

# Estudio del sistema de puestas a tierra de la Universidad Técnica del Norte e implementación de un telurómetro de cuatro electrodos.

Jairo Santiago Ruiz Ortega

*Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas*

[santhy\\_52@hotmail.com](mailto:santhy_52@hotmail.com)

**Resumen-** El presente proyecto es un documento investigativo en el cual se trata de determinar el estado de todas y cada una de las puestas a tierra de cada facultad dentro del campus universitario, mismo que con el paso del tiempo se vuelve un tema tan necesario e importante tratar y resolver; así como también trata de ofrecer un informe completo del análisis realizado y posibles soluciones a los problemas que se puedan presentar en el transcurso de este estudio.

Es importante saber el estado de las puestas a tierra de la Universidad Técnica del Norte, ya que de estas depende en gran parte la vida útil de aparatos electrónicos asociados a la red eléctrica y más importante aún la vida de quienes los manipulan, para saber con exactitud el estado real de estos sistemas de aterramiento se planteó un esquema que consta principalmente de mediciones, comparando estos valores con los que la norma exige, estas mediciones son tanto de resistividad de suelos como resistencia de electrodos fabricados existentes, y que para realizar dichas mediciones se ha implementado un moderno instrumento de medición como lo es el telurómetro, el cual sirve para determinar la resistividad del suelo mediante el método de

Wenner o conocido comúnmente como el método de los cuatro puntos, así como también es capaz de medir la resistencia de un aterramiento por el método de caída de potencial o de tres puntos .

Este proyecto consta de un primer capítulo, en el que se plantea, formula y delimita el problema explicando claramente su alcance y objetivos, en el segundo capítulo se da a conocer todo acerca del marco teórico desde las bases, importancia, conceptos básicos, riesgos eléctricos, configuración, esquemas de conexión, procedimientos de medición, diseño y construcción de mallas de puesta a tierra, el tercer capítulo consta de toda la metodología que se utilizó para plasmar la información obtenida en campo relacionarla y traducirla en términos de interés técnico, y que tengan relación con una investigación documental de forma acertada para que todos los conocimientos sean bien cimentados; conforma métodos y técnicas que se aplicaran en un estudio, formulas, y procesos que simplifiquen resultados y mejoras.

El cuarto capítulo desarrolla de lleno el estudio de la problemática y evidencia los resultados de aplicar la teoría a la práctica.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad se ha sabido relacionar la energía eléctrica con la seguridad personal, es así que surge la necesidad de precautelar las vidas humanas en el mundo de la industria en general, es decir si existe un tipo de energía también existe un riesgo y en este caso la electricidad no es la excepción, ya que siempre existe un alto índice de riesgos laborales dentro del plano eléctrico incluso llegando a contar vidas humanas, ya sea por defectos de aislamiento o descargas eléctricas, he ahí la importancia del conocimiento de una puesta a tierra.

Las puestas a tierra no son más que la conformación de un camino directo hacia tierra física terreno o superficie por el cual se desfogan sobrevoltajes y corrientes de falla ya sean por defectos de aislación o descargas atmosféricas. El estudio de las puestas a tierra es muy amplio y complejo así que se tratará de simplificar de una manera clara y objetiva todo el conocimiento necesario para comprender este tema.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1 Sistema de puesta a tierra

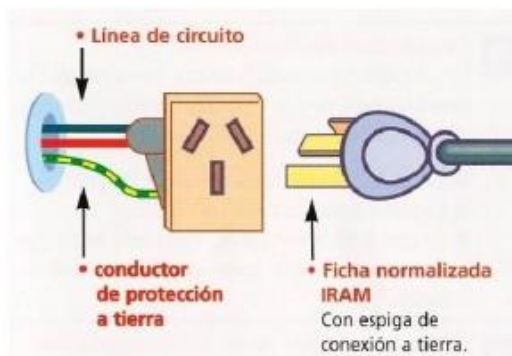
Los sistemas de puesta a tierra son parte esencial de toda instalación eléctrica, es así que se toman como parte de la seguridad industrial y personal.

#### ¿Pero, que son las puestas a tierra?

Una puesta a tierra no es más que un camino directo desde toda estructura arquitectónica o carcasa metálica máquinas y/o herramientas eléctricas hacia tierra física, esto con el fin de precautelar la seguridad personal al momento de una descarga eléctrica y a su vez evitar el colapso de maquinaria por fallas de aislamiento.

Es decir un Sistema de Puestas A Tierra, se compone de un cable conductor de electricidad que va por cada toma de energía de una manera equipotencial hacia un terreno en donde toma contacto don una jabalina enterrada en el mismo a una profundidad estimada de dos metros.

Por norma técnica y en general dentro de las instalaciones eléctricas de un domicilio, talleres o industria se utiliza conductor de color verde como distintivo dentro de tableros de distribución y tomas de energía, además de esto se encuentran también en los cables que alimentan máquinas y herramientas, pudiendo identificarse como la tercera clavija en un enchufe.



### 2.2 Objetivos de un SPAT

El principal objetivo como se lo ha venido mencionando es el precautelar la seguridad personal ante posibles descargas eléctricas por fallas de aislamiento o sobrevoltajes, esto además de ofrecer un camino directo a las mismas.

Entregar un sistema equipotencial, es decir un solo conjunto conformado por estructuras metálicas y tierras de tableros de distribución que desfoguen por un solo conductor hacia tierra.

El cuerpo humano se considera como un conductor por lo tanto presenta resistencia al paso de la energía eléctrica, es así que se vuelve importante el evaluar las corrientes permisibles o soportables por el mismo.

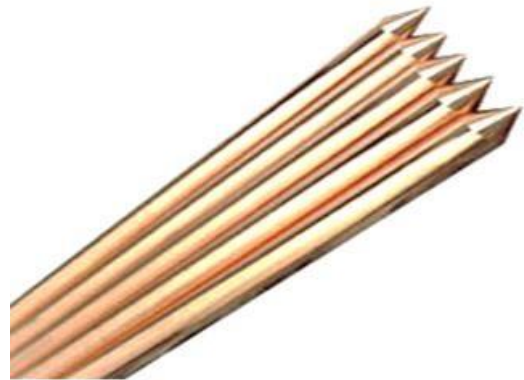
### Efectos fisiologicos en el ser humano

INTENSIDAD	EFECTOS FISIOLÓGICOS QUE SE OBSERVAN EN CONDICIONES NORMALES
0 – 0,5 mA	No se observan sensaciones ni efectos. El umbral de percepción se sitúa en 0,5 mA.
0,5 – 10mA	Calambres y movimientos reflejos musculares. El umbral de no soltar se sitúa en 10 mA.
10 – 25mA	Contracciones musculares. Endurecimiento de brazos y piernas con dificultad de soltar objetos. Aumento de la presión arterial y dificultades respiratorias.
25 – 40 mA	Fuerte tetanización. Irregularidades cardíacas. Quemaduras. Asfixias a partir de 4 segundos.
40 –100mA	Efectos anteriores con mayor intensidad y gravedad. Fibrilación y arritmias cardíacas.
- 1 A	Fibrilación y paro cardíaco. Quemaduras muy graves. Alto riesgo de muerte.
1 – 5 A	Quemaduras muy graves. Parada cardíaca con elevada probabilidad de muerte.

