facultad de Ingeniería y Arquitectura por abrirme sus puertas, y poder terminar mi formación profesional satisfactoriamente. Por ser para mí un segundo hogar donde viví experiencias tanto personales como profesionales, y por todo el apoyo de cada uno los profesores que fortalecieron mi formación. A mi asesor Mg. Walter Miguel Castro Anticona, por su apoyo, sus consejos, su paciencia y por brindarme los medios necesarios para la redacción de este trabajo. A mi colega ing. Javier Portilla, por todo su apoyo durante la realización de la parte experimental del proyecto, que hizo posible la conclusión del mismo. A mi docente de tesis, Dra. María Elisia Armas Alvarado, por sus orientaciones y correcciones en el presente trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras y gráficos.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA	15
3.1.1 Tipo de investigación	15
3.1.2 Diseño de investigación	15
3.2 Operacionalización de las variables.....	15
3.3 Población, muestra y muestreo.....	16
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
3.5 Procedimientos	17
3.6 Método de análisis de datos	22
3.7 Aspectos éticos	22
IV. RESULTADOS	23
V. DISCUSIÓN	56
VI. CONCLUSIONES	58
VII. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS.....	61
ANEXO	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	14
Tabla 2	15
Tabla 3	22
Tabla 4	25
Tabla 5	26
Tabla 6	34
Tabla 7	36
Tabla 8	37
Tabla 9	38
Tabla 10	39
Tabla 11	40
Tabla 12	41
Tabla 13	42
Tabla 14	43
Tabla 15	44
Tabla 16	45
Tabla 17	47
Tabla 18	49
Tabla 19	50
Tabla 20	51
Tabla 21	53
Tabla 22	55
Tabla 23	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	6
Figura 2	7
Figura 3	8
Figura 4	9
Figura 5	10
Figura 6	11
Figura 7	13
Figura 8	17
Figura 9	18
Figura 10	19
Figura 11	20
Figura 12	21
Figura 13	29
Figura 14	30
Figura 15	31
Figura 16	32
Figura 17	35
Figura 18	45
Figura 19	46
Figura 20	50
Figura 21	52
Figura 22	54

RESUMEN

Este informe de investigación tuvo como objetivo optimizar el volumen del material circundante al electrodo para reducir los costos en la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical

Se analizó la información relacionada a los sistemas de puesta a tierra en función al cumplimiento de la normativa peruana para luego proceder a realizar 18 mediciones de resistencia en campo para poder analizar la variación de resistencia en función del material de baja resistividad que rodea al electrodo.

Teniendo como resultado que el Código Nacional de Electricidad y las Normas Técnicas Peruanas son fundamentales para diseñar un pozo de puesta a tierra de máximo 25 Ω de resistencia.

Se concluye que un pozo de puesta a tierra vertical con tierra de chacra con un radio de 0.5 m alrededor del electrodo que genera un volumen de 2.147 m³ tiene una resistencia de 25.69 % del valor inicial de la resistencia si este no tuviera tierra de chacra. Si la resistividad inicial del terreno no supera los 240.87 Ω .m, se puede ahorrar desde un 37.55 % hasta un 85.56 % si es que se optimiza la cantidad de material para la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical.

Palabras clave: Pozo de puesta a tierra, resistencia, resistividad.

ABSTRACT

This research report aimed to optimize the volume of the material surrounding the electrode to reduce costs in the construction of a vertical grounding well

The information related to grounding systems was analyzed based on compliance with Peruvian regulations and then proceeded to carry out 18 resistance measurements in the field to be able to analyze the resistance variation depending on the low resistivity material that surrounds the electrode.

As a result, the National Electricity Code and the Peruvian Technical Standards are essential to design a grounding well with a maximum resistance of 25 Ω .

It is concluded that a vertical earthing well with farm earth with a radius of 0.5 m around the electrode that generates a volume of 2,147 m³ has a resistance of 25.69% of the initial value of the resistance if it did not have farm earth. If the initial soil resistivity does not exceed 240.87 Ω .m, it can save from 37.55% to 85.56% if the amount of material is optimized for the construction of a vertical earthing well.

Keywords: Grounding well, resistance, resistivity.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el asunto de la protección de los trabajadores y de las instalaciones eléctricas es obligatoria en el Perú y en el mundo. La puesta a tierra en el sistema eléctrico se alude al enlace premeditado a tierra por medio de componentes de baja resistencia, cumpliendo así que los equipos eléctricos así como los accesorios que lo rodean no deben energizarse en condiciones habituales de operación y no estén al mismo potencial eléctrico. Se estima que la tierra tiene un voltaje de cero voltios y las concentraciones de sales así como de agua que se pueden hallar después de unos metros de profundidad hacen de la misma el punto ideal para suprimir las corrientes no deseadas que pudiesen presentarse (Chauvin Arnoux, 2015).

Los sistemas de puesta a tierra en el Perú son de uso obligatorio según la normativa eléctrica peruana ya que tiene por finalidad asegurar la vida e integridad física de las personas ante efectos que puede producir una descarga eléctrica y prevenir deterioros a la propiedad, enlazando a tierra las partes metálicas comúnmente energizadas de los artefactos, equipos e instalaciones (MINEM, 2006).

Sin embargo la mayoría de casas y negocios comerciales medianos o pequeños no suelen instalar sistemas de puesta a tierra para proteger a las personas e instalaciones eléctricas, tal vez sea por desconocimiento o por asuntos económicos. Otro problema al construir un sistema de puesta a tierra el cual generalmente se construye con un electrodo, bentonita, cemento conductor, sal industrial, caja de registro y material circundante al electrodo; es que la cantidad de material que se usa no es necesariamente la óptima.

Cuando se construye una puesta a tierra se excava 1m x 1m x 3m (3m³) del terreno donde se ubicará el pozo de puesta a tierra vertical para ser reemplazado por material circundante de baja resistividad como la tierra de chacra o tierra tratada con químicos. Este material circundante al electrodo es costoso por lo tanto el costo de construcción de un pozo de puesta a tierra vertical se encarece lo cual hace que las personas decidan no construir (NTP 370.052, 1999).

La formulación del problema es ¿Cómo reducir el costo de construcción de un pozo de puesta a tierra vertical en función volumen del material circundante alrededor del electrodo?

Debido a lo expuesto reducir la resistencia en función del material circundante de baja resistividad alrededor del electrodo de un pozo de puesta a tierra vertical cumpliendo las normas nacionales e internacionales se obtiene un beneficio técnico. Con un buen diseño y posterior construcción se podrá optimizar la cantidad de material circundante alrededor del electrodo para así disminuir costos económicos y tiempo en la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical por lo tanto se obtiene un beneficio económico.

La hipótesis de estudio es: Se puede reducir costo de construcción de un pozo de puesta a tierra vertical optimizando el volumen del material circundante de baja resistividad alrededor del electrodo sin variar de manera significativa la resistencia.

El objetivo general de la investigación es reducir el costo de construcción de un pozo de puesta a tierra vertical optimizando el volumen del material circundante de baja resistividad alrededor del electrodo sin variar de manera significativa la resistencia.

Los objetivos específicos son: (1) Identificar las normas que recomiendan el método de medición correspondiente para la medida de resistencia y resistividad. (2) Determinar los valores de resistividad para distintos terrenos. (3) Identificar los materiales de baja resistividad para lograr un volumen óptimo de material circundante al electrodo en la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical. (4) Determinar la variación de la resistencia en función del volumen de material de baja resistividad para la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical. (5) Realizar el presupuesto de un pozo de puesta a tierra vertical en función del volumen óptimo del material de baja resistividad circundante al electrodo.

II. MARCO TEÓRICO

Para tener un mejor entendimiento se mostrarán trabajos relacionados al tema.

Los autores (Jiancarlo & Edsgar, 2019) analizaron la variación de la resistencia en función a los materiales utilizados en la construcción de un pozo a tierra vertical. El electrodo se enterró de forma vertical a 0.1 m, 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m, 0.5 m, 0.6 m, 0.7 m, 0.8 m, 0.9 m y 1.0 m de profundidad del ras del suelo y procedió a medir la resistencia para tener una relación entre la longitud del electrodo enterrado y la resistencia. Para la bentonita usaron 0 kg, 20 kg, 40 kg y 60 kg en 1m³ de tierra respectivamente y procedieron a medir la resistencia para tener una relación entre la cantidad de bentonita y la resistencia. Para la sal industrial usaron 0 kg, 20 kg, 40 kg y 60 kg en 1m³ de tierra respectivamente y procedieron a medir la resistencia para tener una relación entre la cantidad de sal industrial y la resistencia. El cemento conductor se usó alrededor del electrodo de 1 m de longitud formando un cilindro de diámetro de 5/8", 2" y 4" en todos los casos con una longitud de 1 m y procedieron a medir la resistencia para tener una relación entre el cemento conductor y la resistencia. Demostraron que la resistencia de un pozo a tierra se reduce a medida que se adicionan las proporciones de cemento conductor, bentonita, sal industrial y longitud del electrodo enterrado. Sin embargo existe un punto de saturación en el cual aumentar la cantidad de los materiales empleados ya no produce un efecto significativo sobre la resistencia del pozo de puesta a tierra vertical.

Los autores (Emerson & Willy, 2013) diseñaron un sistema de puesta a tierra para la estación repetidora "El Alisal" para sistemas de telecomunicaciones de Telefónica Movistar. Para ello midieron la resistividad del terreno empleando el método de Werner con un teluómetro, realizaron cálculos teóricos de la corriente de circuito, realizó cálculos para una malla de puesta a tierra y midió la resistencia del sistema de puesta a tierra con un teluómetro empleando el método del 62% con lo cual logró una resistencia menor a 5 Ω . Como resultado logró desarrollar el diseño y los cálculos del sistema puesta a tierra de la estación repetidora "El Alisal" con una resistencia de 4.57 Ω .

El autor (Heberk, 2012) diseñó el sistema de puesta a tierra en la Industria Gráfica Hermenca para la seguridad de los equipos y sistemas eléctricos. Realizó mediciones de resistencia y mediciones de resistividad con diferentes métodos para calcular los valores que satisfacen la normativa técnica. Estableció un procedimiento para la construcción de puesta a tierra donde incluye medidas del pozo a tierra, unión de electrodos, tratamiento de suelo y mejoramiento de la tensión de contacto y tensión de paso. Logró diseñar un sistema de puesta a tierra con una medida de resistencia que no sobrepasa los 5 Ω .

El autor (Manuel, 2008) analizó sistemas de puesta a tierra para el monitoreo, funcionamiento y mantenimiento de equipos de telecomunicaciones, empleó métodos y normas para las instalaciones de sistemas de puesta a tierra que minimizaron los peligros de los trabajadores así como protegió los equipos de daño persistente. Para ello Analizó la normativa que regula la instalación y diseño de un sistema de puesta a tierra, aplicó las fórmulas para el mejoramiento de un diseño óptimo de puesta a tierra para equipos y torres de telecomunicaciones. Estableció las diferencias entre las distintas topologías de puesta a tierra y su uso dependiendo de las condiciones. Finalmente determinó que es primordial determinar el valor de la resistividad del terreno en la construcción de un sistema de puesta a tierra, el uso del electrodo es indispensable para lograr valores de resistencia muy bajos. Calculo que tiempo de recuperación de la inversión en 10 meses es del 4% del total de presupuesto inicial empleado en un sistema de puesta a tierra se está garantizando que los equipos y trabajadores se encuentren protegidos contra cualquier tipo de sobretensiones y descargas.

Los autores (Rolando & Isafías, 2015) realizaron una investigación sobre el mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra con electrodo en el sistema de distribución de la empresa eléctrica Ambato. Aplicaron criterios técnicos según la IEEE y los fabricantes de los productos utilizados en la construcción del pozo a tierra. Para lograr los resultados requeridos midieron la resistividad del terreno y según ello aumentaron la cantidad de varillas y contrapesos para disminuir la resistencia del pozo a tierra. Concluyeron que si la resistividad del terreno es menor a 47 Ω .m entonces solo es necesario 01 electrodo de 1,8 m para una instalación domiciliaria. En terrenos con resistividades entre de 48 Ω .m a 126 Ω .m se deben incrementar contrapeso, en terrenos con resistividades de 127 Ω .m a 180 Ω .m se aumenta el largo del contrapeso, si se determina resistividades de 181 Ω .m – 314 Ω .m se instala dos contrapesos en los extremos del electrodo, si la resistividad sobrepasa los 314 Ω .m se coloca 03 electrodos más contrapeso.

El autor (Carlos, 2014) diseñó e implementó un sistema de puesta a tierra que no sobrepasa los 02 Ω , para dar seguridad a los trabajadores y equipos contra sobrecargas y descargas eléctricas en empresas financieras. El autor consiguió determinar con que electrodo trabajar en este sistema de puesta a tierra, también evaluó y seleccionó el tipo de terreno y además definió los elementos químicos convenientes para el sistema. Así mismo diseñó e implementó un circuito detector de humedad para el pozo a tierra. Como resultado de su investigación logró un valor aceptable de 1.78 Ω de resistencia del pozo a tierra para asegurar los equipos electrónicos.

Una vez analizado los trabajos previos y para poder entender mejor el tema se mostrará los fundamentos relacionados a pozos de puesta a tierra.

Los sistemas de puesta a tierra, se están volviendo un tema común en la sociedad, ya que existen diferentes instalaciones eléctricas en distintos ámbitos, los cuales pueden generar un peligro de descarga eléctrica, y para ello se debe tener un sistema de protección ante descargas. Los sistemas de puesta a tierra están conformados por pozos de puesta a tierra, conductores de puesta a tierra, dispositivos de protección eléctrica y conductores de protección a tierra (Procobre, 1999).

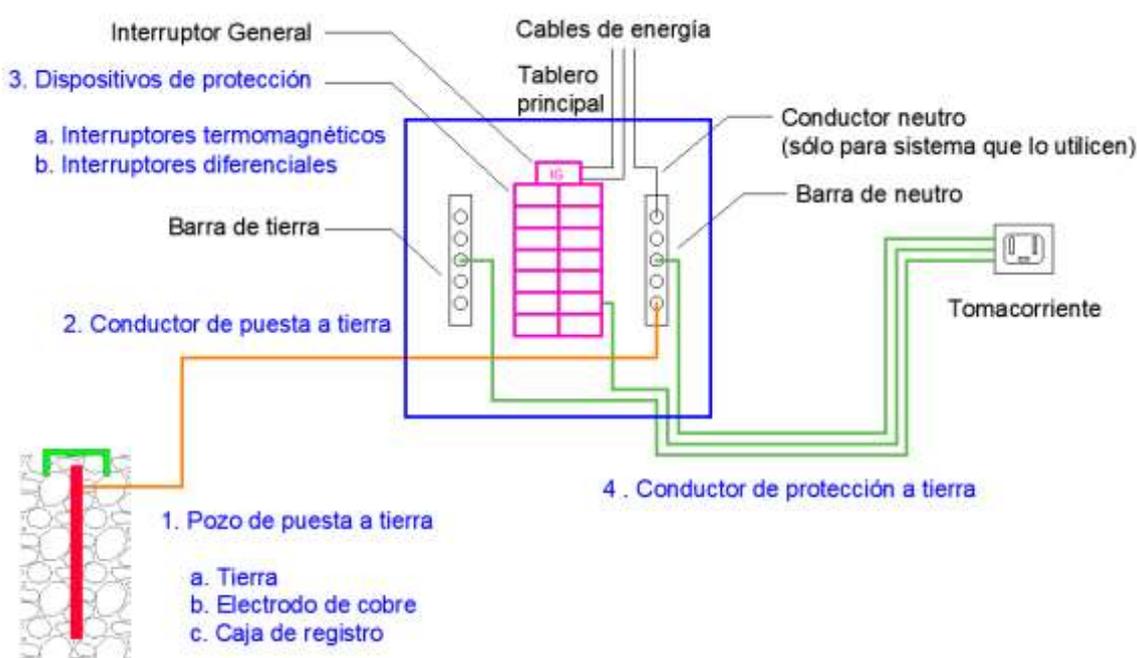


Figura 1.- Sistema de puesta a tierra para uso residencial

Fuente: NTP 370.053, 1999

Los sistemas de puesta a tierra son componentes fundamentales en los sistemas eléctricos, porque logran que no existan diferencias de potencial peligrosas y permite el paso a tierra de las corrientes de falla o la de descarga de origen atmosférico (NTP 370.055, 1999).

Al originarse una descarga atmosférica u originarse una falla a tierra suministra una ruta segura para el rayo y la corriente eléctrica de falla, realizando la finalidad principal de los sistemas de puesta a tierra que es la protección de las personas (Juan, 2001).

Según la normativa técnica de las instalaciones eléctricas toda instalación eléctrica que esté situada en este, deben tener un sistema de puesta a tierra, para que cualquier punto interior o exterior por donde puedan circular las personas sea considerado seguro desde la perspectiva del sometimiento de estas a tensiones transferidas o tensiones de paso de contacto; esto por la situación de que no se tienen que sobrepasar los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando surge una deficiencia (Chauvin Arnoux, 2015).

Según el Código Nacional de Electricidad (Utilización) así como Código Nacional de Electricidad (suministro), el electrodo debe poseer las siguientes características: Su longitud será superior o igual a 2.40 m, con diámetro mínimo de 16 mm (5/8") para electrodos de acero-cobre y 13 mm (1/2") para electrodos de cobre. El enterramiento será superior o igual a 2.4m. La parte superior cuando sea enterrado en el terreno, deberá tener la protección adecuada contra los elementos corrosivos del terreno.



Figura 2.- Electrodo de cobre de 2.4 m x 5/8"

Fuente: Ficha técnica de Sodimac (Anexos)

En la figura 3 se puede observar los materiales con los cuales se construye un pozo de puesta a tierra, los cuales son los siguientes:

El electrodo de cobre, material circundante (tierra del terreno o tierra de chacra) al electrodo de puesta a tierra, ingredientes químicos empleados para disminuir el valor de la resistencia de puesta a tierra (generalmente bentonita, cemento conductivo y sal industrial), caja de registro, conector de cobre para electrodo (NTP 370.052, 1999).

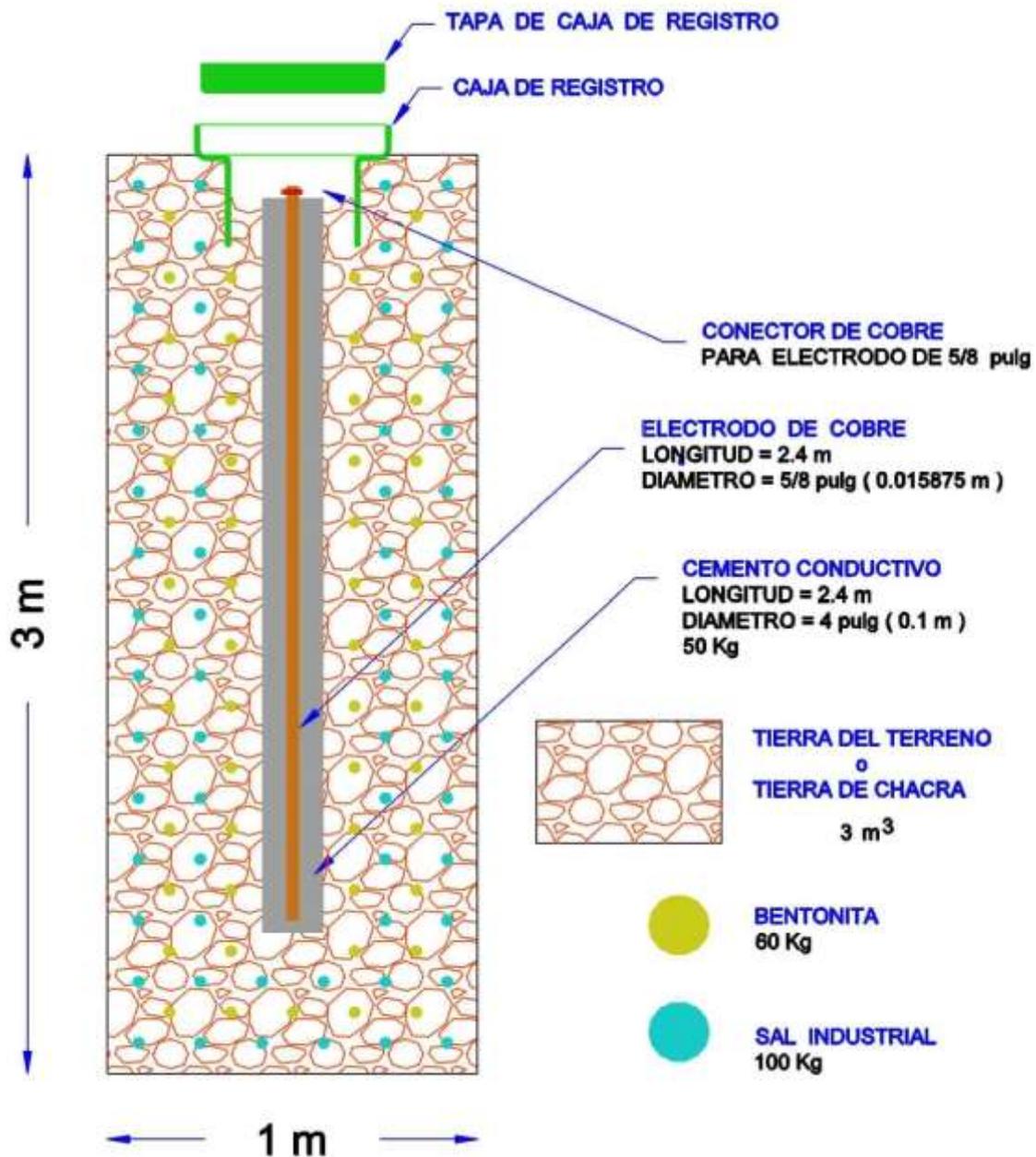


Figura 3.- Pozo de puesta a tierra vertical con los materiales y sus respectivas cantidades para su construcción.

Fuente: Jiancarlos & Edsgar, 2019

El material circundante es el material que rodea al electrodo del pozo de puesta a tierra. Debe estar compuesto de material de baja resistividad o tierra cernida, procurando evitar terrenos agrícolas. En lo posible debe utilizarse el mismo material del terreno donde se encuentra el pozo a tierra, quitando los componentes de alta resistividad y pesados, tales como elementos extraños, piedras e impurezas (NTP 370.052, 1999).

La resistividad del terreno es primordial para el diseño de una puesta a tierra y la única manera de determinar con precisión es realizando medidas directas en el terreno. Se considera al terreno formado por estratos homogéneos, de espesor fijo y resistividad uniforme.

En la figura 4 se puede apreciar el método de Werner (Procobre, 1999).

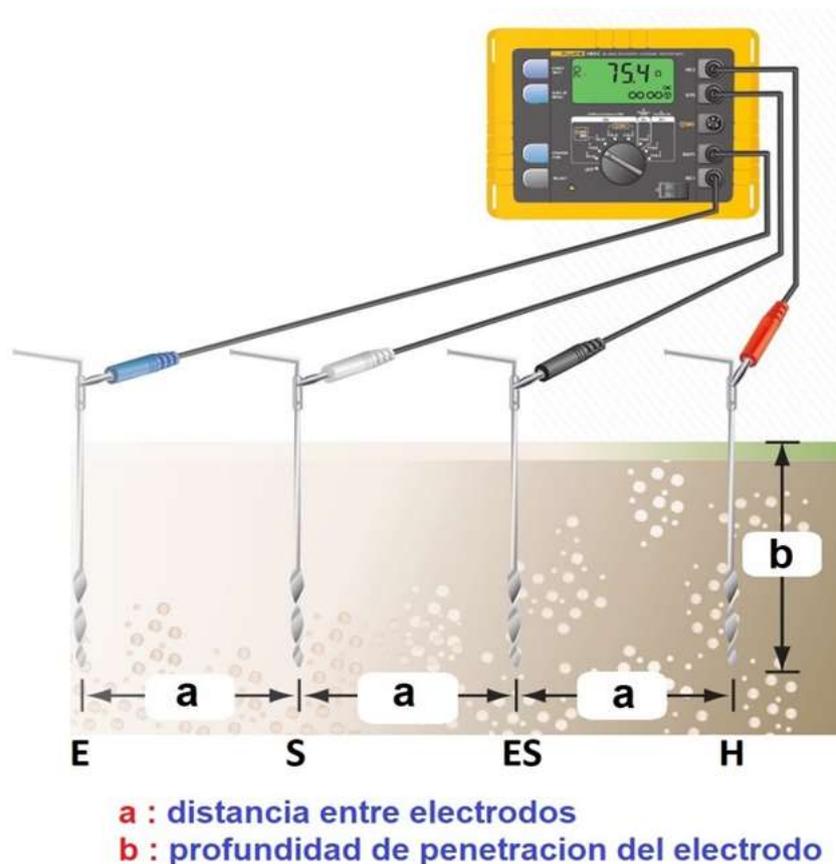


Figura 4.- En el método de Werner se utiliza un teluómetro con 4 picas auxiliares las cuales están equidistantes entre sí para medir la resistividad del terreno.

Fuente: Fluke Corporation, 2017

La medida del valor de la resistencia de un pozo de puesta a tierra se efectúa por dos razones: (1) Comparar su valor, posterior a la construcción y previo a la conexión de equipos eléctricos, contra las especificaciones de diseño. (2) Como parte del mantenimiento de rutina, para corroborar que su valor no se ha incrementado de manera significativa respecto del valor medido inicialmente o de su valor de diseño (Procobre, 1999).

En la figura 5 se puede apreciar el Método de 62% (Chauvin Arnoux, 2015).

