

DISEÑO DE SISTEMA PUESTA A TIERRA PARA LA INSTITUCIÓN  
UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO (IUPB)

MANUEL CÓRDOBA MARTINEZ  
SERGIO ANDRES USUGA GUISAO

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2014

DISEÑO DE SISTEMA PUESTA A TIERRA PARA LA INSTITUCIÓN  
UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO (IUPB)

MANUEL CÓRDOBA MARTINEZ  
SERGIO ANDRES USUGA GUISAO

Trabajo de grado para optar al título de  
Tecnólogos en Eléctrica

Asesor  
Rodrigo Rueda García

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2014

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Medellín, 28 de Mayo de 2014

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1 OBJETIVO GENERAL	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. REFERENTE TEÓRICO	14
4.1 ANTECEDENTES	14
4.1.1 Bases Teóricas	14
4.1.1.1 Propiedades	15
4.1.1.2 Elementos	15
4.1.2 Objetivos del Sistema de Puesta a Tierra	16
4.1.2.1 Diferencias Entre la Conexión de Tierra y Neutro	16
4.1.2.2 Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra	17
4.2 EFECTOS PATOLÓGICOS DE LA CORRIENTE	17
4.2.1 Constitución del Terreno	18
4.2.2 Resistividad del Terreno	18
4.2.2.2 Determinación de la Resistividad por el Método de los Cuatro Electrodos	19
4.2.2.3 Naturaleza de un Electrodo a Tierra.	21
4.3 FÓRMULAS PARA CÁLCULO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	22
4.3.1 Cálculos Realizados por los Integrantes del Proyecto	23
4.3.2 Diseño Preliminar	27
4.3.2.1 Materiales	28
4.4 ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA	29
4.4.1 Conductor de Puesta a Tierra	30
4.4.2 Conexiones	31
4.4.3 Cajas de Inspección	35
4.4.4 Material Triturado o Capa Superficial	36
5. METODOLOGÍA	37
5.1 TIPO DE ESTUDIO	37
5.2 POBLACIÓN	38
5.3 TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	38
5.3.1 Fuentes Primarias	38

5.3.2 Fuentes Secundarias	38
6. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO	39
7. CONCLUSIONES	41
8. RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	43
CYBERGRAFÍA	44
ANEXOS	45

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Efectos sobre el cuerpo humano	18
Tabla 2. Cálculo de resistencia de puesta a tierra	22
Tabla 3. Medición del Terreno	23
Tabla 4. Descripción de las longitudes y cálculos	27
Tabla 5. Características del material	29

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Medición de la resistividad del suelo	19
Figura 2. Disposición correcta de los cuatro electrodos	20
Figura 3. Electrodo a tierra	21
Figura 4. Patio del Pascual Bravo diagonal al bloque 2	22
Figura 5. Plano con los Ejes y Distancias de Medición	24
Figura 6. Equipo de Medida	24
Figura 7. Puntos y Ejes de Medición	25
Figura 8. Terreno a intervenir	25
Figura 9. Intervención del terreno	26
Figura 10. Ejecución de la Cuadrícula de la Malla de Puesta a Tierra	28
Figura 11. Electrodo de cobre de longitud 2.4 m	30
Figura 12. Instalación de cable	30
Figura 13. Soldadura en proceso	31
Figura 14. Preparación de la soldadura	32
Figura 15. Sellado del molde con arcilla	32
Figura 16. Quema de Soldadura	33
Figura 17. Desarme del molde	33
Figura 18. Soldadura terminada	34
Figura 19. Soldadura totalmente terminada	34
Figura 20. Caja de inspección terminada	35

Figura 21. Caja de inspección	35
Figura 22. Caja de inspección con la tapa	36
Figura 23. Material triturado	36



## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Cronograma de Actividades	45
Anexo B. Tabla de Costos	46

## INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este proyecto es la construcción del sistema puesta a tierra en la Institución Universitaria Pascual Bravo de la ciudad de Medellín, el cual garantiza la protección y seguridad durante fallas eléctricas, aunque también sirven como medio de disipación de corrientes dentro de la tierra de tal forma que no excedan los límites operativos de los equipos.

El diseño de este sistema de puesta a tierra (SPT), se calculó a partir de las mediciones de resistividad del terreno y el supuesto de un modelo del suelo, la cantidad de conductor y varillas a instalar.

El tipo del suelo es un factor decisivo en el diseño de SPT, en el que sabemos si es apto para emplearlo, conociendo si el terreno es húmedo, árido o qué tipo de terreno pertenece. Los sistemas de puestas a tierra son sistemas que en la actualidad revierten gran importancia en la protección y normal operación de los diversos sistemas eléctricos y electrónicos, principalmente en la seguridad de las personas que están en contacto o en áreas de influencia de sistemas eléctricos.

Este es un modelo que cuenta con un suelo no uniforme que representa de una manera sencilla como se estudia un terreno antes de diseñar un Sistema de Puesta a Tierra, debido a que al momento de realizar el estudio, el terreno se encontraba con diferente tipo de resistencia, nos muestra de un modo sencillo que el diseño no solo depende de calcular la malla como tal, es vital saber qué clase de suelo nos vamos a encontrar.

Los avances tecnológicos y nuevas técnicas de solución de problemas de minimización de descargas eléctricas que pueden avanzar, pero en cuanto a los SPT, es algo que por más tecnología que surja es el mismo proceso para implementarlo.

En la institución Universitaria Pascual Bravo no se tenía un prototipo o simulador de resistividad de suelos para la disipación de corrientes fluctuantes; para los estudiantes siempre ha existido la teoría de los Sistemas de Puestas a Tierra pero nunca se ha dictado una clase práctica con un prototipo, con este proyecto se logra un avance significativo, por el cual los estudiantes tendrán la oportunidad de poder practicar y saber cómo se usa un telurómetro, que tipo de resistencia tiene el terreno, como se construye una malla de puestas a tierra, entre otras.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la Institución Universitaria Pascual Bravo ubicada en Calle 73 No.73 A 226 Barrio Robledo, Medellín - Antioquia, cuenta con laboratorios para el desarrollo de las prácticas académicas las cuales son de vital importancia en la formación de los estudiantes, el desarrollo de competencias y habilidades en el área eléctrica.