### 2.3 Partes constituyentes de un SPAT

Los componentes que conforman principalmente la construcción de un SPAT son sencillos y de fácil acceso, más para el diseño se requieren cálculos de los que se hablara en el transcurso del documento.

Para construir un SPAT se necesita principalmente un sitio libre, es decir un pedazo de terreno disponible y libre de construcciones, conductor de cobre desnudo en este caso porque se va a enterrar, varillas según sea la necesidad y conectores ya sea mecánicos o de solda exotérmica.



Para realizar diseño depende ampliamente del tipo de suelo en donde se vaya a trabajar, sus características propias de conductibilidad al paso de corrientes de descarga, para determinar estas se requiere de valores en términos de resistividad del terreno, misma que se obtiene despejando de la ecuación.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

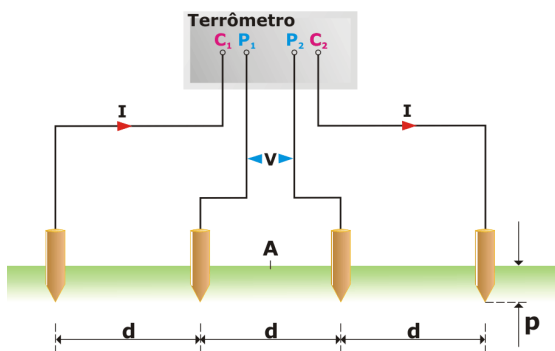
**Ecuación de Resistencia**



El terrómetro o teluómetro es una herramienta indispensable al momento de realizar dichas mediciones ya que es el único dispositivo capaz de trabajar con varios métodos de medición tanto en resistividad de suelos como en resistencia de electrodo fabricado.

#### 2.4 Método de Wenner (1915)

El método más tradicional, y que hasta la actualidad se utiliza por la veracidad de sus resultados, consiste en la disposición de cuatro varillas en línea recta clavadas en un terreno, por dos de las cuales se inyecta una corriente, exactamente las de los extremos, a una frecuencia diferente a la de la red eléctrica; y en las dos del medio se mide el voltaje, obteniendo así un valor de conductibilidad que traducido a términos de resistencia se denomina resistividad aparente y se mide en  $\Omega m$ , las mediciones se repiten distanciando cada vez más los electrodos en metros.



Para efectos de cálculo se requieren varios datos, mismo que se tabulan y promedian para obtener un modelo de suelo.

Los suelos varían según su composición, las sales minerales efectos de humedad y corrosión, un suelo húmedo tiene mejores características de conducción que un suelo seco debido a que la humedad presenta mayor

conducción, esto además de características como compactación y estratificación.

Material	Resistividad ( $\Omega m$ )
Agua salada	0,01-1
Lama	5-10
Suelo orgánico	5-200
Humus	10-150
Arcilla	10-300
Agua de río	10-300
Gneises descompuestos	50-500
Rocas calcáreas	100-2.000
Tierra de jardín	140-480
Rocas cristalinas	20.000-1.000.000
Caliza fisurada	500-1.000
Caliza compacta	1.000-5.000
Granitos y basaltos	1.000-50.000
Arena común	3.000-8.000

#### 2.5 Tierra y Neutro

Generalmente se involucran y tergiversan conceptos entre estos dos componentes en una instalación eléctrica, tierra es un camino directo para desfogar corrientes de falla o sobrevoltajes y el neutro es simplemente el camino de retorno de corriente a la fuente, sin embargo existen tipos de conexión entre estos denominados “Regímenes de Neutro en Baja Tensión” que no son más que combinaciones entre los dos.

##### Regímenes de Neutro en Baja Tensión

Según la norma IEC rigen esquemas de conexión a tierra tanto para los secundarios de los transformadores en baja tensión como para aterrizar la masa de los equipos eléctricos, con el propósito de evitar electrización o electrocución.

La identificación de los diferentes tipos de esquemas se expresa con dos letras, la primera para la conexión del neutro del transformador con dos casos posibles:

**T.** para conectado a tierra

**I.** para aislado de tierra

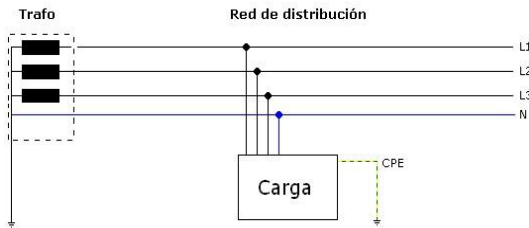
La segunda identifica el tipo de conexión de las masas de los receptores con dos casos posibles

**T.** para masas conectadas directamente a tierra

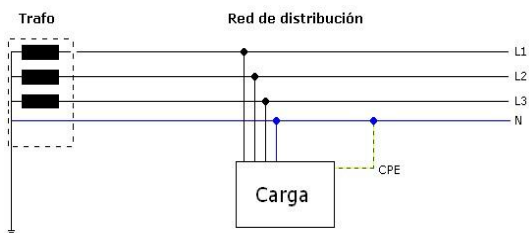
**N.** para masas conectadas directamente a neutro

Con lo cual se puede obtener las siguientes combinaciones

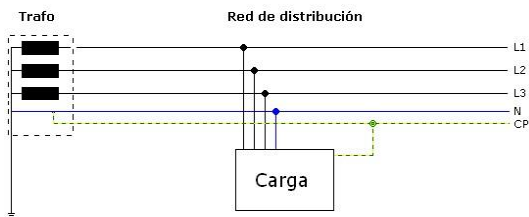
### TT. Neutro del transformador y masa conectado a tierra



### TN. Neutro del transformador a tierra y masa a neutro

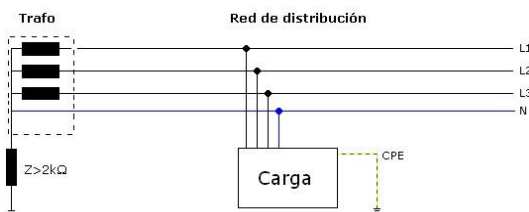


Esquema TN-C



Esquema TN-S

### IT. Neutro del transformador aislado de tierra y masa a tierra



## 2.6 Diseño de una malla de puesta a tierra

Para realizar el diseño de un SPAT es necesario contar con las mediciones de resistividad del terreno, obtenidos propiamente de donde se va a instalar la malla, el valor máximo de cortocircuito a disiparse por esta, datos característicos de la red, así también el número de varillas y conductor.