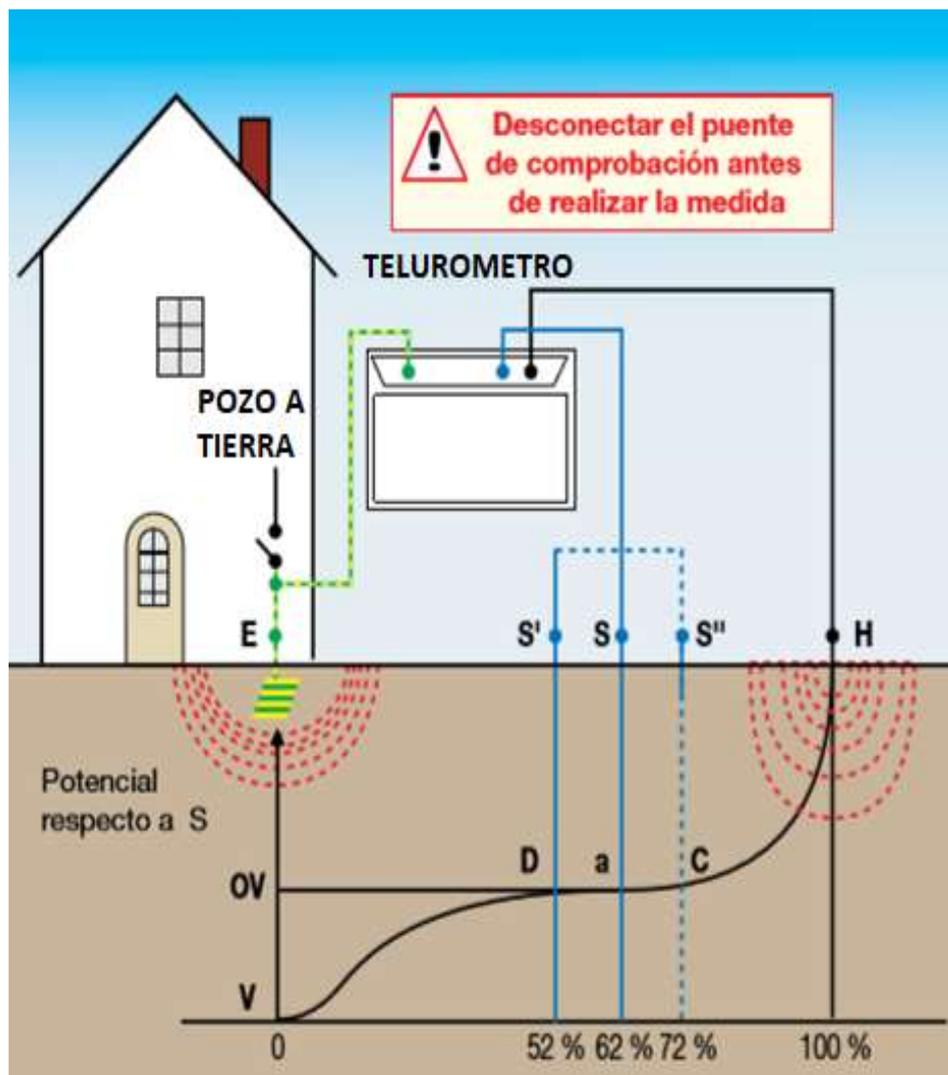


Figura 5.- En el método de 62 % se utiliza un teluómetro con 2 picas auxiliares para medir la resistencia del pozo de puesta a tierra. La pica auxiliar S debe estar a una distancia del 62% entre el electrodo y la pica auxiliar H.

Fuente: Chauvin Arnoux, 2015

En la figura 6 se puede apreciar que la resistencia a tierra está conformada resistencia del electrodo enterrado, la del material que lo rodea y con el que está en contacto.

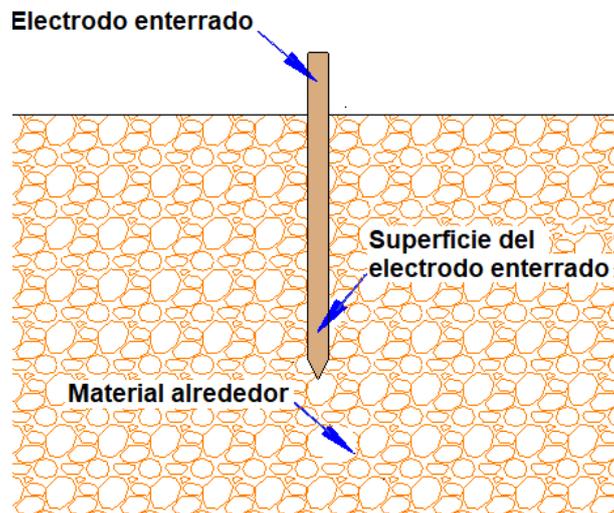


Figura 6.- La resistencia de un pozo de puesta a tierra es directamente proporcional a la resistencia de la superficie del electrodo enterrado y la resistencia del material que lo rodea.

Fuente: Jiancarlos & Edsgar, 2019

La corriente de falla que atraviesa el electrodo de puesta a tierra en situaciones de fallas que se presentan en la instalación eléctrica o la carga conectada, genera una caída de tensión debida a la resistencia de la puesta a tierra. La distribución de tensión alrededor del electrodo de tierra demuestra que la mayor parte de la resistencia total de puesta a tierra se concentra en la superficie del electrodo de puesta tierra (Chauvin Arnoux, 2015).

Los valores de resistencia para puesta a tierra según la National Electrical Code ha indicado lo siguiente: “Asegúrese de que la resistencia del sistema a la puesta a tierra sea no mayor de 25 Ω . En instalaciones con equipo sensible, debe ser de 5 Ω o menos”. El sector de las telecomunicaciones de manera habitual ha empleado como máximo 5 Ω como su valor para puesta a tierra. La finalidad en la resistencia de puesta a tierra es conseguir el mínimo valor de resistencia de puesta a tierra posible que tenga sentido tanto económica como físicamente (Fluke Corporation, 2017).

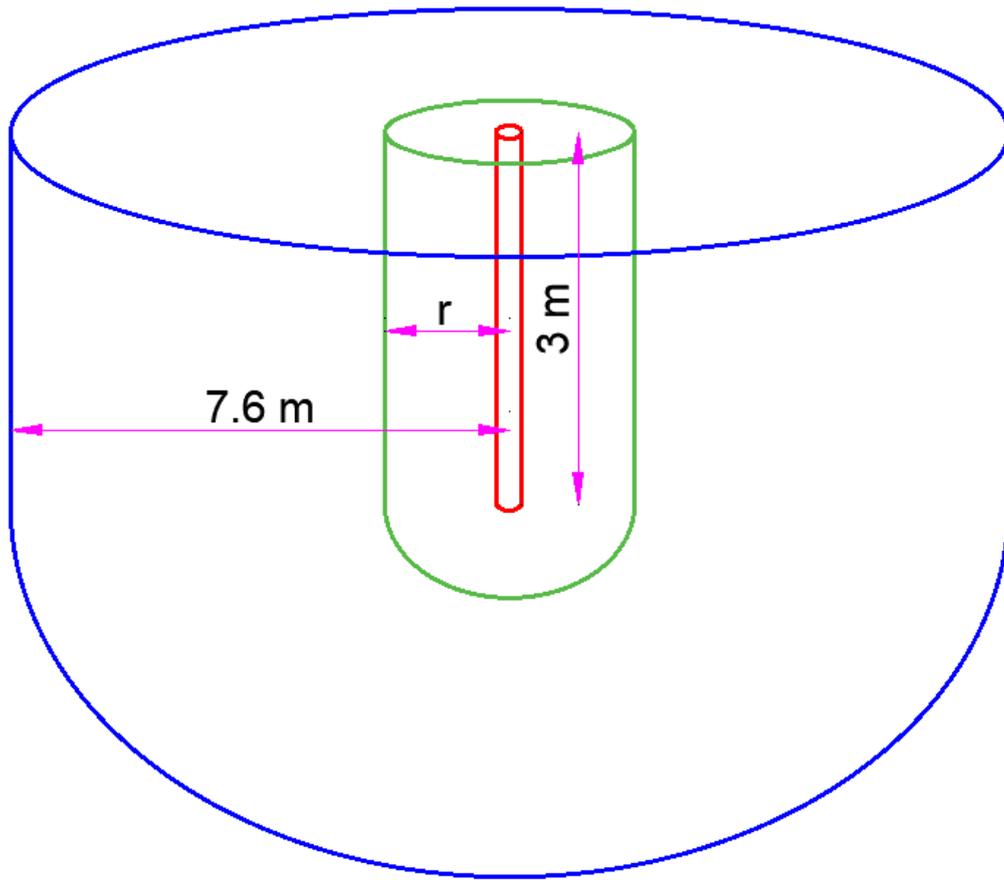
Los factores que determinan la resistividad del terreno son: Tipo de suelo, porcentaje de humedad, mezcla de diversos tipos de suelos, temperatura, composición química de las sales disueltas en aguas estancadas, presión, compactación, concentración de las sales disueltas en aguas estancadas y suelos conformados por capas estratificadas con profundidades diferentes (Geraldo, 2010).

Debido a la variabilidad de sus distintas capas, cuando se requiere calcular la resistividad de un terreno, por medio de un método de medida, lo que calculamos es la resistividad media de las distintas capas comprendidas entre la superficie y una cierta profundidad, que se designa como resistividad aparente (Juan, 2001).

El material circundante sobre la resistencia de un pozo de puesta a tierra vertical es muy importante ya que es el principal factor influyente.

En la figura 7 se muestra un electrodo de 3 m por 16 mm (5/8") en el suelo. El camino de la corriente en la tierra hacia el exterior desde la superficie del electrodo consiste en capas cilíndricas sucesivas y hemisféricas. A medida que aumenta la distancia desde el radio del electrodo, lo hacen las áreas de sección transversal de las capas individuales. Como aumenta el área de las capas, sus resistencias en series individuales disminuyen inversamente con la zona.

En la tabla 1 muestra el resultado de llevar a cabo este cálculo basado en la distancia de 7,60 m que representan el 100% de la resistencia total en la tierra. La tabla muestra que en los primeros 0,03 m de distancia de la superficie del electrodo, este incurre en el 25% de la resistencia total.



A
V_e

Figura 7.- La resistencia de un electrodo enterrado a una profundidad de 3 m está influenciado por el terreno que lo rodea hasta un radio de 7.6 m.

Fuente: IEEE142, 2007

En los primeros 0.15 m se incurre en el 52% y en 0.3 m se incurre en 68% de la resistencia total. Por lo tanto, se muestra que los primeros metros de distancia del electrodo son los más importantes, en lo que a la reducción de la resistencia del electrodo se refiere.

Tabla 1.- Resistencia de un electrodo en un radio r (m) de un electrodo de 3 m de largo por 15,88 mm de diámetro de la varilla [donde la Resistencia total al $r = 7,6$ m es el 100%]

Distancia de la superficie del electrodo (r) en metros	Porcentaje aproximado de resistencia total (%)
0.03	25
0.06	38
0.09	46
0.15	52
0.30	68
1.50	86
3.00	94
4.60	97
6.10	99
7.60	100
30.50	104
305.00	117

Fuente: IEEE 142, 2007

Estas cifras de la tabla 1 muestran que, por las razones más prácticas la mayoría de la resistencia a tierra se produce dentro de 7.6 m alrededor del electrodo, es decir, a 305.00 m la resistencia es sólo el 17 % mayor que la de 7.6 m (IEEE 142, 2007).

Los métodos para la reducción de la resistencia eléctrica son las siguientes:

- A. El aumento de longitud de los electrodos
- B. Incremento del radio de los electrodos
- C. Cambio de terreno por uno de menor ohmiaje
- D. Tratamiento químico del suelo
 - Bentonita
 - Sal industrial
 - Gel para puesta a tierra (Procobre, 1999).

III. METODOLOGÍA

3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación para el presente estudio será experimental.

3.2 Operacionalización de las variables

Tabla 2.- Tabla de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: Volumen óptimo del material circundante al electrodo.	Volumen del material de baja resistividad que rodea al electrodo y en el cual se construye el pozo de puesta a tierra.	Medida del espacio de tres dimensiones ocupado por un cuerpo.	Volumen (m ³)	Razón
Variable dependiente: Costo de construcción del pozo de puesta a tierra vertical.	Valor monetario total que se invertirá para la construcción del pozo de puesta a tierra vertical.	Valor monetario en nuevo soles que dependerá de los materiales de construcción del pozo de puesta a tierra vertical.	Precio (soles)	Razón

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

Pozos de puesta a tierra verticales

3.3.2 Muestra

18 pozos a tierra verticales de los cuales hay 15 pozos a tierra verticales con material de baja resistividad circundante al electrodo y 03 pozos a tierra verticales sin material de baja resistividad.

3.3.3 Muestreo

Análisis de la resistencia del pozo a tierra cuando el material de baja resistividad circundante al electrodo tenga 0.10 m, 0.20 m, 0.30 m, 0.40 m, 0.50 m de radio.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas

Se recopilara en fichas técnica de los datos de la resistividad, resistencia, del radio, profundidad y volumen del cilindro formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m).

Para medir la resistividad se utilizará el método de Werner con un teluometro digital.

Para medir la resistencia se utilizará el método del 62% con un teluometro digital.

3.4.2 Instrumentos

Teluometro

Equipo de medición eléctrica para medir la resistividad y resistencia. Este equipo pose 4 picas auxiliares y 4 cables.

3.5 Procedimientos

PRIMER PASO

Se evaluará distintos tipo de materiales de baja resistividad y dependiendo de un análisis tanto técnico como económico se seleccionará un solo material de baja resistividad.

SEGUNDO PASO

Se medirá la resistividad de 03 zonas en el terreno con un teluometro digital usan el método de Werner. Las zonas elegidas en el terreno son: L60, L90 y L120.

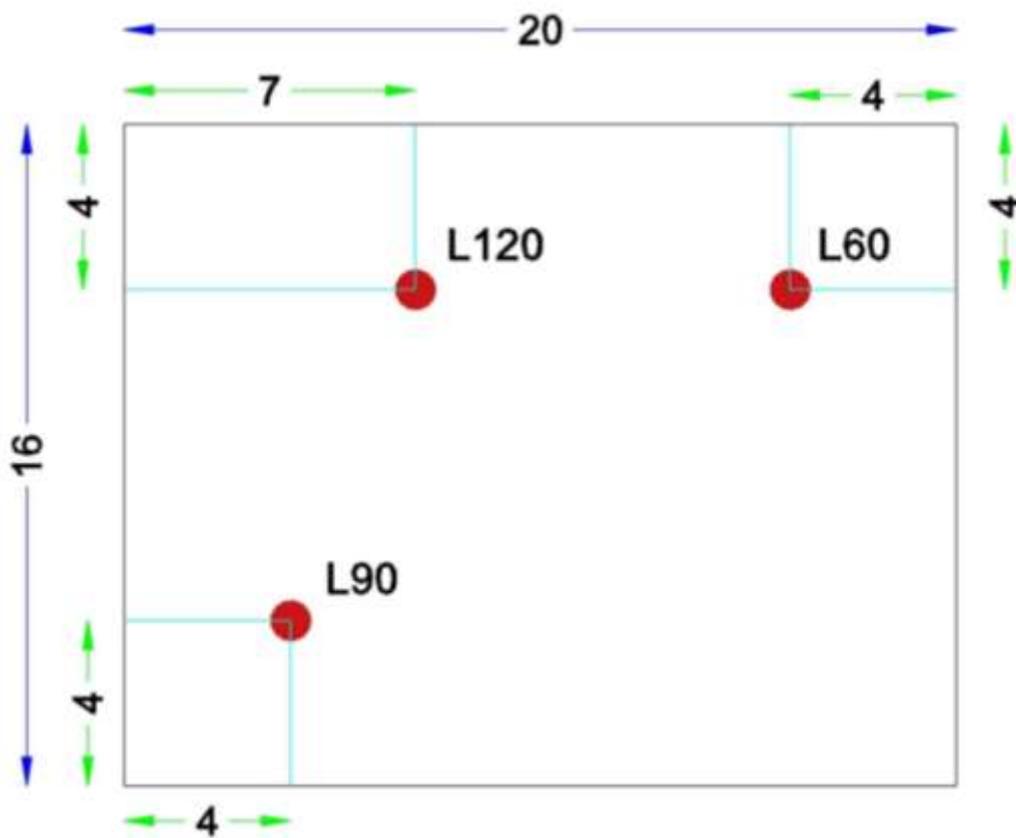


Figura 8.- Bosquejo del terreno donde se realizó las mediciones de resistividad y resistencia

Fuente: Autoría propia

TERCER PASO

En la primera zona del terreno (L60) elegido se enterrará el electrodo de cobre a una profundidad de 0.6 m y con un teluometro usando el método del 62% se medirá la resistencia inicial del terreno sin uso de material de baja resistividad. Se excavará en el terreno seleccionado de manera cilíndrica con un radio de 0.1 m y una profundidad de 0.6 m para luego desde el centro del cilindro excavar en forma de una semi-esfera con un radio de 0.1 m luego se rellenará con material de baja resistividad y se procederá a medir la resistencia con el electrodo enterrado a 0.6 m de profundidad.

Se seguirá excavando en el terreno seleccionado aumentando cada vez 0.1 m al radio de manera cilíndrica hasta un radio de 0.5 m con el electrodo enterrado a una profundidad de 0.6 m para luego desde el centro del cilindro excavar en forma de una semi-esfera con un radio de hasta 0.5 m luego se rellenará con material de baja resistividad y se procederá a medir la resistencia con el electrodo enterrado a 0.6 m de profundidad. En total serán 06 mediciones de resistencia.

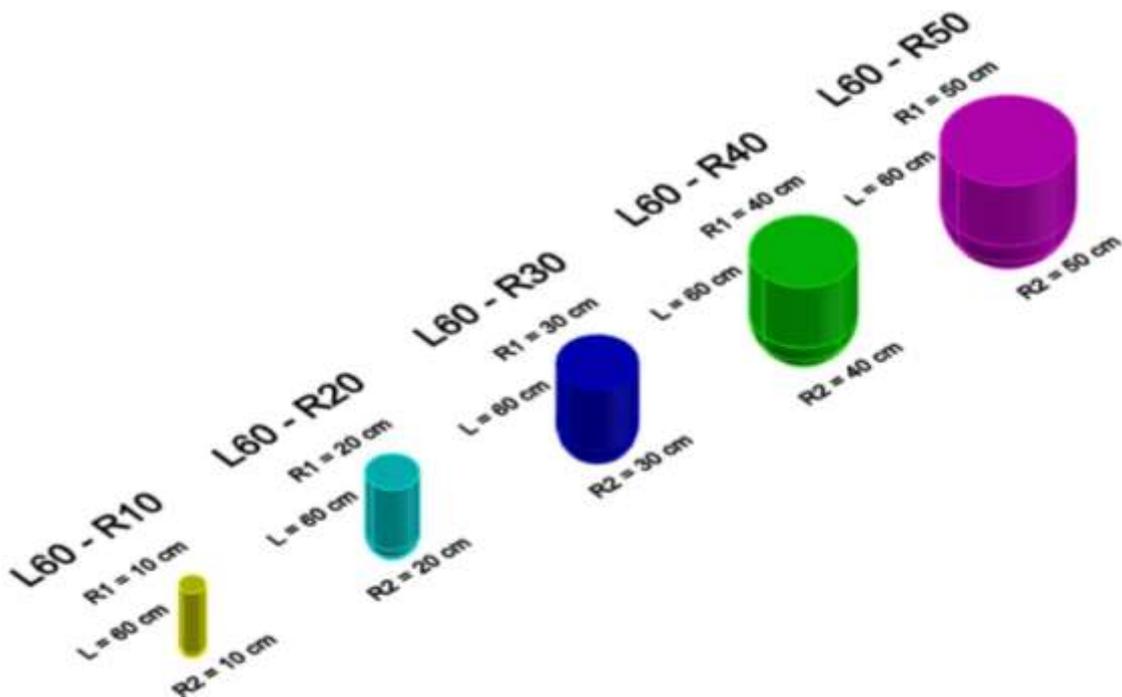


Figura 9.- Ilustración a escala de los pozos a tierra con tierra de chacra alrededor del electrodo enterrado a una profundidad de 0.6 m y formados por radios de 0.1 m, 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m y 0.5 m.

Fuente: Autoría propia.

CUARTO PASO

En la segunda zona del terreno (L90) elegido se enterrará el electrodo de cobre a una profundidad de 0.9 m y con un teluometro usando el método del 62% se medirá la resistencia inicial del terreno sin uso de material de baja resistividad. Se excavará en el terreno seleccionado de manera cilíndrica con un radio de 0.1 m y una profundidad de 0.9 m para luego desde el centro del cilindro excavar en forma de una semi-esfera con un radio de 0.1 m luego se rellenará con material de baja resistividad y se procederá a medir la resistencia con el electrodo enterrado a 0.9 m de profundidad.

Se seguirá excavando en el terreno seleccionado aumentando cada vez 0.1 m al radio de manera cilíndrica hasta un radio de 0.5 m y una profundidad de 0.9 m para luego desde el centro del cilindro excavar en forma de una semi-esfera con un radio de hasta 0.5 m luego se rellenará con material de baja resistividad y se procederá a medir la resistencia con el electrodo enterrado a 0.9 m de profundidad. En total serán 06 mediciones de resistencia.

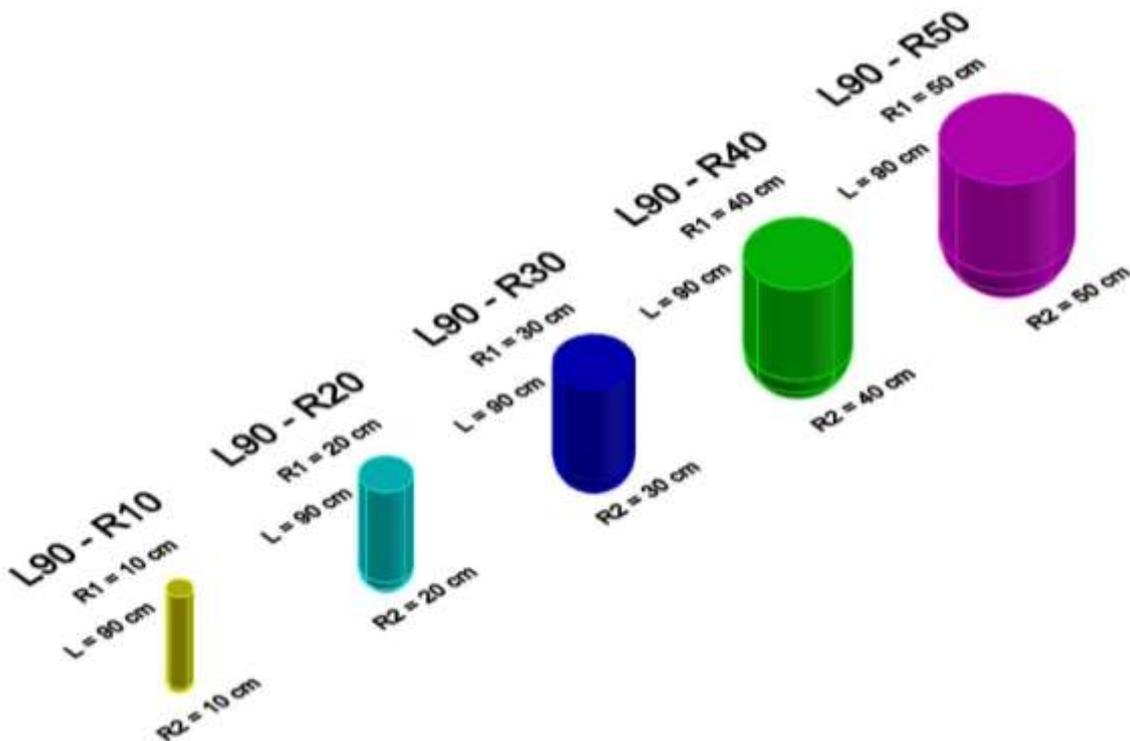


Figura 10.- Ilustración a escala de los pozos a tierra con tierra de chacra alrededor del electrodo enterrado a una profundidad de 0.9 m y formados por radios de 0.1 m, 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m y 0.5 m.

Fuente: Autoría propia.

QUINTO PASO

En la tercer zona del terreno (L120) elegido se enterrará el electrodo de cobre a una profundidad de 1.2 m y con un teluometro usando el método del 62% se medirá la resistencia inicial del terreno sin uso de material de baja resistividad. Se excavará en el terreno seleccionado de manera cilíndrica con un radio de 0.1 m y una profundidad de 1.2 m para luego desde el centro del cilindro excavar en forma de una semi-esfera con un radio de 0.1 m luego se rellenará con material de baja resistividad y se procederá a medir la resistencia con el electrodo enterrado a 1.2 m de profundidad.

Se seguirá excavando en el terreno seleccionado aumentando cada vez 0.1 m al radio de manera cilíndrica hasta un radio de 0.5 m y una profundidad de 1.2 m para luego desde el centro del cilindro excavar en forma de una semi-esfera con un radio de hasta 0.5 m luego se rellenará con material de baja resistividad y se procederá a medir la resistencia con el electrodo enterrado 1.2 m de profundidad. En total serán 06 mediciones de resistencia.

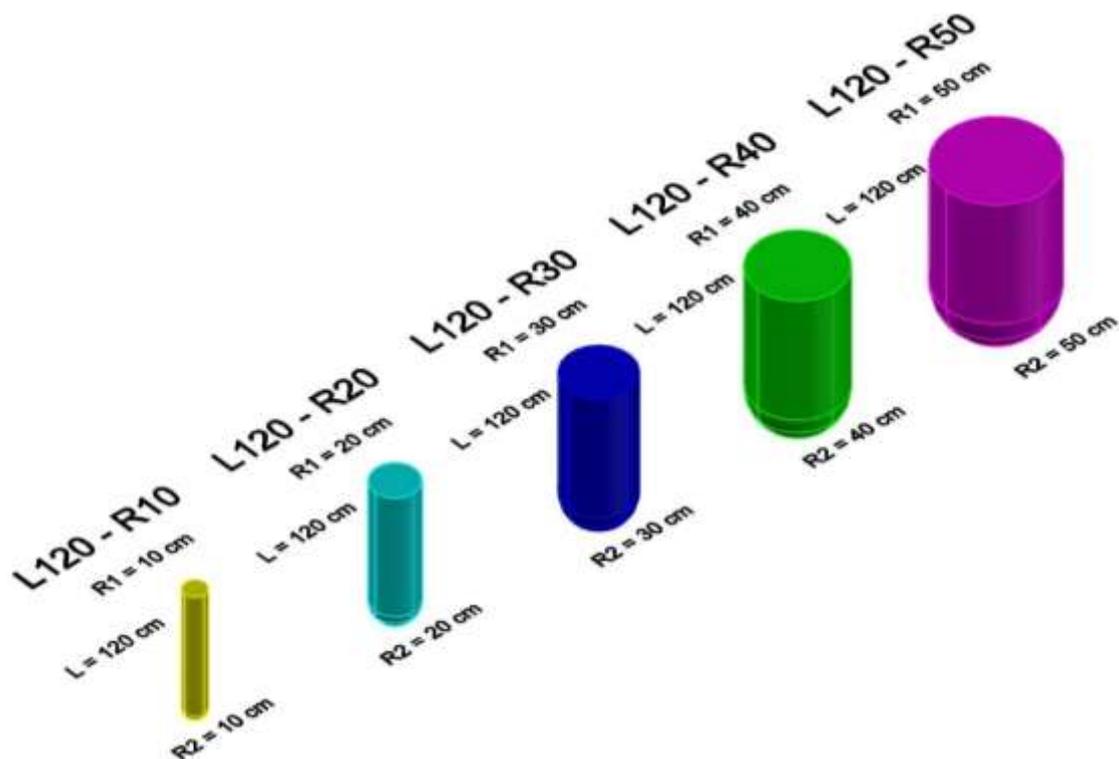


Figura 11.- Ilustración a escala de los pozos a tierra con tierra de chacra alrededor del electrodo enterrado a una profundidad de 1.2 m y formados por radios de 0.1 m, 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m y 0.5 m.

Fuente: Autoría propia.