Los tecnólogos electricistas deben tener las habilidades y competencias para ser capaces de medir la resistencia de un sistema de puestas a tierra, los cuales son fundamentales en cualquier sistema eléctrico; actualmente en la Institución no existe una malla para realizar medidas puesta a tierra, basados en esta necesidad que actualmente se presenta en la Institución Universitaria Pascual Bravo, planteamos el proyecto de la construcción del sistema puesta a tierra, para un aporte sustancial adecuado en la formación integral de los estudiantes.

Este proyecto nos lleva a investigar los modelos del suelo como factor decisivo para el dimensionamiento y estudio del comportamiento de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), a través del cual van a circular las corrientes de falla y/o descarga de una instalación eléctrica, motivo inicial de este proyecto dadas las limitaciones encontradas en cuanto a la Práctica de este sistema como tal, en la Institución Universitaria Pascual Bravo.

En la mayoría de los casos, los estudiantes tienen claro que los terrenos son de naturaleza no homogénea aún para pequeñas profundidades ( $\pm 10\text{m}$ ), ya sea por formaciones naturales y/o artificiales, estas últimas muy comunes por los rellenos de materiales, lo que adhiere complejidad en la interpretación de las medidas de campo de resistividad del terreno; todo esto teóricamente, pero en la práctica muy poco con el mismo, se busca saber diferenciar esto por medio de mediciones físicas simulándolo, y así de esta manera cualquier tipo de terrenos. El estudiante, próximo tecnólogo o ingeniero podrá diferenciar, dictaminar, y sacar conclusiones de qué tipo de suelo es, qué resistividad maneja, hasta donde puede ser útil para la implementación de un Sistema de Puesta a Tierra y así llegar al campo de acción con bases sólidas en este tema, que es un aspecto no solo importante en la parte eléctrica, sino vital en el bienestar del ser humano porque el principal objetivo de estos sistemas es la protección de la vida humana.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La importancia del presente prototipo, se da en la parte formativa como práctica para los docentes y estudiantes que se encuentran en proceso de formación, permitiendo el desarrollo de competencias, habilidades y destrezas relacionadas con las áreas de profundización eléctrica.

Teniendo en cuenta la importancia de los Sistemas de Puesta a Tierra (SPT), como un sistema de protección tanto para las personas como para los equipos, los beneficios para la institución son muy importantes pues quedará un laboratorio práctico de puestas a tierra que no existía y así dar un paso firme a nivel institucional en la adquisición de un prototipo que nos acerque a tener un contacto más real con lo aprendido en el aula de clases, porque la práctica es donde cada estudiante conocerá el comportamiento de la resistividad del terreno y que tan seguro puede ser un sistema de estos a partir de un diseño que incluye que tan apropiado sea el suelo.

Surge la necesidad de crear mejores puestas a tierra, utilizando instrumentos que midan la tierra en donde se va a instalar una SPT; por esto hoy en día se hace tanto énfasis en el estudio del suelo antes de empezar a diseñar un SPT; en el proyecto que nos compromete se realizó un estudio previo del suelo a intervenir, para conocer las posibilidades existentes de llevar a cabo dicho proyecto; de acuerdo con los resultados arrojados se determinó que el terreno posee partes con mayor humedad, debido a la sombra de los árboles; todo esto es motivo de análisis, determinando el mejor lugar para realizar la cuadrícula donde se iniciará el proyecto del Sistema de Puesta a Tierra.

Con todos estos detalles, se pretende que el estudiante al enfrentarse a la industria esté en la capacidad de afrontar y realizar los análisis más apropiados para implementar este tipo de trabajos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el diseño de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), ubicado en el patio de redes de la Institución Universitaria Pascual Bravo, para mejorar la formación de los futuros tecnólogos electricistas de la IUPB.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Buscar y analizar información sobre los Sistemas de Puesta a Tierra, a través de instructivos de cómo construir una malla de puesta a tierra de acuerdo al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).
- Realizar análisis de resistividad del terreno en el patio de redes, de la I.U.P.B.
- Realizar los cálculos de una malla de puesta a tierra mediante el uso de (telurómetro) y la asesoría de personal capacitado y dedicado a esta área.
- Construir un Sistema de Puesta a Tierra de 4x4, con cajas de inspección para usar equipos de medición de suelos como el telurómetro (equipo que mide la resistividad del suelo).
- Verificar la resistividad del Sistema de Puesta a Tierra después de haber culminado los trabajos.

## 4. REFERENTE TEÓRICO

### 4.1 ANTECEDENTES

En el año 2013 del segundo semestre, se observa la necesidad de investigar sobre los Sistemas de Puestas a Tierra (SPT), donde la Institución Universitaria Pascual Bravo tiene grandes déficits en cuanto a la y aplicación de este SPT, por lo cual se inicia el proyecto de Sistemas de Puestas a Tierra de manera didáctica para el aprendizaje de modo práctico como proyecto de grado de los estudiantes Manuel Córdoba y Sergio Usuga de la tecnología eléctrica.

En los sistemas de telégrafos de principios del siglo XIX se usaban dos o más cables para llevar la señal y el retorno de las corrientes. Por aquel entonces se descubrió (probablemente el científico alemán (Carl August Steinheil) que la tierra podría ser usada como un camino de retorno para completar un circuito cerrado, de esta forma el cable de retorno era innecesario.

Sin embargo, había problemas con este sistema, ejemplificado por la línea de telégrafo transcontinental construida en 1861 por la Western Union Company entre St. Joseph (Misuri) y Sacramento (California). Con clima seco, la conexión de tierra a menudo desarrollaba una alta resistencia, esto requería que vertiera agua sobre las barras que hacían de conexión para que el sistema funcionara. Más adelante, cuando la telefonía comenzó a sustituir a la telegrafía, se encontró que las corrientes que inducían en la tierra otros aparatos, los ferrocarriles y los relámpagos causaban una interferencia inaceptable, por lo que el sistema de dos hilos fue reintroducido.

En 1815 Robert W. Fox, llamado el abuelo de los geofísicos descubrió el fenómeno de la polarización espontánea. Observó corrientes eléctricas en minas de Cornish.

Brown patentó un sistema de prospección eléctrica con dos electrodos en 1883, la primera muerte generada por el hombre a 250 V fue en 1879.