Se emplean los siguientes cálculos:

**Resistividad.** Este valor se obtiene en la aplicación de la fórmula por el método de Wenner

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

Donde:

$\rho$ : Resistividad promedio en ohm-m

A: Distancia entre electrodos en metros

B: Profundidad de los electrodos en metros

R: Lectura del termómetro en ohm

De otra forma si:  $A \gg B$

$$\rho = 2\pi * A * R$$

**Calibre del conductor.** Se estima de forma estandarizada el utilizar un conductor de cobre desnudo 2 AWG, de todas formas se han tomado en cuenta cálculos simplificados de las corrientes de cortocircuito de transformadores.

$$Amm^2 = \frac{I_{ccS} * \sqrt{Tc} * Kf}{1.945}$$

Donde:

**I<sub>ccS</sub>.** Corriente máxima de cortocircuito

**T<sub>c</sub>.** Tiempo de despeje de falla

**K<sub>f</sub>.** Constante para diferentes materiales a diferentes temperaturas de fusión (T<sub>m</sub>) y una temperatura ambiente de 40°C

Ahora para obtener la corriente máxima de cortocircuito se emplean las siguientes fórmulas:

$$KVAcc = \frac{KVA}{Xpu}$$

Potencia de cortocircuito

$$I_{cc} = \frac{KVAcc}{\sqrt{3} + V}$$

Corriente de cortocircuito trifásico

$$I_{cc} = \frac{KVAcc}{V}$$

Corriente de cortocircuito monofásico

Donde:

- KVA.** Potencia nominal del transformador
- KVAcc.** Potencia de cortocircuito en MVA
- V.** Voltaje del sistema KV
- XPu.** Reactancia del transformador en por unidad
- Icc.** Corriente máxima de cortocircuito
- IccS.** Corriente máxima de cortocircuito en el secundario KA
- IccS. .** Corriente máxima de cortocircuito en el primario KA

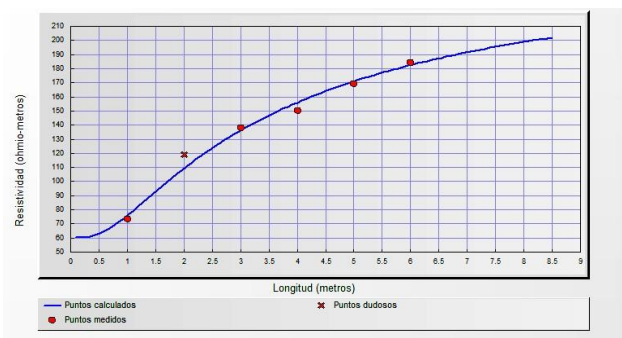
Como se necesita la corriente de cortocircuito del secundario del transformador se tiene:

$$I_{cc} = \frac{100 * S}{\sqrt{3} * U_s * V_{Cc}}$$

Donde:

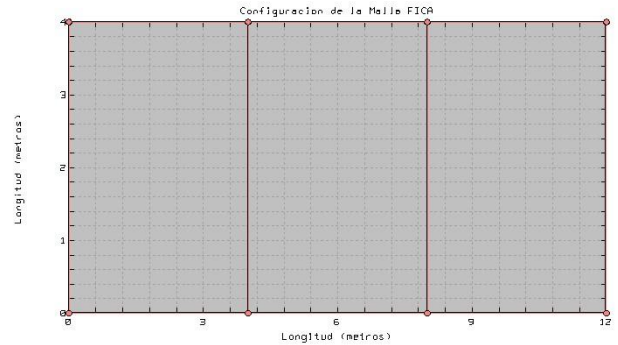
- IccS.** Corriente de cortocircuito secundario del trafo(A)
- S.** Potencia nominal del transformador (KVA)
- Us.** Tensión del secundario (V)
- Vcc.** Tensión de cortocircuito en el transformador (%)

Existen diversas formas de calcular datos que se necesitan con el transcurso del diseño pero teniendo en cuenta estos cálculos hay en la actualidad softwares que permiten diseñar de una forma rápida y muy eficiente mallas de tierra, solo con ingresar estos valores y se pueden obtener curvas del comportamiento del suelo.

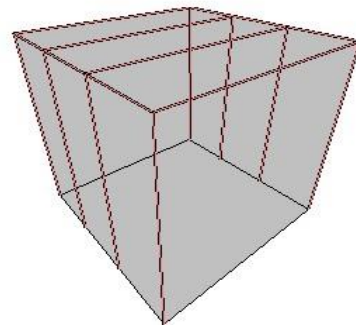


**Resistividad vs profundidad**

También se pueden obtener graficas de la disposición de las varillas, dimensiones y cantidades según como se planteó el diseño y de acuerdo a los requerimientos técnicos.

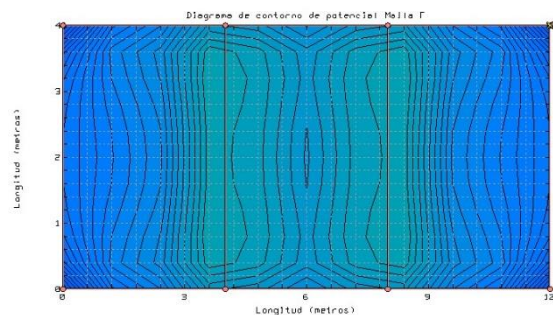


**Dimensiones de la malla**



**Modelo 3D de la malla**

En la siguiente figura se muestra el comportamiento de las líneas de dispersión de potencial, el momento de una posible descarga eléctrica, se puede apreciar la dirección que toman las líneas alrededor de las varillas propagándose hasta disiparse.



**Líneas de dispersión de potencial**

Ahora se muestran las mismas líneas en un plano 3D y se observa que profundidad de penetración toman las mismas al momento de la descarga.

### III. DESARROLLO DEL ESTUDIO

#### Zonificación del campus Universitario.

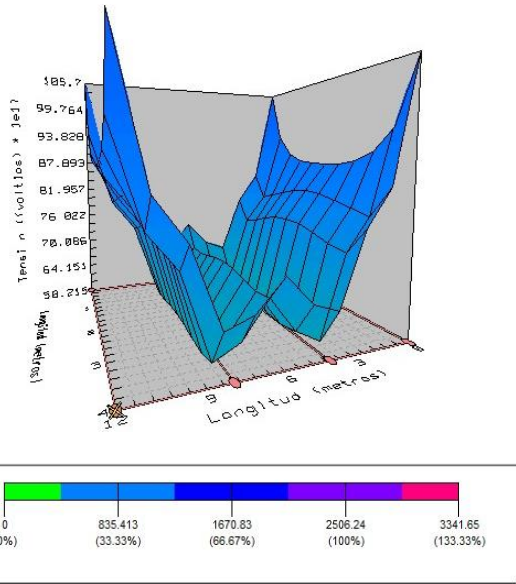
Se determinó la ubicación de zonas en donde se realizó mediciones de resistividad de suelos:

- Facultad FACA E
- Facultad FECYT
- POSTGRADO
- PISCINA SEMIOLIMPICA
- Facultad FICA

Para medir la resistividad de suelos se necesitó de un telurometro, mismo que realiza mediciones por los diferentes métodos tanto para resistividad como resistencia.