SEXTO PASO

Se realizará un análisis de los 18 valores de resistencia del pozo a tierra en relación con el volumen del material de baja resistividad generado por el radio de influencia de este material sobre el electrodo, como se puede apreciar en la tabla 3. Se determinará cual es el volumen óptimo que permite cumplir de manera técnica y económica la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical.

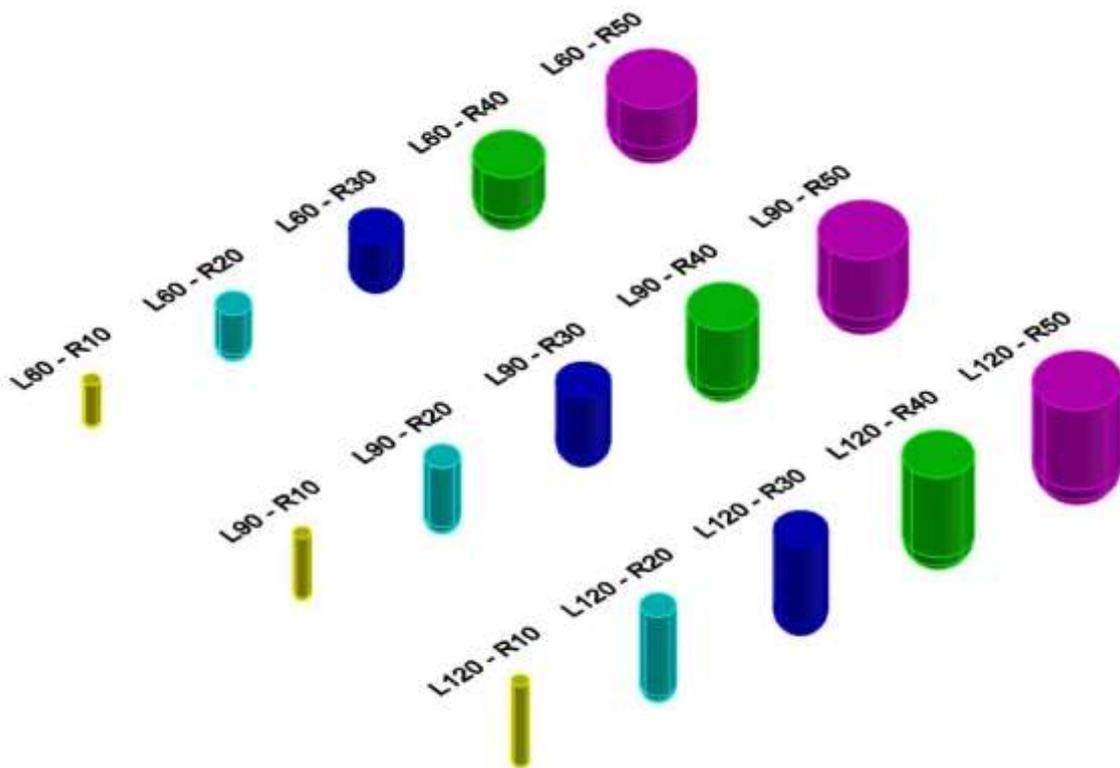


Figura 12.- Ilustración a escala de los pozos a tierra con tierra de chacra alrededor del electrodo enterrado a una profundidad de 0.6 m, 0.9 m y 1.2 m y formados por radios de 0.1 m, 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m y 0.5 m.

Fuente: Autoría propia.

Tabla 3.- Cuadro de datos que recopilará la variación de la resistencia en función del radio de influencia formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m).

Ítem	Radio de influencia formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m)	Profundidad del electrodo enterrado (m)	Volumen del cilindro-semiesfera formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m ³)	Resistencia (Ω)	Variación de la resistencia (%)
1	0.00				
2	0.10				
3	0.20				
4	0.30				
5	0.40				
6	0.50				

3.6 Método de análisis de datos

Se analizará la variación de la resistencia en función del radio del cilindro formado por el material de baja resistividad alrededor del electrodo. Estos datos se compararán con los valores de la norma IEEE142 que se muestra en la tabla 1.

3.7 Aspectos éticos

El autor del presente trabajo se compromete a trabajar con ética, mostrando datos verdaderos, siempre citando a las fuentes originales y no haciendo plagio.

IV. RESULTADOS

4.1 Normas que recomiendan el método de medición correspondiente para la medida de resistencia y resistividad.

1. El método de medición de resistencia

El protocolo de medición de resistencia es obligatorio debido que es un documento que exigen la autoridades como las municipalidades o Indeci cuando se realizan las inspecciones iniciales o periódicas de las instalaciones eléctricas de los establecimientos y domicilios.

La medida de resistencia es el resultado final de este protocolo y según el valor de la medida de resistencia del pozo de puesta tierra se considerará si entra en funcionamiento o no.

La Norma Técnica Peruana “370.310 SEGURIDAD ELÉCTRICA. Certificación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en edificaciones de viviendas” nos recomienda utilizar el método del 62%, esta es la única norma peruana que indica de manera explícita el método de medición para resistencia.

2. El método de medición de resistividad

La medida resistividad no es obligatoria ya que no es solicitada en ningún documento por alguna autoridad. Debido a ello esta medida de resistividad suele omitirse, sin embargo es de gran utilidad para la construcción del pozo de puesta a tierra. La resistencia de un pozo de puesta a tierra depende de la resistividad del terreno y de las dimensiones del electrodo, según la norma IEEE 80:

$$R (\Omega) = \frac{\ln(8L/d)-1}{2\pi L} \rho \quad (1)$$

Dónde:

R: Resistencia del pozo de puesta a tierra en Ω

ρ : Resistividad del suelo en $\Omega.m$

L: Longitud del electrodo enterrado en m

d: Diámetro del electrodo en m

De la ecuación 1, se designa con el nombre de factor del electrodo (FE) a:

$$FE (1/m) = \frac{\ln(8L/d)-1}{2\pi L} \quad (2)$$

Por lo tanto de la ecuación 1 y ecuación 2 se genera la siguiente ecuación:

$$R (\Omega) = FE \cdot \rho \quad (3)$$

Para un pozo de puesta a tierra vertical con un electrodo de 2.4 m de longitud y de diámetro 5/8" (0.015875 m) el valor de FE es 0.404 (1/m), por lo tanto el valor de la resistencia es:

$$R (\Omega) = 0.404 \rho \quad (4)$$

De la ecuación 4 se puede observar que la ρ y R son directamente proporcionales con lo cual se concluye que al hallar el valor de resistividad del terreno nos permite predecir el valor de la resistencia antes de construir el pozo de puesta a tierra, por lo tanto debemos seleccionar un suelo con baja resistividad para tener valores bajos de resistencia.

Cuando las normas nacionales no detallan especificaciones que requerimos entonces se toma como referencia las normas emitidas por la ANSI, IEEE, NFPA o IEC. Las normas peruanas no hacen referencia a cuál debe ser el procedimiento para medir la resistividad del terreno por lo tanto se tiene que recurrir a las normas de la IEEE.

La norma internacional "IEEE 81 Guía de IEEE para la medición de la resistividad de la Tierra, la impedancia de tierra, y la tierra de potenciales superficiales de un sistema terrestre" recomienda 05 métodos para medir la resistividad:

1. Las muestras de suelo y la información geológica
2. Método de variación de profundidad
3. Método de dos puntos
4. Método de Wenner
5. Método Schlumberger-Palmer

Siendo el método de Wenner el método más preciso y más fácil de realizar en la práctica de la medición de la resistividad.

4.2 Valores de resistividad para distintos terrenos.

4.2.1 Tabla de valores de resistividad del suelo según la normativa peruana.

Estimaciones basadas en la clasificación del suelo producen sólo una aproximación de la resistividad. Pruebas reales de resistividad por lo tanto son imprescindibles. Éstas deben hacerse en un número de plazas dentro del sitio. Normalmente, hay varias capas, cada una con diferente resistividad. A menudo, los cambios laterales también ocurren, pero en comparación con las verticales, por lo general estos cambios son más graduales. Las pruebas de suelo de resistividad deben hacerse para determinar si hay variaciones importantes de la resistividad con la profundidad. El número de lecturas que se tomen deben ser mayores cuando las variaciones son grandes, especialmente si algunas lecturas son tan altas como para sugerir un problema de seguridad posible.

El Código Nacional de Electricidad (Utilización) menciona valores de resistividad en la siguiente tabla:

Tabla 4.- Rango de resistividad del suelo

Ítem	Tipo de suelo	Resistividad ($\Omega.m$)
1	Orgánico Mojado	10
2	Húmedo	100
3	Seco	1000
4	Piedra Partida de 105 mm de espesor	3000
5	Cama de roca	10000

Fuente: MINEM, 2006

El Código Nacional de Electricidad (Utilización) también indica que debe determinarse la resistencia de puesta a tierra en el lugar deseado. La resistividad del terreno varía con la profundidad, el tipo y concentración de elementos químicos, el contenido de humedad y la temperatura del terreno. La presencia de agua superficial no indica necesariamente una baja resistividad.

El Código Nacional de Electricidad (Utilización) también menciona otros rangos de valores de resistividad referenciales para diferentes tipos de terreno.

Tabla 5.- Resistividad medias de terrenos típicos.

Ítem	Terreno	Resistividad media ($\Omega.m$)
1	Arcilla inorgánica de alta plasticidad	10 - 55
2	Arcilla pobre con grava, arena, limo	25 - 60
3	Arena fina con arcilla de ligera plasticidad	30 - 80
4	Arena con arcilla, mezcla de bajo grado de arena con arcilla	50 - 200
5	Arena fina o terreno con limo, terrenos elásticos	80 - 300
6	Arena con limo, mezcla de bajo grado de arena con limo	100 - 500
7	Grava con arcilla, mezcla de grava y arcilla	200 - 400
8	Grava de buen grado, mezcla de grava y arena	600 - 1000
9	Grava de bajo grado, mezcla de grava y arena	1000 - 2500

Fuente: MINEM, 2006

4.2.2 Métodos de Medición de la resistividad del terreno

La norma IEEE 81 recomienda utilizar los 05 métodos siguientes:

A. Las muestras de suelo y la información geológica

A menudo, en el lugar donde un sistema de puesta a tierra se va a instalar, un extenso trabajo de ingeniería civil debe llevarse a cabo. Este trabajo implica generalmente la prospección geológica que se traduce en una considerable cantidad de información sobre la naturaleza y configuración del sitio. Tales datos podrían ser de gran ayuda para el ingeniero eléctrico que debe tratar de obtener esta información.

Se determina los valores de la resistividad utilizando una muestra de la tierra. Es difícil, y en algunos casos es imposible, obtener una aproximación útil de la resistividad del suelo a partir de mediciones de resistividad en las muestras. Esto es debido a la dificultad de obtener una muestra representativa de un suelo homogéneo.

B. Método de variación de profundidad

Este método, a veces llamado un método de tres puntos, es una prueba de resistencia a tierra llevado a cabo varias veces, cada vez la profundidad de enterramiento de electrodo probado se incrementa por un incremento dado. El propósito de esto es para forzar más corriente de prueba a través del suelo profundo. El valor de resistencia medido entonces reflejará la variación de la resistividad en mayor profundidad. Por lo general, el electrodo de prueba es una varilla. Varillas son preferibles a otros tipos de electrodos, ya que ofrecen dos ventajas importantes:

1. El valor teórico de la resistencia de la varilla de tierra es simple para calcular con precisión adecuada, por lo tanto, los resultados son fáciles de interpretar.
2. La inserción de una varilla en el suelo es normalmente una operación fácil.

Las mediciones anteriores pueden llevarse a cabo usando uno de los métodos de medida de resistencia. Uno debe tener en cuenta, sin embargo, que el valor medido de la resistencia debe ser lo más precisa posible de modo que pueda ser comparado con éxito con el valor teórico. Por lo tanto, el método de caída de potencial se usa preferiblemente para estas mediciones.

La variación del método de profundidad da información útil sobre la naturaleza del suelo en las proximidades de la varilla (5 a 10 veces la longitud de la varilla). Si debe ser investigado un gran volumen de suelo, es preferible utilizar el método de cuatro puntos, ya que la conducción de varillas largas no es práctico. La resistencia de un pozo de puesta a tierra depende de la resistividad del terreno y de las dimensiones del electrodo, según la norma IEEE 80:

$$R (\Omega) = \frac{\ln(8L/d)-1}{2\pi L} \rho$$

Por lo tanto si despejamos la resistividad (ρ) en función de R, tenemos:

$$\rho (\Omega.m) = \frac{2\pi L}{\ln(8L/d)-1} R \quad (5)$$

Donde:

R: Resistencia del pozo de puesta a tierra en Ω

ρ : Resistividad del suelo en $\Omega.m$

L: Longitud del electrodo enterrado en m

d: Diámetro del electrodo en m

C. Método de dos puntos

Medidas aproximadas de la resistividad de la tierra sin perturbaciones se pueden hacer en el campo con el medidor de resistividad del suelo Shepard y métodos de dos puntos similares. El aparato consta de un electrodo de hierro pequeño y otro más pequeño, ambos unidos a una varilla aislante. El terminal positivo de una batería está conectada a través de un amperímetro al electrodo más pequeño y el terminal negativo al otro electrodo. El instrumento puede ser calibrado para leer directamente en ohmios-centímetro a tensión nominal de la batería. Este tipo de aparato es fácilmente portátil y con él se pueden realizar una serie de mediciones en poco tiempo en pequeños volúmenes de suelo clavando los electrodos en el suelo o en las paredes o fondo de excavaciones.

D. Método de Wenner

En este método los electrodos están espaciados igualmente como se muestra en la figura 13. Sea “a” la distancia entre dos electrodos adyacentes.

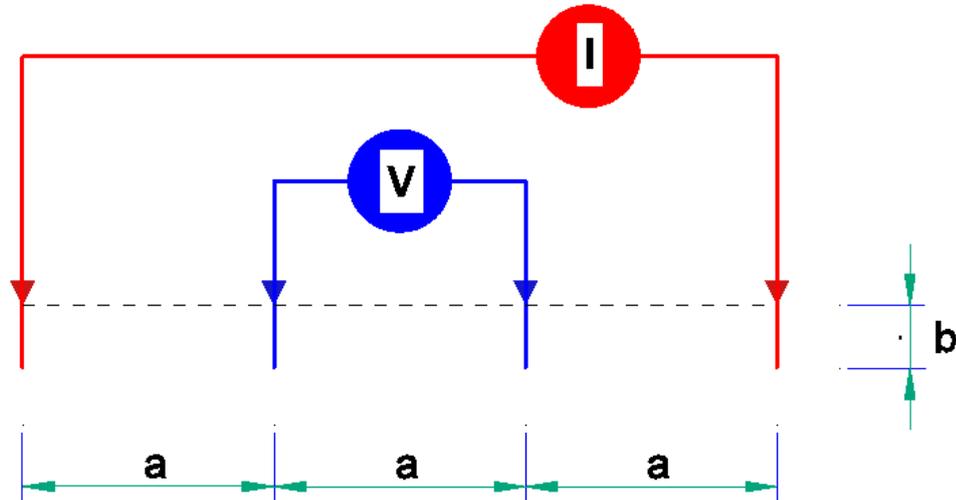


Figura 13.- Método de Wenner

Fuente: IEEE 81, 2013

Entonces, la resistividad “ ρ ” en los términos de las unidades de longitud en la que se miden “a” y “b” es:

$$\rho(\Omega. m) = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (6)$$

Donde:

ρ : valor de la resistividad media del terreno en $\Omega.m$

R: valor indicado por el Teluometro en Ω

a: distancia de entre los electrodos, expresada en m

b: profundidad de penetración de los electrodos en m

Cabe señalar que esto no se aplica a electrodos accionados a la profundidad “b”; se aplica sólo a pequeños electrodos enterrados en profundidad “b”, con cables de conexión aislados. Sin embargo, en la práctica, cuatro electrodos se colocan generalmente en una línea recta a intervalos “a”, impulsada a una profundidad que no exceda de 0,1 a. Entonces suponemos $b = 0$ y la fórmula se convierte en:

$$\rho (\Omega. m) = 2\pi aR \quad (7)$$

Con lo cual se puede hallar de manera aproximada la resistividad media del suelo a la profundidad “a”.

Un conjunto de lecturas tomadas con diferentes espaciamientos de sonda da un conjunto de resistividades que, cuando se traza contra el espaciado, indica si hay capas distintas de diferente suelo o roca y da una idea de sus respectivas resistividades y profundidad. (Véase la figura 14)

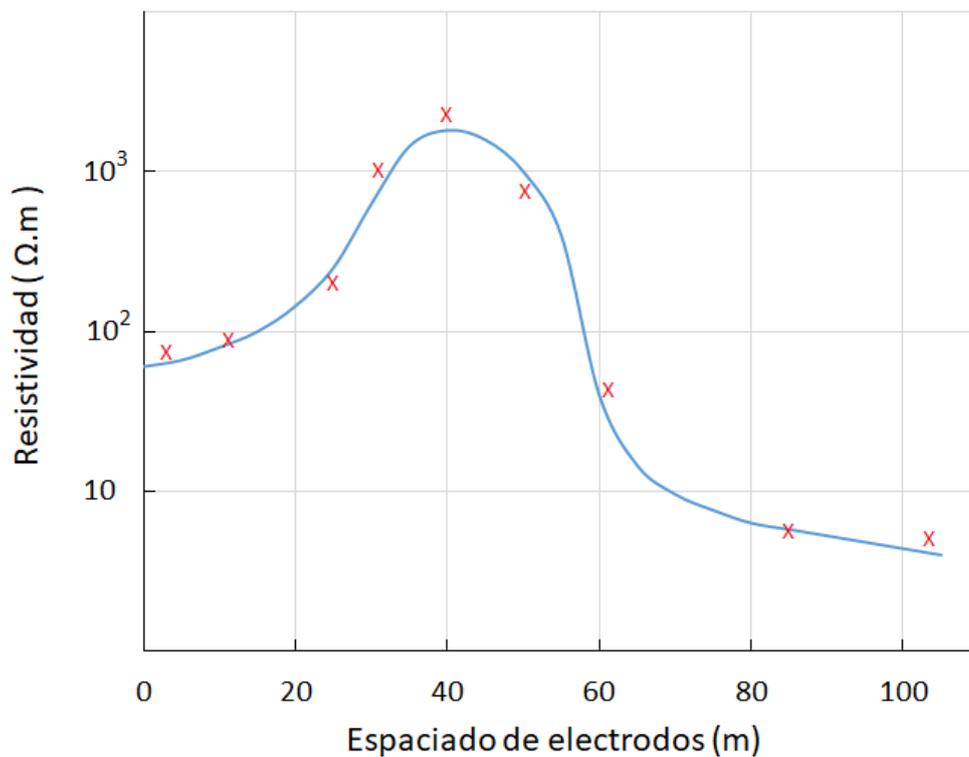


Figura 14.- Curva de resistividad típica

Fuente: IEEE 81, 2013

E. Método Schlumberger-Palmer

Un inconveniente del método Wenner es la rápida disminución de la magnitud de potencial entre los dos electrodos interiores cuando su separación se aumenta a valores relativamente grandes. A menudo, los instrumentos comerciales son inadecuados para medir los valores de bajo potencial. Con el fin de ser capaz de medir resistividades con grandes separaciones entre los electrodos de corriente la disposición mostrada en la figura 15 se puede utilizar con éxito. Las sondas potenciales son colocadas más cerca de los electrodos de corriente correspondientes. Esto aumenta el valor potencial medido.

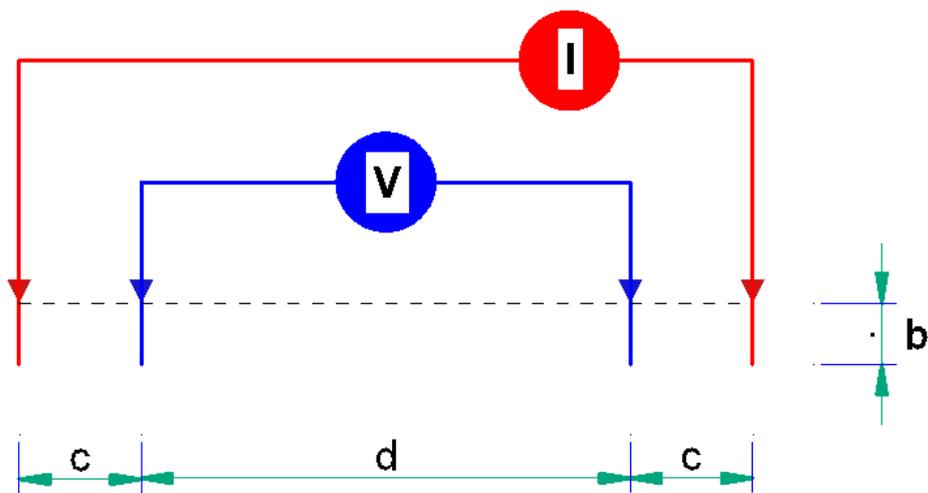


Figura 15.- Método de Schlumberger-Palmer

Fuente: IEEE 81, 2013

Si la profundidad de enterramiento de los electrodos es “b” y es pequeño comparado con su “d” y “c”, entonces la resistividad medida se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\rho (\Omega. m) = \pi \frac{c(c + d)}{d} R \quad (8)$$

4.3 Materiales de baja resistividad para lograr un volumen óptimo de material circundante al electrodo en la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical

OPCIÓN 01: Tierra de chacra

Según la norma IEEE 80 y el Código Nacional de Electricidad (Utilización) la tierra de chacra también llamada terreno agrícola o suelo orgánico tiene una resistividad promedio de $10 \Omega \cdot m$, siendo este un valor muy bajo de resistividad y por lo tanto favorece para obtener valores bajos de resistencia del pozo de puesta a tierra.

El volumen de un pozo de puesta a tierra generalmente es de $1m \times 1m \times 3m = 3m^3$, cuando el terreno donde se construirá el pozo tiene una resistividad media o alta se suele cavar el terreno del lugar para ser reemplazo por tierra de chacra.

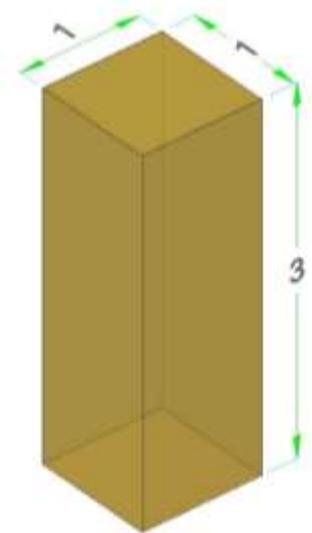


Figura 16.- volumen de un pozo de puesta a tierra vertical de $3 m^3$

Fuente: Autoría propia

Tomando como referencia la tierra de chacra en bolsa que se vende en Sodimac (ver anexos) para pozos de puesta a tierra, se detalla lo siguiente:

- 01 m^3 de tierra equivale a 50 bolsas de tierra
- 01 bolsa de tierra contiene 30 kg de tierra
- 01 bolsa de tierra tiene un precio de 7.5 soles

Por lo tanto para 3m^3 de tierra se requiere 150 bolsas con un costo total de $150 \times 7.5 \text{ soles} = 1125 \text{ soles}$.

OPCIÓN 02: Cemento conductivo

El concreto como un medio circundante del electrodo para tener una buena resistencia de puesta a tierra es referenciado en las normas IEEE 80, IEEE 142, National Electrical Safety Code y la National Electrical Code.

El cemento conductivo es un material higroscópico por naturaleza que tiende a absorber la humedad y retenerla como máximo por 30 días en periodos secos o con falta de lluvia. El cemento debe ser del tipo PORTLAND el cual contiene óxido de calcio que combinado con el agua no permite formaciones arcillosas o sales. El cemento conductivo cuando está bien saturado de agua tiene una resistividad de 0.2 a 0.5 $\Omega\cdot\text{m}$

Tomando como referencia el cemento conductivo en bolsa que se vende en Sodimac (ver anexos) para pozos de puesta a tierra, se detalla lo siguiente:

- La resistividad del cemento conductivo marca Thor Cem es de 0.5 $\Omega\cdot\text{m}$
- 01 bolsa de cemento conductivo contiene 25 kg
- 01 bolsa de cemento conductivo tiene un precio de 130 soles.
- Se requiere 02 bolsas de cemento conductivo para revestir un electrodo de formando un cilindro alrededor de 0.1 m de diámetro y 2.4 m de longitud.

Por lo tanto el volumen del cilindro con 02 bolsas de cemento conductivo es $(0.1\text{m})^2 \pi/4 \times 2.4\text{m} = 0.018849 \text{ m}^3$.

Si utilizáramos solo cemento conductivo en 3 m^3 en vez de tierra de chacra:

$$\begin{array}{rcl} X & \dots\dots\dots & 3 \text{ m}^3 \\ 02 \text{ bolsas} & \dots\dots\dots & 0.018849 \text{ m}^3 \\ & & X = 318.3 \text{ bolsas} \end{array}$$

Por lo tanto redondeando a un número entero de bolsas se requiere aproximadamente 319 bolsas de cemento conductivo con un costo total de $319 \times 130 \text{ soles} = 41470 \text{ soles}$.

Finalmente por cuestiones económicas para un pozo de puesta a tierra donde se tenga que reemplazar 3 m³ de volumen con material de baja resistividad la tierra de chacra (resistividad promedio 10 Ω.m) es una opción viable.

4.4 Variación de la resistencia en función del volumen de material de baja resistividad para la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical.

Según la norma IEEE142 la resistencia de un electrodo de 5/8" de diámetro enterrado a una profundidad de 3 m está influenciado por el terreno que lo rodeas hasta un radio de 7.6 m, utilizando la tabla 1 se puede interpolar valores para hallar otros valores. Interpolando para valores del radio de 0.10 m, 0.20 m, 0.30 m, 0.40 m y 0.50 m

Tabla 6.- Valores interpolados para resistencia de un electrodo en un radio r (m) de un electrodo de 3 m de largo por 15,88 mm de diámetro de la varilla [donde la Resistencia total al r = 7,6 m = 100%]

Distancia de la superficie del electrodo (r) en metros	Porcentaje aproximado de resistencia total (%)
0.10	47
0.20	62
0.30	68
0.40	70
0.50	72

Fuente: Autoría propia

Analizando el esquema del circuito de las resistencias del pozo de puesta a tierra vertical, considerando la tierra de chacra para tratamiento.

Cuando se añade la tierra de chacra se modifica la resistencia de dispersión total. En la figura 17 se muestra éste detalle.