**4.1.1 Bases Teóricas.** Los Sistemas de Puesta a Tierra tienen como finalidad conseguir que en el conjunto de las instalaciones, edificios y superficie próxima al terreno, no existan riesgos para los seres humanos y al mismo tiempo permitir el paso a tierra de las corrientes de fallas o las de descargas de origen atmosférico.

La puesta a tierra se establece principalmente para limitar la tensión que con respecto a tierra se puedan presentar en un momento dado en las partes metálicas que constituyen la instalación, asegurar el accionamiento de las

protecciones y eliminar o disminuir el peligro que supone una falla en el aislamiento de la instalación.

Aunque es prácticamente imposible evitar que parte de una descarga ingrese a la instalación, se puede garantizar que la mayor parte de la misma sea drenada a tierras. (Tesis de grado escuela de ingeniería eléctrica - departamento de potencia de Carabobo. Consultado el 01- octubre – 2013, estudiantes décimo semestre)

**4.1.1.1 Propiedades.** Un sistema de Puesta a Tierra, debe poseer las siguientes propiedades:

- Provee un punto común de referencia a tierra para la debida operación de los equipos.
- Controla diferencias de voltaje para reducir la posibilidad de “shock” eléctrico al personal.
- Provee un grado de estabilidad durante la vida útil de los equipos.
- Protege los equipos de daños e incendios al poner a tierra las sobrecorrientes de fallas.
- Resistencia de Aislamiento.

**4.1.1.2 Elementos.** Un Sistema de Puesta a Tierra tiene los siguientes elementos:

- Electrodo de puesta a tierra.
- Neutro del servicio eléctrico A.C.
- Conductores de puenteo.
- Conductores a tierra para electrodos,

**Tipos principales de Puestas a Tierra.**

1) Puesta a tierra de protección, los equipos eléctricos se conectan a tierra para evitar que la carcasa o cubierta metálica de ellos represente un potencial respecto de tierra que pueda significar un peligro para el operario u usuario del equipo. Este tipo de conexión a tierra se denominará Tierra de Protección. La posibilidad de que ciertas partes de una instalación, que normalmente están sin tensión, puede quedar con una tensión con respecto a la tierra por fallas de aislamiento, se debe evitar conectando todas las partes metálicas con las que pueda una persona entrar en contacto y que no debe estar normalmente con tensión. Según la presente norma, se entiende por tierra de protección la puesta a tierra de toda pieza conductora que no forma parte del circuito, pero que en condiciones de falla puede quedar energizada.

2) Puesta a tierra de servicio, es la que pertenece al circuito de trabajo, es decir, el centro de estrella de generadores y transformadores.

3) Elementos protectores o terminales de aire contra descargas atmosféricas Directas; son terminales de aire usados para la protección de las instalaciones contra las descargas eléctricas directas. Este crea una región ionizada al rededor suyo para poder interceptar la descarga del rayo sobre si y por lo tanto absorbe la corriente de descarga y la encamina hacia la tierra.

4) Conductores descendentes o cables de conexión entre los elementos de captación y la toma a tierra.

5) Toma tierra, es indispensable para una dispersión segura de las altas corrientes de descarga. En la práctica se ha demostrado que instalaciones con resistencias de tierras de inferiores a  $5 \Omega$  representan la menor incidencia de efectos por caídas de rayos<sup>1</sup>.

**4.1.2 Objetivos del Sistema de Puesta a Tierra.** De una manera didáctica y entendible dar a conocer todas las normas y conceptos para un sistema de puestas a tierra como en algunos conceptos que se describen a continuación que todo SPT de cumplir:

- Brindar seguridad y protección a los seres humanos.
- Proteger los equipos, instalaciones, garantizando estabilidad y correcta operación.
- Establecer la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación.
- Dispersar las cargas estáticas a tierra. Disipar la corriente asociada a descargas eléctricas producidas por fenómenos meteorológicos y limitar las sobre tensiones generadas.

**4.1.2.1 Diferencias Entre la Conexión de Tierra y Neutro.** Un error común en la conexión de un equipo o en la transmisión de tensión en un conducto es la confusión entre tierra (GND) y neutro (N).

Aunque idealmente estos dos terminan conectados en algún punto a tierra, la función de cada uno es muy distinta. El cable de neutro es el encargado de la transmisión de corriente y el conductor de tierra es una seguridad primaria de los equipos contra descargas eléctricas. En el hipotético caso se tome el neutro y

---

<sup>1</sup> Facultad de ingeniería de Ejecución en Electromecánica, Escuela politécnica – Ecuador <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4403/1/T-ESPEL-0080.pdf>, consultada el 01- Octubre-2013.



tierra como la misma cosa, cuando el cable de tierra se corte o interrumpa, la carcasa de los equipos que estén conectados a esta tierra-neutro tendrá el potencial de línea y así toda persona o ser que tenga contacto con ello estará expuesta a una descarga eléctrica.

**4.1.2.2 Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra.** De acuerdo a su aplicación los sistemas de puesta a tierra son:

Puesta a tierra para sistemas eléctricos.  
Puesta a tierra de los equipos eléctricos.  
Puesta a tierra en señales electrónicas.  
Puesta a tierra de protección electrónica  
Puesta a tierra de protección atmosférica

**A) Puesta a tierra para sistemas eléctricos.** El propósito de aterrizar los sistemas eléctricos es limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos. Esto se realiza mediante un conductor apropiado a la corriente de falla a tierra total del sistema, como parte del sistema eléctrico conectado al planeta Tierra.

**B) Puesta a tierra de los equipos eléctricos.** Su propósito es eliminar los potenciales de toque que pudieran poner en peligro la vida y las propiedades, de forma que operen las protecciones por sobrecorriente de los equipos. Utilizado para conectar a tierra todos los elementos de la instalación que en condiciones normales de operación no están sujetos a tensiones, pero que pueden tener diferencia de potencial con respecto a tierra a causa de fallas accidentales en los circuitos eléctricos, así como los puntos de la instalación eléctrica en los que es necesario establecer una conexión a tierra para dar mayor seguridad.

## **4.2 EFECTOS PATOLÓGICOS DE LA CORRIENTE**

La tabla que se muestra a continuación entrega los valores de corrientes y efectos que puede ocasionar en el cuerpo humano por eso la importancia de los SPT.