#### Equipo de medición.

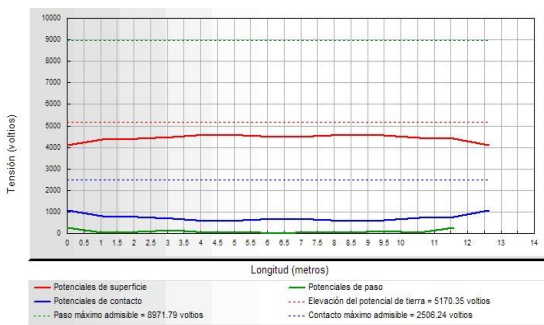
El telurometro Duoyi 4300B es un dispositivo de procedencia china, CAT III, que cumple con las especificaciones técnicas de seguridad, completamente funcional y muy práctico, tal que al comparar las mediciones arrojadas por el mismo con una de un telurometro d gama alta como valor patrón de medición, existen apenas márgenes de error del 2%, cifra un tanto despreciable ya que este equipo es mucho más económico frente al otro.



#### Líneas de dispersión de potencial

Se puede ver la forma y los colores indican en la regla que están de color azul; dentro de los valores promedio permisibles.

A continuación se ve una gráfica de los potenciales de superficie, de paso y de contacto, las líneas punteadas representan los valores máximos permisibles y las líneas continuas son los valores obtenidos en el diseño de la malla.



#### Líneas de potenciales máximos

El software es una herramienta muy útil al momento de diseñar una puesta a tierra, representa una eficiente mejora, sin embargo los cálculos siguen siendo necesarios, ya que son datos particulares de cada diseño o requerimiento.

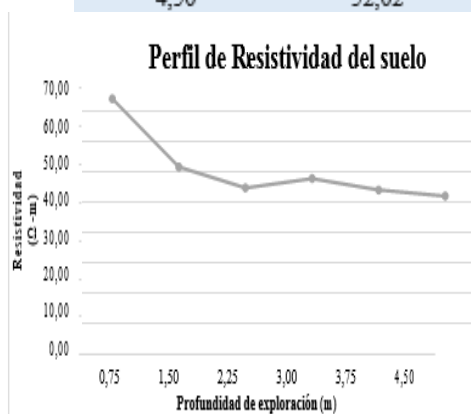


El telurometro Duoyi 4300B

## Resultados de la Medición.

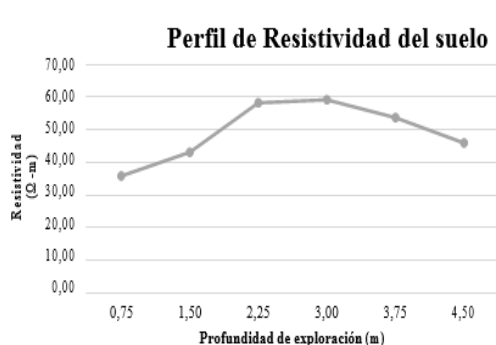
- Facultad FACA

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad ( $\Omega$ -m)
0,75	84,32
1,50	61,64
2,25	54,76
3,00	57,81
3,75	54,04
4,50	52,02



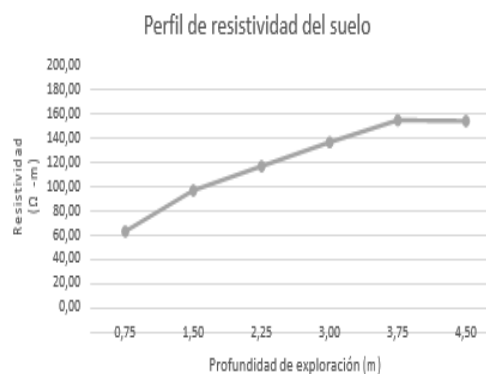
- Facultad FECYT

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad ( $\Omega$ -m)
0,75	35,88
1,50	43,17
2,25	58,25
3,00	59,19
3,75	53,72
4,50	45,99



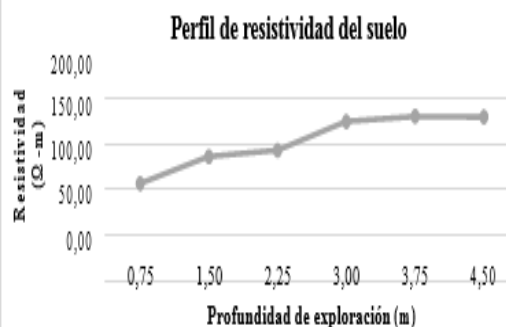
- POSTGRADO

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad ( $\Omega$ -m)
0,75	83,28
1,50	116,99
2,25	137,04
3,00	156,70
3,75	174,83
4,50	174,36



- PISCINA SEMIOLIMPICA

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad ( $\Omega$ -m)
0,75	107,13
1,50	136,79
2,25	143,63
3,00	175,30
3,75	180,96
4,50	180,20

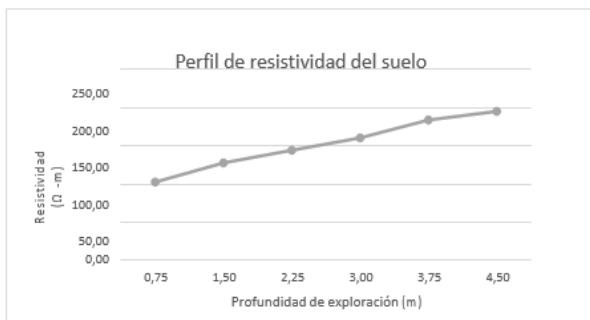


- Facultad FICA

**Tabla 18 Valores promedios resistividad vs profu**

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad (Ω-m)
0,75	102,73
1,50	127,61
2,25	144,11
3,00	160,35
3,75	183,78
4,50	195,09

Fuente (Autor, 2016)



#### IV. DISEÑO

De los valores definidos se toman en especial los de la facultad FACA E para realizar el diseño de una malla nueva, los valores a continuación calculados son:

CALCULO DEL VALOR DE RESISTIVIDAD					
Lugar: Facultad FACA E "espacios verdes"					
Método de medición: WENNER					
Separación de electrodos	Profundidad de exploración	Medición A	Medición B	Medición C	Promedio (Ω-m)
1m	0.75	85.70	82.94	80.42	83.02
2m	1.50	59.19	64.09	73.26	65.51
3m	2.25	55.79	53.72	56.73	55.41
4m	3.00	49.51	66.10	51.27	55.62
5m	3.75	54.04	54.04	52.77	53.61
6m	4.50	52.78	51.27	43.35	49.13

#### Metodología Box-Cox

Este es un método que utiliza los datos de resistividad a través de tabulación para obtener el valor promedio más acercado a lo real.