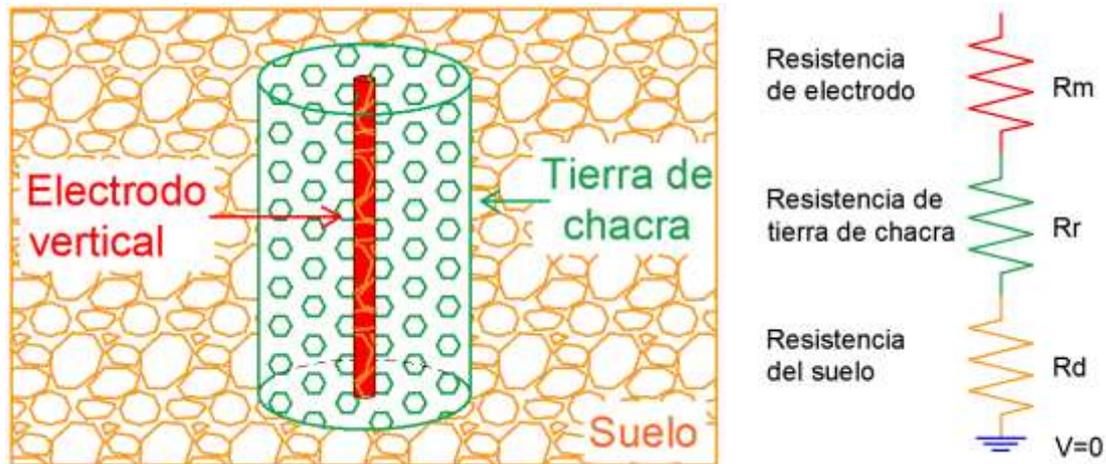


Figura 17.- Resistencia de dispersión total considerando la tierra de chacra.

Fuente: Efraín, 2008

$$R_t (\Omega) = R_m + R_r + R_d \quad (9)$$

Donde:

- \$R_t\$: Resistencia total en \$\Omega\$
- \$R_m\$: Resistencia propia del metal del electrodo; en caso de tratarse de electrodos puntuales (\$R_m \approx 0\$), en \$\Omega\$
- \$R_r\$: Resistencia propia de la tierra de chacra en el pozo, depende de la resistividad (\$p_r\$) del relleno y se considerara como un conductor cilíndrico de radios \$r\$, en \$\Omega\$.
- \$R_d\$: Resistencia del suelo inicial en \$\Omega\$

Para este caso el valor de \$R_m \approx 0\$ por lo tanto:

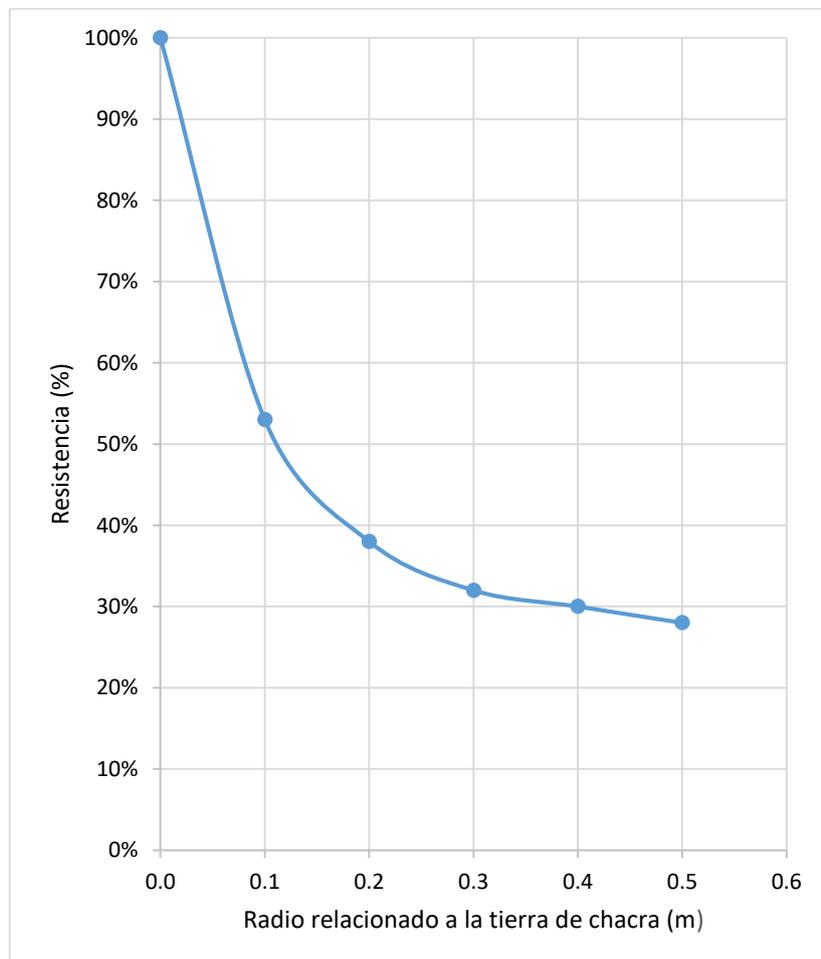
$$R_t (\Omega) = R_r + R_d \quad (10)$$

Para materiales de baja resistividad, la resistencia tiende a $R_r \approx 0$ (otro análisis se muestra en el anexo A), quedando la siguiente tabla:

Tabla 7.- Valores de resistencia relacionado con el terreno que lo rodea según la norma IEEE142 y con un electrodo enterrado a una profundidad de 0.6 m

Radio de influencia (m)	% R de influencia	Resistencia influenciada (Ω)	% R no influenciada	Resistencia no influenciada (Ω)	R_r (Ω)	$R_d(\Omega)$	$R_t(\Omega)$	R_t %	Variación de R_t %
0.0	0.00	R_t	1.00	R_s	0	1.00 R_s	1.00 R_s	100%	
0.1	0.47	R_t	0.53	R_s	0	0.53 R_s	0.53 R_s	53%	47%
0.2	0.62	R_t	0.38	R_s	0	0.38 R_s	0.38 R_s	38%	15%
0.3	0.68	R_t	0.32	R_s	0	0.32 R_s	0.32 R_s	32%	6%
0.4	0.70	R_t	0.30	R_s	0	0.30 R_s	0.30 R_s	30%	2%
0.5	0.72	R_t	0.28	R_s	0	0.28 R_s	0.28 R_s	28%	2%

La grafica que representa los valores de resistencia del cuadro anterior es la siguiente:



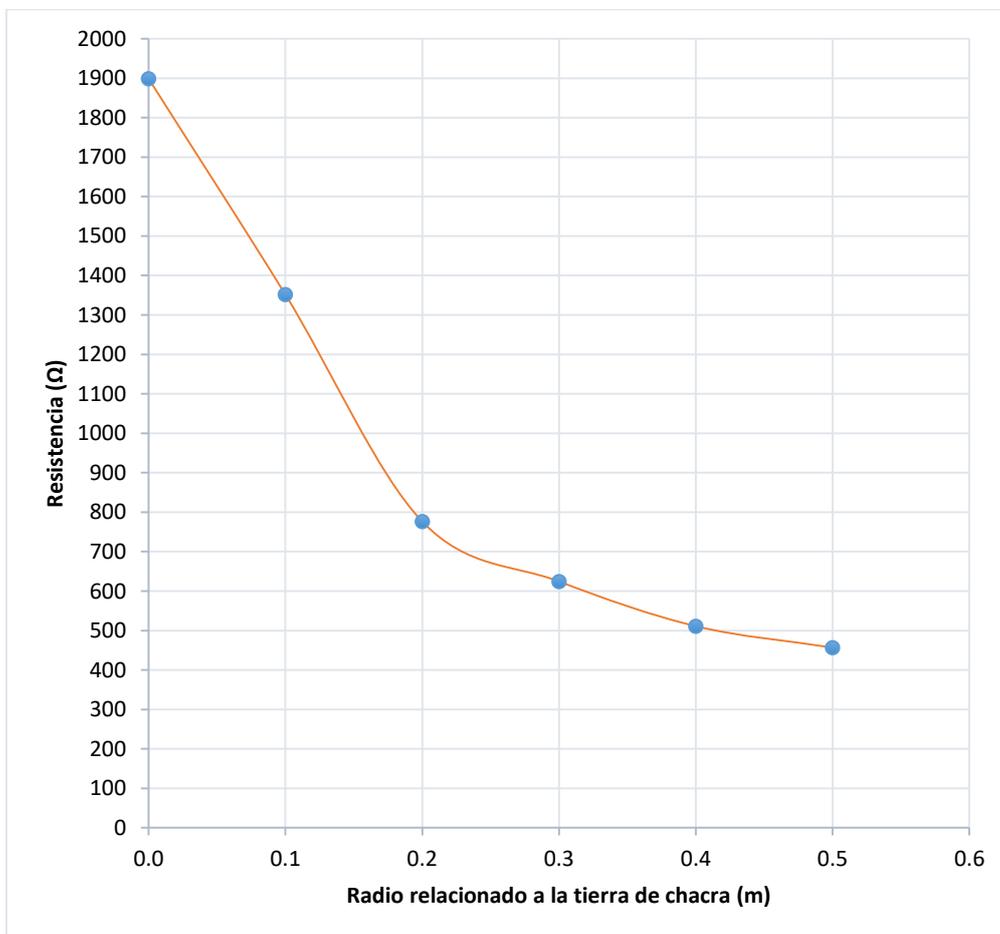
PRIMER ANÁLISIS: Electrodo enterrado a 0.6 m de profundidad

Los resultados de la resistencia de un electrodo de cobre 5/8" de diámetro y el cual fue enterrado a 0.6 m de profundidad en el terreno:

Tabla 8.- Valores de resistencia relacionado con el terreno que lo rodea con un electrodo enterrado a una profundidad de 0.6 m

Radio de influencia (m)	Volumen De tierra (m ³)	Numero de bolsas de tierra	R52%(Ω)	R62%(Ω)	R72%(Ω)	R prom (Ω)	R %	Variación de R %
0.0	0.000	0.00	1926	1874	1896	1898.67	100.00	
0.1	0.021	1.05	1334	1348	1373	1351.67	71.19	28.81
0.2	0.092	4.61	762	775	793	776.67	40.91	30.28
0.3	0.226	11.31	614	624	636	624.67	32.90	8.01
0.4	0.436	21.78	498	511	525	511.33	26.93	5.97
0.5	0.733	36.65	444	460	467	457.00	24.07	2.86

La grafica que representa los valores del cuadro anterior sobre el radio relacionado a la tierra de chacra vs resistencia es:

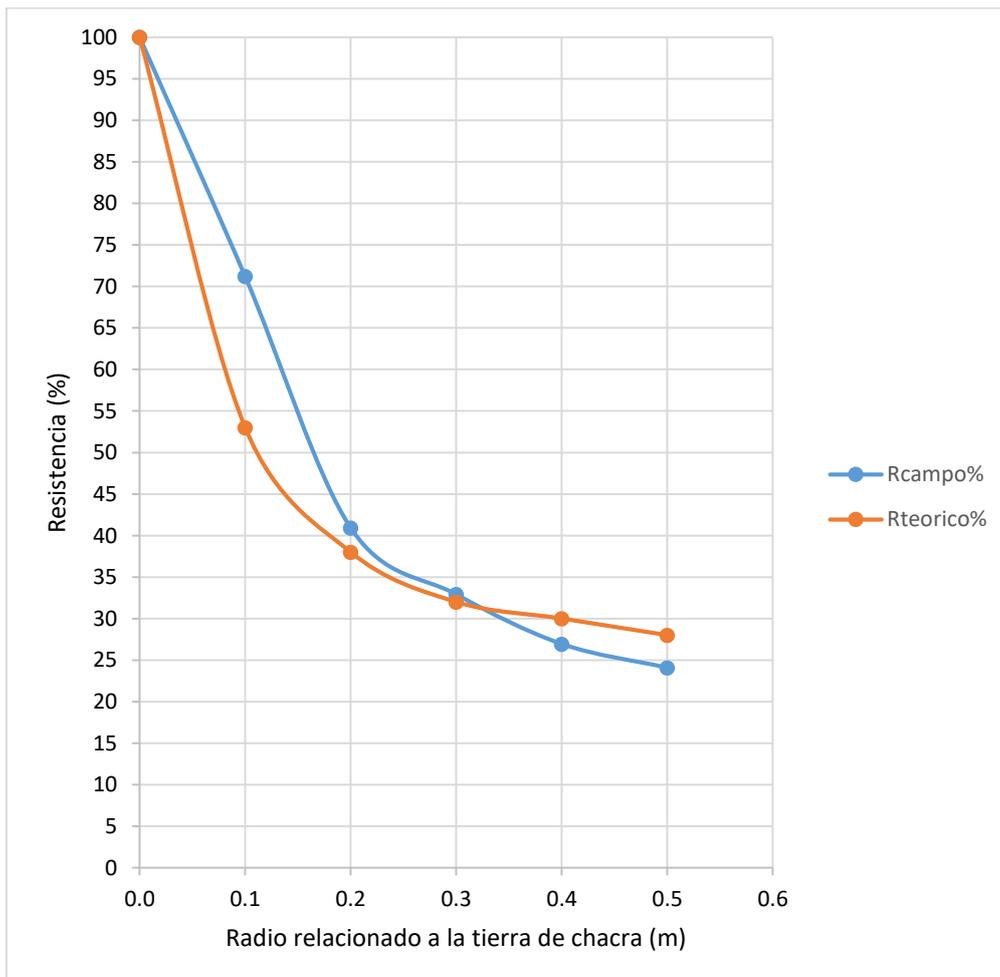


Comparando los porcentajes de resistencia de los valores obtenidos en campo con respecto a los porcentajes de resistencia teórico, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 9.- Cuadro comparativo de la resistencia en porcentaje para un electrodo enterrado a una profundidad de 0.6 m

Radio(m)	R campo%	R teórico%
0.0	100.00	100.00
0.1	71.19	53.00
0.2	40.91	38.00
0.3	32.90	32.00
0.4	26.93	30.00
0.5	24.07	28.00

La siguiente grafica representa los valores del cuadro anterior:



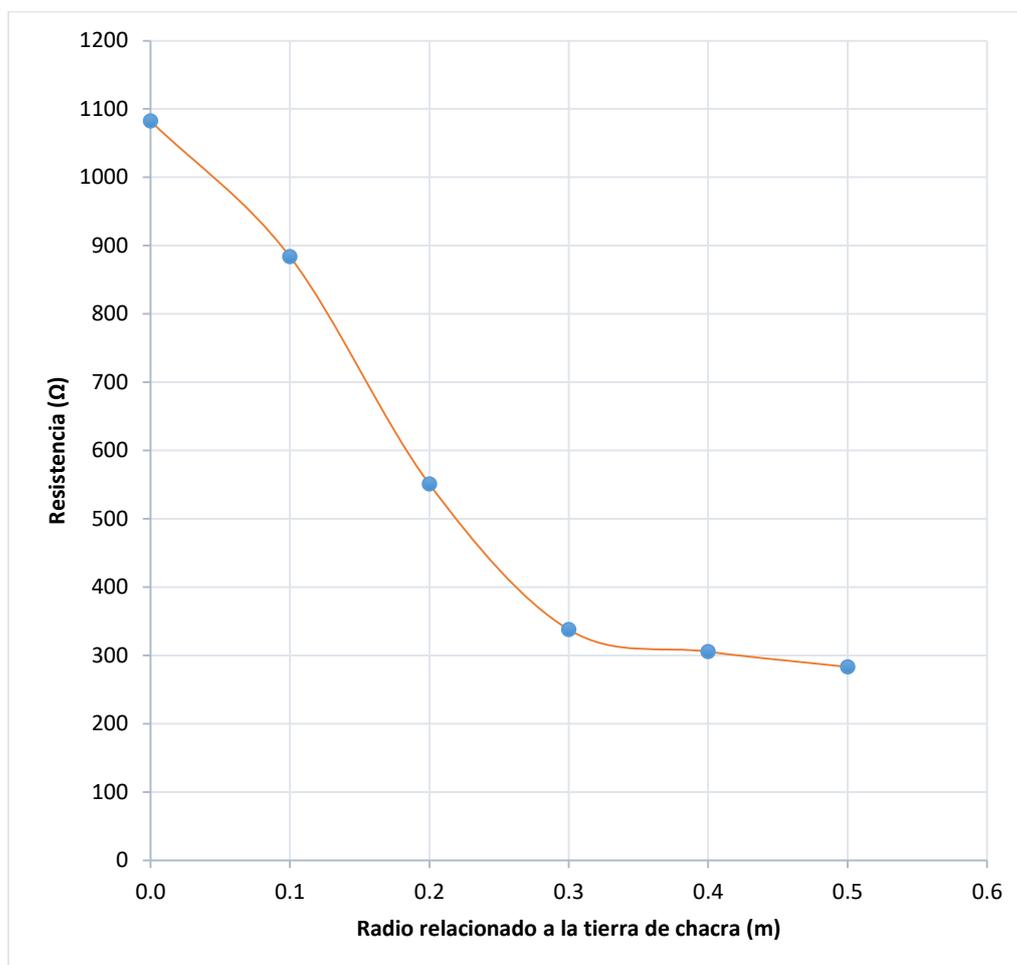
SEGUNDO ANÁLISIS: Electrodo enterrado a 0.9 m de profundidad

Los resultados de la resistencia de un electrodo de cobre 5/8" de diámetro y el cual fue enterrado a 0.9 m de profundidad en el terreno:

Tabla 10.- Valores de resistencia relacionado con el terreno que lo rodea con un electrodo enterrado a una profundidad de 0.9 m

Radio de influencia (m)	Volumen de tierra (m ³)	Numero de bolsas de tierra	R52%(Ω)	R62%(Ω)	R72%(Ω)	R prom	R %	Variación de R %
0.0	0.000	0.00	1103	1076	1069	1082.67	100.00	
0.1	0.030	1.52	886	893	873	884.00	81.65	18.35
0.2	0.130	6.49	541	569	543	551.00	50.89	30.76
0.3	0.311	15.55	330	346	338	338.00	31.22	19.67
0.4	0.586	29.32	304	306	307	305.67	28.23	2.99
0.5	0.969	48.43	278	291	281	283.33	26.17	2.06

La grafica del radio relacionado a la tierra de chacra vs resistencia es:

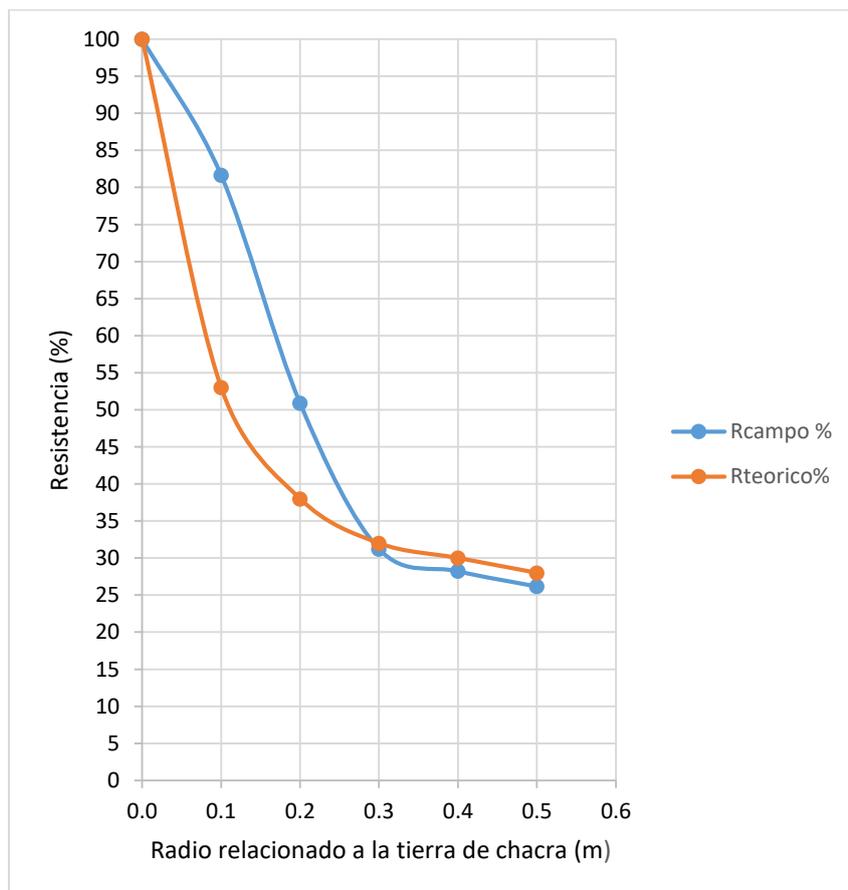


Comparando los porcentajes de resistencia de los valores obtenidos en campo con respecto a los porcentajes de resistencia teórico.

Tabla 11.- Cuadro comparativo de la resistencia en porcentaje para un electrodo enterrado a una profundidad de 0.9 m

Radio(m)	R campo %	R teórico%
0.0	100.00	100.00
0.1	81.65	53.00
0.2	50.89	38.00
0.3	31.22	32.00
0.4	28.23	30.00
0.5	26.17	28.00

La siguiente grafica representa los valores del cuadro anterior:



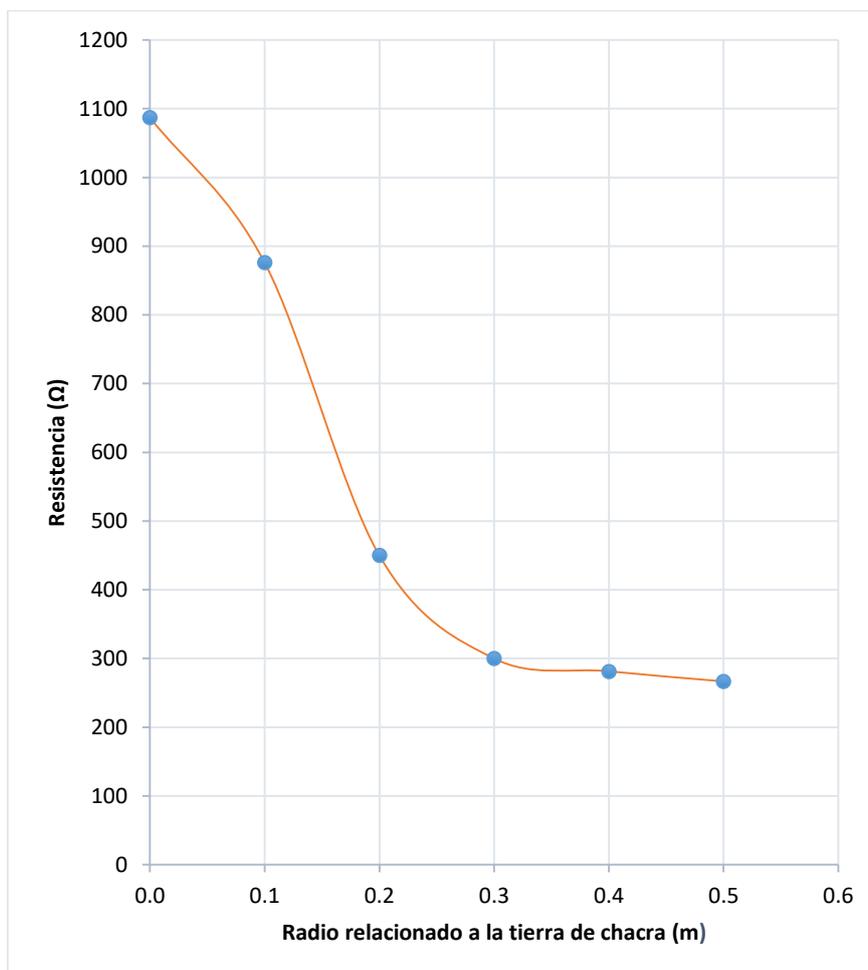
TERCER ANÁLISIS: Electrodo enterrado a 1.2 m de profundidad

Los resultados de la resistencia de un electrodo de cobre de 5/8" de diámetro y el cual fue enterrado a 1.2 m de profundidad en el terreno

Tabla 12.- Valores de resistencia relacionado con el terreno que lo rodea con un electrodo enterrado a una profundidad de 0.9 m

Radio de influencia (m)	Volumen de influencia de tierra (m ³)	Numero de bolsas de tierra	R52% (Ω)	R62% (Ω)	R72% (Ω)	R prom (Ω)	R %	Variación de R %
0.0	0.000	0.00	1088	1079	1095	1087.33	100.00	
0.1	0.040	1.99	879	864	886	876.33	80.59	19.41
0.2	0.168	8.38	462	447	467	458.67	42.18	38.41
0.3	0.396	19.79	301	303	296	300.00	27.59	14.59
0.4	0.737	36.86	278	286	280	281.33	25.87	1.72
0.5	1.204	60.21	272	260	268	266.67	24.52	1.35

La grafica del radio relacionado a la tierra de chacra vs resistencia es:

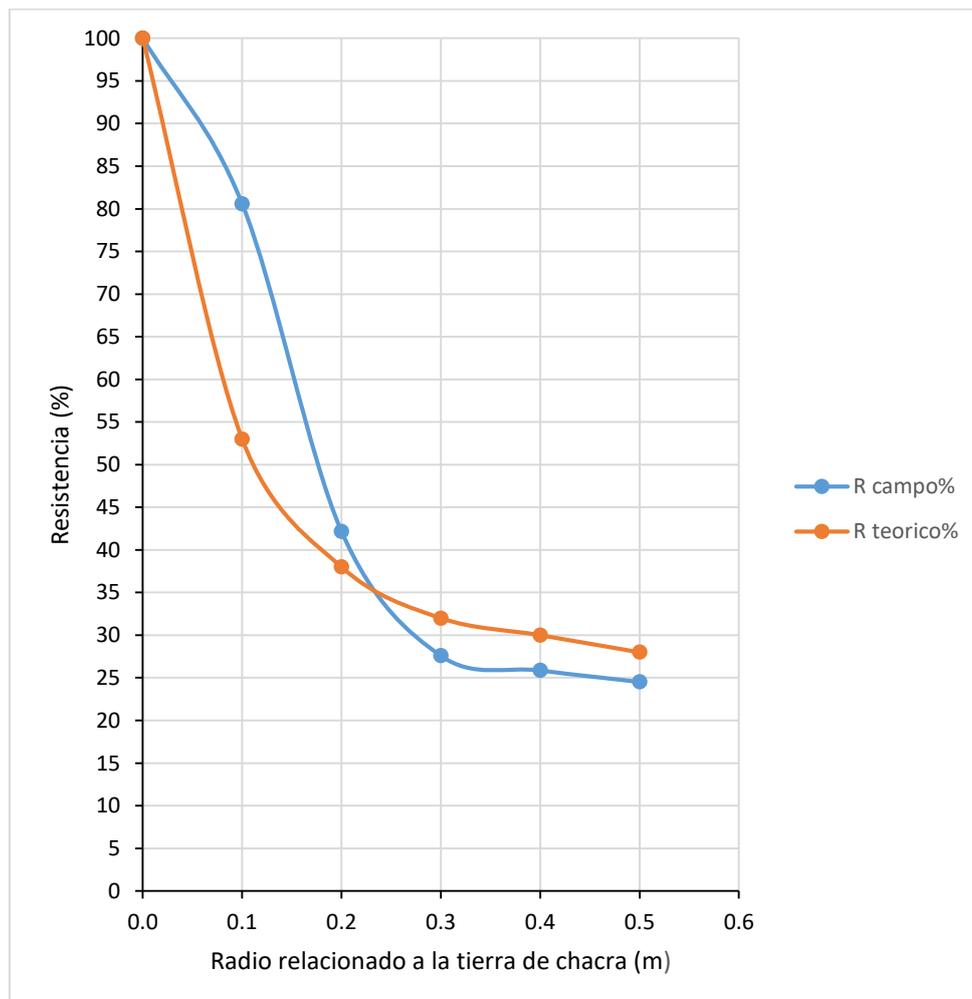


Comparando los porcentajes de resistencia de los valores obtenidos en campo con respecto a los porcentajes de resistencia teórico.