**Tabla 1.** Efectos sobre el cuerpo humano

<b>CORRIENTE</b>	<b>EFFECTOS SOBRE EL CUERPO HUMANO</b>
0 - 2 mA	Cosquilleo
2 - 15 mA	Contracción muscular involuntaria
16 - 20 mA	Contracción muscular dolorosa
21 - 50 mA	Parálisis de la musculatura respiratoria
51 - 100 mA	Fibrilación ventricular
2 A	Asistolia

**Fuente:** Tomado de Internet:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1090/1/621317F634.pdf>.  
consultada el 02 de Octubre del 2014.

**4.2.1 Constitución del Terreno.** La química del terreno, la cantidad y la calidad de las sales minerales en el contenido pueden influir de modo notable en su resistividad. Los terrenos lluviosos o arcillosos con acentuadas capas de humos, son aquellos que presentan las resistividades más bajas y adicionalmente las menores variaciones en el tiempo.

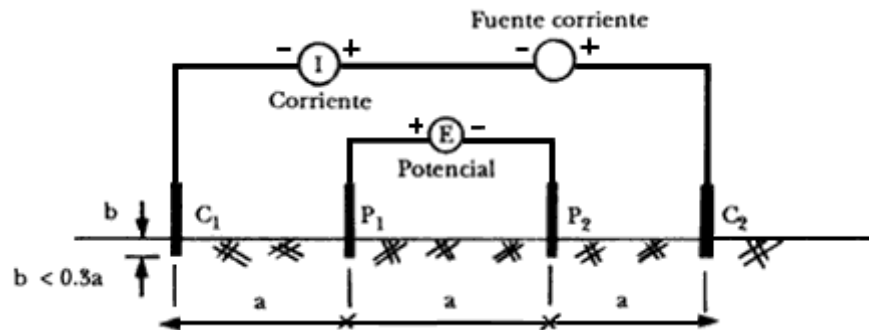
Los terrenos arenosos, pedregosos y rocosos presentan resistividad muy elevada y varían sus características en el tiempo, según la temperatura y la humedad, en límites muy amplios.

**4.2.2 Resistividad del Terreno.** El factor más importante de la resistencia a tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra de sistemas.

La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que para el interés de este trabajo, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno".

**4.2.2.2 Determinación de la Resistividad por el Método de los Cuatro Electrodo.** En la práctica de la ingeniería de la corrosión se requiere medir la resistividad de grandes extensiones y a menudo, a una cierta profundidad. Para ello se utiliza el método de Wenner, más conocido como método de los 4 electrodos. El circuito básico se presenta en la figura 1.

**Figura 1.** Medición de la resistividad del suelo.



**Fuente:** Tomado de Internet: [www.totalground.com](http://www.totalground.com), consultada el 04 –Octubre – 2013.

La resistividad se determina a partir:

$$\rho = 2\pi a \frac{E}{I}$$

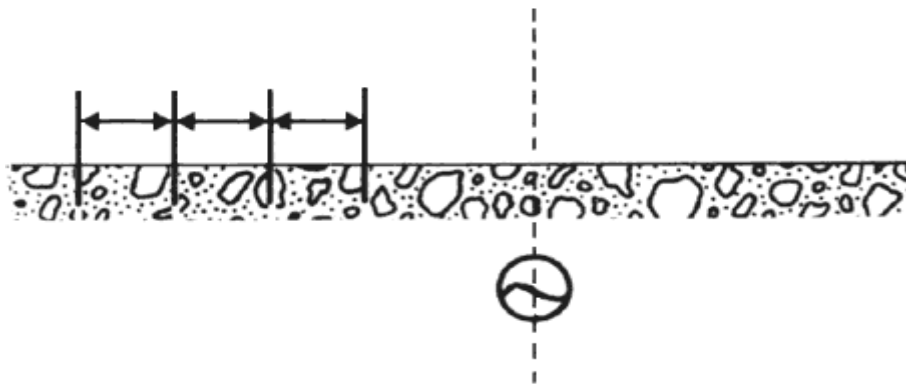
La medida que se obtiene es un valor promedio a una profundidad aproximadamente igual que el espaciado entre los electrodos. Es costumbre efectuar las mediciones de resistividad con un espaciado entre electrodos previamente establecido. Así, con espaciados de 5 pies 2 1/2 pulgadas, 10 pies 5 pulgadas y 20 pies 10 pulgadas, el producto 2 respectivamente toma los valores de 1 000, 2 000 y 4 000, lo que facilita el cálculo.

Los detalles de la operación varían de acuerdo con el instrumento particular empleado, pero el principio es común a todos. Se entierran cuatro varillas de cobre equiespaciadas, y se conectan las dos externas (**C<sub>1</sub>** y **C<sub>2</sub>** en la figura 1) a las terminales de la fuente de corriente, y las dos internas (**P<sub>1</sub>** y **P<sub>2</sub>** de la misma figura 1) a un medidor potencial (voltímetro). Nótese que se mide la resistencia entre las dos varillas internas o electrodos de potencial; las dos varillas externas sirven para introducir corriente en el suelo.

El valor obtenido corresponde a la resistividad promedio a una profundidad aproximadamente igual al espaciado entre los electrodos.

La presencia de estructuras metálicas enterradas puede alterar los resultados de la medición. En este caso se aconseja realizar el alineamiento de los cuatro electrodos perpendicularmente a la estructura enterrada

**Figura 2.** Disposición correcta de los cuatro electrodos.



**Fuente:** Tomado de Internet: [www.totalground.com](http://www.totalground.com), consultada el 04 –Octubre – 2013.

La investigación de la resistividad de un suelo consiste, por lo general, en una serie de medidas tomadas a lo largo de una línea, y se utiliza normalmente el método de los cuatro electrodos. Las lecturas deben tomarse de acuerdo con un procedimiento sistemático. Un método recomendable seguiría los siguientes pasos:

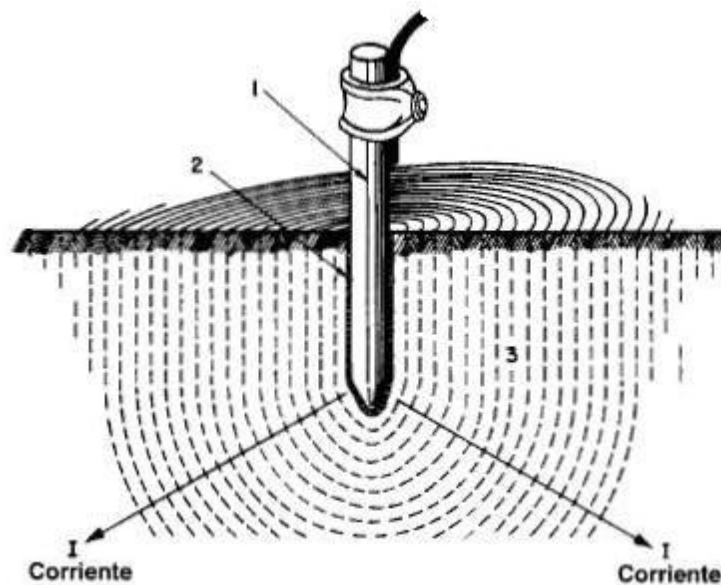
- 1) Deben efectuarse lecturas al menos cada 400 pies (1 pie = 30.48cm).
- 2) Deben realizarse medidas donde exista un cambio visible en las características del suelo.
- 3) Dos lecturas sucesivas no deben diferir por más de 2:1. Cuando una lectura difiere de la precedente por mayor cantidad que la relación anterior, es necesario volver atrás y rehacer la lectura; esto debe repetirse hasta que se cumpla con la condición.
- 4) Como una excepción a la regla anterior, no será necesario tomar 2 lecturas a distancias menores de 25 pies.
- 5) Como otra excepción a la regla, ésta no debe aplicarse cuando el valor más bajo de las dos lecturas es mayor que 20 000cm.

Para este tipo de investigaciones deben efectuarse mediciones de la resistividad del suelo a la profundidad a la cual va a estar enterrada la tubería. El método de los cuatro electrodos debe emplearse con un espaciado entre varillas de aproximadamente una vez y media la profundidad de la tubería. Muy a menudo, se escoge un espaciado de 5 pies 2 pulgadas y media para este propósito (lo cual supone que el producto  $2a$  es igual a 1000).

Los resultados obtenidos por este procedimiento se grafican en un diagrama que represente la longitud de la línea. La escala de resistividad es logarítmica, ya que es más importante la relación de resistividades que sus diferencias. A partir de estos diagramas se pueden localizar fácilmente los "puntos calientes" o sea las áreas de mayor corrosividad del suelo.

**4.2.2.3 Naturaleza de un Electrodo a Tierra.** La resistencia a la corriente a través de un electrodo depuesta tierra realmente tiene tres componentes como se puede observar.

**Figura 3.** Electrodo a tierra.



**Fuente:** Tomado de Internet: [www.totalground.com](http://www.totalground.com), consultada el 02 de Octubre del 2013.

### 4.3 FÓRMULAS PARA CÁLCULO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

**Tabla 2.** Cálculo de resistencia de puesta a tierra.

$\frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \left( 4 \frac{L}{r} \right) - 1 \right) \quad \text{otra ecuación} \quad \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \left( \frac{2L}{r} \right) \right)$
$\frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \left( 4 \frac{L}{r} \right) - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi d} \left[ 1 - \frac{L^2}{3d^2} + \frac{2L^4}{5d^4} \right]$
$\frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \left( 4 \frac{L}{r} \right) + \ln \left( 4 \frac{L}{d} \right) - 2 + \frac{d}{2L} + \frac{d^2}{16L^2} + \frac{d^4}{512L^4} \right)$

**Fuente:** Tomado de Internet: [www.upv.es/electrica](http://www.upv.es/electrica) consultada el 2 de octubre del 2013.

**Figura 4.** Patio del Pascual Bravo diagonal al bloque 2.



**Fuente:** Google Earth. Consultada el 2 de octubre del 2013.

### 4.3.1 Cálculos Realizados por los Integrantes del Proyecto.

Medición de la resistividad específica del terreno

Fecha trabajo de campo: 15 de septiembre del 2013.

Último aporte de agua sobre el terreno medido: viernes 13 septiembre del 2013

**Tabla 3.** Medición del Terreno.

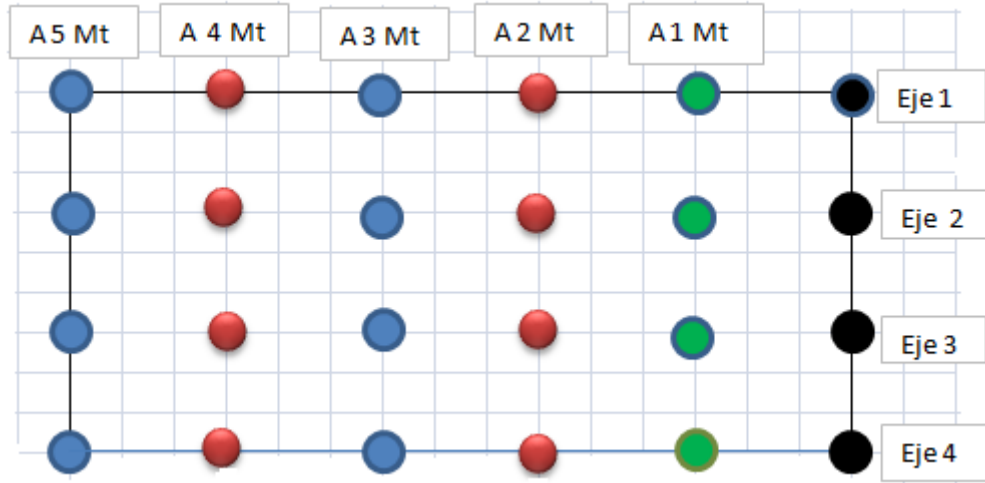
EJE	1 mt	2 mt	3 mt	4 mt	5 mt
	RT( $\Omega$ m)	RT( $\Omega$ m)	RT( $\Omega$ m)	RT( $\Omega$ m)	RT( $\Omega$ m)
1	30	30,3	31	16,28	10,44
2	34,7	39,2	36,1	14,8	9,72
3	34	42,6	44,5	17,58	9,68
4	27,9	33,8	41,8	21,5	12,15
PROMEDIO	31,6	36,4	38,3	17	10,4

**Fuente:** Elaboración propia utilizando un Telurómetro.

NOTAS:

- En cada una de las mediciones de cada eje se debe llevar un orden para la conexión de los caimanes en las jabalinas este debe ser (1° color negro, 2° color verde, 3° color rojo, 4° color azul).
- En las mediciones de resistividad del terreno realizadas en cada eje para 4 y 5 m. Se observa que esta baja drásticamente ya que el terreno mantiene más humedad debido a varios árboles que le brindan sombra constante.
- Para la medida en el cuarto eje la distancia horizontal es de 2.5 mts debido a obstáculos en el terreno que impiden la medición a 1 mts.