Cálculo del valor de resistividad					
Lugar: Facultad FACA E "espacios verdes"					
Método de Medición: WENNER					
Metodología utilizada para estimación del valor de la resistividad:					
Transformación Box-Cox					
Separación electrodos	Medición A	Medición B	Promedio	LN (Xi)	(Xi-X)^2
1m	85.70	82.94	84.32	4.4346	0.1168
2m	59.19	64.09	61.64	4.1213	0.0008
3m	55.79	53.72	54.75	4.0027	0.0081
4m	49.51	66.10	57.80	4.0569	0.0012
5m	54.04	54.04	54.04	3.9897	0.0106
6m	52.78	51.27	52.02	3.9516	0.0199
Valor promedio				4.0928	0.02623
Desviación estándar					0.16196
Distribución Normal estándar invertida (70%)					0.524400513
La resistividad (con probabilidad del 70% de no ser superada)					<b>119.004 Ω-m</b>

El valor resaltado con color amarillo es el valor de resistividad promedio obtenido y con el cual se calcula la resistencia de electrodo fabricado con la siguiente ecuación:

$$R_g = 119 \left[ \frac{1}{23m} + \frac{1}{20(21m^2)} \left( 1 + \frac{1}{1 + 2\sqrt{\frac{20}{(21m^2)}}} \right) \right]$$

$$R_g = 5.53 \Omega$$

Esta es una manera simplificada de cómo realizar el diseño de una malla, para cálculos más definidos se aplica métodos de modelación de suelos homogéneos o de dos capas, por ejemplo el método de la gráfica de Sundé con el que se obtiene valores más exactos.

Es imprescindible conocer la importancia de un diseño de mallas que cumpla con los requerimientos necesarios pero al mismo tiempo se necesita profundizar en esta rama de la electricidad.



## V. CONCLUSIONES

- Según las mediciones obtenidas se confirma que el estado de la puesta a tierra dentro del campus universitario necesitan más atención.
- Es evidente que las puestas a tierra son de suma importancia en el plano de seguridad personal ya que al estar en contacto con máquinas o equipos eléctricos se exponen a una falla o posible descarga.
- Es necesario crear un registro en el cual se constate el estado de las actuales mallas de puesta a tierra, además de mantenimientos periódicos.
- El aporte de un teluometro al laboratorio de máquinas eléctricas de CIMANELE, acompañado de un uso correcto y didáctico es esencial en la formación de los futuros profesionales.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- García Márquez, R. (2009). La Puesta a Tierra de Instalaciones Eléctricas. México: Alfaomega.
- Rojas Gregory, (2011) Manual de Puestas a Tierra.
- Morales Osorio, N. (10 de 2011). Sistemas de puesta a tierra. (Universidad de Chile)
- Antonio Eduardo, Cano P. (2010). SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA diseñados con la IEEE 80 Manizales –Colombia

# Study of the grounding system of the North Technical University and implementation of a four-electrode telluride.

Jairo Santiago Ruiz Ortega

*Technical University North, FICA*

[santhy52@hotmail.com](mailto:santhy52@hotmail.com)

**Summary** - The present project is an investigative document in which it is tried to determine the state of each and every one of the groundings of each faculty within the university campus, that with the passage of time becomes a subject so necessary and Important to deal with and solve; As well as to provide a complete report of the analysis performed and possible solutions to the problems that may arise in the course of this study.

It is important to know the state of the grounding of the Technical University of the North, since of these depends largely the useful life of electronic devices associated to the electrical network and more importantly the life of those who manipulate them, to know with Accuracy the actual state of these grounding systems was a scheme consisting mainly of measurements, comparing these values with those required by the standard, these measurements are both soil resistivity and resistance of existing fabricated electrodes, and that to make such measurements A modern measuring instrument such as the telurometer has been implemented, which is used to determine the soil resistivity using the Wenner method or commonly known as the four.

point method, as well as being able to measure the resistance of a Grounding by the potential drop method or three points.

This project consists of a first chapter, which sets out, formulates and delimits the problem clearly explaining its scope and objectives, in the second chapter it is made known all about the theoretical framework from the bases, importance, basic concepts, electrical risks , Configuration, connection diagrams, measurement procedures, design and construction of earthing meshes, the third chapter consists of all the methodology that was used to translate the information obtained in the field and translate it into terms of technical interest, and that Are related to a documental investigation of correct form so that all the knowledge is well cemented; Forms methods and techniques that will be applied in a study, formulas, and processes that simplify results and improvements.

The fourth chapter fully develops the study of the problem and shows the results of applying theory to practice.

## I. INTRODUCTION

Since ancient times it has been known to relate electrical energy to personal safety, so the need arises to protect human lives in the world of industry in general, ie if there is a type of energy there is also a risk and in this If electricity is not the exception, since there is always a high rate of occupational hazards within the electric plane, even counting human lives, whether due to insulation defects or electric shocks, that is the importance of knowledge of a grounding.

Grounding is nothing more than the conformation of a direct path to earth physical ground or surface by which voltages and fault currents will be released either by insulation defects or atmospheric discharges.

The study of the earthing is very broad and complex so it will try to simplify in a clear and objective way all the knowledge necessary to understand this subject.

## II. THEORETICAL FRAMEWORK

### 2.1 Earthing system

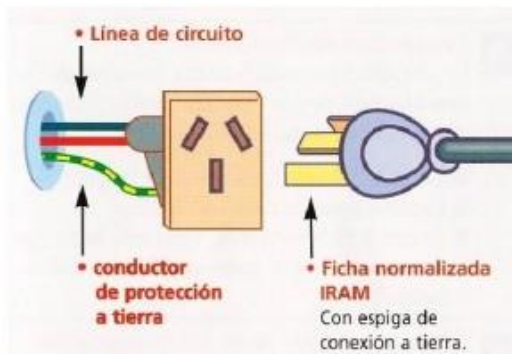
Grounding systems are an essential part of any electrical installation, so they are taken as part of industrial and personal safety.

#### But, what are the earthing?

A grounding is no more than a direct path from any architectural structure or metal housing machines and / or power tools to physical ground, this in order to protect personal safety at the time of an electric shock and in turn prevent the collapse of Machinery due to insulation faults.

In other words, an Earth-Grounding System consists of a conductor of electricity that goes through each power take-off in an equipotential way to a ground where a javelin buried in it is contacted by an estimated depth of two meters.

By technical standard and in general in the electrical installations of a domicile, workshops or industry it is used green conductor as distinctive inside switchboards and power outlets, besides this they are also in the cables that feed machines and tools , And can be identified as the third plug in a plug.



### 2.2 Objectives of an SPAT

The main objective as it has been mentioned is to protect personal safety against possible electric shocks due to insulation faults or overvoltages, as well as offering a direct path to them.

To deliver an equipotential system, that is to say a single set conformed by metallic structures and lands of distribution boards that defoguen by a single conductor towards earth.

The human body is considered as a conductor therefore it presents resistance to the passage of electric energy, it is

thus important to evaluate the currents permissible or bearable by it.