Tabla 13.- Cuadro comparativo de la resistencia en porcentaje para un electrodo enterrado a una profundidad de 1.2 m

Radio (m)	R campo%	R teórico%
0.0	100.00	100.00
0.1	80.59	53.00
0.2	42.18	38.00
0.3	27.59	32.00
0.4	25.87	30.00
0.5	24.52	28.00

La siguiente grafica representa los valores del cuadro anterior:



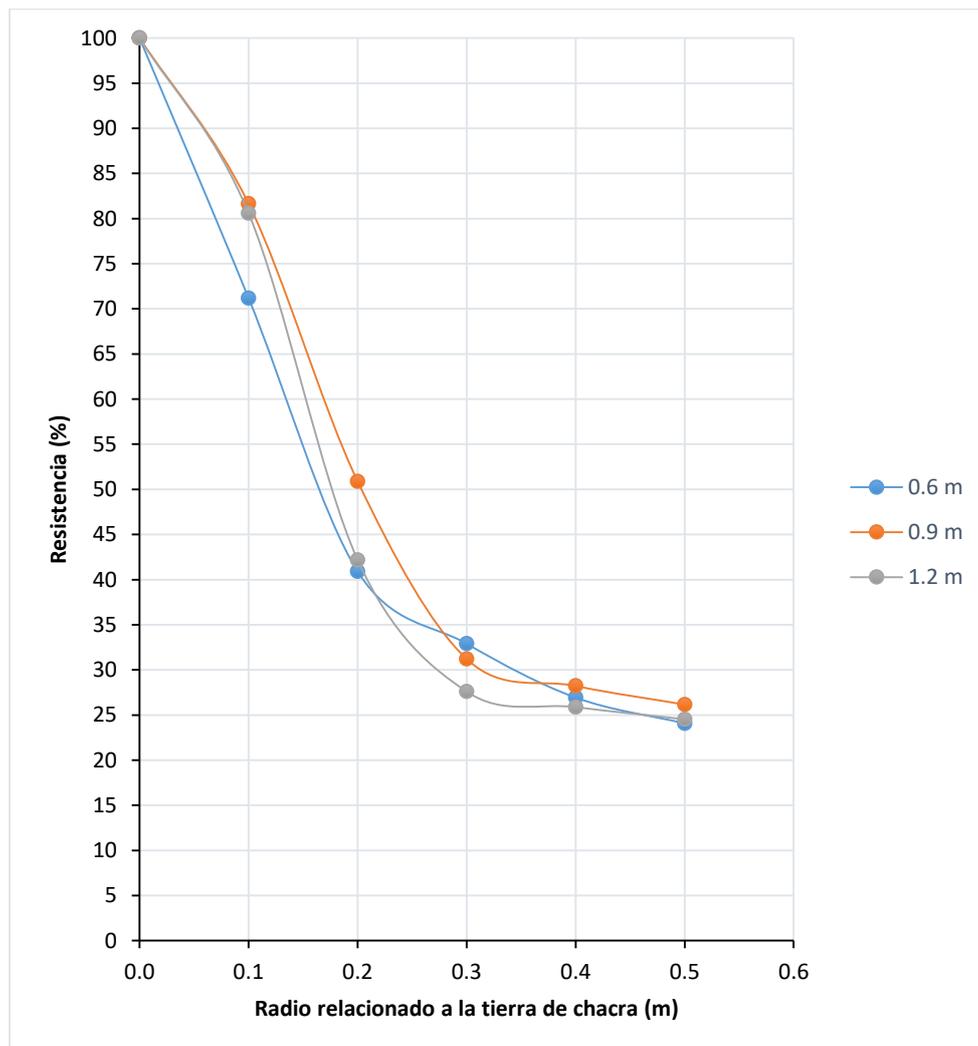
CUARTO ANÁLISIS: Electrodo enterrados a 0.6 m, 0.9 m y 1.2 m de profundidad.

Se muestra el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 14.- Cuadro comparativo de resistencias porcentuales con electrodos enterrados a una profundidad de 0.6 m, 0.9 m y 1.2 m

Radio	0.6 m	0.9 m	1.2 m
0.0	100.00	100.00	100.00
0.1	71.19	81.65	80.59
0.2	40.91	50.89	42.18
0.3	32.90	31.22	27.59
0.4	26.93	28.23	25.87
0.5	24.07	26.17	24.52

La siguiente grafica representa los valores del cuadro anterior:



QUINTO ANÁLISIS: Electrodo enterrados a 0.6 m, 0.9 m, 1.2 m y 3.0 m de profundidad.

Analizando los valores porcentuales analizados para electrodos de diámetro 5/8" y enterrados a una profundidad de 0.6 m, 0.9 m, 1.2 m y 3.0 m.

Tabla 15.- Cuadro comparativo de resistencias porcentuales con electrodos enterrados a una profundidad de 0.6 m, 0.9 m y 1.2 m analizando resistencia promedio, máximos y mínimos

Radio (m)	Resistencia % de un electrodo de longitud 0.6 m	Resistencia % de un electrodo de longitud 0.9 m	Resistencia % de un electrodo de longitud 1.2 m	Resistencia % de un electrodo de longitud 3.0 m	Resistencia % promedio	Variación % máxima de resistencia	Variación % mínima de resistencia	Diferencia % entre variación máxima y mínima
0.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00			
0.1	71.19	81.65	80.59	53.00	71.61	47.00	18.35	28.65
0.2	40.91	50.89	42.18	38.00	43.00	62.00	49.11	12.89
0.3	32.90	31.22	27.59	32.00	30.93	72.41	67.10	5.31
0.4	26.93	28.23	25.87	30.00	27.76	74.13	70.00	4.13
0.5	24.07	26.17	24.52	28.00	25.69	73.83	72.00	1.83

Se puede concluir que a medida que coloca tierra de chacra alrededor del electrodo (independientemente de la longitud del electrodo enterrado) el valor de la resistencia disminuye.

A medida que aumenta el volumen de tierra de chacra la variación porcentual de la resistencia disminuye y llega a saturarse.

De la tabla adjunta para electrodos enterrados a una profundidad de 0.6 m, 0.9 m, 1.2 m y 3.0 m se observa lo siguiente:

1. EL valor inicial de la resistencia para un terreno sin tierra de chacra se considera como el 100 %
2. Si colocamos tierra de chacra en un radio de 0.1 m alrededor del electrodo la resistencia representaría en promedio 71.61 % del valor inicial
3. Si colocamos tierra de chacra en un radio de 0.2 m alrededor del electrodo la resistencia representaría en promedio 43.00 % del valor inicial
4. Si colocamos tierra de chacra en un radio de 0.3 m alrededor del electrodo la resistencia representaría en promedio 30.93 % del valor inicial
5. Si colocamos tierra de chacra en un radio de 0.4 m alrededor del electrodo la resistencia representaría en promedio 27.76 % del valor inicial

6. Si colocamos tierra de chacra en un radio de 0.5 m alrededor del electrodo la resistencia representaría en promedio 25.69 % del valor inicial

SEXTO ANÁLISIS: Electrodo enterrado a 2.4 m

Para un pozo de puesta a tierra vertical con un electrodo de longitud de 2.4 m y de 5/8" de diámetro se utilizará como referencia los valores promedio de resistencia de la tabla 15.

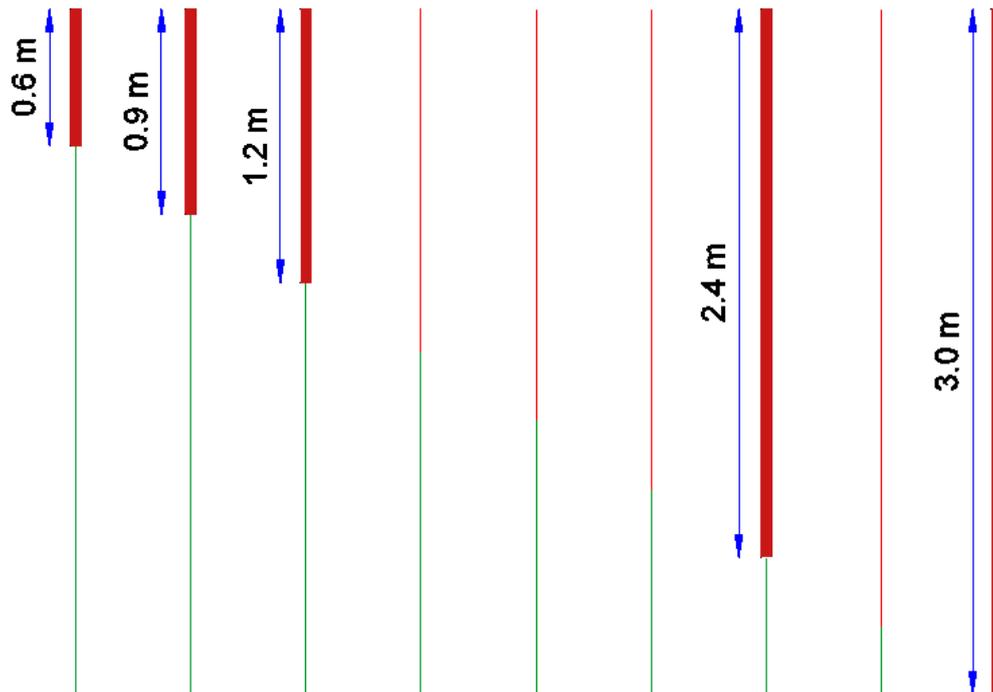


Figura 18.- Electrodos a escala para pozos de puesta a tierra vertical

Fuente: Autoría propia

Se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 16.- Proyección de valores de resistencia porcentuales para un electrodo de 2.4 m

Profundidad del electrodo enterrado (m)	Radio (m)	Volumen (m ³)	Cantidad de bolsas (1m ³ =50 bolsas)	Redondear cantidad de bolsas (unidad)	Precio de una bolsa de tierra (soles)	Precio final (soles)	Resistencia % promedio
2.4	0.0	0.000	0.00	0	7.5	0.00	100.00
2.4	0.1	0.077	3.87	4	7.5	30.0	71.61
2.4	0.2	0.318	15.92	16	7.5	120.0	43.00
2.4	0.3	0.735	36.76	37	7.5	277.5	30.93
2.4	0.4	1.340	67.02	68	7.5	510.0	27.76
2.4	0.5	2.147	107.34	108	7.5	810.0	25.69

A continuación se muestra el bosquejo de pozo de puesta a tierra vertical con un electrodo de 2.4 m de longitud y de diámetro de 5/8" con tierra de chacra alrededor hasta un radio de 0.5 m, el cual genera un volumen de 2.147 m³.

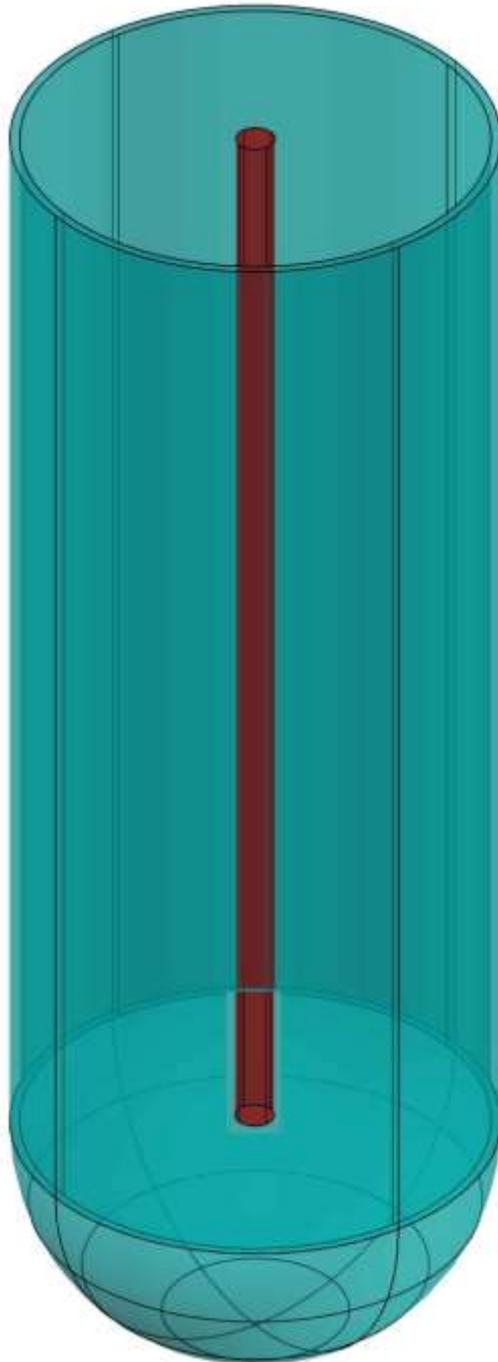


Figura 19.- Bosquejo de pozo de puesta a tierra vertical con un electrodo de 2.4 m de longitud y de diámetro de 5/8" con tierra de chacra alrededor hasta un radio de 0.5 m.

Fuente: Autoría propia

4.5 Presupuesto de un pozo de puesta a tierra vertical en función del volumen óptimo del material de baja resistividad circundante al electrodo

Análisis de la fórmula de la resistencia de un pozo de puesta a tierra, el valor de la resistencia es:

$$R = \rho \left[\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 \right] / 2\pi L$$

- R: Resistencia (Ω)
- ρ : Resistividad ($\Omega.m$)
- L: longitud del electrodo enterrado (m)
- d: diámetro del electrodo (m) , en este caso 5/8" (0.015875 m)

La longitud (L) del electrodo hace variar el valor de $[\ln(8L/d) - 1]/2\pi L$ el cual será representado por FE y este a su vez hace variar la resistencia del pozo de puesta a tierra vertical. Para ello hallaremos los valores del factor del electrodo (FE).

$$FE = [\ln(8L/d) - 1]/2\pi L$$

En la tabla 17 se hallan los valores de FE para cada valor de longitud del electrodo (L), siendo de valor del diámetro igual a 5/8" (0.015875 m) .Estos valores son los siguientes:

Tabla 17.- Valores del factor del electrodo (FE)

Ítem	d (m)	L (m)	FE (1/m)
1	0.015875	0.4	1.713
2	0.015875	0.8	0.995
3	0.015875	1.2	0.717
4	0.015875	1.6	0.566
5	0.015875	2.0	0.471
6	0.015875	2.4	0.404
7	0.015875	2.8	0.355
8	0.015875	3.2	0.318
9	0.015875	3.6	0.288
10	0.015875	4.0	0.263
11	0.015875	4.4	0.242
12	0.015875	4.8	0.225

- Sin embargo los valores menores a 2.4 m para la longitud del electrodo no cumplen con la normativa del Código Nacional de Electricidad por lo cual no serían viables.
- Así como los valores mayores a 2.4 m para la longitud del electrodo no son comerciables y además involucraría hacer un pozo a tierra vertical de mayor profundidad y de mayor costo, por lo tanto tampoco sería viable
El valor de $FE = 0.404 (1/m)$ para un $L = 2.4$ y $d = 5/8'' (0.015875 m)$ cumple con la normativa, es un electrodo comercial y de costo accesible.

4.5.1 Presupuesto en terrenos con una resistividad inicial de 61.88 $\Omega.m$ a menos

Teniendo en consideración que el Código Nacional de Electricidad para una puesta a tierra con un solo electrodo exige valores de resistencia igual o menores a 25 Ω , entonces:

$$0.404 \left(\frac{\Omega}{\Omega.m} \right) \times \text{Resistividad} \leq 25 \Omega$$

$$\text{Resistividad} \leq 61.88 \Omega.m$$

Con lo cual un terreno de resistividad no mayor a 61.88 $\Omega.m$ y que al enterrar el electrodo con un factor del electrodo de 0.404 entonces el valor de la resistencia del pozo a tierra será menor a 25 Ω , por lo tanto se estará cumpliendo lo exigido por el Código Nacional de Electricidad.

A continuación se muestra la siguiente tabla de valores:

Tabla 18.- Valores de la resistividad del terreno que al enterrar el electrodo con un factor de reducción al 0.404 tendrán una resistencia menor a 25 Ω .

Ítem	Resistividad(Ω .m)	Factor del electrodo(1/m)	Resistencia(Ω)	Menor a 25 Ω
1	5	0.404	2.02	SI
2	10	0.404	4.04	SI
3	15	0.404	6.06	SI
4	20	0.404	8.08	SI
5	25	0.404	10.1	SI
6	30	0.404	12.12	SI
7	35	0.404	14.14	SI
8	40	0.404	16.16	SI
9	45	0.404	18.18	SI
10	50	0.404	20.2	SI
11	55	0.404	22.22	SI
12	60	0.404	24.24	SI
13	65	0.404	26.26	NO
14	70	0.404	28.28	NO
15	75	0.404	30.3	NO
16	80	0.404	32.32	NO

RECOMENDACIÓN:

Si el terreno natural donde se construirá el pozo de puesta a tierra tiene de resistividad 61.88 Ω .m a menos solo será necesario:

1. Electrodo de 2.4 m de longitud y 5/8"
2. Conector de cobre para un electrodo de 2.4 m de longitud y 5/8"
3. Caja de registro de cemento o polipropileno

En la figura 20 se muestra un pozo de puesta a tierra vertical en un terreno de resistividad no mayor a $61.88 \Omega.m$:

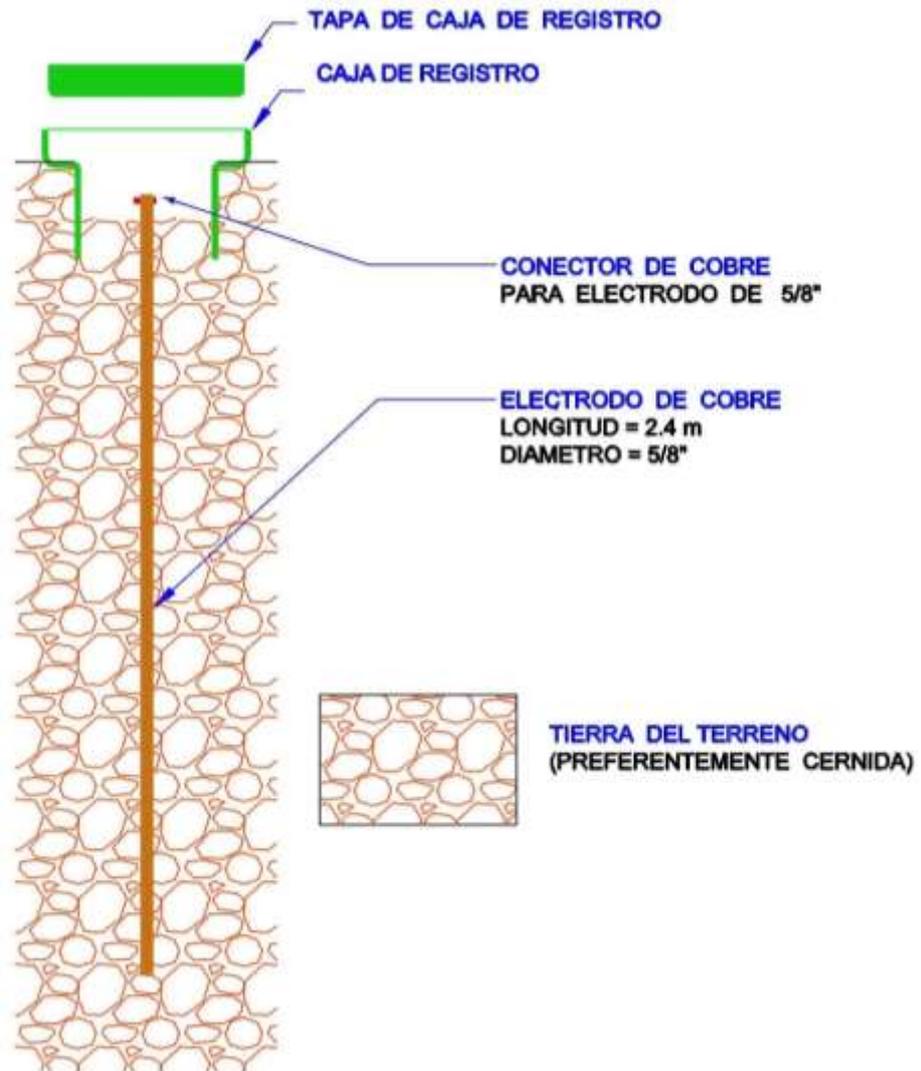


Figura 20.- Vista frontal de un pozo a tierra vertical en un terreno de resistividad no mayor a $61.88 \Omega.m$

Fuente: Autoría propia

PRESUPUESTO 1

Tabla 19.- Presupuesto de materiales según precios de SODIMAC (ver anexos)

Ítem	Materiales	Uso obligatorio	Cantidad	Unidad	Precio unitario (soles)	Precio total (soles)
1	Electrodo de cobre	SI	1	unidad	199.9	199.9
2	Conector de cobre	SI	1	unidad	8.9	8.9
3	Caja de registro	SI	1	unidad	34.9	34.9
						243.7

4.5.2 Presupuesto en terrenos con una resistividad inicial de 61.88 a 240.87 $\Omega.m$

Si la resistividad del terreno es mayor a 61.88 $\Omega.m$ entonces se necesita disminuir la resistividad con tierra de chacra, entonces:

$$0.404 \left(\frac{\Omega}{\Omega.m} \right) \times \text{Resistividad (sin tierra de chacra)} \leq 25 \Omega$$

Si colocamos tierra de chacra en un radio de 0.5 m alrededor del electrodo la resistencia representaría en promedio 25.69 % del valor inicial, quedando de la siguiente manera:

$$25.69 \% \left[0.404 \left(\frac{\Omega}{\Omega.m} \right) \times \text{Resistividad (con tierra de chacra)} \right] \leq 25 \Omega$$

$$\text{Resistividad (con tierra de chacra)} \leq 240.87 \Omega.m$$

A continuación se muestra la siguiente tabla de valores:

Tabla 20.- Valores de la resistividad del terreno que al enterrar el electrodo con un factor de reducción al 0.404 tendrán una resistencia menor a 25 Ω .

Ítem	Resistividad ($\Omega.m$)	Factor del electrodo(1/m)	Resistencia sin tierra de chacra(Ω)	Porcentaje de reducción (%)	Resistencia con tierra de chacra(Ω)	Menor a 25 Ω
1	65	0.404	26.3	25.69	6.75	SI
2	75	0.404	30.3	25.69	7.78	SI
3	85	0.404	34.3	25.69	8.82	SI
4	95	0.404	38.4	25.69	9.86	SI
5	105	0.404	42.4	25.69	10.90	SI
6	115	0.404	46.5	25.69	11.94	SI
7	125	0.404	50.5	25.69	12.97	SI
8	135	0.404	54.5	25.69	14.01	SI
9	145	0.404	58.6	25.69	15.05	SI
10	155	0.404	62.6	25.69	16.09	SI
11	165	0.404	66.7	25.69	17.12	SI
12	175	0.404	70.7	25.69	18.16	SI
13	185	0.404	74.7	25.69	19.20	SI
14	195	0.404	78.8	25.69	20.24	SI
15	205	0.404	82.8	25.69	21.28	SI
16	215	0.404	86.9	25.69	22.31	SI
17	225	0.404	90.9	25.69	23.35	SI
18	235	0.404	94.9	25.69	24.39	SI
19	245	0.404	99.0	25.69	25.43	NO
20	255	0.404	103.0	25.69	26.47	NO

RECOMENDACIÓN:

Si el terreno natural donde se construirá el pozo de puesta a tierra tiene de resistividad entre 61.88 a 240.87 Ω .m será necesario:

1. Electrodo de 2.4 m de longitud y 5/8"
2. Conector de cobre para un electrodo de 2.4 m de longitud y 5/8"
3. Caja de registro de cemento o polipropileno
4. Tierra de chacra alrededor del electrodo en un radio de 0.5 m, es decir 2.147 m³ para lo cual se requiere 108 bolsas de tierra de chacra (Ver tabla 16)

En la figura 21 se muestra un pozo a tierra vertical en un terreno de 61.88 a 240.87 Ω .m al cual se le ha añadido tierra de chacra.

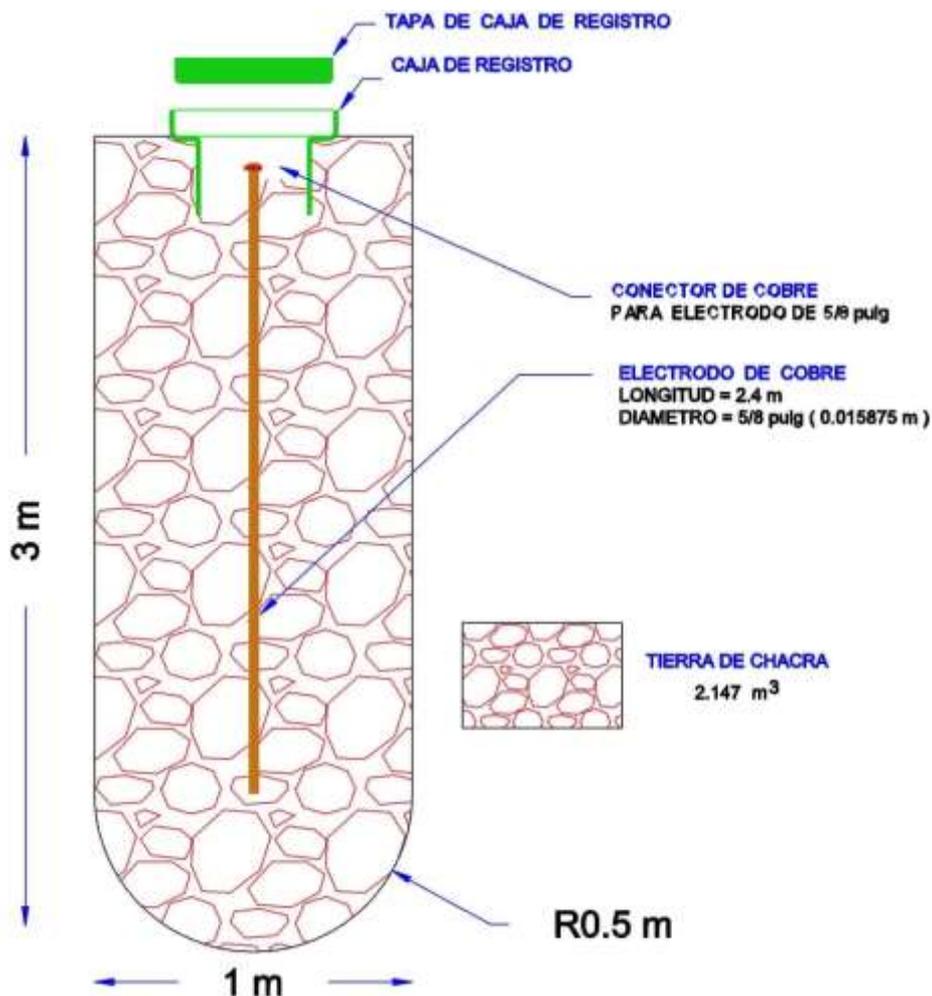


Figura 21.- Vista frontal de un pozo a tierra vertical con tierra de chacra alrededor del electrodo en un radio de 0.5 m en un terreno de resistividad 61.88 a 240.87 Ω .m

Fuente: Autoría propia

PRESUPUESTO 2

Tabla 21.- Presupuesto de materiales según precios de SODIMAC (ver anexos)

Ítem	Materiales	Uso obligatorio	Cantidad	Unidad	Precio unitario (soles)	Precio total (soles)
1	Electrodo de cobre	SI	1	unidad	199.9	199.9
2	Conector de cobre	SI	1	unidad	8.9	8.9
3	Caja de registro	SI	1	unidad	34.9	34.9
4	Tierra de chacra	NO	108	bolsas	7.5	810.0
						1053.7

4.5.3 Presupuesto en terrenos con una resistividad inicial de 240.87 Ω .m a más en el cual no se ha optimizado la cantidad de materiales

Se tomará como referencia el trabajo de investigación de (Jiancarlos & Edsgar, 2019) y los precios de los materiales para un pozo de puesta a tierra de la empresa Sodimac (Ver anexos).