**Figura 5.** Plano con los Ejes y Distancias de Medición.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 6.** Equipo de Medida



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.



**Figura 7.** Puntos y Ejes de Medición.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**Figura 8.** Terreno a intervenir.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**Figura 9.** Intervención del terreno.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**Tabla 4.** Descripción de las longitudes y cálculos

<b>LONGITUD TOTAL DE CONDUCTORES ENTERRADOS</b>		
<b>DESCRIPCIÓN :</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>ANÁLISIS :</b>
VARILLAS ENTERRADAS =	4,00	= 4,00 x 2.40m. x 2.00= 19,2 m.
CONDUCTORES PARALELOS =	4,00	= 4,00 x 4,00 = 16 m.
CONDUCTORES TRANSVERSALES =	0	0
LONGITUD TOTAL DE CONDUCTORES =	16 m.+ 9.6 m.= 25,6 m.	

**Fuente:** Elaboración propia.

Se sustituyen valores en la fórmula.

$$R = (0,443)(34,5) \left( \frac{1}{16} + \frac{1}{25,6} \right)$$

$$R = 4,53 \Omega - m$$

**4.3.2 Diseño Preliminar.** Área disponible para la construcción de la puesta a tierra: 16 m<sup>2</sup>, resistividad del terreno para el cálculo de la resistividad se tomaron varias medidas arrojando diferentes resultados que luego fueron llevados a tablas.

La aplicación de la puesta a tierra se realiza con fines pedagógicos para que tanto el docente como el alumno realicen sus prácticas de laboratorio.

La experiencia del diseño fue muy satisfactoria y de enriquecimiento para nuestros conocimientos de la importancia de un sistema de puesta a tierra.



**Figura 10.** Ejecución de la Cuadrícula de la Malla de Puesta a Tierra.



**Fuente:** Integrante del proyecto laborando. Fotografía tomada por el autor.

**4.3.2.1 Materiales.** Los materiales empleados en el montaje fueron seleccionados de la gran variedad que existe de metales puros y las aleaciones para el tipo de comportamiento del suelo y avalados dentro del contexto de la norma.

Escogimos para la construcción del SPT el cobre como material predilecto como lo anuncia la norma debido a sus razones principales.

- Gran conocimiento de sus características
- Mayor conductividad.
- Fortaleza mecánica.
- Resistencia a la corrosión en ambientes agresivos.

#### 4.4 ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

El electrodo de puesta a tierra es el elemento encargado de realizar la distribución de la corriente hacia el suelo y puede estar conformado por varios tipos:

**Tabla 5.** Características del material.

Tipo De Electrodo	Materiales	Dimensiones Mínimas			
		Diámetro mm	Área mm <sup>2</sup>	Espesor mm	Recubrimiento μm
Varilla	Cobre	12,7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electro depositado de cobre	14			100
	Acero con recubrimiento total en cobre	15			2000
Tubo	Cobre	20		2	
	Acero inoxidable	25		2	
	Acero galvanizado en caliente	25		2	55
Fleje	Cobre		50	2	
	Acero inoxidable		90	3	
	Cobre cincado		50	2	40
Cable	Cobre o cobre estañado	1,8 para cada hilo	50		
	Acero galvanizado en caliente	1,8 para cada hilo	70		
Placa	Cobre		20000	1,5	
	Acero inoxidable		20000	6	

**Fuente:** Tomado de Internet: <http://portalelectricos.com/retie/> consultada el 7 de octubre del 2013.

**Figura 11.** Electrodo de cobre de longitud 2.4 m.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**4.4.1 Conductor de Puesta a Tierra.** El propósito de los conductores de puesta tierra, es conectar los diferentes componentes del SPT. Para el montaje se utilizó cable de sección transversal de  $67.44 \text{ mm}^2$ , 2/0 AWG, De acuerdo a las exigencias que tendrá esta malla al momento de hacer pruebas y ser manipulado por las personas que hagan uso con motivos de formación académica de las diferentes instituciones.

**Figura 12.** Instalación de cable





**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**4.4.2 Conexiones.** En este SPT se empleó soldadura exotérmica.

**Figura 13.** Soldadura en proceso.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**Figura 14.** Preparación de la soldadura.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**Figura 15.** Sellado del molde con arcilla.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.



**Figura 16.** Quema de Soldadura.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**Figura 17.** Desarme del molde.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.  
**Figura 18.** Soldadura terminada.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**Figura 19.** Soldadura totalmente terminada.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.



**4.4.3 Cajas de Inspección.** Para verificar que las características del electrodo de puesta a tierra cumpla con el reglamento se dejaron puntos de conexión accesible e inspeccionables al momento de la medición, que para este efecto se construyeron cajas de inspección con sus dimensiones internas de 30 cm x 30 cm.

**Figura 20.** Caja de inspección terminada.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**Figura 21.** Caja de inspección.





**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.  
**Figura 22.** Caja de inspección con la tapa.



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

**4.4.4 Material Triturado o Capa Superficial.** Utilizamos en las respectivas cajas del sistema material triturado proveniente de rocas.

**Figura 23.** Material triturado



**Fuente:** Fotografía tomada por el autor.

## 5. METODOLOGÍA

Este proyecto está fundamentado al tipo de investigación aplicada, ya que para su desarrollo se requiere la aplicación de los conocimientos adquiridos en las asignaturas de circuitos, e instalaciones eléctricas, que fundamenta al programa de tecnología eléctrica.