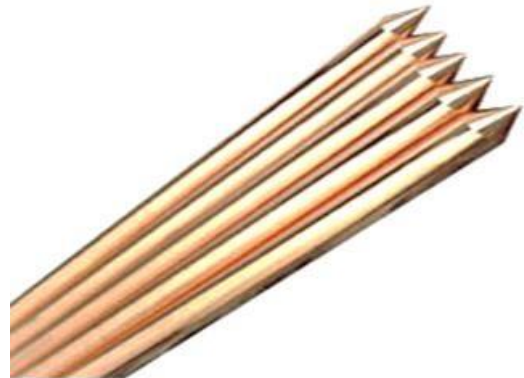
### Physiological effects in humans

INTENSIDAD	EFECTOS FISIOLÓGICOS QUE SE OBSERVAN EN CONDICIONES NORMALES
0 – 0,5 mA	No se observan sensaciones ni efectos. El umbral de percepción se sitúa en 0,5 mA.
0,5 – 10mA	Calambres y movimientos reflejos musculares. El umbral de no soltar se sitúa en 10 mA.
10 – 25mA	Contracciones musculares. Endurecimiento de brazos y piernas con dificultad de soltar objetos. Aumento de la presión arterial y dificultades respiratorias.
25 – 40 mA	Fuerte tetanización. Irregularidades cardíacas. Quemaduras. Asfixias a partir de 4 segundos.
40 – 100mA	Efectos anteriores con mayor intensidad y gravedad. Fibrilación y arritmias cardíacas.
- 1 A	Fibrilación y paro cardíaco. Quemaduras muy graves. Alto riesgo de muerte.
1 – 5 A	Quemaduras muy graves. Parada cardíaca con elevada probabilidad de muerte.

### 2.3 Constituent parts of an SPAT

The components that make up mainly the construction of a SPAT are simple and easy to access, but for the design it is required calculations that will be spoken in the course of the document.

In order to build a SPAT, a free site is needed, ie a piece of land available and free of construction, bare copper conductor in this case because it will be buried, rods according to the need and connectors either mechanical or exothermic solder.



In order to design, it depends largely on the type of soil where it is going to work, its own characteristics of conductivity to the passage of discharge currents, to determine these values are required in terms of resistivity of the terrain, which is obtained by clearing from equation.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

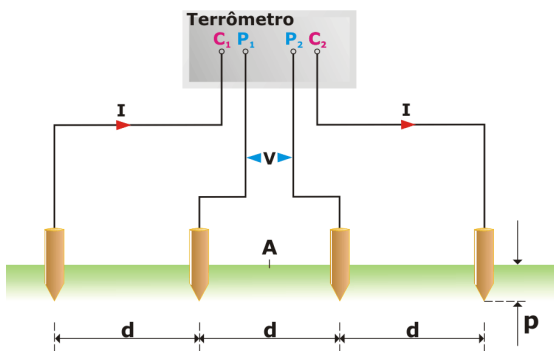
**Equation of Resistance**



The terrometer or telurometer is an indispensable tool at the time of making these measurements since it is the only device capable of working with various measurement methods both in soil resistivity and in manufactured electrode resistance.

### 2.4 Wenner's Method (1915)

The most traditional method, which until today is used for the veracity of its results, consists of the arrangement of four rods in a straight line nailed to a terrain, two of which injected a stream, exactly those of the ends, At a frequency different from that of the mains; And in the two of the medium the voltage is measured, thus obtaining a conductivity value that translated in terms of resistance is called apparent resistivity and is measured in  $\Omega m$ , measurements are repeated by further distancing the electrodes in meters.



For calculation purposes, several data are required, which are tabulated and averaged to obtain a soil model.

The soils vary according to their composition, the mineral salts effects of humidity and corrosion, a moist soil has better conducting characteristics than a dry soil due to the humidity has higher conduction, this besides characteristics like compaction and stratification.

Material	Resistividad ( $\Omega m$ )
Agua salada	0,01-1
Lama	5-10
Suelo orgánico	5-200
Humus	10-150
Arcilla	10-300
Agua de río	10-300
Gneises descompuestos	50-500
Rocas calcáreas	100-2.000
Tierra de jardín	140-480
Rocas cristalinas	20.000-1.000.000
Caliza fisurada	500-1.000
Caliza compacta	1.000-5.000
Granitos y basaltos	1.000-50.000
Arena común	3.000-8.000

### 2.5 Earth and Neutral

Generally they involve and misrepresent concepts between these two components in an electrical installation, ground is a direct way to break fault currents or overvoltages and the neutral is simply the path of return of current to the source, however there are types of connection between these Called "Low Voltage Neutral Regimes", which are nothing more than combinations between the two.

#### Low Voltage Neutral Regimes

According to the IEC standard, they provide grounding schemes for both the low voltage transformer secondary and the grounding of the electrical equipment, in order to avoid electrification or electrocution.

The identification of the different types of schemes is expressed with two letters, the first one for the connection of the neutral of the transformer with two possible cases:

T. for grounded

I. for ground insulation

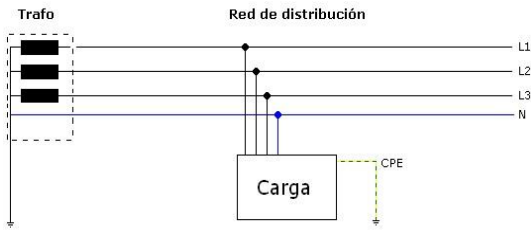
The second identifies the type of connection of the masses of the receivers with two possible cases

T. for grounding directly connected ground

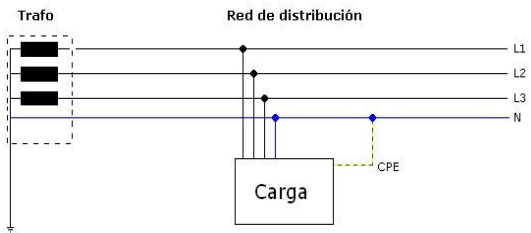
N. for masses directly connected to neutral

By which the following combinations can be obtained

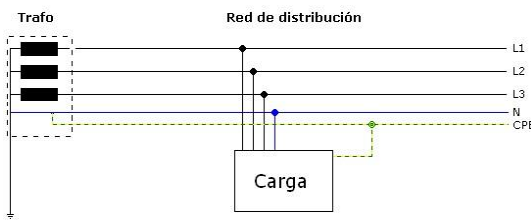
TT. Transformer neutral and earth ground



**TN. Neutral of transformer to ground and ground to neutral**

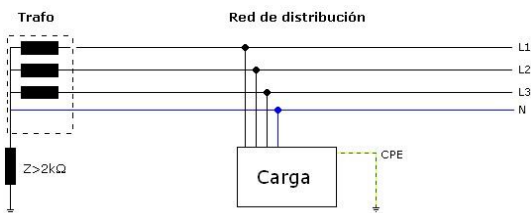


**Scheme TN-C**



**Scheme TN-S**

**IT. Neutral transformer insulated from ground and ground to earth**



## 2.6 Design of a grounding mesh

To perform the design of a SPAT, it is necessary to have the measurements of resistivity of the ground, obtained properly from where the mesh is to be installed, the maximum value of short circuit to be dissipated by this, characteristic data of the network, as well as the number of Rods and conductor.