RECOMENDACIÓN:

1. Electrodo de 2.4 m de longitud y 5/8"
2. Conector de cobre para un electrodo de 2.4 m de longitud y 5/8"
3. Caja de registro de cemento o polipropileno
4. Tierra de chacra en 3 m³, se requiere de 150 bolsas de 30 kg.
5. Cemento conductivo en 50 kg, se requiere 02 bolsas de 25 kg
6. Bentonita en 120 kg, se requiere 04 bolsas de 30 kg
7. Sal industrial en 120 kg, se requiere 05 bolsas de 25 kg

En la figura 22 se puede apreciar los materiales con los cuales se construye el pozo de puesta a tierra, los cuales son los siguientes:

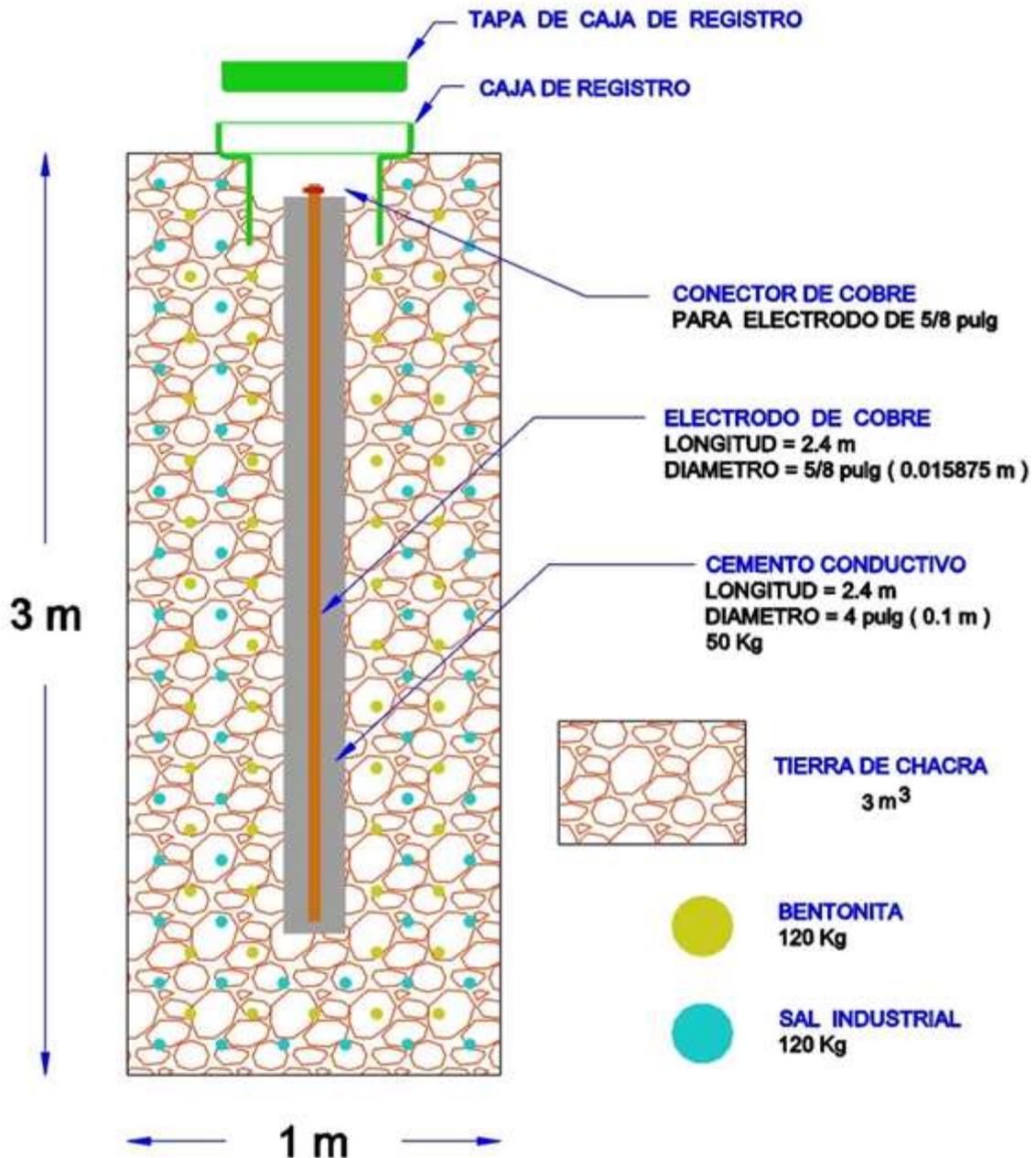


Figura 22.- Pozo de puesta a tierra vertical con tierra de chacra y elementos químicos en terrenos con una resistividad inicial de 240.87 $\Omega.m$ a más.

Fuente: Jiancarlos & Edsgar, 2019

PRESUPUESTO 3

Tabla 22.- Presupuesto de los materiales para la construcción de pozo de puesta tierra vertical según precios de la empresa SODIMAC (Ver anexos).

ITEM	MATERIALES	USO OBLIGATORIO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Electrodo de cobre	SI	1	unidad	199.90	199.90
2	Conector de cobre	SI	1	unidad	8.90	8.90
3	Caja de registro	SI	1	unidad	35.90	35.90
4	Tierra de chacra	NO	150	Bolsas	7.50	1125.00
5	Cemento conductivo	NO	2	Bolsas	124.90	249.80
6	Bentonita	NO	4	Bolsas	19.90	39.80
7	Sal industrial	NO	5	Bolsas	5.59	27.95
						1687.25

El presupuesto es de 1687.25 soles para la construcción de un pozo a tierra vertical.

RESUMEN DE PRESUPUESTOS

Tabla 23.- Cuadro comparativo de los 03 presupuestos según la resistividad inicial del terreno y el volumen óptimo del material de baja resistividad circundante al electrodo

Ítem	Resistividad del terreno ($\Omega.m$)	Asunto	Presupuesto (soles)	Presupuesto (%)	Diferencia de presupuesto (soles)	Diferencia de presupuesto (%)
1	0 a 61.88	Presupuesto 3	1687.25	100.00	0.00	0.00
2	61.88 a 240.87	Presupuesto 2	1053.75	62.45	633.50	37.55
3	240.87 a mas	Presupuesto 1	243.7	14.44	1443.55	85.56

V. DISCUSIÓN

1. Para medir la resistencia de un pozo de puesta a tierra vertical se utiliza el método del 62%, el cual está indicada de manera explícita en la “NTP 370.310 SEGURIDAD ELÉCTRICA. Certificación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en edificaciones de viviendas”. Sin embargo en la “NTP 370.052 SEGURIDAD ELÉCTRICA. Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra” y la “NTP 370.304 INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN EDIFICACIONES PARA VIVIENDAS. Verificación inicial y periódica” da las indicaciones de un procedimiento para medir la resistencia de tierra en el cual tiene la misma lógica que el método del 62% pero en lugar de colocar el electrodo auxiliar más cercana al electrodo del pozo al 62% procede a colocar el electrodo auxiliar al 50%.
2. Para determinar los valores de resistividad de un terreno el Código Nacional de Electricidad Utilización detalla una tabla de nombre “Rango de resistividad del suelo” donde se indica que la valores de resistividad para 05 tipos de suelos. Estos valores de resistividad son teóricos y solo deben tomarse como referencia siendo necesario siempre medir la resistividad del terreno en campo, utilizando alguno de los 05 métodos mencionados en la IEEE 81 y siendo el método de Wenner el más utilizado.
3. Se debe diferenciar el método para la reducción de la resistencia eléctrica por cambio de terreno por uno de menor ohmiaje ya sea con tierra de chacra o cemento conductor del método por tratamiento químico del suelo con cloruro de sodio (sal), bentonita o gel para puesta a tierra. Si bien ambos métodos cumplen con reducir el valor de la resistencia, en el primer caso se cambia el terreno mientras que en el segundo se le adiciona químicos para mejorar un terreno. Siendo posible que ambos métodos sean usados al mismo tiempo y logrando una mayor reducción de la resistencia.

4. La NTP 370.056 y la NTP 370.310 recomiendan que el ancho del pozo de puesta a tierra sea de 1 metro (0.5 m de radio) sin dar una justificación técnica. Con los resultados hallados en esta investigación se observa que si el pozo de puesta a tierra vertical contiene tierra de chacra en un radio mayor a 0.5 m alrededor del electrodo entonces la resistividad del terreno y la resistencia ya no disminuyen de manera significativa.

5. La medida de resistividad no es obligatoria en ninguna norma peruana ni internacional debido a ello las personas que construyen pozos de puesta a tierra no la realizan. En esta investigación se demuestra que si la resistividad del terreno es baja, se puede ahorrar en materiales y por ende el presupuesto disminuye.

VI. CONCLUSIONES

1. El método utilizado para medir la resistencia de un pozo de puesta a tierra vertical es el método del 62 %, el cual se detalla en la Norma Técnica Peruana “370.310 SEGURIDAD ELÉCTRICA. Certificación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en edificaciones de viviendas”. El método más utilizado para medir la resistividad de un terreno es el método de Wenner el cual se detalla en la norma IEEE 80.
2. Los valores de resistividad para distintos terrenos pueden ser hallados por 05 métodos: (1) Las muestras de suelo y la información geológica (2) Método de variación de profundidad (3) Método de dos puntos (4) Método de Wenner (5) Método Schlumberger-Palmer. Para valores teóricos de resistividad el Código Nacional Eléctrico (Utilización) detalla una tabla de nombre “Rango de resistividad del suelo”, en esta tabla el valor de terreno orgánico mojado (tierra de chacra) es de 10 Ω m.
3. La tierra de chacra tiene una resistividad promedio de 10 Ω m por ello es el material de baja resistividad para lograr un volumen óptimo de material circundante al electrodo en la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical, debido a su bajo costo en comparación con el cemento conductor que puede llegar a tener una resistividad de 0.5 Ω m.
4. Un pozo de puesta a tierra vertical con tierra de chacra con un radio de 0.5 m alrededor del electrodo de 2.4 m de longitud y de 5/8” de diámetro que genera un volumen de 2.147 m³ tiene una resistencia de 25.69% del valor inicial de la resistencia si este no tuviera tierra de chacra, es decir tiene reducción de resistencia de 100% - 25.69% = 74.31 %. La resistencia de un pozo de puesta a tierra vertical disminuye a medida que aumenta el volumen de tierra de chacra alrededor del electrodo. Sin embargo existe un punto de saturación en el cual la tierra de chacra ya no producen una reducción significativa de la resistencia.

5. Según la resistividad del terreno se puede optimizar el presupuesto de un pozo de puesta a tierra. Para un terreno de resistividad de 0 a 61.88 Ω .m el presupuesto 1 sería de 243.7 soles en donde solo sería necesario 01 electrodo, 01 conector y 01 caja de registro. Para un terreno de resistividad de 61.88 a 240.87 Ω .m el presupuesto 2 sería de 1053.75 soles en donde sería necesario 01 electrodo, 01 conector, 01 caja de registro y 2.147 m³ (108 bolsas de 30 kg) de tierra de chacra. Para terrenos de resistividad mayores a 240.87 Ω .m y en el cual no se optimizó la cantidad de materiales por lo tanto el presupuesto 3 sería de 1687.25 soles en donde sería necesario 01 electrodo, 01 conector, 01 caja de registro y 3 m³ (150 bolsas de 30 kg) de tierra de chacra, 02 bolsas de 25 kg de cemento conductivo, 04 bolsas de 30 kg de bentonita y 05 bolsas de 25 kg de sal industrial. El presupuesto 1 tiene un ahorro de 85.56 % y el presupuesto 2 tiene un ahorro de 37.55 % con respecto al valor del presupuesto 3.

VII. RECOMENDACIONES

1. Las normas técnicas peruanas no son de uso obligatorio pero son de uso recomendable para construir o dar un servicio de calidad.
2. El método más recomendado para medir la resistividad de un terreno antes de su construcción es el método de Wenner.
3. El uso de cemento conductivo es recomendable debido a que la resistividad de este material es de hasta $0.5 \Omega.m$, lo cual puede reducir de manera notable la resistividad del terreno que rodea al electrodo y por lo tanto puede reducir la resistencia del pozo de puesta a tierra.
4. La Norma Técnica Peruana "370.052 SEGURIDAD ELECTRICA. Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra" recomienda que de preferencia se use el mismo terreno pero que este pase por un proceso de cernido, de esta manera se puede eliminar las piedras o elementos que aumente la resistividad del terreno. Sin embargo también menciona la posibilidad del uso de tierra de chacra de ser necesario.
5. Se recomienda que los materiales sean de calidad y se han adquiridos en tiendas que aseguren la autenticidad de estos.

REFERENCIAS

- Jiancarlos, V., & Edsgar, C. (2019). *Variación de la resistencia en función de los materiales empleados en la construcción de un pozo a tierra vertical*. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú.
- Rolando, C., & Isaías, Q. (2015). *Diagnóstico y mejoramiento de puesta a tierra en los primarios de distribución de la empresa eléctrica Ambato S.A. en la zona de concesión de la provincia de Tungurahua para que opere el sistema eléctrico con buena calidad de energía*. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Carlos, C. (2014). *Sistema puesta a tierra menor a 02 ohmios para protección de equipos electrónicos, contra descargas eléctricas, en entidades financieras*. Universidad Nacional de Huancavelica, Pampas, Perú.
- Emerson, D., & Willy, M. (2013). *Diseño del sistema de puesta a tierra de la estación repartidora El Alisal para sistemas de telecomunicaciones de Movistar*. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.
- Heberk, H. (2012). *Diseño de puesta a tierra en la industria gráfica Hermenca, La Paz*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Efraín, T. (2008). *Prácticas y uso de puestas a tierra en redes eléctricas de baja tensión; mejoramiento de las puestas a tierra - tratamiento mediante insumos químicos*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Manuel, H. (2008). *Sistema de puesta a tierra y protección para sistemas de telecomunicaciones*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
- Geraldo, K. (2010). *Aterramiento Eléctrico*. Lima, Perú: Geraldo Kinderman.
- Juan, M. (2001). *Puesta a tierra en edificaciones y en instalaciones eléctricas*. Madrid, España: Parafino.
- Fluke Corporation. (2017). *Resistencia de puesta a tierra*. Everertt, Estados Unidos: Fluke Corporation.

- Chauvin Arnoux. (2015). *Guía de medición de tierra*. Barcelona, España: Chauvin Arnoux.
- Procobre. (1999). *Malla a tierra*. Santiago de Chile, Chile: Procobre.
- MINEM. (2006). *Código Nacional de Electricidad (Utilización)*. Lima, Perú: Ministerio de Energía y Minas.
- MINEM. (2011). *Código Nacional de Electricidad Suministro*. Lima, Perú: Ministerio de Energía y Minas.
- NTP 370.052. (1999). *SEGURIDAD ELÉCTRICA. Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra*. Lima, Perú: Indecopi.
- NTP 350.053. (1999). *SEGURIDAD ELECTRICA. Elección de los materiales eléctricos en las instalaciones interiores para puesta a tierra. Conductores de protección de cobre*. Lima, Perú: Indecopi.
- NTP 370.055. (1999). *SEGURIDAD ELECTRICA. Sistema de puesta a tierra. Glosario de términos*. Lima, Perú: Indecopi.
- NTP 370.056. (1999). *SEGURIDAD ELECTRICA. Electrodo de cobre para puesta a tierra*. Lima, Perú: Indecopi.
- NTP 370.304. (2012). *INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN EDIFICACIONES PARA VIVIENDAS. Verificación inicial y periódica*. Lima, Perú: Indecopi.
- NTP 370.310. (2013). *SEGURIDAD ELÉCTRICA. Certificación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en edificaciones de viviendas*. Lima, Perú: Indecopi.
- IEEE 80. (2013). *Guide for Safety in AC Substation Grounding*. Nueva York, Estados Unidos: American National Standards Institute.
- IEEE 81. (2013). *Guide for Measuring Earth Resistivity , Ground Impedance , and Earth Surface Potentials of a Ground System*. Nueva York, Estados Unidos: American National Standards Institute.
- IEEE 142. (2007). *Grounding of Industrial and Commercial Power System*. Nueva York, Estados Unidos: American National Standards Institute.

NFPA 70. (2020). *National Electrical Code*. Massachusetts, Estados Unidos:
National Fire Protection Association.

NESC. (2017). *National Electrical Safety Code*. Nueva York, Estados Unidos:
American National Standards Institute.

ANEXO

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: Volumen óptimo del material circundante al electrodo.	Volumen del material de baja resistividad que rodea al electrodo y en el cual se construye el pozo de puesta a tierra.	Medida del espacio de tres dimensiones ocupado por un cuerpo.	Volumen (m ³)	Razón
Variable dependiente: Costo de construcción del pozo de puesta a tierra vertical.	Valor monetario total que se invertirá para la construcción del pozo de puesta a tierra vertical.	Valor monetario en nuevo soles que dependerá de los materiales de construcción del pozo de puesta a tierra vertical.	Precio (soles)	Razón

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas

Se recopilara en fichas técnica de los datos de la resistividad, resistencia, del radio, profundidad y volumen del cilindro formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m).

Para medir la resistividad se utilizara el método de Werner con un teluometro digital.

Para medir la resistencia se utilizara el método del 62% con un teluometro digital.

Instrumentos

Teluometro: Equipo de medición eléctrica para medir la resistividad y resistencia. Este equipo pose 4 picas auxiliares y 4 cables.

CUADRO DE MEDICION DE RESISTENCIAS

Cuadro de datos que recopilará la variación de la resistencia en función del radio del cilindro formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m).

PRIMER CUADRO

Ítem	Radio de influencia formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m)	Profundidad del electrodo enterrado (m)	Volumen del cilindro-semiesfera formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m ³)	Resistencia (Ω)	Variación de la resistencia (%)
1	0.00	0.6	0.000	1898.67	100.00
2	0.10	0.6	0.021	1351.67	71.19
3	0.20	0.6	0.092	776.67	40.91
4	0.30	0.6	0.226	624.67	32.90
5	0.40	0.6	0.436	511.33	26.93
6	0.50	0.6	0.733	457.00	24.07

SEGUNDO CUADRO

Ítem	Radio de influencia formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m)	Profundidad del electrodo enterrado (m)	Volumen del cilindro-semiesfera formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m ³)	Resistencia (Ω)	Variación de la resistencia (%)
1	0.00	0.9	0.000	1082.67	100.00
2	0.10	0.9	0.030	884.00	81.65
3	0.20	0.9	0.130	551.00	50.89
4	0.30	0.9	0.311	338.00	31.22
5	0.40	0.9	0.586	305.67	28.23
6	0.50	0.9	0.969	283.33	26.17

TERCER CUADRO

Ítem	Radio de influencia formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m)	Profundidad del electrodo enterrado (m)	Volumen del cilindro-semiesfera formado del material de baja resistividad alrededor del electrodo (m ³)	Resistencia (Ω)	Variación de la resistencia (%)
1	0.00	1.2	0.000	1087.33	100.00
2	0.10	1.2	0.040	876.33	80.59
3	0.20	1.2	0.168	458.67	42.18
4	0.30	1.2	0.396	300.00	27.59
5	0.40	1.2	0.737	281.33	25.87
6	0.50	1.2	1.204	266.67	24.52

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Quién suscribe, *Elvis Alberto Gamarra Cormán*, mediante la presente hago constar que el instrumento utilizado para la recolección de datos del trabajo de grado titulado: **Optimización de volumen del material circundante al electrodo para la reducción de costos en la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical**, elaborado por el estudiante *Jiancarlos José Vivar Valdivia*, aspirante al título de ingeniero *Mecánico Electricista*, reúne los requisitos suficiente y necesarios para ser considerados válidos y confiable, y por tanto, aptos para ser aplicados en el logro de los objetivos que se plantean en la investigación.

Atentamente:



GAMARRA CORMAN ELVIS ALBERTO
ING EN ENERGIA
Reg. Colegio de Ingenieros CIP N° 213197

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Cantidad ³		
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
1	x		x		x		
2	x		x		x		
3	x		x		x		
4							
ASPECTOS GENERALES					SI	NO	
Los instrumentos contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.					x		
Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación.					x		
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems.					x		
VALIDEZ							
APLICABLE			x	NO APLICABLE			
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹ Corresponde al concepto teorico formulado de las variables y/o dimensiones.

² Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables.

³ No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: Elvis Alberto Gamarra Cormán

Profesión: Ingeniero

Especialidad: En Energía


GAMARRA CORMAN ELVIS ALBERTO
ING EN ENERGIA
 Reg. Colegio de Ingenieros CIP N° 213197

Firma del Experto
 CIP: 213197

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

*Quién suscribe, Juan Abel Huanca Vela, mediante la presente hago constar que el instrumento utilizado para la recolección de datos del trabajo de grado titulado: **Optimización de volumen del material circundante al electrodo para la reducción de costos en la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical**, elaborado por el estudiante Jiancarlos José Vivar Valdivia, aspirante al título de ingeniero Mecánico Electricista, reúne los requisitos suficiente y necesarios para ser considerados válidos y confiable, y por tanto, aptos para ser aplicados en el logro de los objetivos que se plantean en la investigación.*

Atentamente:


HUANCA VELA JUAN ABEL
INGENIERO EN ENERGIA
CIP N° 216088

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Cantidad ³		
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
1	x		x		x		
2	x		x		x		
3	x		x		x		
4							
ASPECTOS GENERALES					SI	NO	
<i>Los instrumentos contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.</i>					x		
<i>Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación.</i>					x		
<i>Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems.</i>					x		
VALIDEZ							
APLICABLE			x	NO APLICABLE			
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹ Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones.

² Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables.

³ No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: Juan Abel Huanca Vela

Profesión: Ingeniero

Especialidad: En Energía



HUANCA VELA JUAN ABEL
 INGENIERO EN ENERGIA
 CIP N° 216088

Firma del Experto
 CIP: 216088

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Quién suscribe, Javier Alexis Portilla Socon , mediante la presente hago constar que el instrumento utilizado para la recolección de datos del trabajo de grado titulado: **Optimización de volumen del material circundante al electrodo para la reducción de costos en la construcción de un pozo de puesta a tierra vertical**, elaborado por el estudiante Jiancarlos José Vivar Valdivia, aspirante al título de ingeniero Mecánico Electricista, reúne los requisitos suficiente y necesarios para ser considerados válidos y confiable, y por tanto, aptos para ser aplicados en el logro de los objetivos que se plantean en la investigación.

Atentamente:



PORTILLA SOCON JAVIER ALEXIS
ING. EN ENERGIA
Reg. Colegio de Ingenieros CIP N° 212814

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Cantidad ³		
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
1	x		x		x		
2	x		x		x		
3	x		x		x		
4							
ASPECTOS GENERALES					SI	NO	
Los instrumentos contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.					x		
Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación.					x		
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems.					x		
VALIDEZ							
APLICABLE			x	NO APLICABLE			
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹ Corresponde al concepto teorico formulado de las variables y/o dimensiones.

² Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables.

³ No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: Javier Alexis Portilla Socon

Profesión: Ingeniero

Especialidad: En Energía

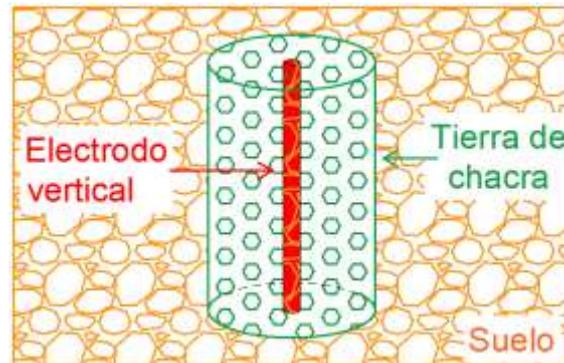


PORTILLA SOCON JAVIER ALEXIS
ING. EN ENERGIA
 Reg. Colegio de Ingenieros CIP N° 212814

Firma del Experto
CIP: 212814

ANEXO A: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA TIERRA DE CHACRA PARA VARIAS RESISTIVIDADES

En la presente tesis se analizó la influencia del terreno en función de la resistencia, en este ANEXO A se propone un análisis en función de la resistividad. Teniendo como referencia de la figura 17 de la presente tesis y analizándolo como una sumatorias de resistencia.