Una vez establecidos los lineamientos teóricos y técnicos se procedió al desarrollo del proyecto en las siguientes etapas:

- Se realizó el rastreo, selección y clasificación de la información relacionada con el tema del proyecto.
- Se presentó propuesta para dicho proyecto, al que fue necesario conocer de las normas y reglamentos vigentes como son citadas en el presente documento: **RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –, IEEE 837, IEEE – 80 / ABNT – NBR 5419, NTC 2050 Y PROYECTO DE NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC** concerniente en la parte de sistema de puesta a tierra y a la conservación del medio ambiente.
- Consultado lo anterior se procedió al desarrollo técnico del proyecto.

### 5.1 TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio es de carácter explicativo, ya que se fundamenta en la necesidad del estudiante conozca la importancia de garantizar la seguridad de las personas que hacen uso de un sistema de puesta a tierra; ya que cuando se trata de instalaciones eléctricas para alimentar muchos equipos eléctricos, fijos o móviles; con estructuras susceptibles de deterioro desde el punto de vista eléctrico, es fundamental la protección contra fallas de aislamiento que originan la aparición de tensiones por contactos indirectos; porque de no contar con este sistema de seguridad, se pueden presentar graves incidentes que pueden afectar la salud y la vida humana; además de la pérdida de material y equipos.

El estudiante tendrá la oportunidad de hacer mediciones de puesta a tierra para verificar las condiciones de la resistencia de un sistema como este; donde la instalación debe garantizar estar completamente desenergizada y proceder a utilizar un instrumento especial para evaluar el sistema de puesta a tierra.

## 5.2 POBLACIÓN

Este proyecto dirigido a la población estudiantil, que adelantan la formación en tecnología e ingeniería eléctrica en la Institución Universitaria Pascual Bravo.

## 5.3 TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

**5.3.1 Fuentes Primarias.** Entrevistas con Carlos Alberto Domínguez Ingeniero eléctrico de la empresa eléctricos del Caribe. Medellín, 29 abril 2014.

**5.3.2 Fuentes Secundarias.** Se acudió a literatura técnica especializada en el tema eléctrico y particularmente en los montajes de los sistemas de puesta a tierra; entre ellos se revisó la siguiente literatura:

- Edwin Rivas Trujillo, Carlos Eduardo Olaya Marulanda, Javier Guacaneme. La puesta a tierra según código eléctrico colombiano norma Icontec NTC 2050: generalidades, ciencia, investigación y desarrollo, ingeniería, 2001 -00-00 vol. 6 número: 2 páginas 71-76.
- Jorge Correa. Nuevas técnicas de medición de puesta a tierra vol.2, 2005 octubre, número 1 páginas 18-20.
- Nueva biblioteca del instalador electricista. Medidas y gestión energética conductores y canalizaciones tomo 3 editorial grupo CEAC. España 2000.

## 6. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

El proyecto parte de la necesidad de contar con un espacio de práctica para estudiantes que se están formando en el campo eléctrico a nivel profesional; cuya cualificación en el área de instalaciones eléctricas, donde se ofrecen los conceptos teóricos dados por el docente que son básicos, ya que al complementar los conceptos teóricos con los prácticos, que son lo que permiten un mejor aprendizaje del conocimiento.

Debido a esta situación, nos vimos en la tarea de emprender este camino que no es fácil de recorrer, pero contamos con el deseo y apoyo de personal profesional en el área técnica y metodológica de la Institución Universitaria Pascual Bravo en la orientación para realizar el estudio previo del terreno a intervenir dicho estudio realizado con equipo especializado de medida, guiado por un docente de la institución y con recursos humanos propios que también aportaron en la logística.

Los resultados arrojados permitieron proceder a la construcción física donde se va a detallar a través de las siguientes fases.

Fase I: con los permisos legales obtenidos, investigación, cálculos y diseños, se procedió a desarrollar el proyecto.

Fase II: con recursos propios tanto económicos como técnicos, se procedió a la intervención física del terreno.

Fase III: con todos los elementos dispuestos intervenimos el terreno para abrir las brechas y hacer los huecos a las medidas permitidas y exigidas por la norma.

Fase IV: con el terreno labrado y las retículas formadas, se procedió hacer la instalación del cable de cobre desnudo de sección transversal 67.44 mm<sup>2</sup> - 2/0 AWG, con varillas de cobre de 2.4 m se clavan en la tierra en cuatro puntos del terreno, para posteriormente se utiliza soldadura exotérmica para unir los cables y las varillas; luego se utilizaron materiales de construcción: cemento, arena y triturado; para elaborar las cajas de inspección que darán acceso a la malla de puesta a tierra para todo tipo de persona.

Fase V: la tierra removida por causa de todo el trabajo realizado en el terreno es reubicada y devuelta a los puntos donde fue extraída para que a su vez tape el cable instalado y no se altere en gran tamaño las condiciones del suelo.

Fase VI: realizada la malla de puesta a tierra en su totalidad un grupo de estudiantes con el acompañamiento de un docente experto en el tema, intervienen con equipos especializados para realizar pruebas arrojando resultados muy

buenos y dentro de los parámetros permitidos por la norma; donde se concluye que fue un trabajo bien hecho y cumpliendo con lo exigido.

Fase VII: el proyecto es entregado a la institución por parte de los integrantes del grupo donde queda demostrado todo el esfuerzo y dedicación, dejando una gran riqueza en lo profesional y personal con la satisfacción de haber hecho un aporte sustancial a la Institución Universitaria Pascual Bravo para que en lo sucesivo reciban una formación académica más integral, y para que sirva de motivación para emprender futuros trabajos de mayor complejidad en este tema.