The following calculations are used:

**Resistivity.** This value is obtained in the application of the formula by the method of Wenner

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

Where:

P: Average resistivity in ohm-m

A: Distance between electrodes in meters

B: Depth of the electrodes in meters

A: Thermometer reading in ohm

Otherwise if:  $A \gg B$

$$\rho = 2\pi * A * R$$

**Driver's gauge.** The use of a 2 AWG bare copper conductor is standardized, however, simplified calculations of transformer short-circuit currents have been taken into account.

$$Amm^2 = \frac{IccS * \sqrt{Tc} * Kf}{1.945}$$

Where:

**IccS.** Maximum short-circuit current

**Tc.** Clearance time of fault

**Kf.** Constant for different materials at different melting temperatures (Tm) and an ambient temperature of 40 ° C

Now to obtain the maximum short-circuit current the following formulas are used:

$$KVAcc = \frac{KVA}{Xpu}$$

### Short circuit power

$$Icc = \frac{KVAcc}{\sqrt{3} + V}$$

### Three-phase short-circuit current

$$Icc = \frac{KVAcc}{V}$$

### Single Phase Short Circuit Current

Where:

**KVA.** Rated power of the transformer

**KVacc.** Short-circuit power in MVA

**V.** Voltage of the KV system

**XPu.** Transformer reactance in per unit

**Icc.** Maximum short-circuit current

**IccS.** Maximum short-circuit current at second KA

**IccS. .** Maximum short-circuit current at primary KA

Since the short-circuit current of the transformer secondary is needed,

$$I_{cc} = \frac{100 * S}{\sqrt{3} * U_s * V_{Cc}}$$

Where:

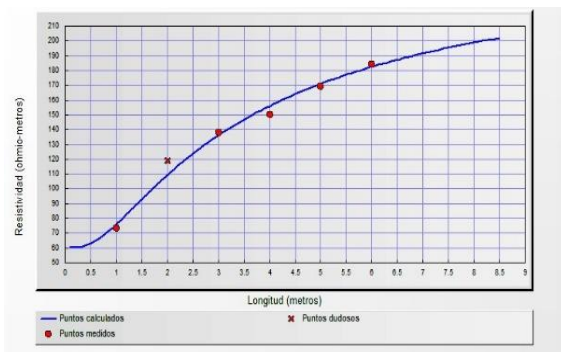
**IccS.** Secondary short-circuit current (A)

**S.** Nominal power of the transformer (KVA)

**Us.** Secondary voltage (V)

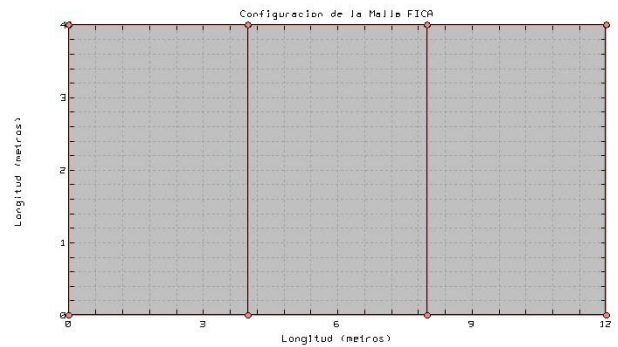
**Vcc.** Transformer short-circuit voltage (%)

There are several ways of calculating data needed in the course of design, but taking into account these calculations, there are currently softwares that allow the design of earth meshes in a fast and efficient way, only by entering these values and obtaining curves of the Soil behavior.

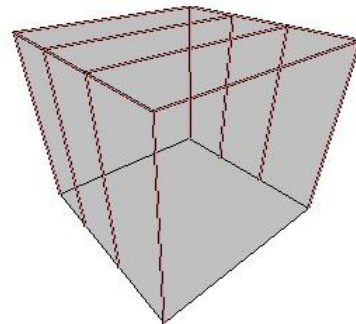


**Resistivity vs. Depth**

Graphs can also be obtained of the arrangement of the rods, dimensions and quantities according to the design and according to the technical requirements.

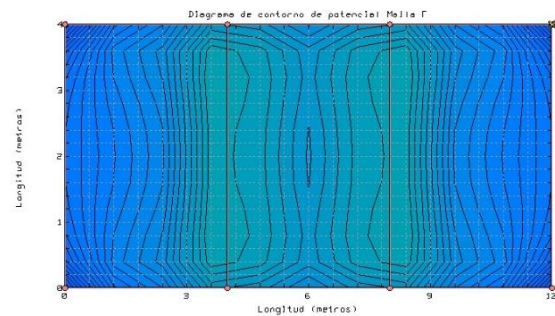


**Dimensions of the mesh**



**3D model of the mesh**

The following figure shows the behavior of the lines of potential dispersion, the moment of a possible electric shock, you can see the direction taken by the lines around the rods propagating until dissipated.



**Potential Dispersion Lines**

Now the same lines are shown in a 3D plane and it is observed that depth of penetration they take the same ones at the moment of the discharge.

### III. DEVELOPMENT OF THE STUDY

#### Zoning of the University campus.

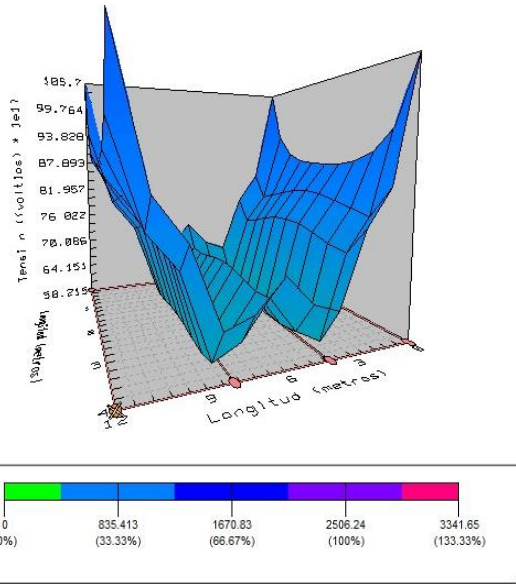
The location of areas where measurements of soil resistivity were made:

- FACAE Faculty
- FECYT Faculty
- POSTGRADUATE
- SEMIOLIMPIC SWIMMING POOL
- FICA Faculty

To measure the resistivity of soils, a teluometer was required, which made measurements by different methods for both resistivity and resistance.

#### Measurement equipment.

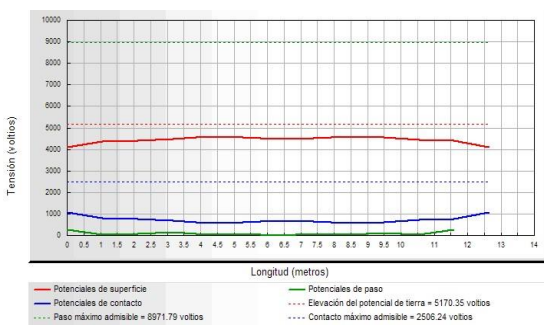
The Teluometer Duoyi 4300B is a Chinese proven device, CAT III, which meets the technical specifications of safety, fully functional and very practical, such that when comparing the measurements thrown by it with one of a teluometer d high range as standard value Of measurement, there are only error margins of 2%, a figure that is negligible since this equipment is much cheaper compared to the other.



#### Potential Dispersion Lines

You can see the shape and the colors indicate on the strip that they are blue; within the average permissible values.

Below is a graph of the surface, pitch and contact potentials, the dotted lines represent the maximum allowable values and the solid lines are the values obtained in the mesh design.