De la ecuación 3 y ecuación 10 de la presente tesis:

$$R (\Omega) = FE. \rho$$

$$R_t (\Omega) = R_r + R_d$$

Si reemplazamos las resistencias en función de las resistividades se obtiene lo siguiente:

$$FE. \rho_t = FE. \rho_r + FE. \rho$$

Entonces simplificando se obtiene la siguiente ecuación

$$\rho_t = \rho_r + \rho_d$$

ρ_t : resistividad total

ρ_r : resistividad de la tierra de chacra

ρ_d : resistividad inicial del terreno

Se considera la tabla 7 de la presente tesis, donde para el terreno que rodea el electrodo (tierra de chacra para el presente caso) este influye en determinadas proporción con respecto del total de la resistencia/resistividad

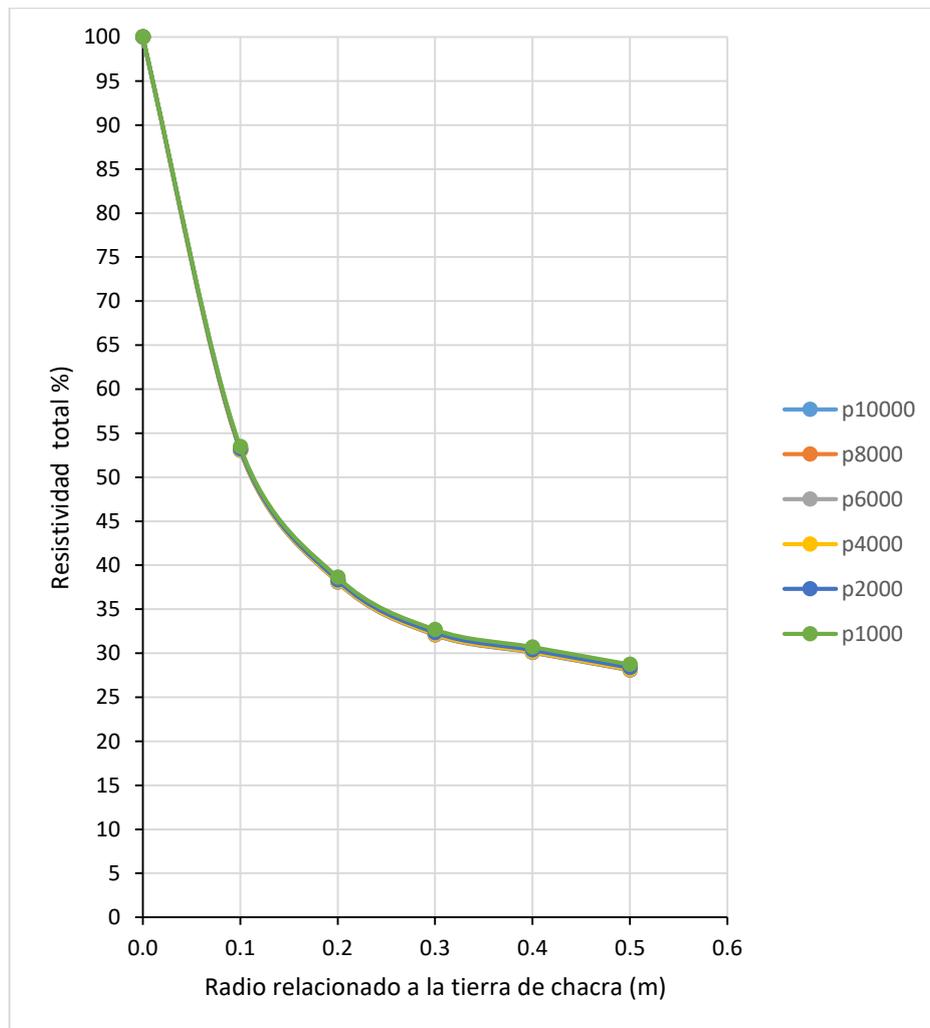
PRIMER CASO: Analizando las resistividad de 1000 a 10000 $\Omega.m$ se genera la siguiente tabla:

Terrenos de 10000 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre pd	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	10000	10000.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	10000	5304.70	53.05
0.2	0.62	10	0.38	10000	3806.20	38.06
0.3	0.68	10	0.32	10000	3206.80	32.07
0.4	0.70	10	0.3	10000	3007.00	30.07
0.5	0.72	10	0.28	10000	2807.20	28.07
Terrenos de 8000 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre pd	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	8000	8000.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	8000	4244.70	53.06
0.2	0.62	10	0.38	8000	3046.20	38.08
0.3	0.68	10	0.32	8000	2566.80	32.09
0.4	0.70	10	0.30	8000	2407.00	30.09
0.5	0.72	10	0.28	8000	2247.20	28.09
Terrenos de 6000 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre pd	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	6000	6000.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	6000	3184.70	53.08
0.2	0.62	10	0.38	6000	2286.20	38.10
0.3	0.68	10	0.32	6000	1926.80	32.11
0.4	0.70	10	0.30	6000	1807.00	30.12
0.5	0.72	10	0.28	6000	1687.20	28.12
Terrenos de 4000 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre pd	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	4000	4000.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	4000	2124.70	53.12
0.2	0.62	10	0.38	4000	1526.20	38.16
0.3	0.68	10	0.32	4000	1286.80	32.17
0.4	0.70	10	0.30	4000	1207.00	30.18
0.5	0.72	10	0.28	4000	1127.20	28.18
Terrenos de 2000 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre pd	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	2000	2000.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	2000	1064.70	53.24
0.2	0.62	10	0.38	2000	766.20	38.31
0.3	0.68	10	0.32	2000	646.80	32.34
0.4	0.70	10	0.30	2000	607.00	30.35
0.5	0.72	10	0.28	2000	567.20	28.36
Terrenos de 1000 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre p	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	1000	1000.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	1000	534.70	53.47
0.2	0.62	10	0.38	1000	386.20	38.62
0.3	0.68	10	0.32	1000	326.80	32.68
0.4	0.7	10	0.30	1000	307.00	30.70
0.5	0.72	10	0.28	1000	287.20	28.72

Cuadro resumen de las resistividades totales en porcentaje (ρt %)

ρ	Radios relacionados a la tierra de chacra (m)					
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
p10000	100.00	53.05	38.06	32.07	30.07	28.07
p8000	100.00	53.06	38.08	32.09	30.09	28.09
p6000	100.00	53.08	38.10	32.11	30.12	28.12
p4000	100.00	53.12	38.16	32.17	30.18	28.18
p2000	100.00	53.24	38.31	32.34	30.35	28.36
p1000	100.00	53.47	38.62	32.68	30.70	28.72

Se observa que el comportamiento de las curvas de resistividad en función del radio relacionado a la tierra de chacra son similares para resistividades de 1000 a 10000 $\Omega.m$



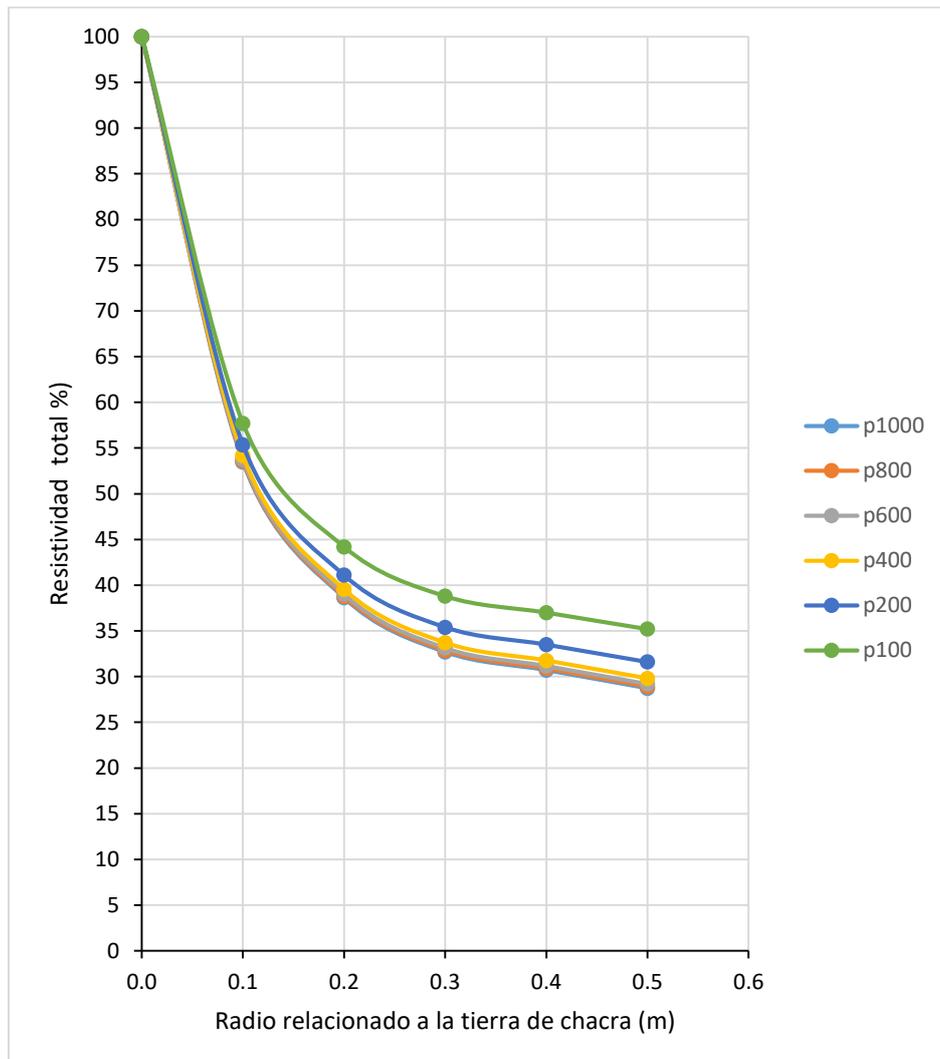
SEGUNDO CASO: Analizando las resistividad de 100 a 1000 $\Omega.m$ se genera la siguiente tabla:

Terrenos de 1000 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre pd	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	1000	1000.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	1000	534.70	53.47
0.2	0.62	10	0.38	1000	386.20	38.62
0.3	0.68	10	0.32	1000	326.80	32.68
0.4	0.70	10	0.3	1000	307.00	30.70
0.5	0.72	10	0.28	1000	287.20	28.72
Terrenos de 800 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre pd	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	800	800.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	800	428.70	53.59
0.2	0.62	10	0.38	800	310.20	38.78
0.3	0.68	10	0.32	800	262.80	32.85
0.4	0.70	10	0.30	800	247.00	30.88
0.5	0.72	10	0.28	800	231.20	28.90
Terrenos de 600 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre pd	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	600	600.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	600	322.70	53.78
0.2	0.62	10	0.38	600	234.20	39.03
0.3	0.68	10	0.32	600	198.80	33.13
0.4	0.70	10	0.30	600	187.00	31.17
0.5	0.72	10	0.28	600	175.20	29.20
Terrenos de 400 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre pd	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	400	400.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	400	216.70	54.18
0.2	0.62	10	0.38	400	158.20	39.55
0.3	0.68	10	0.32	400	134.80	33.70
0.4	0.70	10	0.30	400	127.00	31.75
0.5	0.72	10	0.28	400	119.20	29.80
Terrenos de 200 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre pd	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	200	200.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	200	110.70	55.35
0.2	0.62	10	0.38	200	82.20	41.10
0.3	0.68	10	0.32	200	70.80	35.40
0.4	0.70	10	0.30	200	67.00	33.50
0.5	0.72	10	0.28	200	63.20	31.60
Terrenos de 100 $\Omega.m$ de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr ($\Omega.m$)	Influencia sobre p	pd ($\Omega.m$)	pt ($\Omega.m$)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	100	100.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	100	57.70	57.70
0.2	0.62	10	0.38	100	44.20	44.20
0.3	0.68	10	0.32	100	38.80	38.80
0.4	0.7	10	0.30	100	37.00	37.00
0.5	0.72	10	0.28	100	35.20	35.20

Cuadro resumen de las resistividades totales en porcentaje (ρ %)

ρ	Radios relacionados a la tierra de chacra (m)					
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
p1000	100.00	53.47	38.62	32.68	30.70	28.72
p800	100.00	53.59	38.78	32.85	30.88	28.90
p600	100.00	53.78	39.03	33.13	31.17	29.20
p400	100.00	54.18	39.55	33.70	31.75	29.80
p200	100.00	55.35	41.10	35.40	33.50	31.60
p100	100.00	57.70	44.20	38.80	37.00	35.20

Se observa que el comportamiento de las curvas de resistividad en función del radio relacionado a la tierra de chacra son similares para resistividades de 100 a 1000 $\Omega.m$



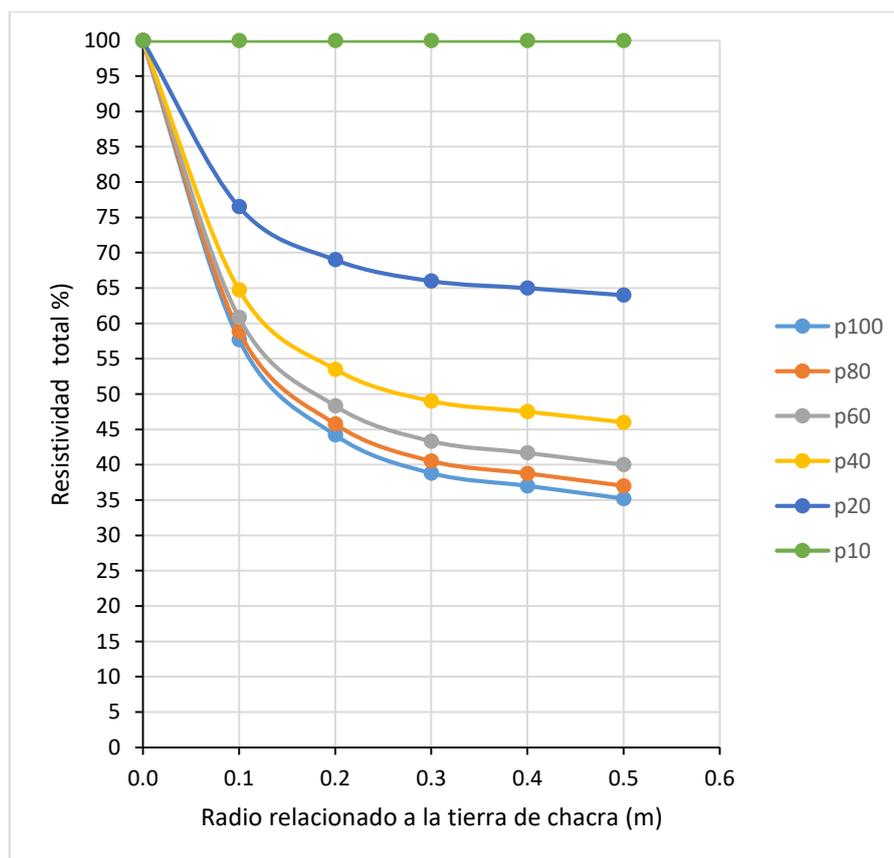
TERCER CASO: Analizando las resistividad de 10 a 100 Ω .m se genera la siguiente tabla:

Terrenos de 100 Ω .m de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr (Ω .m)	Influencia sobre pd	pd (Ω .m)	pt (Ω .m)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	100	100.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	100	57.70	57.70
0.2	0.62	10	0.38	100	44.20	44.20
0.3	0.68	10	0.32	100	38.80	38.80
0.4	0.70	10	0.3	100	37.00	37.00
0.5	0.72	10	0.28	100	35.20	35.20
Terrenos de 80 Ω .m de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr (Ω .m)	Influencia sobre pd	pd (Ω .m)	pt (Ω .m)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	80	80.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	80	47.10	58.88
0.2	0.62	10	0.38	80	36.60	45.75
0.3	0.68	10	0.32	80	32.40	40.50
0.4	0.70	10	0.30	80	31.00	38.75
0.5	0.72	10	0.28	80	29.60	37.00
Terrenos de 60 Ω .m de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr (Ω .m)	Influencia sobre pd	pd (Ω .m)	pt (Ω .m)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	60	60.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	60	36.50	60.83
0.2	0.62	10	0.38	60	29.00	48.33
0.3	0.68	10	0.32	60	26.00	43.33
0.4	0.70	10	0.30	60	25.00	41.67
0.5	0.72	10	0.28	60	24.00	40.00
Terrenos de 40 Ω .m de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr (Ω .m)	Influencia sobre pd	pd (Ω .m)	pt (Ω .m)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	40	40.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	40	25.90	64.75
0.2	0.62	10	0.38	40	21.40	53.50
0.3	0.68	10	0.32	40	19.60	49.00
0.4	0.70	10	0.30	40	19.00	47.50
0.5	0.72	10	0.28	40	18.40	46.00
Terrenos de 20 Ω .m de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr (Ω .m)	Influencia sobre pd	pd (Ω .m)	pt (Ω .m)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	20	20.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	20	15.30	76.50
0.2	0.62	10	0.38	20	13.80	69.00
0.3	0.68	10	0.32	20	13.20	66.00
0.4	0.70	10	0.30	20	13.00	65.00
0.5	0.72	10	0.28	20	12.80	64.00
Terrenos de 10 Ω .m de resistividad						
Radio (m)	Influencia sobre pr	pr (Ω .m)	Influencia sobre p	pd (Ω .m)	pt (Ω .m)	pt (%)
0.0	0.00	10	1.00	10	10.00	100.00
0.1	0.47	10	0.53	10	10.00	100.00
0.2	0.62	10	0.38	10	10.00	100.00
0.3	0.68	10	0.32	10	10.00	100.00
0.4	0.7	10	0.30	10	10.00	100.00
0.5	0.72	10	0.28	10	10.00	100.00

Cuadro resumen de las resistividades totales en porcentaje (ρt %)

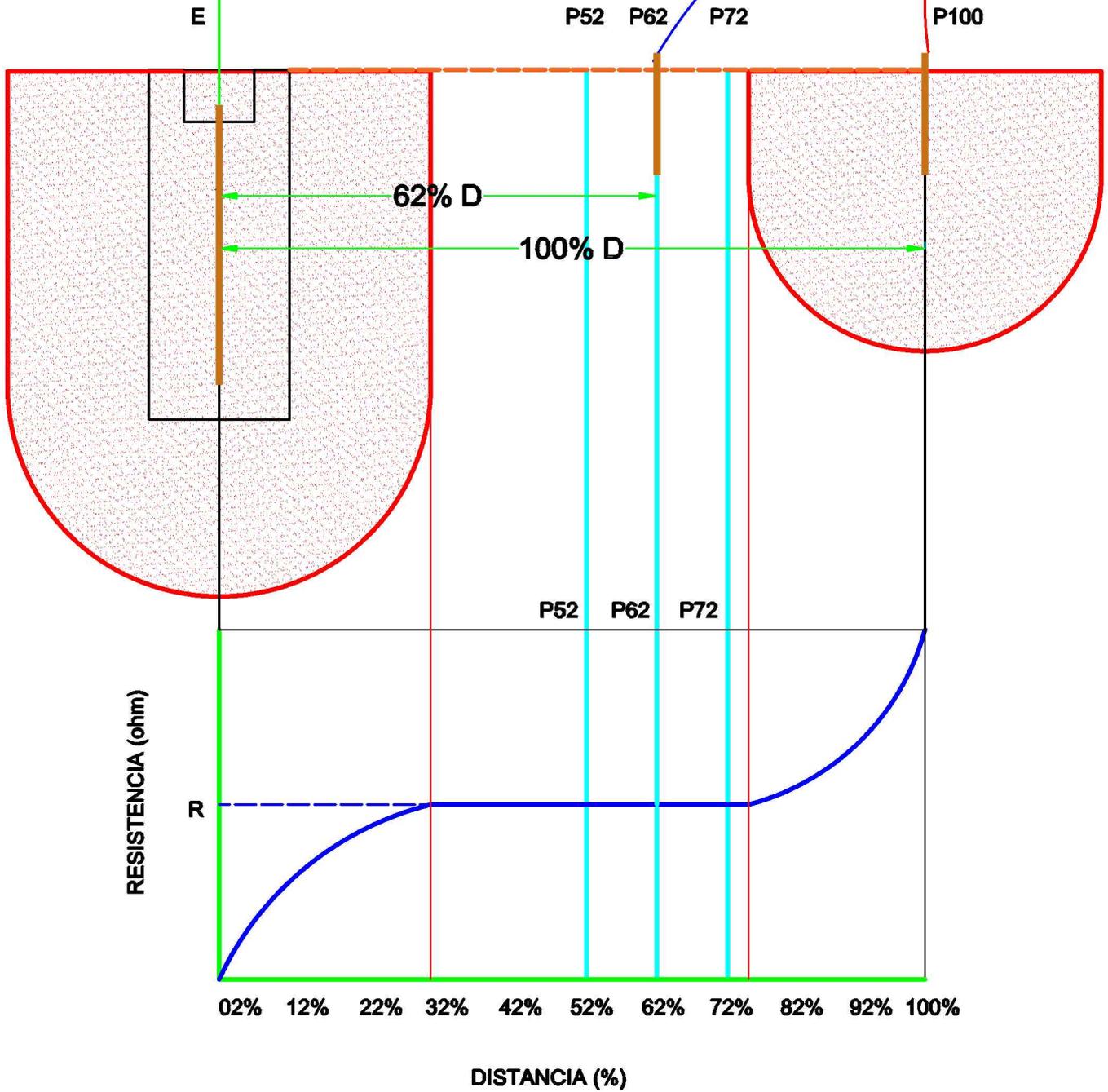
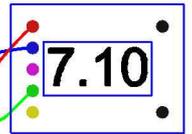
ρ	Radios relacionados a la tierra de chacra (m)					
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
p100	100.00	57.70	44.20	38.80	37.00	35.20
p80	100.00	58.88	45.75	40.50	38.75	37.00
p60	100.00	60.83	48.33	43.33	41.67	40.00
p40	100.00	64.75	53.50	49.00	47.50	46.00
p20	100.00	76.50	69.00	66.00	65.00	64.00
p10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Se observa que el comportamiento de las curvas de resistividad en función del radio relacionado a la tierra de chacra son similares para resistividades de 100 a 60 $\Omega.m$ y que para resistividades menores a 60 $\Omega.m$ recién se notan cambios importantes



CONCLUSION FINAL: Para resistividades de 60 a 10000 $\Omega.m$ las curvas de resistividad son similares mientras que para resistividades menores a 60 $\Omega.m$ recién se notan cambios importantes.

TELUROMETRO



Análisis del método del 62% respecto a la curva de Resistencia vs Distancia

DEMOSTRACION DEL METODO DEL 62%

Los circuitos de medida deben alejarse de preferencia en forma perpendicular al armado lateral de la Puesta a Tierra.

1. El Electrodo de Corriente (C_2) es fijo, el de Potencial (P_2) es móvil sobre la directriz.
2. La Corriente (I) crea desde (C_1) y (C_2) los espectros de Potenciales (V_1) y ($-V_2$)
3. La suma de los espectros de Potenciales corta el eje (x) en (P_2), cuando $V_2+(-V_1)=0$
4. El punto (P_2) resulta entonces ser representativo de la Tierra remota donde ($V=0$).
5. Las distancias (d), (p) de medida dependen del Radio Eléctrico Equivalente (r_0) del PAT.
6. Todo ángulo entre circuitos de medida o si ($h_1 \geq 5r_0$) en suelo biestrato, (p) se corrige.

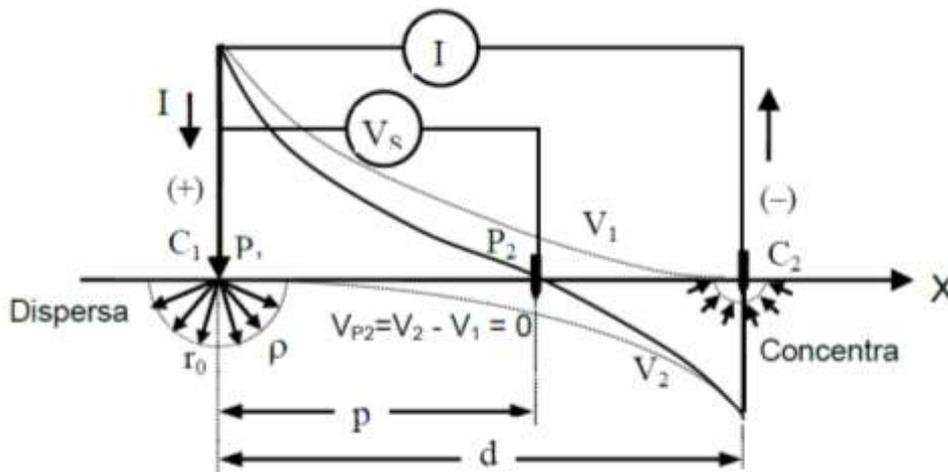


Figura.- Grafica del método de caída de potencial

7. Condición eléctrica para la medida:

$$R = \frac{V_S}{I} = \frac{V_{C1} - V_{C2}}{I}$$

- Potencial en C_1 y potencial en P_2 :

$$V_{C1} = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r_0}, \quad V_2 = 0$$

- Diferencia de Potenciales:

$$V_S = V_{C1} - V_{P2} = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r_0}$$

8. Definiendo los Potenciales desde el punto (C_2), se tiene: $(-V_p) = -(V_{d-p}) - (-V_d)$, luego $-V_p + V_{d-p} - V_d = 0$
9. Que al resolver para cumplir en (P_2) la condición ($V_2 - V_1 = 0$), da una ecuación de 2do. grado, cuya raíz positiva es la relación de distancias ($p/d=Cte$) entre los circuitos de medida, Corriente (d), Potencial (p).

Demostración del método del 62% en el curso de Alta Tensión y Técnicas de Pruebas de laboratorio dictada por el docente Justo Yanque (UNI-FIEE-2012).

Siendo: $V_2 - V_1 = 0$

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi d} \quad y \quad V_2 = -\frac{\rho I}{2\pi p} + \frac{\rho I}{2\pi(d-p)}$$

Entonces:

$$-\frac{\rho I}{2\pi p} + \frac{\rho I}{2\pi(d-p)} - \frac{\rho I}{2\pi d} = 0$$

$$\frac{\rho I}{2\pi} \left[-\frac{1}{p} + \frac{1}{(d-p)} - \frac{1}{d} \right] = 0$$

$$\frac{\rho I}{2\pi} \left[-\frac{1}{p} - \frac{1}{d} + \frac{1}{(d-p)} \right] = 0$$

$$\frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{-p-d}{pd} + \frac{1}{(p-d)} \right] = 0$$

$$\frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{p^2 - d^2 + pd}{pd(p-d)} \right] = 0$$

$$\frac{\rho I}{2\pi pd(p-d)} [p^2 - d^2 + pd] = 0$$

Donde $\frac{\rho I}{2\pi pd(p-d)}$ pasa a dividir a "0" quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$p^2 - d^2 + pd = 0$$

$$p^2 + dp - d^2 = 0$$

Utilizando la formula general para ecuaciones de segundo grado

Primera solución de la ecuación:

$$p_2 = \frac{-d - \sqrt{d^2 - 4(1)(-d^2)}}{2(1)}$$

$$p_2 = -1.618 d$$

"d" es una distancia por lo tanto es positivo, entonces "p₂" es negativo y no puede ser una solución en la vida real.

Segunda solución de la ecuación:

$$p_1 = \frac{-d + \sqrt{d^2 - 4(1)(-d^2)}}{2(1)}$$

$$p_1 = 0.618 d$$

$$p_1 = 61.8 \% d \approx 62\% d$$

"d" es una distancia por lo tanto es positivo, entonces "p₁" también es positivo

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CEU-221-2020

Página 1 de 2

N° Expediente : 1593-2020

Fecha de emisión : 2020-10-24

Solicitante : JIANCARLOS JOSE VIVAR VALDIVIA
Dirección : P.J. Tupac Amaru - A.H. Zona de Reubicación Mza. X
Unidad bajo prueba : TELUROMETRO
Marca : MEGABRAS
Modelo : MTD20Kwe
N° de serie : OL 9079B
Identificación : No Indica
Procedencia : Brasil
Alcance de escala : 200 V AC / 20 kΩ
Fecha de calibración : 2020-10-23
Lugar de calibración : Laboratorio de Calibración de UNIMETRO S.A.C.