## 7. CONCLUSIONES

- El sistema de puesta a tierra es un aporte significativo para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje en la Institución Universitaria Pascual Bravo particularmente los estudiantes que están cursando tecnología e ingeniería eléctrica.
- El proyecto fundamenta su importancia al momento de requerir hacer un ejercicio práctico para que la formación se más integral, y para que los estudiantes tengan mejores posibilidades de vincularse laboralmente, una vez egresen de la institución.
- La institución queda con un importante valor agregado, porque en lo sucesivo los futuros tecnólogos e ingenieros que adelanten sus estudios superiores en la misma, van a contar con un espacio adecuado para desarrollar sus prácticas.
- La institución al momento de contar con este espacio tendrá la oportunidad de profundizar e intensificar el conocimiento del sistema de puesta a tierra, el que puede llevarse a gran escala acompañado de un laboratorio dotado, con infraestructura adecuada que este a nivel o por encima de instituciones similares en el medio.
- El proyecto establece principios muy generales de diseño, construcción y medición de los sistemas de puesta a tierra, resaltando su importancia dado que ofrece seguridad a las personas y protege equipos en las instalaciones eléctricas.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la comunidad universitaria hacer uso de este proyecto, estando actualizados en las normas técnicas que existen en el RETIE, IEEE; debido a que el reglamento se actualiza constantemente, apareciendo así nuevas normas o reforma a una ya existente.
- Se sugiere a los estudiantes que vayan a utilizar este proyecto como guía para algún trabajo o proyecto ver en los anexos todas las especificaciones técnicas de cada uno de sus elementos, así como también las normas constructivas con las que se realizaron el diseño y montaje.
- Tomar como base, este proyecto para futuras propuestas que den viabilidad a la continuidad e inclusión de más elementos aportantes para que se convierta en un referente de las demás instituciones y que estudiantes de otras universidades puedan acceder y realizar sus prácticas de campo.

## BIBLIOGRAFÍA

CÁRDENAS VALENCIA Juan David y GALVIS GARCÍA Esteban. Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el estudio de la resistividad del suelo a partir de la configuración del método de Wenner. Trabajo de grado par optar título de Tecnólogo eléctrico. Universidad Tecnológica de Pereira 2011, 22 p.

CORREA Jorge. Nuevas técnicas de medición de puesta a tierra vol.2, 2005 octubre, numero 1 paginas 18-20.

DIAZ, Pablo. Soluciones prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de distribución, 1 ed. México: Editorial McGraw-Hill, 2001.

GARCIA, Rogelio. La puesta a tierra de instalaciones eléctricas, 1ed. México: Editorial Alfa y Omega, 1999.

NORMA NTC 2050 CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO. Sección 250 Puestas a tierra 191 p.

NUEVA BIBLIOTECA DEL INSTALADOR ELECTRICISTA. Medidas y gestión energética conductores y canalizaciones. Tomo 3. España: Editorial grupo CEAC, 2000.

Prof. Markiewicz Henryk & Dr. Klajn Antoni. Puesta a tierra y EMC. Sistemas de puesta a tierra fundamentos de cálculo y diseño. Wroclaw University of Technology, Junio 2003.

REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS- RETIE. Puestas a tierra. Bogotá Colombia. Resolución 90708 de Agosto 30 de 2013. 75 p.

RIVAS TRUJILLO Edwin, OLAYA MARULANDA Carlos Eduardo y GUACANEME Javier. La puesta a tierra según código eléctrico colombiano norma Icontec NTC 2050: generalidades, ciencia, investigación y desarrollo, ingeniería, 2001 -00-00 vol. 6 numero: 2 paginas 71-76.

## CYBERGRAFÍA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES [en línea]. [Citado el 03 de Octubre de 2013]. Disponible en Internet: <[www.upv.es/electrica](http://www.upv.es/electrica)>

FLOREZ GRANADA, Andrés Felipe y JARAMILLO CASTAÑEDA Juan Gabriel. Evaluación de sistemas de puesta a tierra temporal para el mantenimiento de las líneas de distribución [en línea]. [Citado en 02 de Octubre de 2013]. Disponible en Internet: <<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1090/1/621317F634.pdf>>

PORTALELECTRICOS.COM. Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas. RETIE 2013 [en línea]. [Citado el 7 de Octubre de 2013]. Disponible en Internet: <<http://portalelectricos.com/retie/>>

TOTAL GROUND [en línea]. [Citado el 02 de Octubre de 2013]. Disponible en Internet: <[www.totalground.com](http://www.totalground.com)>

## ANEXOS

### Anexo A. Cronograma de Actividades

<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b>	
<b>ACTIVIDADES</b>	<b>FECHA</b>
Cronograma del proyecto de grado	08/09/2013
Objetivos, Justificación del problema	09/09/2013
Diseño metodológico y antecedentes	14/09/2013
Marco Teórico conclusiones	20/09/2013
Marco Teórico conclusiones con correcciones enviadas por el asesor	20/09/2013
Revisión Metodológica	15/10/2013
Borrador del trabajo	20/11/2011
Entrega del trabajo	28/05/2014
<b>EJECUCIÓN</b>	
Medición de resistividad	30/09/2013
Marcación del terreno	06/10/2013
Informe resultados de medición de resistividad	06/10/2013
Realizar trabajos de obra civil	06/10/2013
Realizar cajas de inspección	12/10/2013
Instalación de cables y varillas	12/10/2013
Aplicación de soldadura exotérmica.	19/10/2013
Tapar brechas de la cuadrícula	20/10/2013
Realizar pruebas de resistividad de la malla final.	01/02/2014

## Anexo B. Tabla de Costos

<b>COSTOS</b>				
Descripción del material	Unidad	Costo unitario \$	Cantidades	Costo total \$
Varilla de Cu 3/4x 2.4m	U	\$ 119.773,00	4	\$ 479.092,00
Cable de Cu 2/0 desnudo	Mt	\$ 25.211,00	20	\$ 504.220,00
Soldadura cadweld 115 grs	U	\$ 30.996,00	5	\$ 154.980,00
Soldadura cadweld 150 grs	U	\$ 34.476,00	5	\$ 172.380,00
Soldadura cadweld 200 grs	U	\$ 45.496,00	5	\$ 227.480,00
Arcilla	Kg	\$ 5.000,00	1	\$ 5.000,00
Cajas de inspección	C	\$ 40.500,00	4	\$ 250.000,00
Cemento	Kg	\$ 25.000,00	150	\$ 90.500,00
Arena	Kg	\$ 350,00	200	\$ 70.000,00
Triturado	Kg	\$ 855,00	100	\$ 85.550,00
Alambre dulce	Mt	\$ 40,00	50	\$ 7.800,00
Chispero	U	\$ 45.209,00	1	\$ 45.209,00
Subtotal				\$ 2.092.211,00

Renta y alquileres	Costo \$
Renta de equipos (telurómetro, herramienta)	\$ 500.000,00
Transporte	\$ 300.000,00
Asesorías Técnicas externas	\$ 150.000,00
Gastos de oficina	\$ 60.000,00
<b>Total</b>	<b>\$ 1.010.000,00</b>