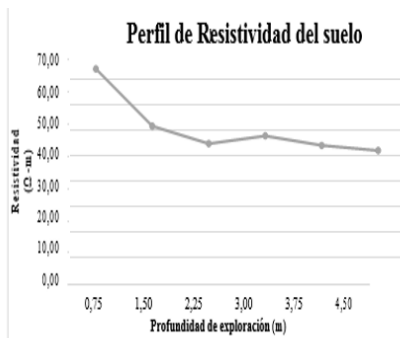
#### Maximum potential lines

The software is a very useful tool when designing a ground, represents an efficient improvement, however the calculations are still necessary, since they are particular data of each design or requirement.

**Results of Measurement.**

**• FACAE Faculty**

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad ( $\Omega$ -m)
0,75	84,32
1,50	61,64
2,25	54,76
3,00	57,81
3,75	54,04
4,50	52,02



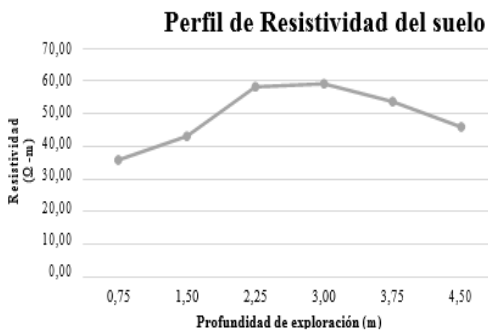
**POSTGRADUATE**

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad ( $\Omega$ -m)
0,75	83,28
1,50	116,99
2,25	137,04
3,00	156,70
3,75	174,83
4,50	174,36



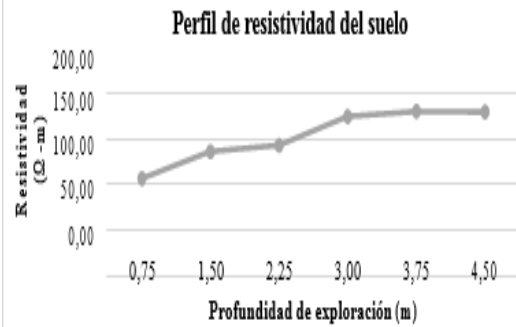
**• FECYT Faculty**

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad ( $\Omega$ -m)
0,75	35,88
1,50	43,17
2,25	58,25
3,00	59,19
3,75	53,72
4,50	45,99



**SEMIOLIMPIC SWIMMING POOL**

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad ( $\Omega$ -m)
0,75	107,13
1,50	136,79
2,25	143,63
3,00	175,30
3,75	180,96
4,50	180,20



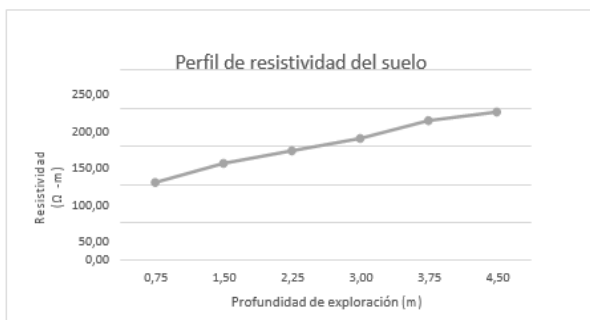


## FICA Faculty

**Tabla 18 Valores promedios resistividad vs profu**

Valores promedios	
Profundidad de exploración (m)	Resistividad (Ω-m)
0,75	102,73
1,50	127,61
2,25	144,11
3,00	160,35
3,75	183,78
4,50	195,09

Fuente (Autor, 2016)



## Box-Cox Methodology

This is a method that uses the resistivity data through tabulation to obtain the average value closest to the real.

Cálculo del valor de resistividad					
Lugar: Facultad FACAÉ "espacios verdes"					
Método de Medición: WENNER					
Metodología utilizada para estimación del valor de la resistividad:					
Transformación Box-Cox					
Separación electrodos	Medición A	Medición B	Promedio	LN (Xi)	(Xi-X)^2
1m	85.70	82.94	84.32	4.4346	0.1168
2m	59.19	64.09	61.64	4.1213	0.0008
3m	55.79	53.72	54.75	4.0027	0.0081
4m	49.51	66.10	57.80	4.0569	0.0012
5m	54.04	54.04	54.04	3.9897	0.0106
6m	52.78	51.27	52.02	3.9516	0.0199
<b>Valor promedio</b>				4.0928	0.02623
<b>Desviación estándar</b>					0.16196
<b>Distribución Normal estándar invertida (70%)</b>					0.524400513
<b>La resistividad (con probabilidad del 70% de no ser superada)</b>					<b>119,004 Ω-m</b>

The value highlighted with yellow color is the average resistivity value obtained and with which the resistance of the electrode manufactured with the following equation is calculated:

$$R_g = 119 \left[ \frac{1}{23m} + \frac{1}{20(21m^2)} \left( 1 + \frac{1}{1 + 2\sqrt{\frac{20}{(21m^2)}}} \right) \right]$$

$$R_g = 5.53 \Omega$$

This is a simplified way of designing a mesh. For more defined calculations, homogeneous or two-layer soil modeling methods are applied, for example the method of the Sundé graph with which more accurate values are obtained.

It is imperative to know the importance of a mesh design that meets the necessary requirements but at the same time you need to deepen this branch of electricity.

## IV. DESIGN

Of the defined values are taken especially those of the FACAÉ faculty to realize the design of a new mesh, the values then calculated are:

CALCULO DEL VALOR DE RESISTIVIDAD					
Lugar: Facultad FACAÉ "espacios verdes"					
Método de medición: WENNER					
Separación de electrodos	Profundidad de exploración	Medición A	Medición B	Medición C	Promedio (Ω-m)
1m	0.75	85.70	82.94	80.42	83.02
2m	1.50	59.19	64.09	73.26	65.51
3m	2.25	55.79	53.72	56.73	55.41
4m	3.00	49.51	66.10	51.27	55.62
5m	3.75	54.04	54.04	52.77	53.61
6m	4.50	52.78	51.27	43.35	49.13

## V. CONCLUSIONS

- According to the measurements obtained it is confirmed that the state of the grounding inside the university campus needs more attention.
- It is obvious that earthing is of paramount importance in the area of personal safety, since in being in contact with machines or electrical equipment they are exposed to a fault or possible discharge.
- It is necessary to create a register in which the state of the current grounding meshes is checked, in addition to periodic maintenance.
- The contribution of a telurometer to the laboratory of electrical machines of CIMANELE, accompanied by a correct and didactic use is essential in the training of future professionals.

## VI. BIBLIOGRAPHY

- García Márquez, R. (2009). La Puesta a Tierra de Instalaciones Eléctricas. México: Alfaomega.
- Rojas Gregory, (2011) Manual de Puestas a Tierra
- Morales Osorio, N. (10 de 2011). Sistemas de puesta a tierra. (Universidad de Chile)
- Antonio Eduardo, Cano P. (2010).SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA diseñados con la IEEE 80
- Manizales –Colombia