UNIMETRO S.A.C. ofrece a la industria y laboratorios de ensayo en general, los servicios de calibración y certificación de equipos e instrumentos de medición, contando para ello con un laboratorio equipado con equipos de alta tecnología y patrones trazables a patrones nacionales y patrones de referencia (DM-INACAL).

Los resultados del presente certificado sólo son válidos para el objeto calibrado* y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIMETRO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este equipo e instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de calibración que figuran en este documento.

El usuario debe recalibrar sus equipos en intervalos adecuados, teniendo como base las características del trabajo realizado así como el mantenimiento del instrumento y el tiempo de vida del mismo.

Método de Calibración

Se realizó por el método de comparación directa con patrones certificados por INACAL - DM

Trazabilidad

Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a los patrones de referencia del Laboratorio Nacional y/o laboratorios acreditados, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

TRAZABILIDAD	Patrón utilizado	Certificado de calibración
DM-INACAL	IE - 01 Multimetro Fluke 289	LE-060-2020
METROIL S.A.C.	IT-66 Termohigrometro LUFFT OPUS20 THI	T-2161-2020 - METROIL S.A.C.

Observaciones

 La incertidumbre reportada en el certificado es obtenido con un factor de cobertura de $k=2$, con un nivel de confianza aproximada del 95%.

Se colocó un sticker con la indicación "CALIBRADO".




 Ing. Moisés A. Inga Chucos
 Gerente de Metrología
 Reg. CIP N° 137294

Condiciones ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21,3 °C	21,2 °C
Humedad relativa	66 %hr	68 %hr

Resultados de Medición
Prueba en Resistencia Electrica DC

Rango	Patrón	Equipo	Error	Incertidumbre	EMP
20 Ω	2,000 Ω	1,98 Ω	-0,02 Ω	0,06 Ω	0,05 Ω
	10,000 Ω	10,02 Ω	-0,01 Ω	0,08 Ω	0,21 Ω
	18,000 Ω	18,06 Ω	0,02 Ω	0,14 Ω	0,37 Ω
200 Ω	20,000 Ω	19,0 Ω	-1,0 Ω	0,1 Ω	0,5 Ω
	100,000 Ω	100,5 Ω	0,5 Ω	0,3 Ω	2,1 Ω
	180,000 Ω	180,3 Ω	0,3 Ω	0,6 Ω	3,7 Ω
2000 Ω	200,000 Ω	184 Ω	-16 Ω	1 Ω	5 Ω
	1000,000 Ω	964 Ω	-36 Ω	2 Ω	21 Ω
	1800,000 Ω	1735 Ω	-65 Ω	3 Ω	37 Ω
20 kΩ	2,000 kΩ	1,73 kΩ	-0,27 kΩ	0,01 kΩ	0,05 kΩ
	10,000 kΩ	5,23 kΩ	-4,78 kΩ	0,02 kΩ	0,21 kΩ
	18,000 kΩ	6,79 kΩ	-11,22 kΩ	0,03 kΩ	0,37 kΩ

Prueba en Tensión Electrica AC 60Hz

Rango	Patrón	Equipo	Error	Incertidumbre	EMP
200 V	20,000 V	20,1 V	0,1 V	0,1 V	0,5 V
	100,000 V	100,9 V	0,9 V	0,1 V	2,1 V
	180,000 V	181,4 V	1,4 V	0,1 V	3,7 V

EMP: Error Máximo Permissible

FIN DEL DOCUMENTO



PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA			
1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROTOCOLO			
Fecha			
Dirección			
Personal responsable			
2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN			
Tipo			
Marca			
Modelo			
Serie			
Rango			
Fecha de calibración			
3. CARACTERÍSTICAS DEL POZO DE PUESTA A TIERRA(PPAT)			
Ubicación			
Tipo			
Característica del terreno			
4. COMPONENTES DEL POZO DE PUESTA A TIERRA MEDIDO			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Electrodo de cobre de 5/8" x 2.4 m	UNIDAD	
2	Conector de cobre de 5/8"	UNIDAD	
3	Conductor de puesta a tierra	METRO	
4	Caja de registro de PVC	UNIDAD	
5	Cemento conductor (saco 25 kg)	UNIDAD	
6	Bentonita (saco 20 kg)	UNIDAD	
5. REGISTRO DE LOS RESULTADOS DE MEDICIÓN			
Método	Distancia(D) del electrodo auxiliar de corriente al electrodo del PPAT (m)	Distancia(d) del electrodo auxiliar de potencial al electrodo del PPAT (m)	Resistencia medida (Ω)
Método del 62%	D =	$d_1 = 0.52 * D =$	$R_1 =$
		$d_0 = 0.62 * D =$	$R_0 =$
		$d_2 = 0.72 * D =$	$R_2 =$
			R =
6. CONCLUSIÓN			
La resistencia eléctrica del sistema de puesta a tierra no supera los 25 Ω por lo tanto cumple con lo establecido en el Código Nacional de electricidad.			
NOMBRE Y FIRMA		NOMBRE Y FIRMA	

REGISTRO FOTOGRÁFICO	
Pozo de puesta a tierra	Primera medida de resistencia
Segunda medida de resistencia	Tercera medida de resistencia
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA



Protege! **Boveda Polipropileno Verde**

Código 2128721

★★★★★ (0)

S/ 34.90 C/U



Satisfacción Garantizada

[ver más](#)

Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel



Disponible
Despacho a domicilio

[ver fechas](#)



Disponible
Retiro en tienda

[ver tiendas](#)



No disponible
Stock en tienda

[otras opciones](#)

Ficha técnica

Resistencia a la abrasión	ASTM D1044
Resistencia Dieléctrica (kV mm-1)	30 - 40
Peso	30 kg
Familia	Electricidad
Promoción vigente hasta	31-05-2019
Densidad de la bóveda	0.90 - 0.93 gr/cm3
Procedencia	Nacional
Coefficient de Fricción	0,1 - 0,3
Garantía	Por defecto de fábrica
Factor de Disipación	0,0003 - 0,0005
Máxima temperatura	70 C°
Color	Verde
Características	Tiene alto coeficiente de aislamiento. Resiste alto impacto y no corrosivo. Son utilizadas como cajas de registro en los sistema de protección eléctrica en pozos de puesta a tierra.
Tipo	Bóveda
Medidas	Alto: 26 cm. Diámetro: 30 cm
Dureza - Rockwell	R60 - 100
Categoría	Pozo a tierra
Marca	Marca Exclusiva
Material	Polipropileno
Uso	Permite el acceso fácil a la Puesta de tierra para hacer la conexión del colector (cable a tierra)
Resistencia al impacto Izod (J m-1)	20 - 100

Ficha técnica 1.- Caja de registro de polipropileno.

Home > Gasfitería y Electricidad > Electricidad > Materiales para Pozo a Tierra > Caja Registro de Concreto



Arelco
Caja Registro de Concreto
 Código 267392
 ★★★★★ (0)
S/ 35.90 C/U

Satisfacción Garantizada [ver más](#)

Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4.

Opciones de entrega para San Miguel

- Disponibile
Despacho a domicilio [ver fechas](#)
- Disponibile
Retiro en tienda [ver tiendas](#)
- No disponible
Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica ^

Tipo	Cajas de registro
Medidas	405 x 405 mm
Procedencia	Nacional
Recomendaciones	Este material tiene como máxima capacidad de resistencia de 175 a 210 kg/cm2
Norma	NTP-370.052
Categoría	Caja registro
Uso	Permite el acceso a la medición de los electrodos.
Profundidad	300 mm
Marca	Arelco
Material	Concreto
Tapa	Cuadrada con simbolo de una puesta a tierra.
Características	Alta durabilidad, Aislante, Fácil mantenimiento por la tapa

Ficha técnica 2.- Caja de registro de concreto.

Home > Gasfitería y Electricidad > Electricidad > Materiales para Pozo a Tierra > Varilla De Cobre de 5/8" x 2.4 m



RYJ
Varilla De Cobre de 5/8" x 2.4 m
 Código 277223
 ★ ★ ★ ★ ★ (0)
S/ 199.90 C/U

Satisfacción Garantizada [ver más](#)
 Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

- Disponible**
Despacho a domicilio [ver fechas](#)
- Disponible**
Retiro en tienda [ver tiendas](#)
- No disponible**
Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica [^](#)

Uso	Ideal para puesta a tierra
Tipo	Barra de cobre
Medidas	15,50 mm x 2,40 m
Familia	Electricidad
Promoción vigente hasta	31-05-2019
Categoría	Pozo a tierra
Marca	RYJ
Material	Cobre
Procedencia	Nacional
Recomendaciones	Es importante que un electricista instale el pozo a tierra, para evitar accidentes
Garantía	1 año
Características	Instalación en pozo a tierra de forma vertical. Electrodo de alta conductividad.

Ficha técnica 3.- Electrodo de cobre de 5/8" x 2.4 m.

Home > Gasfitería y Electricidad > Electricidad > Materiales para Pozo a Tierra > Conector De Cobre 5/8"



TKL
Conector De Cobre 5/8"
 Código 328227
 ★★★★★ (0)
S/ 8.90 C/U

Satisfacción Garantizada [ver más](#)
 Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

- Disponible**
 Despacho a domicilio [ver fechas](#)
- Disponible**
 Retiro en tienda [ver tiendas](#)
- No disponible**
 Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica [^](#)

Recomendaciones	Es importante que el producto sea instalado por un profesional habilitado. Antes de instalar, desenchufar la energía eléctrica.
Uso	Provee una conexión de baja resistencia diseñadas para soportar corrientes de fallas y transientes de descargas atmosféricas.
Tipo	Conectores
Medidas	5/8"
Familia	Electricidad
Promoción vigente hasta	31-05-2019
Categoría	Pozo a tierra
Características	Excelente esfuerzo mecánico. Conexión irreversible y fácil instalación.
Marca	Producto Exclusivo
Material	Cobre

Ficha técnica 4.- Conector para electrodo de cobre de 5/8" x 2.4 m.

Home > Gasfitería y Electricidad > Electricidad > Materiales para Pozo a Tierra > Varilla De Cobre 3/4" x 2.4 m



R Y J
Varilla De Cobre 3/4" x 2.4 m
 Código 361356
 ★★★★★ (0)
S/ 299.90 C/U

Satisfacción Garantizada [ver más](#)
 Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

-  **Disponible**
Despacho a domicilio [ver fechas](#)
-  **Disponible**
Retiro en tienda [ver tiendas](#)
-  **No disponible**
Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica [^](#)

Uso	Ideal para puesta a tierra
Tipo	Barra de cobre
Procedencia	Nacional
Medidas	18.50 mm x 2.40 m
Recomendaciones	Es importante que un electricista instale el pozo a tierra, para evitar accidentes
Garantía	1 año
Características	Instalación en pozo a tierra de forma vertical. Electrodo de alta conductividad.
Marca	R Y J
Material	Cobre
Categoría	Ferretería y Construcción

Ficha técnica 5.- Electrodo de cobre de 3/4" x 2.4 m.

Home > Gasfitería y Electricidad > Electricidad > Materiales para Pozo a Tierra > Conector De Cobre 3/4"



TKL
Conector De Cobre 3/4"
 Código 328235
 ★★★★★ (0)
S/ 11.90 C/U

Satisfacción Garantizada [ver más](#)
 Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

- Disponible **Despacho a domicilio** [ver fechas](#)
- Disponible **Retiro en tienda** [ver tiendas](#)
- No disponible** **Stock en tienda** [otras opciones](#)

Ficha técnica

Recomendaciones	Es importante que el producto sea instalado por un profesional habilitado. Antes de instalar, desenchufar la energía eléctrica.
Uso	Provee una conexión de baja resistencia diseñadas para soportar corrientes de fallas y transientes de descargas atmosféricas.
Tipo	Conectores
Medidas	3/4"
Características	Excelente esfuerzo mecánico. Conexión irreversible y fácil instalación.
Marca	Producto Exclusivo
Material	Cobre

Ficha técnica 6.- Conector para electrodo de cobre de 3/4" x 2.4 m.

Home > Campañas > Espacios de la casa > Terraza y Jardín > Jardín > Tierras y Sustratos > Tierra de chacra 30kg





4 Estaciones
Tierra de chacra 30kg
 Código 1265598
 ★★★★★ (3)
S/ 7.50 C/U

Satisfacción Garantizada [ver más](#)
 Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

-  **Disponible**
Despacho a domicilio [ver fechas](#)
-  **Disponible**
Retiro en tienda [ver tiendas](#)
-  **No disponible**
Stock en tienda [otras opciones](#)

Descripción ^

En jardinería para tener unas plantas sanas es importante brindarles el medio y los nutrientes que necesitan para desarrollarse, la tierra de chacra es especial para un buen crecimiento.

Ficha técnica ^

Observaciones	50 bolsas hacen 1 m3
Marca	4 Estaciones
Procedencia	Perú
Uso	Ideal para ser usada en todo tipo de plantas, para trasplante o cambio de maceta.
Tipo	Tierras y sustratos
Categoría	Jardín: Maceteros, Mangueras e Insumos
Contenido	30 kg
Características	Para tener unas plantas sanas es importante brindarles el medio y los nutrientes que necesitan para desarrollarse, la tierra de chacra es especial para un buen crecimiento.

Ficha técnica 7.- Tierra de chacra.

Home > Gasfitería y Electricidad > Electricidad > Materiales para Pozo a Tierra > Cemento Conductivo x 25 kg








Thor Cem
Cemento Conductivo x 25 kg
 Código 1754866
 ★★★★★ (0)
S/ 124.90 C/U

Satisfacción Garantizada [ver más](#)

Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

- Disponibles
Despacho a domicilio [ver fechas](#)
- Disponibles
Retiro en tienda [ver tiendas](#)
- No disponibles
Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica ^

Uso	Para pozos a tierra. Incrementa el área de contacto del conducto y evita su corrosión.
Beneficios	No requiere mantenimiento
Estado físico	Sólido
Tipo	Conductivo
Resistividad	< 0.50 ohm
Presentación	Bolsa
Vida útil	20 años
Marca	Thor Cem
Densidad seco	2,49 g/cm ³
Densidad fraguado	1,71 g/cm ³
Apariencia	Poivo
Resistencia a la corrosión	38,30%
Familia	Electricidad
Color	Gris oscuro
Peso	25kg
Aplicación	Usar 2 bolsas para pozo vertical. Rinde 5 metros por pozo horizontal por bolsa.
Procedencia	Nacional
Ph	11,68

Ficha técnica 8.- Cemento conductivo.

Home > Gasfitería y Electricidad > Electricidad > Materiales para Pozo a Tierra > Bentonita Sodica Tierra Gel x 30 kg




Tierra Gel
Bentonita Sodica Tierra Gel x 30 kg
 Código 1735845
 ★★★★★ (1)
S/ 19.90 C/U

Satisfacción Garantizada [ver más](#)
 Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

-  **Disponible**
Despacho a domicilio [ver fechas](#)
-  **Disponible**
Retiro en tienda [ver tiendas](#)
-  **No disponible**
Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica ^

Tipo	Tratado de tierra.
Peso	30 kg
Color húmedo	Gris
Familia	Electricidad
Promoción vigente hasta	31-05-2019
Color seco	Beige
Categoría	Pozo a tierra
Higroscópico	Si
Corrosivo	No
Marca	Tierra Gel
Material	Bentonita
Forma física	Polvo
Uso	Para pozos tierra. En perforaciones de pozos petroleros, para represas de agua, en la industria en la fundición como aglutinante, en obras hidráulicas para ser mezclados con cemento para la palatización de alimentos balanceados, en la minería, etc.
Características	Ecológico 100% puro, no tóxico, no inflamable.
Olor	Ninguno
Recomendaciones	3 dosis para un pozo de 3 m de profundidad, Mantenimiento cada año.
Procedencia	Nacional

Ficha técnica 9.- Bentonita.

☰ 🏠
🔍 0 🛒 👤

Home > Construcción y Ferreteria > Gasfitería > Filtros y purificadores de agua > Ablandadores de Agua > Sal para ablandador de agua 25 Kg







O Pacheco

Sal para ablandador de agua 25 Kg

Modelo Sal industrial | Código 269832

★★★★★ (7)

\$5.590 C/U

 **Satisfacción Garantizada** [ver más](#)

Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 120 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al 6006004020 - opción 2

Opciones de entrega para Cerrillos

- Disponibles
Despacho a domicilio [ver fechas](#)
- Disponibles
Retiro en tienda [ver tiendas](#)
- Disponibles
Stock en tienda [más tiendas](#)

Descripción ^

La Sal para ablandador / tratamiento de aguas sin yodo Trinidad es un producto que se utiliza, tanto en sistemas de filtros, máquinas ablandadoras, o de manera directa, para realizar trabajos de **plomaría / gasfitería de tratamiento y limpieza de agua**, que impliquen la eliminación de los iones que endurecen el agua. El agua dura es agua que presenta mayores niveles de calcio y magnesio, por lo general, o inclusive hierro, lo que produce residuos sólidos, además de dificultar la disolución de jabones y detergentes, generando más residuos que pueden tapar las tuberías.

Entre las características de la Sal para ablandador / tratamiento de aguas sin yodo Trinidad podemos mencionar que, además de ser utilizada para sistemas que convierten el agua dura en agua blanda, reducen el deterioro de las tuberías y los depósitos de cal y otros residuos en las mismas. Este es uno de los mayores beneficios de la sal para ablandador, dado que permite un funcionamiento más efectivo de distintos artefactos que se alimentan de agua como calderas, máquinas lavadoras, etc.

[Ver toda la descripción](#)

Ficha técnica ^

Categoría Sodimac	Accesorios de piscina
Profundidad	20 cm
Modelo	Sal industrial
Temperatura máxima	35°C
Medidas	saco de 25 kg
Marca	O Pacheco
Tipo	Accesorio ablandador
Alto	50 cm
Uso	ablandador
Color	Blanco
Características	No yodado
Ancho	30 cm

Ficha técnica 10.- Sal industrial.

Home > Gasfitería y Electricidad > Electricidad > Materiales para Pozo a Tierra > Gel Conductivo x 5 kg Para Pozo a Tierra









Thor Gel
Gel Conductivo x 5 kg Para Pozo a Tierra
 Código 3666433
 ★★★★★ (0)
S/ 89.90 C/U

 **Satisfacción Garantizada** [ver más](#)

Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

 **Disponible**
 Despacho a domicilio [ver fecha](#)

 **Disponible**
 Retiro en tienda [ver tienda](#)

 **No disponible**
 Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica

Ph	5 - 6
Beneficios	Se reactiva con el agua.
Estado físico	Coloidal (Instalado)
Tipo	Conductivo
Resistividad	> 98%
Densidad aparente	> 0.98 g/cc
Marca	Thor Gel
Peso	5kg
Apariencia (en uso)	Gel
Familia	Electricidad
Aplicación	Tres dosis por cada pozo vertical.
Presentación	Caja
Apariencia (en caja)	Gránulos
Vida útil	15 años
Color	Marrón rojizo
Procedencia	Nacional
Uso	Para pozos a tierra. Incrementa el área de contacto del conductor y evita su corrosión.

Ficha técnica 11.- Gel conductivo.

Home > Comprar > Electricidad > Cables y Alambres Eléctricos > Cables Especiales > Cable Desnudo 35mm2 x Metro Lineal



Elcope
Cable Desnudo 35mm2 x Metro Lineal
 Código 2158701
 ★★★★★ (0)
S/ 24.90 ML

Satisfacción Garantizada [ver más](#)
 Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419-2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

- No disponible** Despacho a domicilio [otros distritos](#)
- Disponible** Retiro en tienda [ver tiendas](#)
- No disponible** Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica [^](#)

Características	Conductor de cobre electrolítico recocido, blando y flexible.
Marca	Elcope
Material	Cobre A premium, con una pureza del 99.9984%
Temperatura de operación	Alta
Color	Natural del cobre
Uso	Generalmente como cable de puesta a tierra y también para la conexión a tierra de circuitos como: bandejas, barandas, columnas, entre otros.
Procedencia	Nacional
Recomendaciones	Evitar que el daño o mal uso de los conductores eléctricos, porque acortan su vida útil.
Observaciones	El precio del producto equivale al metro lineal del mismo a menos que la descripción o atributos del producto indiquen lo contrario
Tipo	Cables desnudos

Ficha técnica 12.- Conductor de puesta a tierra

Home > Catálogos > Gran Liquidación Electricidad > Interruptor Termomagnético 2P 32A - Riel Din



SCHNEIDER ELECTRIC

Interruptor Termomagnético 2P 32A - Riel Din

Modelo EZ9F56232 | Código 225649

★★★★★ (3)

S/ 29.90 C/U

Satisfacción Garantizada [ver más](#)

Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

-  **No disponible** Despacho a domicilio [otros distribidos](#)
-  **Disponible** Retiro en tienda [ver tiendas](#)
-  **No disponible** Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica ^

Características	Garantiza una protección adecuada. Resistente con puerto a tierra para evitar accidentes
Marca	Schneider Electric
Modelo	EZ9F56232
Amperaje	2 x 32 A
Capacidad	2 puertos
Alto	85 mm
Ancho	36 mm
Largo	70 mm
Poder de corte (230 V)	10 000
Poder de corte (400 V)	6000
Curva	C
Grado de protección	IP20
Frecuencia de operación	50 - 60 Hz
Endurancia eléctrica	4000
Endurancia mecánica	10 000
Peso	205 gr
Color	Blanco
Uso	Ofrece protección contra sobrecarga y cortocircuito en una instalación eléctrica
Tipo	Interruptores Termomagnético
Recomendaciones	Llamar a un especialista para una correcta instalación

Ficha técnica 13.- Interruptor termomagnético.

Home > Gasfitería y Electricidad > Electricidad > Llaves Termomagnéticas y Tableros > Interruptor Diferencial 2x25A Sica



Sica
Interruptor Diferencial 2x25A Sica
 Código 1372815
 ★ ★ ★ ★ ★ (0)
S/ 79.90 C/U
 Pague menos desde 4 unidades

Satisfacción Garantizada [ver más](#)
 Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para San Miguel

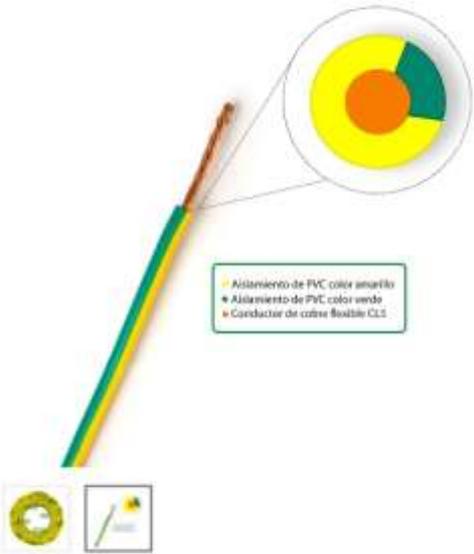
- Disponibles
Despacho a domicilio [ver fechas](#)
- Disponibles
Retiro en tienda [ver tiendas](#)
- No disponibles
Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica [^](#)

Características	Material resistente al impacto. Fabricado con materiales de última tecnología que le confieren la seguridad de funcionamiento que necesita.
Marca	Sica
Material	Carcasa de PVC
Voltaje	240 V.
Frecuencia	50 / 60 Hz.
Intensidad	2 x 25 A.
Polos	2
Sensibilidad	300 mA
Poder de corte	6 KA
Tensión de aislamiento mínima	500 V.
Grado protección	IP20
Montaje	Riel DIN 35 mm.
Color	Bianco
Usos	Ideal para protección contra fugas de corriente eléctrica.
Garantía	De fábrica
Procedencia	Argentina
Recomendaciones	Realice la prueba de verificación de funcionamiento periódicamente para cerciorarse del buen funcionamiento del interruptor. Si tiene dudas sobre el funcionamiento del interruptor, recurra a su fabricante. No experimente ni haga ensayos por su cuenta.

Ficha técnica 14.- Interruptor diferencial.

Home > Gestión y Electricidad > Electricidad > Materiales para Pozo a Tierra > Cable CPT 10 AWG Verde/Amarillo x 100 m



Elcoper
Cable CPT 10 AWG Verde/Amarillo x 100 m
 Código 2248743
 ★★★★★ (0)
S/ 459.90 C/U

Satisfacción Garantizada [ver más](#)
 Si este producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo en cualquiera de nuestras tiendas o llamando al (01) 419 2000 - opción 4

Opciones de entrega para [San Miguel](#)

- No disponible** Despacho a domicilio [otros distritos](#)
- Disponible** Retiro en tienda [ver tiendas](#)
- No disponible** Stock en tienda [otras opciones](#)

Ficha técnica [^](#)

Características	Aislamiento con buena resistencia dieléctrica, a la humedad, grasas, aceites y calor.
Marca	Elcoper
Material	Cable de cobre electrolítico recocido, blando, flexible, con aislamiento de PVC
Medidas	100 m
Temperatura de operación	70 °C
Color	Amarillo - Verde
Uso	Cable para las instalaciones de puesta a tierra, desde pozo a tierra al tablero de distribución, y también a los puntos de utilización como: iluminación, tomacorrientes, chasis de artefactos, entre otros.
Procedencia	Nacional
Recomendaciones	Evitar que el daño o mal uso de los conductores eléctricos, porque acortan su vida útil.
Observaciones	El precio del producto equivale al metro lineal del mismo a menos que la descripción o atributos del producto indiquen lo contrario
Tipo	Cables de puesta a tierra.

Ficha técnica 15.- Conductor de protección de puesta a tierra.



Foto 1.- Terreno de 20 metros de largo y 16 metros de ancho en el cual se realizaron las pruebas de resistividad y resistencia.



Foto 2.- Medición de la resistividad del terreno con el método de wenner, se utilizó un telurometro de marca Megabras el cual fue calibrado el 23.10.2020 en la empresa Unimetro.



Foto 3.- Se utilizó tierra de chacra en bolsa que contiene 30 Kg y tiene un precio de 7.5 soles la bolsa. Todas las bolsas de tierra de chacra fueron compradas en Sodimac.



Foto 4.- Se compraron en Sodimac las herramientas para poder excavar y dar forma a los pozos a tierra.



Foto 5.- Se utilizó un tubo de 0.1 m de radio para la formación de los pozos a tierra de 0.1 m de radio, el cual fue rellenado con tierra de chacra en su interior.



Foto 6.- Se utilizó una malla metálica y se le dio forma de un cilindro de 0.2 m de radio, el cual sirvió para la formación de los pozos a tierra de 0.2 m de radio, el cual fue rellenado con tierra de chacra en su interior.



Foto 7.- Pozo a tierra de 0.5 m de radio, profundidad máxima de 1.7 m, relleno con 1.204 m³ de tierra de chacra y en el cual se enterró 1.2 m del electrodo de cobre.



Foto 8.- Medición de la resistencia con el método del 62%, se utilizó un teluometro de marca Megabras el cual fue calibrado el 23.10.2020 en la empresa Unimetro.